

## PETROKİMYASAL TESİSLERİNDEKİ DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK DAVRANIŞIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali SARI<sup>1</sup> ve Armağan KORKMAZ<sup>2</sup>

### ÖZET

1999 Kocaeli, 1964 Niigata, 1964 Alaska depremlerinde ve diğer birçok büyük depremde petro kimyasal tesislerde yaşanan sarsıntılar sonucu büyük hasarlar meydana gelmiştir. Son olarak ülkemizde yaşanan 1999 depremi sonrasında Tüpraş rafinerisinde büyük hasarlar gözlenmiştir. Tüpraş rafinerisi 1960 yılında Amerikan standardına göre inşa edilmiştir. Deprem sırasında meydana gelen yangın sebebiyle de büyük ekonomik kayıplar meydana gelmiştir. Özellikle tesisin liman kısmında, depolama tanklarında, soğutma kulelerinde, yığılma alanlarında, petrol işleme alanlarında meydana gelen hasarlar, ekonomik açıdan büyük kayıplara neden olmuştur. Tesislerde toksik olmayan ve olan kimyasal malzemelerin depolanmasında kullanılan büyük depolama tanklarının deprem sırasında hasar görmesi sağlık, emniyet ve ekonomik açıdan büyük problemlere yol açabilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Depolama tanklarında depremler sebebiyle meydana gelebilecek hasarlar kontrol altına alınamayacak yangınlara neden olabilir. Bu yangınlar da yakındaki depolama ve üretim tesislerine sıçrayarak meydana gelecek hasarın derecesini arttıracaktır. Bu çalışma Tüpraş rafinerisinde deprem sırasında oluşan hasar hakkında detaylı bilgi ve gözlemleri içermektedir. Bunun yanında Amerika Birleşik Devletinin batı kıyısındaki petrol tesisleri için de önemli tavsiyeler ve değerlendirilmeler içermektedir

**Anahtar Sözcükler:** Petro Kimyasal Tesisler, Tüpraş, depolama tankları

## SEISMIC ANALYSIS OF ABOVE GROUND LARGE STORAGE TANKS IN PETROCHEMICAL FACILITIES

### ABSTRACT

Petrochemical facilities suffered great damage during earthquakes due to the strong ground shaking, and because of the extensive uncontrolled fires caused by the earthquakes. 1999 Kocaeli (Turkey), 1964 Niigata (Japan), 1964 Alaska earthquakes caused significant damage to petrochemical facilities. Tupras oil refinery, which was designed and constructed in 1960s according to the U.S. standards of that time, suffered significant damage after the Kocaeli earthquake. The strong shaking damage and the resulting fire damage to the Tupras refinery included port facilities, storage tanks, cooling towers, stacks, and crude-oil processing units. Large above ground tanks used as storage facilities for fluids ranging from non-toxic, inflammable liquids to highly toxic and flammable chemicals are of special importance. Failure of the storage tanks due to an earthquake may cause uncontrolled fires which ignite adjacent tanks and buildings, and spillage or clouds of toxic chemicals may cause much more damage than the earthquake itself. In this paper, the response of a large storage tank in petrochemical to seismic loads is studied. A state-of-the-art for the storage tank to earthquake loads is established. This review has showed that there are significant structural works to do. Moreover an important evaluation is realized for petrochemical facilities in USA.

**Key words:** Petro Chemical Facilities, Tüpraş, Storage Tanks

<sup>1</sup> ABS Mühendislik Firması, San Antonio, TX 78232

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Isparta

## GİRİŞ

Yerleşim alanlarına yakın odaklı büyük ölçekli depremler mevcut yapıların hasar görmesini, ekonomik ve hayatsal kayıplar yaşanmasını da beraberinde getirmektedir. Son zamanlarda ülkemizde meydana gelen depremlerde ekonomik değeri büyük olan mevcut yapılarda büyük hasarlar oluşabilir. Dünya genelinde meydana gelen depremler sonucunda mevcut olan petro kimyasal tesislerde hem deprem hem de deprem sonucu çıkan yangınlar nedeniyle büyük hasarlar gözlenmiştir. Petro kimyasal tesislerde hasar meydana gelmesine sebep olan depremler şöyledir:

