



Depolama Tesislerinin Davranış Profillerinin Belirlenmesi

Ali SARI¹, Kasım Armağan KORKMAZ²

¹Texas Eyalet Üniversitesi, San Antonio, İnşaat Mühendisliği Bölümü, TX, ABD

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Özet

Depolama tesisleri, petrol işleme tesislerinde depolama amaçlı kullanılan önemli yapılardır. Bu yapılar, dünyada ve Türkiye’de ekonomik değerleri nedeniyle hasarlardan korunmaları gereken yapılardır. Bu yapılarda depolama muhteviyatları nedeniyle meydana gelen patlamalar oldukça ciddi seviyelerde hasara yol açabilmektedir. Bu tip patlamaların sonucunda oluşan yoğun basınç, yapılarda önemli hasarlara yol açabilmektedir. Bu patlamaların neden olabileceği olası sonuçların önceden tahmin edilmesi mevcut ve yeni depolama yapılarının güvenliğinin artırılması açısından önemlidir. Yapılan bu tahminler, çeşitli matematiksel modeller yardımıyla gerçekleştirilir. Patlamaları meydana getiren değişkenlerin tahmini için bir çok hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Böylelikle, patlama hasarını azaltmak ve daha güvenli yapılar inşa etmek mümkün olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, depolama yapılarında yapısal davranış tesbiti için, patlama sonucunda meydana gelen hasar tesbiti ve ön belirleme yöntemleri çerçevesinde detaylı bir değerlendirme sunulmaktadır. Çalışmada, meydana gelen hasarın belirlenmesi için kullanılan basitleştirilmiş TNO Çoklu Enerji (Multi Energy – ME) ve Baker-Strehlow-Tang (BST) modelleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Depolama tesisleri, Patlama, hasar tesbiti, TNO-ME, BST

Determination of Behavioral Profile for Storage Facilities

Abstract

Storage buildings are critical buildings in petrochemical facilities. Stored materials may cause considerable hazard in petrochemical industries in the world and Turkey. They generate damaging levels of overpressure and the possibility of human injury/death, building/equipment damage becomes a concern. Predicting the possible consequences of material is important to ensure the safe design of existing and new installations. The predictions through the assessment of such explosions are improved by carrying out experiments and by using theoretical models. Several prediction methods have been developed to estimate the air blast parameters at any given distance from a possible explosion source, assess explosion hazards and to design safer structures. Prediction of the overpressures is typically done using simplified (empirical) models, phenomenological models, and computational fluid dynamics (CFD) models. This study includes a brief discussion on vapor cloud explosions, and the prediction methods. The focus of this paper is on two the most frequently used simplified prediction methods; TNO Multi-energy (ME) model and Baker-Strehlow-Tang (BST) models.

Keywords: Storage facilities, explosions, TNO ME and BST models.

1. Giriş

Depolama tesislerinde depolanan maddelerde bulunan yanıcı sıvıların açığa çıkması, potansiyel olarak yanıcı gazın oluşmasına neden olur ve olası bir tutuşma esnasında bu gazın patlamasına yol açar. Yaşanan kazalar sonucunda, gaz patlamalarının petrol sanayisi ve maden endüstrisi için ciddi bir tehlike oluşturduğu gözlenmiştir. İngiltere’de 1974 yılında meydana gelen Flixborough tesisinde yaşanan felaketin ardından (Şekil 1), bu tesisleri bekleyen en ciddi tehlikenin, gaz patlamaları olduğu görülmüştür (AcuSafe, 2011, Lenoir ve Davenport, 1992). Gaz patlamalarının neden olduğu yaralanma ve ölümler yanında meydana gelen ciddi ekonomik kayıplar da oldukça önemlidir. Dünyada ve Türkiye’de ekonomik değerleri nedeniyle, petrokimsiyasal sanayi yapılarının güvenliği oldukça önemlidir.

Türkiye’de Petrol Rafinerileri A.Ş.’ne ait (TÜPRAŞ) ve 1960’da Amerikan standardına göre bir Amerikan firması tarafından yapılan İzmit Rafinerisi ülke ekonomisinde önemli bir

yer tutmaktadır. Tüpraş rafinerisi günde 220.000 baril petrol işlemektedir. Bu rakam Türkiye’de işlenen petrolün 1/3’ünü teşkil etmektedir. Rafineri Avrupa’da da 7. büyük rafineri olma özelliğini taşımaktadır (Johnson,2002, Scawthorn ve Johnson, 2000). Ekonomik kayıpların yaşanmamasının yanında çalışanların yaralanmaması, ölmemesi, sanayi yapılarının planlanması sırasında en çok önem verilmesi gereken hususlardandır. Dış mekanlarda gaz patlaması nedeniyle yaralanma ve yaşam kaybı olasılığı düşük olması nedeniyle, araştırmacılar, gaz patlamasının sanayi yapılarının iç mekanlarına olan olası etkileri üzerine çalışmalar gerçekleştirmektedir (Melton ve Marx, 2009). Bu durumda gaz patlamalarının sonucu olarak ortaya çıkan yoğun basıncın yapılardaki etkisini hesaplamak güvenlik aşamasında oldukça önemlidir.



