7th INTERNATIONAL EARTHQUAKE SYMPOSIUM

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
1992

KOCAELİ 2015
INTERNATIONAL EARTHQUAKE SYMPOSIUM
www.kocaeli2015.org

FULL PAPERS
TAM METİNLER

10-12 June 2015

The NESS HoteL Kocaeli, TURKEY

DEPREM ETKİSİ SONUCUNDA GÖMÜLÜ BORU HATTINDA OLUŞAN GERİLMELERİN ANALİZİ

MURAT MAKARACI, CENGİZ İPEK

murat.makaraci@tubitak.gov.tr, ***ipekceng@gmail.com***

Anahtar Kelimeler: Altyapı sistemleri, Boru hattı, Deprem davranışı, Gerilme analizi, Modelleme

ÖZET

Deprem sonrasında, 1995 Kobe depremi gibi doğal gaz borularının deprem etkisiyle zarar görmesi sonucunda can ve mal kaybına neden olmaktadır. Depremlerde özellikle gaz yüklü boru hatlarının korunması güvenlik açısından önemlidir. Bu çalışmada gömülü boru hattında boru malzemesinde oluşan gerilmelerin hesabı yapılmıştır. Bunun için öncelikle borunun toprak altındaki kesiti modellenmiş, her bir toprak tabakasının ve boru malzemesinin özellikleri programa girilerek analizi yapılmıştır. Modellemede HDPE ve çelik olmak üzere iki farklı boru malzemesi kullanılmıştır. Borunun yer değiştirme miktarı ve boru üzerine gelen gerilmeler bulunmuştur. Programdan bulunan borudaki maksimum gerilme bulunmuş ve boru malzemesinin gerçek akma değeriyle karşılaştırılmıştır. Böylece herhangi bir hasar oluşup oluşmayacağı belirlenmiştir.

GİRİŞ

Yerleşim alanlarının genişlemesinden dolayı büyük kentlerin ortaya çıkmasıyla beraber insan ihtiyaçlarının temini için yapılan altyapı sistemlerinin insan hayatında önemli bir yeri vardır. İnsan hayatının güvenliğinin tesisi için, afetler sırasında büyük öneme sahip doğalgaz, petrol, su, atık su gibi boru hatlarının fonksiyonlarını devam ettirmeleri gerekmektedir. Bu gömülü boru hatlarının iletiminde de herhangi bir sorun çıkmaması için tasarımının yapılması bir zorunluluktur.

Boru hattının depremden öncesi ve sonrasında işlevselliğini sürdürmesi gerekir. Depremde doğabilecek yangınlara karşı yangın söndürme iletim hattının korunması gerekir. Buna benzer şekilde deprem sırasında hasar oluşan bir atık su hattından doğabilecek sağlıksız ortam birçok hastalığa sebep olabilir. Bu tür nedenlerden dolayıdır ki deprem öncesi ve deprem sonrası gömülü hattın zarar görmeden fonksiyonunu devam ettirmesi çok önemli bir husustur. Gömülü boru hatlarına ait ilk çalışma 20. Yüzyılın başında Anson Marston (1913) tarafından yapılmıştır. Boru hatlarının tasarımında sonraki dönemlerde büyük gelişme kaydedilmiş ve enstitüler kurulmuştur.

1906 San Francisco ve 1995 Kobe depremlerinde(Şekil-1a) yaşanılan felaketlerden sonra ABD ve Japonya'da gömülü boru hatlarının deprem tasarımı için yönetmenlikler oluşturulmuştur(ALA 2001, JGA,2000). Bu yönetmenlikler incelendiğinde boru hatlarının tasarımı etkileyen faktörlerin başında boru hattının güzergâh seçimi ile ilgilidir. Ancak Türkiye'nin %96 sının (İpek vd., 2015) deprem riski altında olmasına rağmen boru hatlarının deprem tasarımı için bir yönetmenlik bulunmamaktadır.

1999 Kocaeli depreminde Körfez ilçesindeki TÜPRAŞ rafinerinin hasar görmesi sonucu 4 adet Nafta tankında yangın çıkmış ve yangın kısa sürede kontrolden çıkmıştır. Rafineri yangın söndürme kapasitesi olan 36.000m3 su rezervuar ilk gün tükenmiştir. 45 km uzaklıktaki Sapanca gölünden su taşıyan gömülü boruların zarar görmesi sonucunda Yangın söndürme işlemi ancak dış ülkelerin yardımlarıyla söndürülebilmiştir. Türkiye'deki çıkarılan üretimin üçte bir kapasitesine sahip olan rafineri 3 ay kapalı kalmış onarım ancak 13 ay gibi bir sürede tamamlanmıştır(Şekil-1b).