- 1933 Long Beach ( $M_s=6.3$ ), California, ABD
- 1960 Chile ( $M_w=9.5$ ), Şili
- 1964 Alaska ( $M_w=9.2$ ), Alaska, ABD
- 1964 Niigata ( $M_w=7.6$ ), Japonya
- 1978 Miyagi-Oki ( $M_w=7.5$ ), Japonya
- 1999 Kocaeli ( $M_w=7.4$ ), Türkiye
- 2003 Tokachi-Oki ( $M_j=8.0$ ), Japonya,

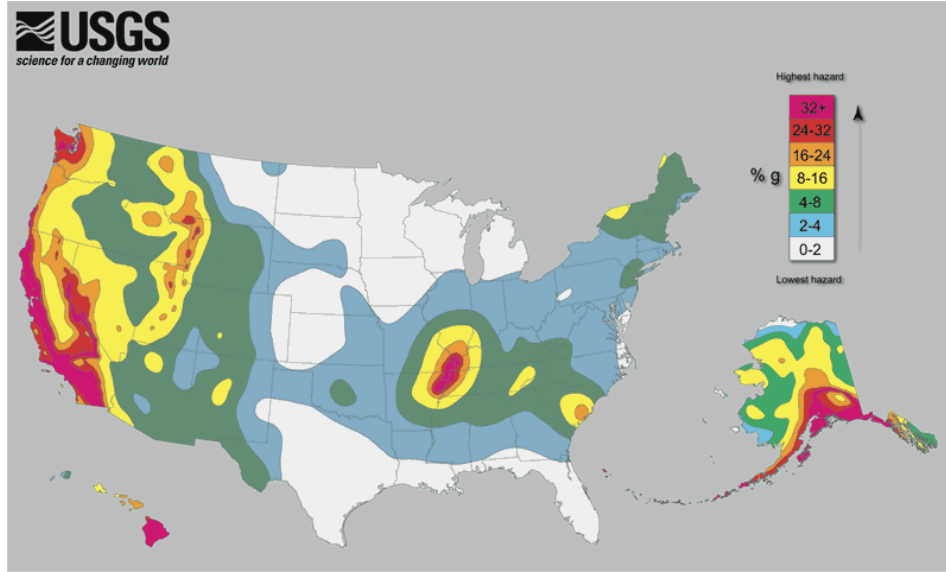
Bugüne kadar meydana gelen depremlerde Petro kimyasal tesislerde gözlenen hasarlar, yapıların göçmesi, depolama tanklarının, iletim tesislerinin, soğutma kulelerinin, yığılma alanlarının, petrol işleme alanlarının hasar görmesi şeklinde sıralanabilir. Yapıların hasar görmesi sırasında çeşitli sebeplerle meydana gelen yangınlarda hasar seviyeleri oldukça artmıştır.

1964 Niigata, 1999 Kocaeli ve 2003 Tokachi-Oki depremleri sırasında büyük hasarlar meydana gelmiş bu hasarlar büyük ekonomik kayıplara yol açmıştır. Bir bölgede meydana gelen yangınlar diğer komşu alanlara sıçramış ve böylelikle hasar seviyesi sadece depremde meydana gelmesi gereken hasara göre çok daha büyük olmuştur. 1964 Alaska depreminde kimyasal malzemelerin depolandığı tanklar, taşındığı iletim hatları işlemez olmuştur (Akatsuka ve Kobayashi, 2007).