Şekil 1. İngiltere Flixborough Tesisinde 1974’de Yaşanan Patlama (AcuSafe, 2011)

Depolama tesislerindeki olası gaz patlamalarının sonuçlarının önceden tahmin edilmesi, risk değerlendirmesi, planlama aşamasında gerçekleştirilmelidir. Patlamaların etkisinin belirlenmesi, çeşitli deneyler, analitik yaklaşımlar ve matematiksel modeller aracılığı ile geliştirilmektedir (Puttock et al, 2000). Çalışmalarda kullanılan deneysel yaklaşımlar sınırlıdır; çünkü patlama deneyleri oldukça maliyetlidir (Cant et al., 2009).

Bu çalışma kapsamında, gaz patlamaları sonucunda meydana gelen hasar için ön belirleme yöntemleri çerçevesinde detaylı bir değerlendirme sunulmaktadır. Çalışmanın odak noktası, depolama tesislerde meydana gelen hasarın belirlenmesi için kullanılan basitleştirilmiş iki modelin karşılaştırılmasıdır. Bunlar TNO Çoklu Enerji (Multi Energy – ME) modeli ve Baker-Strehlow-Tang (BST) modelleridir. Yapılan karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçlar detaylı olarak sunulmuştur.

2. Meydana Gelen Patlamalar ve Hasarlar

Depolama yapılarında meydana gelen patlamalar, belirli miktarda bulunan yakıtın patlama hasarı olasılığı taşıdığını göstermektedir. Gaz haldeki yakıt, yeterli şekilde kontrol altına alınmazsa, açığa çıkar. Yanıcı maddenin ani şekilde ortaya çıkması halinde gaz patlaması kaçınılmazdır. Borulardaki kaçaklar, depolama kazanları ya da işlem reaktörü kontrolünün eksikliğinden oluşan istenmeyen gaz kaçakları, yapıların hasar görmesine neden olabilir. Yakıtın sızması durumunda hava ile temas söz konusu olur ve yanıcı gaz oluşur. Eğer gaz kütlesi herhangi bir patlama kaynağı ile temasa geçerse yanıcı karışım tutuşma sonucunda tüketilir ve uygun koşullar altında patlayıcı yoğunluğuna ve büyük patlamaya dönüşür. Patlama sonucu oluşan yüksek basınç, patlama alanından dışarıya doğru şiddetli bir dalga halinde yayılır. Ortaya çıkan ateş topu ciddi hasara yol açar ve bu ateş topu aynı zamanda termal radyasyon nedeniyle de oluşabilir. Belli miktarda sivilleştirilmiş gazların bulunduğu herhangi bir işlem ya da yüksek basınç altındaki gazlar patlamaya adaydır (AIChE 1994, 1996, Lees 1996). Gaz yoğunluğunun meydana getirdiği yüksek basınç sonucu hasara yol açması aşağıda belirtilen şartlar halinde gerçekleşir (Lea ve Ledin 2002, Baker, 1996):

a) Ortaya çıkan madde patlayıcı olmalıdır. b) Tutuşmadan önce yeterli ölçüde bir gaz yoğunluğu olması gerekir. Gaz yoğunluğunun az olduğu ya da tutuşmanın erken ortaya çıktığı durumlarda, küçük boyutlarda bir ateş topu oluşur ve ciddi hasara yol açmaz. c) Gazın belirli bir miktarda yanıcı madde açığa çıkarması için hava ile birleşmesi gerekmektedir. Belirli oranda hava ile birleşme gerçekleşmezse dağılıma bağlı ateş topu yüksek basınç oluşturamaz. d) Alevin yayılma hızı, gaz yandıkça artmalıdır. e) Son olarak patlama olması için bir ateş kaynağına ihtiyaç vardır.

3. Hasar Tahmin Yöntemleri

Hasar tahmin yöntemleri, basitleştirilmiş modeller kullanılarak gerçekleştirilir ve bu yöntemler basınç alanının hesaplanması için çeşitli yaklaşımları içerir. Bunlar Navier-Stoken denklemlerinin sayısal olarak çözümü, bazı yan modeller ve patlama reaksiyonlarının verilmesiyle özetlenebilir. Tek bir noktadan ateşlenen gaz henesi ve yeri nedeniyle oluşan yüksek basıncın hesaplanması için gerekli zaman önemlidir (Melton ve Marx, 2009, CCPS, 1989).