[1]Doç. Dr., TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi, Strateji ve Teknoloji Geliştirme Bşk.Yrd., Gebze, KOCAELİ - Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi B Blok Umuttepe Yerleşkesi 41380, KOCAELİ –TÜRKİYE
[2]Dr., 2.Meslek Grubu İnşaat komitesi Üyesi Kocaeli Ticaret Odası Ömer Türkçakal Bulvarı No:2 41040 KOCAELİ-TÜRKİYE



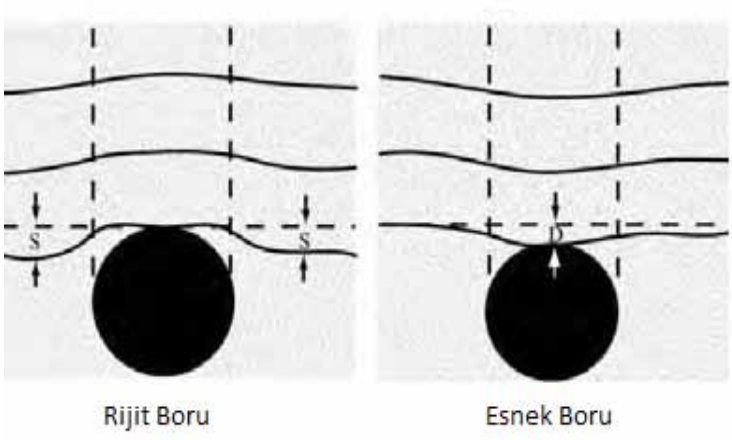
Şekil-1. 1995 Kobe depremi doğal gaz boru yangını (Sol resim-a), 1999 Kocaeli depremi TÜPRAŞ yangını (Sağ resim-b)



Şekil-2. 1999 Kocaeli depreminde fay hattının geçtiği bölgedeki 2.2 m çapındaki borunun hasarı(Sol resim), hasarlı borunun kesiti (Sağ resim) (Bilham vd, 2003).

Ayrıca şehirlere su taşıyan boru hatlarının deprem sırasında hiçbir şekilde zarar görmemeli veya hemen onarılmalıdır. Şekil-2'de görüldüğü gibi fay hattının geçtiği bölgede Sapanca gölünden Kullara su taşıyan 2.2 m çapında kaynaklı çelik borunun hasarı görülmektedir.

Boruların tasarımını etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Mukavemet, rijitlik ve dayanıklılık gibi kriterlerdir. Malzeme bakımından borular esnek ve rijit olarak ta değerlendirilebilir. Esnek borular herhangi bir yük altında en az % 2 deformasyon yapabilen boru türüdür. Bu özelliğe uymayan borular ise rijit borulardır (Moser, 2001).