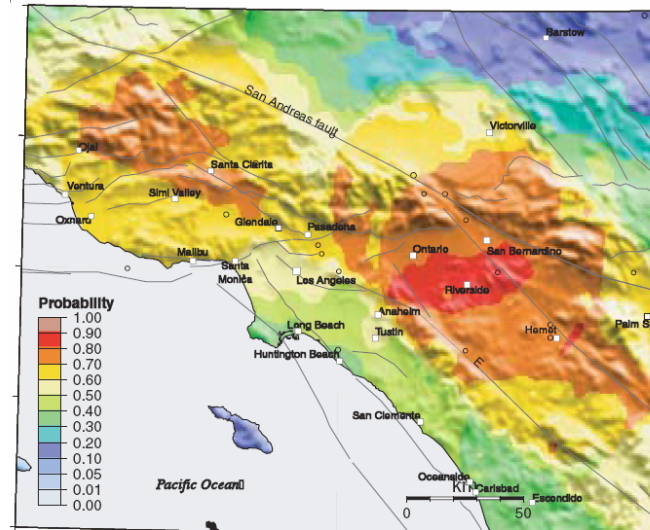
## BATI AMERİKA'DAKİ SİSMİK RİSK

Amerika'da Orta düzeyde ve yüksek deprem riski altında bulunan yapılarda büyük bir deprem meydana gelme ihtimali, büyük bir patlama meydana gelme ihtimalinde göre çok daha fazladır. Güney California Deprem Araştırma Merkezindeki araştırmacılara göre San Andreas fayı üzerinde meydana gelecek 7.0 ve üzeri büyüklükteki bir deprem sonucunda enerji ve su sağlayan bir çok tesiste hasar oluşma ihtimali oldukça yüksektir ki böyle büyük bir deprem 2024 yılından önce beklenmektedir. 1989 Loma Prieta depreminden sonra yapılan araştırmalar göstermiştir ki, 2032 yılına kadar California bölgesinde 6.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelme olasılığı %62 civarındadır.

Amerika için gerçekleştirilen sismik hasar haritası, Şekil 1'de sunulmuştur. Şekil 1'den de görüleceği üzere, batı Amerika büyük deprem riski altındadır. Şekil 2'de, güney California'da büyüklüğü 6.5'den fazla 30 yıl içindeki olası depremler verilmiştir. Kaynaktan 50 km mesafeli 6.5 büyüklüğündeki depremler büyük hasarlara sebebiyet verebilecektir (Akinci ve Kilic, 2002).



Şekil 1. Amerika İçin Gerçekleştirilen Sismik Hasar Haritası (USGS, 2002)



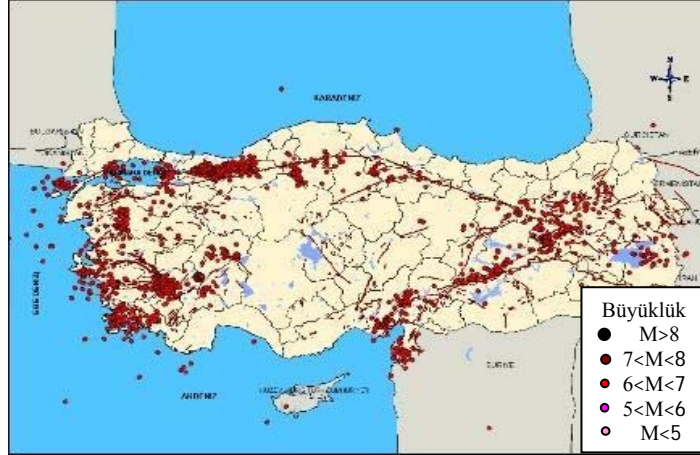
Şekil 2. Güney California'da Büyüklüğü 6.5'den Fazla 30 Yıl İçindeki Olası Depremler (Harmsen & Leyendecker, 2006)

### KUZEY ANADOLU'DAKİ SİSMİK RİSK

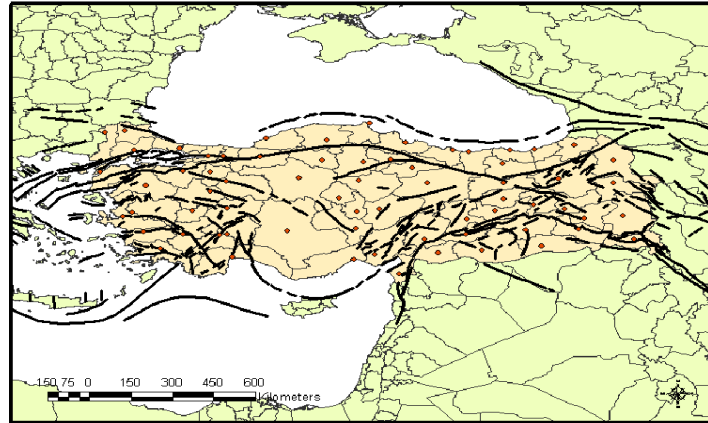
Türkiye 1999 yılında meydana gelmiş olan iki depremde çok büyük yaralar almıştır. Deprem bölgelerindeki mevcut yapı stokunun büyük çoğunluğu yıkılmış veya çok büyük hasar almıştır. Bu depremlerde 40.000'den fazla kişi hayatını kaybetmiştir. 17 Ağustos 1999 depreminin büyüklüğü 7.4'dür. Bu 1906 San Francisco depreminden bu yana meydana gelmiş olan en büyük depremdir. 45sn sürmüş, 50.000'den fazla yapıda hasar meydana gelmesinde sebep olmuştur. Deprem, 900 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu fayının Sapanca-İzmit segmentindeki kırılma sebebiyle meydana gelmiştir. Kuzey Anadolu fay hattı, California'daki San Andreas fayı ile oldukça benzer özellikler göstermektedir. Bu da iki fay hattı arasında benzeşim kurulabilmesini sağlamaktadır (Barka, 2000).