Çalışma kapsamında ele alınan hasar tahmin yöntemlerinden Baker-Strehlow-Tang (BST) modeli ve TNO çoklu enerji modeli gibi basitleştirilmiş modeller hasar tahmininde en çok kullanılan modellerdir. Bu modeller, bugüne kadar gerçekleştirilmiş olan çalışmalarından ve yaşanan deneyimlerden elde edilen patlama-hasar ilişkisinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Bunlar patlama basıncı ve patlama merkezinden olan uzaklık gibi eğrilerin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları olduğu için, her yöntem belirli ölçüde farklı hasar durumuna yöneliktir. Basit yöntemler sanayi tesisleri analizleri için sıklıkla kullanılır. Bu yöntemler, patlama yükünün hesaba katılarak yapıldığı tahminler için kullanılan en iyi yöntemlerden değildir, çünkü basitleştirilmiş yöntemlerle ekipman detaylarını hesaba katmak olası değildir. Ancak, basitleştirilmiş yöntemler, diğer yöntemlere göre daha hızlı ve hatasız sonuçlar verir. Basitleştirilmiş yöntemlerin hızlı olmaları, daha fazla zaman alan yaklaşımlara oranla büyük avantaj sağlar (CCPS, 1989).

4. Basitleştirilmiş Yöntemler

Basitleştirilmiş yöntemler, aynı zamanda deneysel yöntemler olarak bilinirler ve deneylerden elde edilen sonuçların analizindeki ilişkilerine dayanırlar. Bu modeller: havalandırma modeli, TNT modeli, TNO modeli, TNO Çoklu Enerji Modeli, BST Modeli, CA Modeli ve Sedgwick Zarar Değerlendirme modelleridir. Bu çalışmada kullanılmış olan TNO çoklu enerji modeli ve Baker-Strehlow-Tang (BST) modeli en çok kullanılan patlama yükü tahmin yöntemlerindedir (Baker et al. 1997, Tang ve Baker 1999, Park ve Lee 2009).

4.1. TNO Çoklu Enerji (ME) Modeli (Multi-Energy)

TNO Çoklu Enerji (ME) Modeli (TNO ME) yapılan çalışmalarda giderek daha çok kabul görmeye başlamıştır. Model, basit ve pratik çözümler sunmaktadır (Mercx, 2000). Çoklu enerji yaklaşımı, patlamada basınç oluşturan yanıcı gazın sadece bir kısmının engellenmiş patlama enerjisini oluşturduğu varsayımı üzerine kurulmuştur (Mercx, 2000, Van den Berg 1985, Van den Berg ve Lannoy 1993, Van den Berg, ve Versloot 2003). Patlama esnasında açığa çıkan enerjinin $3.1 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ olduğu kabul edilmiştir (Bodhurtha, 1980). Patlama sonucu oluşan TNO ME doğru aileleri Şekil 2’de gösterilmiştir (AIChE, 1994). TNO ME doğru ailelerini meydana getiren denklemdeki parametreler Sach’in ölçeklendirme yöntemi ile basınç ve uzaklık kullanılarak boyutsuzlandırılmıştır. Bunlar boyutsuz yüksek basınç patlama enerjisi ile ölçülmüş uzaklığına bağlıdır (Denklem 1).

$$\bar{R} = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} \quad (1)$$

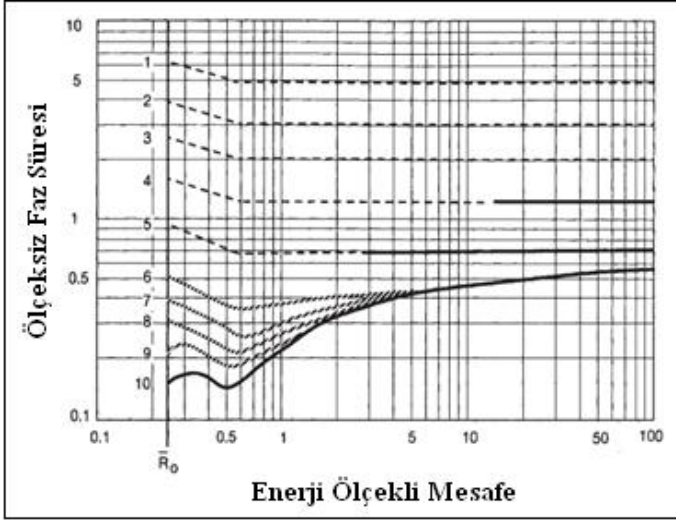
\bar{R} : boyutsuz patlama enerjisi ölçekli uzaklık, R: m cinsinden alanın kenarından olan uzaklık, P_0 : J/m^3 cinsinden

ortalama atmosferik basınç ve E: Jolues cinsinden toplam enerjidir. Yüksek basınçın tepe noktası $\overline{\Delta P_S}$ (N/m²) Denklem 2'deki gibi hesaplanabilir:

$$\overline{\Delta P_S} = \Delta P_S / P_0 \quad (2)$$

$\overline{\Delta P_S}$: Tepe noktasındaki boyutsuz yüksek basınçtır. Bu, Şekil 2'de verilen doğru aileleri ile R'nin hesaplanması ile bulunur. t_t zaman süreci Denklem 3 ile hesaplanabilir. C_0 : m/s cinsinden atmosferdeki ses hızıdır.

$$\overline{t_t} = \frac{t_t C_0}{(E / P_0)^{1/3}} \quad (3)$$



Şekil 2. Patlama sonucu oluşan doğru aileleri (AICHE, 1994)