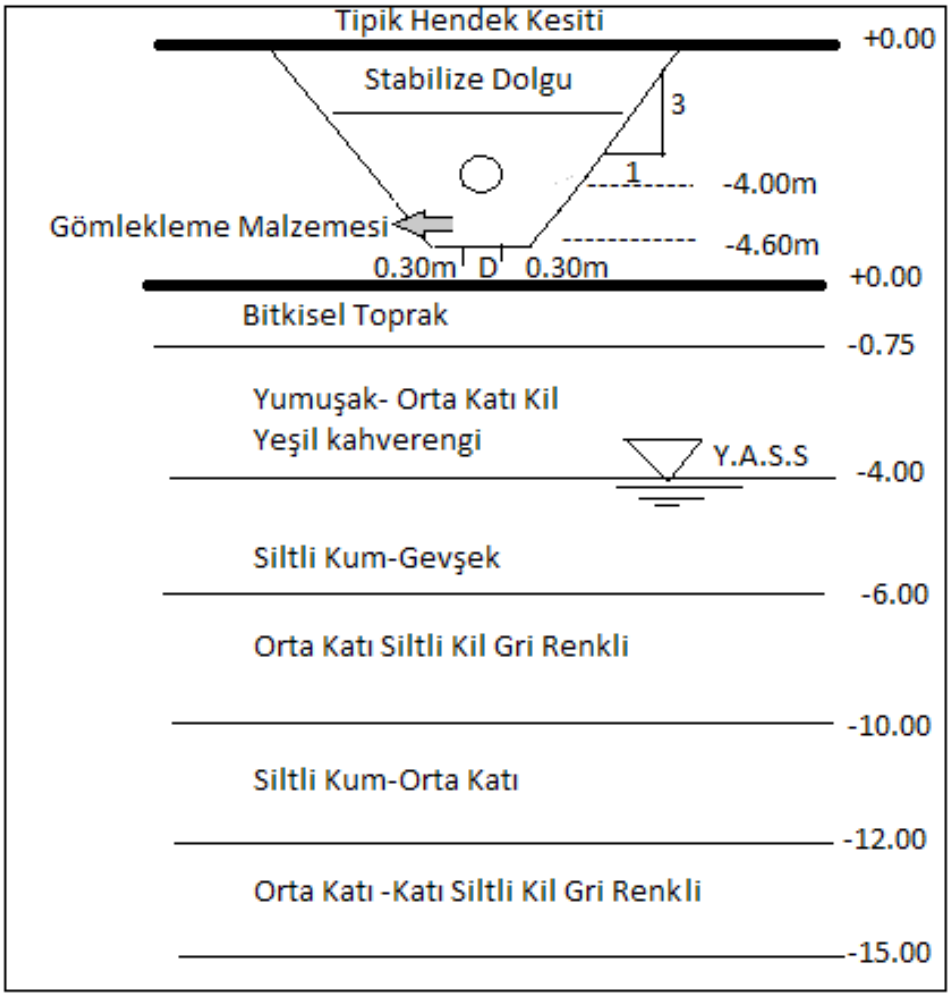
Şekil-3. Rijit ve Esnek boru malzemelerin toprak yükü altındaki davranışı

Asbest – çimento esaslı borular, Beton ve donatılı beton borular ve killi borular rijit; çelik, dökme demir ve plastik esaslı borular esnek borular sınıfına girmektedir. Esnek borular için dairesel eğilme ve burkulma önemli bir ölçü iken, rijit borular için ise iç basınç ve dış yükler altında çeper gerilmesi değerinin ortaya çıkması önemli olmaktadır. Şekil-3 de görüldüğü gibi Rijit borular üzerindeki yük S miktarı oturma yapar iken, Esnek boru da ise D miktarı kadar çökme oluşmaktadır. Esnek borularda yük altında yanal desteğe ihtiyaç bulunmaktadır. Rijit borularda ise taşıdıkları yükleri doğrudan oturdukları zemine aktarırlar.

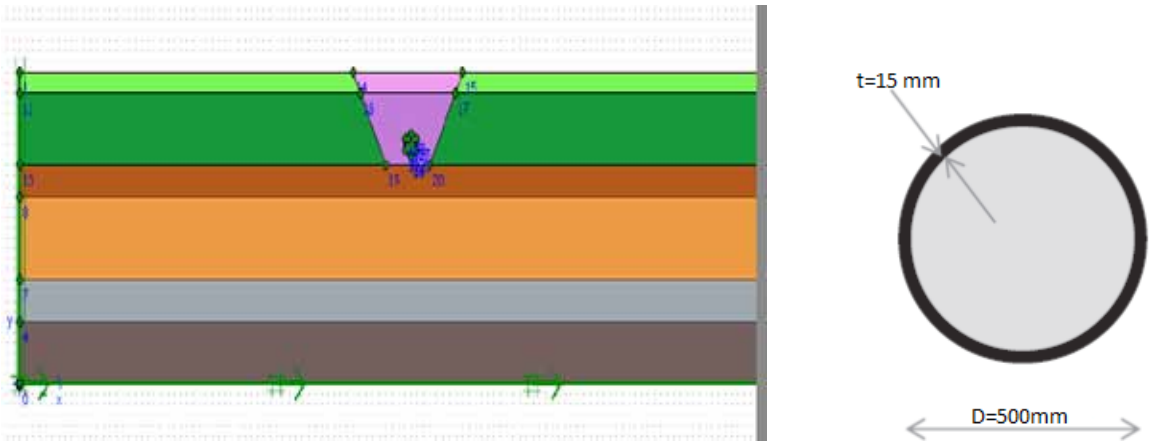
Bütün boru çeşitlerinde kalıcı yer değiştirmeler boru tasarımında önemli yer tutmaktadır. Özellikle sıvılaşmanın sebep olduğu kalıcı yer değiştirmeler gömülü boruları eğilerek deformasyona uğramaktadırlar. Zemindeki akma yönü boru doğrultusunda ise eksenel gerilmeler meydana gelir, boruya dik olması durumunda bileşik eğilme meydana gelir. Bu durumda iki ucu ankastre bir yapı elemanı gibi davranış gösterir.