Anadolu'da 1900'ler öncesine dayanan uzun bir deprem geçmişi vardır. Şekil 3'de Ulusal Kuvvetli Yer Hareketleri Kayıt Şebekesi Veritabanının Uluslararası kriterlere göre derlenmesi verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi özellikle Batı Anadolu oldukça yoğun sismik aktiviteye sahiptir. Bu sebeple Türkiye'de depreme dayanıklı yapı tasarımı oldukça önemlidir. Anadolu'daki depremler, Avrasya plakası, Afrika plakası, Arap plakası ve Anadolu plakasının hareket etmesinden

kaynaklanmaktadır. Arap, Afrika ve Avrasya plakası birbirlerine doğru hareket ettikçe Anadolu plakası arada sıkışmaktadır. Şekil 4’de Anadolu fay hatları verilmiştir. Kuzey Anadolu fay hattındaki hareket Türkiye’deki bir çok depremin kaynağı olmuştur. 1509 İstanbul depremi, 1556 Marmara depremi ve 1776 ve 1894 İstanbul depremleri örnek olarak verilebilir. 1900 sonrası Anadolu deprem verilerine ulaşmak çok daha mümkündür. Tablo 1’de bu depremler verilmiştir. Tüpraş rafinerisi, 1999 Kocaeli depreminde büyük hasar almış ve Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde bulunan birçok ekonomik değeri olan yapı yıkılmış veya büyük hasar almıştır. Kuzey Anadolu Fay hattı Türkiye’de aktif halde bulunan en önemli deprem hattıdır.



Şekil 3. Türkiye’de Meydana Gelmiş Deprem Merkezleri ve Büyüklükleri (Sari, 2003)

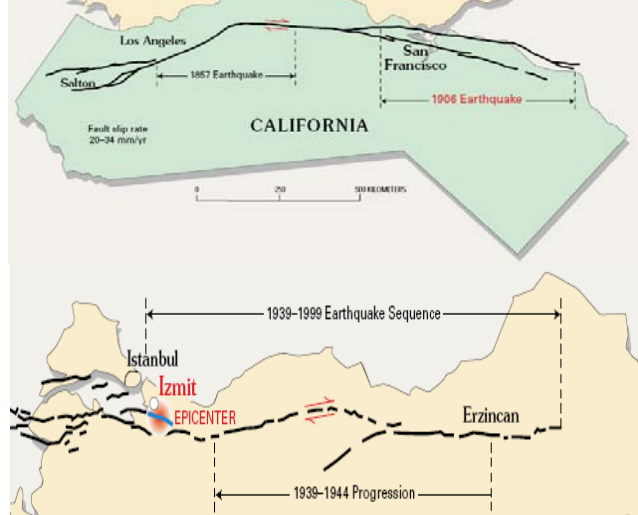


Şekil 4. Türkiye’de Mevcut Fay Hatları (Sari, 2003)

Tablo 1. Türkiye’deki Büyüklüğü 7’den Fazla Olan Depremler

YIL	MERKEZ	Büyüklük
1903	Ardahan	7.1
1939	Erzincan	7.9
1942	Niksaa	7.1
1943	Tosay	7.6
1944	Bolu Gerede	7.3
1957	Bolu Abant	7.0
1967	Mudurnu	7.1
1999	İzmit gölcük	7.4
1999	Bolu Düzce	7.1

Şekil 5’de Kuzey Anadolu fay hattı ile San Andreas fay hattı karşılaştırılmıştır (USGS, 2000). İki fay hattı arasındaki benzeşim açıkça görülmektedir. Bu da ilerde görülmesi muhtemel depremlerin benzeşimi ve araştırmacılara ışık tutması açısından önemlidir (Sari ve Manuel 2003, Sari 2003).