4.2. Baker-Strehlow-Tang (BST) Modeli (Baker-Strehlow-Tang)

Baker-Strehlow-Tang (BST) modeli ilk olarak Baker vd. tarafından oluşturulmuş ve daha sonra aynı kişiler tarafından geliştirilmiştir (Melton ve Marx, 2009, Baker et al. 1997). Bu modelin TNO çoklu enerji modeli ile yakın benzerlikleri vardır. TNO çoklu enerji modelinde olduğu gibi bu model de boyutsuz basınç ve gaz patlama merkezinden enerji öçeşli uzaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Boyutsuz ve yanma enerji öçeşli mesafe arasındaki grafiksel ilişkiyi oluşturmakta kullanılan model, TNO modelinde kullanılanlardan farklıdır. BST modelinde kullanılan eğriler, Şekil 3'de görüldüğü üzere, sabit ve artan hızlı patlamaların sayısal olarak modellenmesine dayanır (Cates ve Samuels, 1997). Bu yöntem ile birlikte patlamanın dalga gücü gaz içinde elde edilen maksimum alev hızı ile doğru orantılıdır. Böylece, Şekil 3'deki her bir eğri alev hızı ile işaretlenmiştir. Tablo 1'deki modellenmiş olan belli bir durum için uygun kabul edilen alev hızı seçilebilir.

Dikkate alınması gereken ilk önemli nokta, yakıt reaksiyonudur. Daha sonra, blokaj yoğunluğu dikkate alınmalıdır. Alandaki blokaj oranı %10'un altında ise, blokaj oranı düşük; %10-%40 arasında ise blokaj oranı orta düzeyde; %40'ın üzerinde ise blokaj oranı yüksektir (Tablo 2).

Tablo 3'de verilen yaklaşımların analizlerde dikkate alınması gerekir. Alev genişlemesi üç boyutlu olarak kabul edilmektedir. Açıklıklar iki boyutludur. Boru, menfez ya da kanalizasyon sistemleri tek boyutlu sayılır (Melton ve Marx 2009, Bodhurtha 1980).

Tablo 1. Ateşleme kaynakları için Mach sayısı ile belirlenen alev hızı

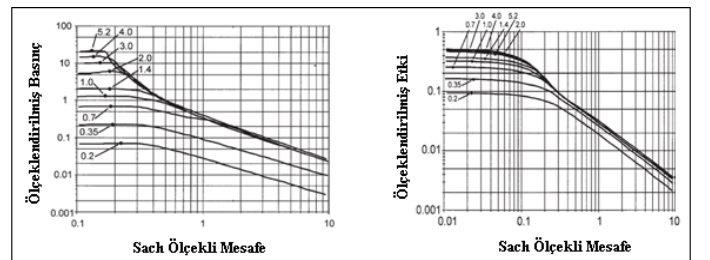
Alev Genişlemesi	Yakıt Reaksiyonu	Blokaj Yoğunluğu		
		Düşük	Orta	Yüksek
Tek Boyutlu	Yüksek	5.20	5.20	5.20
	Orta	1.03	1.77	2.27
	Düşük	0.29	1.03	2.27
2 Boyutlu	Yüksek	0.59	1.03	1.77
	Orta	0.47	0.66	1.60
	Düşük	0.08	0.47	0.66
3 Boyutlu	Yüksek	0.36	0.15	0.59
	Orta	0.11	0.44	0.50
	Düşük	0.03	0.23	0.34

Tablo 2. BST Modeli için Blokaj Yoğunluğu (AICHE 1994, Baker, 1997)

Tip	Engellenme Oranı	Tabakalanım Sayısı	Geometri
Düşük	%10'dan düşük	Bir veya İki	
Orta	%10-%40 arasında	İki veya Üç	
Yüksek	%40'dan fazla	Üçten fazla	

Tablo 3. BST Modeli için Kısıtlama Hususları (AICHE 1994, Baker, 1997)

Boyut	Tanım	Geometri
3 Boyutlu	Alev genişlemesi	
2 Boyutlu	Çok Açıklıklı	
Tek Boyutlu	Boru, menfez ya da kanalizasyon sistemleri	



Şekil 3. Gaz Patlamaları için BST Modeli (AICHE 1994, Baker, 1997)

4.3. TNO ME ve BST Modellerinin Karşılaştırılması

TNO ME ve BST modelleri birçok yönden benzerlik gösterirler. Her iki modelde de enerji kaynağı sıkışık ya da kısmen sınırlı bir bölgede yanıcı gaz ile tanımlanır (AIChE 1996, Baker, 1997). Her iki model de, enerji ölçekli uzaklığın bir fonksiyonu olan boyutsuz basınca dayanır. Ancak, bazı farklılıklar da mevcuttur. Örneğin, Denklem 1, her iki model için de ölçekli mesafe hesaplamak üzere verilmiş olmasına rağmen, R parametresinin tanımı iki denklem için farklıdır. 'R', TNO ME modelinde patlama merkezine olan mesafe olarak tanımlanırken; BST modelinde blokaj merkezinden olan uzaklıktır.

BST modeli için alev hızı ya da TNO ME modeli için ilk patlama gücü ampirik yaklaşımlar ile belirlenir (Melton ve Marx, 2009, Lobato et al, 2006, Park ve Lee, 2009). Her iki modelde de patlamanın gücü, reaksiyonun blokaj derecesi ve yanıcı maddenin reaksiyonu olarak ortaya konur. Daha sonra, kullanılan yöntemlere göre, hangi güç eğrisinin ya da alev hızının patlama durumunda ortaya çıkan basıncı hesaplamakta kullanılacağı belirlenir. Boyutsuz basınç ve yanma enerjisi ölçekli mesafe arasında grafiksel ilişki oluşturmak için kullanılan yöntem tüm modeller için farklıdır (Cooper, 1986).

HASAR TESBİTİ

Hasar Tesbiti bölümünde, meydana gelecek patlama ile oluşacak hasarın tahmini üzerinde durulmuştur. Meydana gelecek hasar, TNO ME ve BST modelleri ile hesaplanabilir. Olası bir güvenlik açığının tahmini, yüksek basınç ve ilgili etkilerin doğrudan ilişkilendirilmesi ile gerçekleştirilebilir. Güvenlik açığını belirleme ile ilgili yaklaşımlar genellikle olasılıklı yaklaşımları içerir. Bu çalışmada, literatürde 'Probit' adı verilen Olasılık Ünitesi yöntemi uygulanmıştır. Denklem 4, P'nin olasılığı ve değişken Y'nin probiti arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Naamansen, 2002).

$$P = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_{-\infty}^{Y-5} e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (4)$$

Sonuç olarak, ortalaması 5 ve standart sapması 1 olan 'Probit' adı verilen olasılık ünitesinin dağılımı elde edilmiştir. Tablo hesaplamaları için daha yararlı bir ifade olan 'Frör', 'Probit' in yüzdesel olarak tanımlanmasıdır ve Denklem 5 'de verilmiştir.

$$P = 50 \left[1 + \frac{Y-5}{|Y-5|} \operatorname{ERF} \left(\frac{|Y-5|}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (5)$$

Hasar analizi için ise Denklem 6 kullanılmaktadır.

$$Y = k_1 + k_2 \ln V \quad (6)$$

Bu denklemde, k_1 ve k_2 sabitleri ve V hasar etken faktörü yoğunluğunu ifade etmektedir. Patlama sırasında, değişken V, N/m^2 olarak basıncı ifade eder. Patlama etkileri için verilen k_1 ve k_2 ampirik sabitleri verilmiştir. Çalışanlar üzerinde meydana gelebilecek kulak zarı yırtılması, akciğer kanaması ile ölüm gibi sonuçlar ve sanayi yapılarında meydana gelebilecek yapısal hasarlar da Tablo 4'de özetlenmiştir.

Tablo 4. Probit Değişkenler: k_1 ve k_2 (Naamansen, 2002)

Probit Parametreler	Kulak zarı patlaması	Akciğer kanamasından ölüm	Yapısal hasar
k_1	-15.6	-77.1	-23.8
k_2	1.93	6.91	2.92

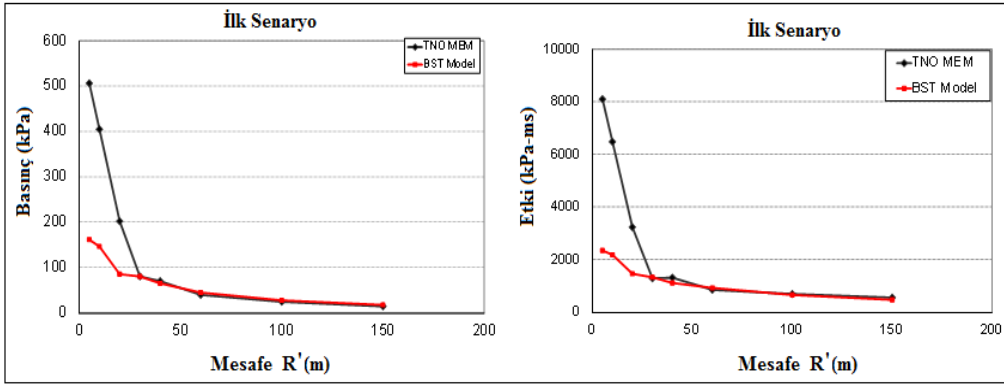
6. Hasar Belirleme Senaryoları

Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarda, depolama tesisleri için iki çeşit patlama senaryosu ortaya atılmıştır. Bu senaryolar, 11.000 m^3 hacminde sırasıyla etil ve propanın serbest bırakılması ile oluşturulmuştur. Birinci senaryo etilenin serbest kalması hali içindir. Bu senaryoda, yüksek basınç tahminleri için blokaj ve üç boyutlu alev genişlemeleri dikkate alınmıştır. Bu senaryo genellikle 80 cm/s hızla yanan etilen için kullanılır. %100 patlama enerjisi ile TNO ME ve BST modelleri için sırasıyla $3.85E+10 \text{ Joule}$ ve $7.14E+10 \text{ Joule}$ olarak tahmin edilir. TNO ME modelinin önem düzeyi 10 olarak belirlenmiş ve BST modeli için alev hızı 5.2 Mach 'dır.