Şekil 5. San Andreas ve Kuzey Anadolu Fay Hatlarının Karşılaştırılması (USGS, 2000)

## TÜPRAS RAFİNERİSİNDE 1999 KOCAELİ DEPREMİNDE MEYDANA GELEN HASAR

### 1999 Kocaeli Depremi

17 Ağustos 1999, 7.4 büyüklüğündeki deprem sonucu 40.000'den fazla kişinin ölmesinin yanında depremde bölgelerindeki mevcut yapı stokunun büyük çoğunluğu yıkılmış veya çok büyük hasar almıştır. Deprem 45sn sürmüştür, 50.000'den fazla yapıda hasar meydana gelmesinde sebep olmuştur. Deprem, 900 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu fayının Sapanca-İzmit segmentindeki kırılma sebebiyle meydana gelmiştir. İstanbul'un 100km kadar güney doğusunda bulunan Kocaeli ve çevresi, Türkiye'nin endüstri yapılarının %40'ını barındırmaktadır. Şekil 6'da Kocaeli depremi haritası verilmiştir.



Şekil 6. Kocaeli Depreminin Yeri (Deprem Raporu-TDV, 2000)

### Tüpraş Rafinerisi

Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.'nin (TÜPRAŞ) Körfez ilçedeki 1960'da Amerikan standardına göre bir Amerikan firması tarafından yapılan İzmit Rafinerisinde, Plant-5 ünitesinde, 115 metrelik baca depremde devrilmiş ve tanklarda yangın çıkmıştır. Bölge halkı, depremle birlikte şoka girmiş ve hiç bir girişimde bulunamamıştır. İnsanlar, enkaz altındaki yakınlarını kurtarmaya, eş ve çocukları hayatta olanlar ise onları güvenli ortamlarda tutabilmek için açık alan aramaya çalışırken, ortaya çıkan bu panik depremi unutturmuştur. Bu arada, yangını söndürmek için yapılan çalışmalar ise sonuç vermemiş, alevler diğer tanklara da sıçramıştır. İtfaiye ekipleri, askerler ve uluslararası kuruluşların seferberliğine rağmen, ikinci gün, yanan tank sayısı 8'e yükselmiştir. Deprem öncesinde Tüpraş rafinerisi

günde 220,000 baril petrol işlemekteydi. Bu rakam Türkiye’de işlenen petrolün 1/3’ünü teşkil etmekteydi. Rafineri Avrupa’da da 7. büyük rafineri olma özelliğini taşımaktaydı (Johnson, 2002; Scawthorn ve Johnson 2000). Yerli ve yabancı eksperlerle birlikte TÜPRAŞ’tan uzmanların gerçekleştirdiği ön hasar tespit çalışmaları sonunda, kesin olmayan hasar tutarı yüzde 15 hata payı ile 115 milyon Dolar olarak belirlenmiştir. Meydana gelen hasarın yüzde 95’i sigortadan karşılanacaktır. Soğutma kuleleri, tanklar ve yardımcı tesislerdeki hasarlara bağlı olarak üretimi durdurulan 13.500 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Plt-5 ham petrol ve vakum ünitesi ile 6.000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli ham petrol ve vakum ünitesi dört aya kadar devreye alınabilecektir. 17.000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Plt-25 ham petrol ünitesi 12 ay sonra devreye girebilecektir. Ham petrol ünitelerinin devreye alınışına paralel olarak, Reformer, FCC ve Hidrokraker üniteleri de devreye alınacaktır. 115 milyon Dolarlık zararın en önemli kalemlerini 30 milyon dolarla ham petrol ünitesi (Plt-5), 16 milyon dolarla yanan 6 adet tank, 15 milyon dolarla hasarlı tanklar, 12 milyon dolarla soğutma kuleleri, 10 milyon dolarla Faz-1 iskelesi ve 10 milyon dolarla ham petrol ve ürün zayıyatı oluşturmaktadır (Deprem Raporu-TDV, 2000 ).

### Tüpraş rafinerisinde Meydana Gelen Hasarın Yayılması

Tüpraş rafinerisi, yaklaşık olarak fay hattının 2 km uzağında yer almaktadır. Dolayısıyla rafineri deprem sırasında sismik dalgalanmalarının en hareketli olduğu bölgededir demek mümkün olacaktır. Rafineride bulunan bir veri toplama cihazı, oldukça büyük deprem hız dalgaları kaydetmiştir. Genel olarak, büyük hız dalgaları, büyük periyotlu yapıları etkilemektedir. Dolayısıyla tesiste mevcut olan yaklaşık 120 m yükseklikteki kuleyi deprem dalgaları vurmuş ve kule yıkılmıştır. Özellikle tesisin liman kısmında, depolama tanklarında, soğutma kulelerinde, yığım alanlarında, petrol işleme alanlarında deprem ve akabinde çıkan yangın neticesinde meydana gelen hasarlar, ekonomik açıdan büyük kayıplara neden olmuştur. Şekil 7’de Kocaeli depremi sonrası Tüpraş rafinerisi görülmektedir. Yangın 5 gün boyunca sürmüş ve kontrol altına alınması 3 gün sürmüştür (Sezen, Whittaker, 2006).