İkinci senaryo, propanın serbest kalması hali içindir. Yüksek basınç altındaki hasar tahminleri için blokaj ve 3 boyutlu alev genişlemeleri dikkate alınmıştır. Bu senaryo genellikle 45 cm/s hızla yanan bir propan için kullanılır. TNO ME modelinde bu %20 patlama enerjisi olarak kabul edilir. TNO ME'de önem düzeyi 6 olarak alınır. BST modelinde tahmin edilen alev hızı 0.44 Mach 'dir.

Bu çalışma kapsamında farklı mesafeler için basınç değerleri TNO ME ve BST modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu iki model ile hesaplanan kulak zarı yırtılması, akciğer kanaması sonucu meydana gelen ölümler ve yapısal hasar düzeyleri elde edilmiştir. Tablo 5 ve 6 ilk senaryo için, Tablo 7 ve 8 de ikinci senaryo için basınç altındaki çalışanların kulak zarı yırtılması ve akciğer kanamasına bağlı ölümleri ve R mesafesindeki yapısal hasar değişkenlerini göstermektedir. Şekil 4'de ilk senaryodaki basınç ve etki değişikliği verilmiştir. Kulak zarı yırtılması ve akciğer kanamasına dayalı ölüm ve yapısal hasar Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 6'da ikinci senaryodaki basınç ve etki değişikliği verilmiştir. Kulak zarı yırtılması ve yapısal hasar Şekil 7'de verilmiştir.

Birinci senaryoda, TNO ME ve BST modellerinde yapıda önemli hasar ve çalışanlar üzerinde önemli etkiler olduğu gözlenmiştir. Tahmin edilen basınç değerleri düşük mesafede oldukça yüksektir. Düşük mesafede iki model arasında farklılıklar olduğu görülebilir. BST modeline kıyasla, TNO ME modeli düşük mesafelerde daha anlamlı basınç değerleri öngörmüştür. Analiz sonuçlarına bakıldığında TNO ve BST modelleri arasında yakınlık gözlenmektedir. Her iki model ile öngörülen kulak zarı yırtılması ve yapısal hasar 60 m 'den daha yüksek mesafeler için oldukça azdır. 30 m 'den fazla mesafelerde her iki modelde de akciğer kanamasına bağlı ölüm gözlenmemektedir.



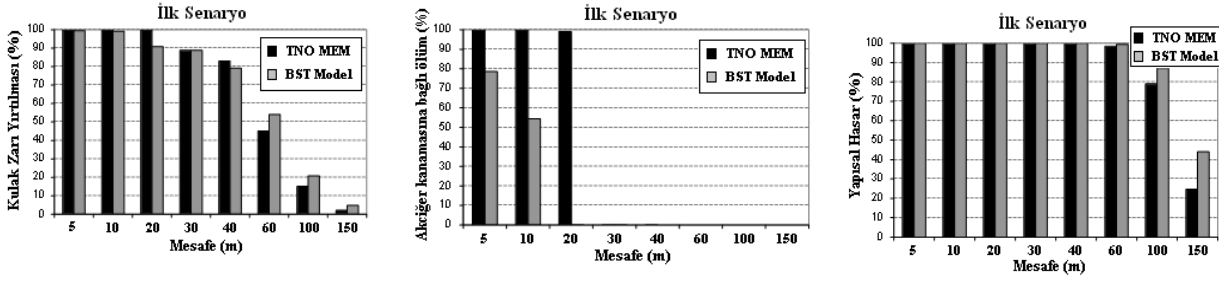
Şekil 4. İlk senaryoda yüksek basıncın ve etkinin mesafe ile değişimi

Tablo 5. İlk senaryoda TNO ile basınç, kulak zarı yırtılması Akciğer kanamasına bağlı ölüm ve yapısal hasar yüzdesinin mesafe ile değişimi

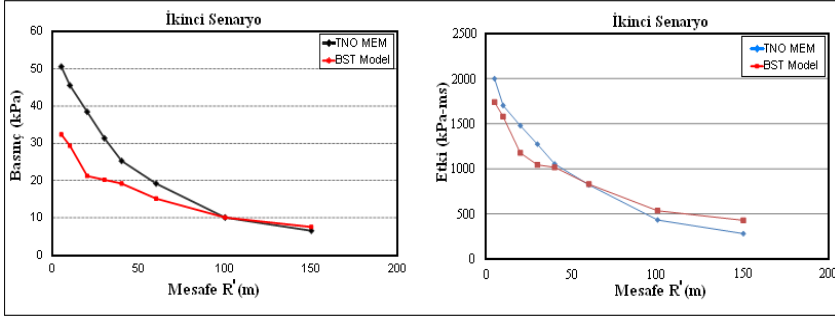
R' (m)	P (kPa)	I (kPa-ms)	Kulak Zarı Yırtılması (%)	Akciğer Kanamasına Bağlı Ölüm (%)	Yapısal Hasar (%)
5	506.76	8105.28	100.0	100.0	100.0
10	405.41	6484.23	100.0	100.0	100.0
20	202.70	3242.11	99.9	99.0	100.0
30	81.082	1296.84	88.8	0.0	100.0
40	70.94	1323.86	83.1	0.0	100.0
60	40.54	864.56	45.1	0.0	98.5
100	25.33	702.45	15.1	0.0	79.0
150	15.20	567.37	2.2	0.0	24.7