Şekil 7. Kocaeli Depremi Sonrası Tüpraş Rafinerisi

### Tanklarda Meydana Gelen Yangınlar

Tüpraş tesisinde 45 depolama tankı mevcuttur. Bu tanklarda petrol veya LPG depolanmaktadır. Yangın, petrol yüklü depoda başlamış ve soğutma kulesi de dahil olmak üzere diğer yapılara doğru yayılmıştır. Şekil 8’de deprem sonrası tanklar görülmektedir. Tesisteki en tehlikeli bölge burasıdır. Yangın, 6 depolama tankını eritmiştir. Şekil 9’da erimiş tanklar görülmektedir. Yangın sonrasında toplamda 30 ila 45 depolama tankı hafif ila ağır düzeyde hasar almıştır. Bu hasar alan tankların Amerikan standartlarına göre yapıldığı bilinmektedir.



Şekil 8. Tanklarda Çıkan Yangınlar



Şekil 9. Yangın Sonrası Çöken Tanklar

### Çöken Kule ve Hasar Gören İletim Boruları

Kocaeli depreminden sonra yaklaşık 120 m yükseklikte 40'm ye varan açıklığı olan kule (25F-5) çökmüştür. Bu çökme bir çok iletim borsunun da Şekil 9'da görüldüğü gibi hasar almasına neden olmuştur. Bu kule 1978 yılında ACI 307-1969 standardına göre yapılmıştır. Bu çökmenin yakın fay etkisi altında yüksek deprem hız dalgası sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Şekil 10'da çöken kule gösterilmektedir.



Şekil 10. Çöken Kule ve Hasar Gören İletim Boruları

### Ana Yangın ve Çöken Soğutma Kulesi

Basit bir sismik dengesizlikten çıktığı düşünülen yangın oldukça kolay bir şekilde rafineri içinde yayılmış ve soğutma kulesi dahil bir çok yapının çökmesine neden olmuştur. Tesiste mevcut olan ahşap kule tamamen yanmıştır. Betonarme kule de büyük hasar görmüştür.



Şekil 11. Deprem Sonrası Soğutma Kulesi

### Limandaki Hasar

Kimyasal maddelerin kolaylıkla yayılması sebebiyle limana da yangın sıçramış ve liman kesiminde de büyük hasar gözlenmiştir. Rafinerideki yangından ötürü Marmara denizinin yüzeyinde oldukça uzun bir süre kalın petrol tabakası asılı kalmıştır. Kocaeli depreminin liman üzerinde büyük etkisi olmuştur.

### Deprem Sonrası Durum

Deprem hemen sonrasında rafineride işletim sona erdirilmiştir. Yangının söndürülmesi için kullanılması gereken su söndürme tesisatlarının da hasar görmesi yangınla müdaleyı imkansız hale getirmiştir. Sahada su olmayışı sebebiyle yangınla mücadele havadan yapılmaya çalışılmış, havadan köpük ve yangın söndürücü özellikte kimyasallar atılmıştır. Taşınabilir yangın söndürücüler tesise getirilmiştir. Yangın 5 gün boyunca sürmüştür ve kontrol altına alınması 3 gün sürmüştür. Uluslararası birçok kurum bu konuda Türkiye'ye yardım etmiştir. 3 ay boyunca Tüpraş rafinerisi işleme kapatılmıştır. Sadece rafinerinin deprem sonucunda verdiği ekonomik zarar 500 milyon dolar civarında ifade edilmektedir.

## SONUÇLAR

Sismik açıdan bakıldığında büyük depremler, sismik hareketliliği olan bölgelerde oldukça nadir olarak gözlenen olaylardır. Ancak nadir gözlenmesi etkisini azaltmamaktadır. Aksine büyük depremlerde meydana gelen hasarlar bir çok doğa felaketi ile karşılaştırılmayacak boyutlardadır. Önceden tahmin edilememesi de depremlerde meydana gelen hasar boyutunu arttıran önemli bir parametredir. Özellikle depremler sırasında meydana gelen patlamalar da depremin etkisini arttıran önemli bir husustur. Özellikle petro kimyasal tesislerde depremler sırasında meydana gelecek hasarlar oldukça büyük olabilmektedir. Petro kimyasal tesislerde kendisiliğinden bir patlama olması riski deprem sonucu bir patlama olması riskine göre çok daha azdır. Depremler sonucunda meydana gelecek hasarları çalışma amacı doğrultusunda maddeler halinde sıralayacak olursak,

- Elektrik kesintisi
- Su iletim hatlarında hasar, su kesintisi



- Bölgede sıkışıp kalma ve dış desteğin gelememesi
- Kilitlenen ve kapanan yollar
- Tesislerde meydana gelen hasarlar sonucu patlamalar
- İletişimi kaybetme
- Personel yetersizliği
- Tesisler arası yangın gibi hasarların iletimi
- Deprem sonrası insanlarda büyük şok yaşanması

Tüpraş rafinerisi 1960 yılında Amerikan standartları doğrultusunda bir amerikan şirketince inşaa edilmiştir. Kuzey Anadolu fay hattındaki bu yerleşke 1999 Kocaeli depreminde büyük hasar almış ve işletimine 3 ay ara verilmek zorunda kalınmıştır. Maddi anlamda çok büyük zarara neden olan deprem ve akabinde meydana gelen yangın tesiste büyük bir faciaya yol açmıştır. Tüpraş'ın hem Türkiye hem de dış dünya için önemli bir yeri olduğu göz önüne alındığında böylesi bir tesiste böylesi bir facia yaşanması büyük talihsizliktir. Gelecek depremlerde bu felaketin tekrarlanmaması için önlemler alınması şarttır. Tanklarda meydana gelen yangın kısa sürede diğer yapılara sıçramış ve hasarın çok büyük boyutlara gelmesine neden olmuştur. 1964'de yaşanan depremden bu yana, 1999 Kocaeli ve 2003 Tokachi-Oki depremine kadar bir çok depremde petro kimyasal tesislerde hasarlar gözlenmesi dünya genelinde yaşanan olaylardan geçen 40 yıllık süre zarfında çok da iyi dersler alınmadığı gerçeğini ortaya koymaktadır.

## KAYNAKLAR

- Akinci, O., Kilic, S. (2002) "Non-linear response of the 115 m Tupras refinery stack subjected to the 1999 Marmara Earthquake" CICIND Report, International Committee on Industrial Chimneys, Volume 18, NO. 2.
- Akatsuka, H., Kobayashi, H. (2007) (<http://shippai.jst.go.jp/en/Detail?fn=0&id=CB1012035&>)
- Johnson, G. S. (2002) "Refinery Damage and Emergency Response in the 1999 Izmit, Turkey Earthquake" California.
- Harmsen, S., Leyendecker E. V. (2006) "USGS Seismic-Hazard Web Products: Deaggregation & Ground-Motion Calculator" Third ATC-35/USGS National Earthquake Ground-Motion Mapping Workshop, California.
- MTA, Şaroğlu, F., Boray, A. Ve Emre, Ö., 1987, Active Faults of Turkey, MTA Enstitüsü yayını ODTU intrnet sayfası, Ulusal Kuvvetli Yer Hareketleri Kayıt Şebekesi, <http://eerc.ce.metu.edu.tr/nsmp/index.php?=&lang=tr>
- Sari, A., Manuel, L. (2003) "On the Use of an Energy-Based Ground Motion Parameter in Seismic Hazard Studies for Northwestern Turkey," Proceedings of the 5th National Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, Paper AE-040.
- Sari, A., (2003) "Energy Considerations in Ground Motion Attenuation and Probabilistic Seismic Hazard Studies," PhD Thesis, University of Texas at Austin, Austin, Texas.
- Sezen, H., Whittaker, A. S. (2006) "Seismic Performance of Industrial Facilities Affected by the 1999 Turkey Earthquake," Journal of Performance of Constructed Facilities, Volume 20, NO. 1.
- Scawthorn, C., Johnson G. S. (2000) "Preliminary Report; Kocaeli (Izmit) Earthquake of 17 August 1999," Engineering Structures, Volume 22, NO. 7.
- USGS, web sayfası (2007). <http://earthquake.usgs.gov/>
- USGS, (2000) "Implications for Earthquake Risk Reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999," U.S. Geological Survey Circular, No. 1193.