Tablo 6. İlk senaryoda BST ile basınç, kulak zarı yırtılması Akciğer kanamasına bağlı ölüm ve yapısal hasar yüzdesinin mesafe ile değişimi

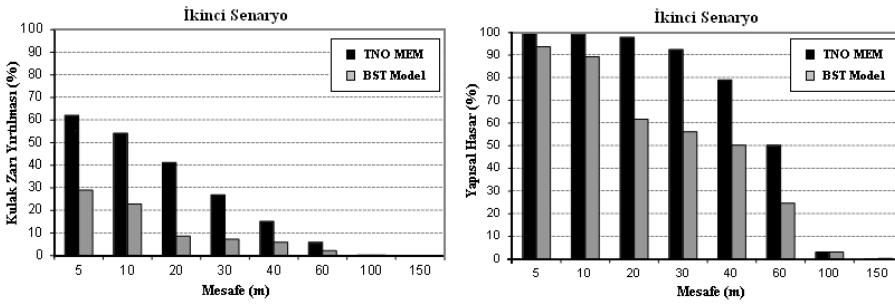
R' (m)	P (kPa)	I (kPa-ms)	Kulak Zarı Yırtılması (%)	Akciğer Kanamasına Bağlı Ölüm (%)	Yapısal Hasar (%)
5	162.16	2354.14	99.5	78.6	100.0
10	146.96	2193.63	99.1	54.4	100.0
20	86.14	1471.34	90.8	0.0	100.0
30	81.08	1337.58	88.8	0.0	100.0
40	65.87	1123.56	79.2	0.0	100.0
60	45.60	936.30	54.1	0.0	99.4
100	28.37	668.79	20.8	0.0	87.3
150	18.24	481.52	4.8	0.0	44.0



Şekil 5. İlk senaryoda kulak zarı yırtılması, akciğer kanamasına bağlı ölüm yüzdesinin ve yapısal hasar değişim yüzdesinin mesafe ile değişimi



Şekil 6. İkinci senaryoda yüksek basınç ve etkinin mesafe ile değişimi



Şekil 7. İkinci senaryoda kulak zarı yırtılması, yapısal hasar yüzdesinin mesafe ile değişimi

Tablo 7. İkinci senaryoya göre TNO ile basınç, kulak zarı yırtılması akciğer kanamasına bağlı ölüm ve yapısal hasar yüzdesinin mesafe ile değişimi

R' (m)	P (kPa)	I (kPa-ms)	Kulak Zarı Yırtılması (%)	Akciğer Kanamasına Bağlı Ölüm (%)	Yapısal Hasar (%)
5	50.67	1999.30	62.1	0.0	99.8
10	45.60	1702.11	54.1	0.0	99.4
20	38.51	1478.40	41.2	0.0	97.9
30	31.41	1273.07	26.9	0.0	92.4
40	25.33	1053.68	15.1	0.0	79.0
60	19.25	821.33	5.9	0.0	50.2
100	10.13	432.28	0.3	0.0	3.1
150	6.58	280.98	0.0	0.0	0.1

Tablo 8. İkinci senaryoya göre BST ile basınç, kulak zarı yırtılması Akciğer Kanamasına Bağlı Ölüm ve Yapısal Hasar yüzdesinin mesafe ile değişimi

R' (m)	P (kPa)	I (kPa-ms)	Kulak Zarı Yırtılması (%)	Akciğer Kanamasına Bağlı Ölüm (%)	Yapısal Hasar (%)
5	32.43	1738.85	29.0	0.0	93.7
10	29.39	1578.34	22.8	0.0	89.3
20	21.28	1177.07	8.6	0.0	61.7
30	20.27	1043.31	7.2	0.0	56.2
40	19.25	1016.56	5.9	0.0	50.2
60	15.20	829.30	2.2	0.0	24.7
100	10.13	535.03	0.3	0.0	3.1
150	7.60147	428.02651	0.0	0.0	0.3

7. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, depolama tesislerinde meydana gelen patlama ve ön belirleme yöntemleri tartışılmıştır. Çalışmanın odak noktası en sık kullanılan iki ön belirleme modeli üzerinedir: bunlar TNO çoklu enerji ME ve Baker-Strehlow-Tang (BST) modelleridir.

Çalışmada, bir petrokimya tesisi için iki patlama senaryosu ele alınmıştır. Birinci senaryo için etilenin serbest bırakılması ve ikinci senaryo için propanın serbest bırakılması durumunda birimin gaz ile dolduğu varsayılmıştır. TNO ME ve BST modelleri kullanılarak yüksek basınç patlamaları ve etki değerleri hesaplanmıştır. Her iki model patlama sırasında oluşan yüksek basınç, etki, yapısal tepki ve hasarın dağılımı açısından karşılaştırılmaktadır.

TNO ME yöntemi kısa mesafedeki BST modeline göre her iki senaryo için yüksek basınç değerlerini daha yüksek düzeyde belirlemiştir. Bununla birlikte, uzak mesafede TNO ME ve BST modelleri arasında benzerlik görülmüştür. TNO ME modeli ile hesaplanan kırılma ve yapısal hasarlar özellikle kısa mesafede BST modeline göre yüksektir.

Kaynaklar

- “AcuSafe 2011”, <http://www.acusafe.com/Incidents/Flixborough1974/incident-flixborough1974.html>, erişim tarihi: Ekim, 2011.
- American Institute of Chemical Engineers, AIChE: Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs, NY, 1994.
- American Institute of Chemical Engineers, AIChE: Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires, New York, 1996.
- American Institute of Chemical Engineers, CCPS: (Center for Chemical Process Safety) Guidelines for chemical process quantitative risk analysis, New York, 1989.
- Baker, Q. A., Tang, M. J., Scheier, E. A., ve Silva, G.J., “Vapor Cloud Explosion Analysis”, Process Safety Progress, Volume 15, 106, 1996.
- Baker, Q., Doolittle, AC.M., Fitzgerald, G.A., ve Tee M., “Recent Developments in the Baker–Strehlow VCE Analysis Methodology”, Proc 31st AIChE Annual Loss Prevention Symposium, Houston, TX, March 10–13, 1997.
- Bodhurtha, FP., Industrial Explosion Prevention and Protection, NewYork,1980.

- Cates, A.T., and Samuels, B., “A simple assessment methodology for vented explosions”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, V 4, 287-296, 1991.
- Cant, R. S., Dawes W. N., ve Savill, A. M., “Advanced CFD and modeling of accidental explosions”, Annual Review of Fluid Mechanics, Volume 36, 97-119, 2004.
- Cooper, M.M G., Fairweather, J. ve Tite, P., “On the mechanism of pressure generation in vented explosions”, Combustion and Flame, 65, 1-4, 1986.
- Lea, C.J., ve Ledin, H.S., “A Review of the State-of-the-Art in Gas Explosion Modeling”, Health and Safety Laboratory Report, Fire and Explosion Group, 2002.
- Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, 2nd ed., Oxford: Butterworth Heinemann, 1996.
- Lenoir, E.M., ve Davenport, J.A., "A Survey of Vapor Cloud Explosions-Second Update", 26th Loss Prevention Symposium, AIChE, 1992.
- Lobato, P., Cañizares, M.A., Rodrigo, C., Sáez, J.J. ve Linares, A., “Comparison of Hydrogen Cloud Explosion Models and The Study of The Vulnerability of The Damage Caused by An Explosion of H₂”, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 31, 1780–1790, 2006.
- Johnson, G.S., “Refinery Damage and Emergency Response in the 1999 Izmit, Turkey Earthquake”, CA state land comission, prevention first symposium, 2002.
- Mercx, WP, Van der Berg, AC, Hayhurst, CJ, Robertson, CJ, ve Moran, KC., “Developments in Vapour Cloud Explosion Blast Modeling”, Journal of Hazardous Materials, Volume 71, 301-19, 2000.
- Melton, T.A., ve Marx, J.D., “Estimating Flame Speeds for Use with the BST Blast Curves”, Process Safety Progress, Vol. 28, No 1, 2009.
- Naamansen, P., An Experimental and Computational Study of Gas-Particle Flow in Circulating Fluidised Reactors, Ph.D. Thesis, Aalborg University, Denmark, 2002.
- Park, D.J., ve Lee, Y.S., “A Comparison on Predictive Models of Gas Explosions”, Korean J. Chem. Eng., Volume 26, No 2, 13-323, 2009.
- Puttock, J.S., Yardley, M.R., ve Cresswell, T.M., “Prediction of vapour cloud explosions using the SCOPE model”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 13, Number 3, 419-431, 2000.
- Scawthorn, C., ve Johnson G. S., “Preliminary Report; Kocaeli (Izmit) Earthquake of 17 August 1999”, Engineering Structures, Volume 22, No 7, 2000.
- Tang, M.J., ve Baker, Q.A., “A new set of blast curves from vapor cloud explosions”, Proc. 33rd AIChE Loss Prevention

- Symposium, Paper 29e, American Institute of Chemical Engineers, Houston, TX, ABD, 1999.
- Van den Berg, J., "Comparison of blast prediction models for vapor cloud explosion", *Journal of Hazardous Materials*, Volume 12, No 1, 1985.
- Van den Berg, J., ve Lannoy, A. J., "Methods for vapour cloud explosion blast modelling", *Journal of Hazardous Materials*, Volume 34, 151-171, 1993.
- Van den Berg ve Versloot, A., "The multi-energy critical separation distance", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 16, No 2, 111-120, 2003.