PROBLEMİN MODELLENMESİ

Çözümü aranan problemin modeli Şekil-4 ve Şekil-5(sol resim) de gösterilmiştir. Bu modelde her bir toprak tabakasının kendine ait özellikleri mevcuttur. Bu toprak tabakalarının özellikleri ayrı ayrı programa girilecektir. Şekil-2 deki modelde her bir toprak tabakası ve malzeme farklı renklerle gösterilmiştir. Modeldeki boru çapı ise 500mm ve et kalınlığı da 15 mm alınmıştır Şekil-5 (sağ resim). Uygulanacak boru malzemeleri ise Çelik ve HDPE olarak iki çeşittir.



Şekil-4. Boru ve Toprak Tabakaları



Şekil-5. Toprak Altındaki Borunun Modellenmiş Hali (sol resim), boru kesiti (sağ resim)

Tablo 1 ve Tablo 2 de modellemede kullanılacak malzeme özellikleri ve parametreler verilmiştir.

Parametre ve Birim/Katman	Derinlikler	Material Model	Material Type	γunsat-kN/m3	γsat-kN/m3	kx – m/day	ky- m/day	E-kN/m2
Dolgu	0-1 m	Mohr-c	Drained	20	23	1	1	20000
Gömlekleme	1-4 m	mc	Drained	16	20	1	1	8000
K1-Bitkisel Toprak	0-1 m	mc	Drained	17	20	0.8	0.8	30000
K2-Yumuşak Orta Kil	1-4 m	mc	Drained	18	20	1	1	20000
K3-Silitli Kum Gevşek	4-6 m	mc	Drained	17	20	0.5	0.5	80000
K4-Orta Silitli Kil	6-10 m	mc	Drained	16	19	0.5	0.5	40000
K5-Silitli Kum Orta Sıkı	10-12 m	mc	Drained	17	21	0.5	0.5	80000
K6-Silitli Kil Orta-Katı	10-15 m	mc	Drained	17	21	0.5	0.5	120000
HDPE	-	Lineer Elastic	Non-porous	9.6E-04	-	0	0	1.2E+06
Çelik	-	Lineer Elastic	Non-porous	77	-	0	0	2.1E+08
Su	-	Lineer Elastic	Non-porous	10	-	0	0	1E-09

Tablo-1. Malzemelerin Özellikleri-1

Parametre ve Birim/Katman	v	c - kN / m2	Φ-o	Ψ-o	Rint	EA-Kn/m	EI-kNm2/m	w-kN/m/m	Mp -kN/m/m	Np -kN/m
Dolgu	0.25	1	29	0	0.5	-	-	-	-	-
Gömlekleme	0.3	1	30	0	0.65	-	-	-	-	
K1-Bitkisel Toprak	0.3	1	24	0	0.65	-	-	-	-	-
K2-Yumuşak Orta Kil	0.3	1	25	0	0.5	-	-	-	-	-
K3-Silitli Kum Gevşek	0.3	1	34	0	0.7	-	-	-	-	-
K4-Orta Silitli Kil	0.3	1	25	0	0.7	-	-	-	--	-
K5-Silitli Kum Orta Sıkı	0.35	1	28	0	0.7	-	-	-	-	
K6-Silitli Kil Orta-Katı	0.35	1	30	0	0.7	-	-	-	-	-
HDPE	0.2	-	-	-	0.5	1.6E+04	2800	0.500	1E+15	1E+15
Çelik	0.27	-	-	-	-	2.1E+04	490	0.100	1E+15	1E+15
Su	0.449	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo- 2. Malzemelerin Özellikleri2

Tablodaki bazı özellikler;

Young's Modulus(Elastisite Modülü)-E-kN/m^2 : Elastik model ve mohr-coulomb modelinde temel rijitlik parametresidir.

Poisson's Ratio(Poisson Oranı)-v: Uygulanan gerilme yönündeki deformasyonun, gerilmeye dik eksendeki deformasyona oranı poisson oranını verir.

Cohesion(Kohezyon)-c: Kohezyon gerilmesi yani yüzey gerilmesi bir gerilim ölçüsüdür. Moleküller arası çekim kuvvetiyle oluşur. Kohezyonsuz topraklarda c=0 dır.

Friction Angle(sürtünme açısı)-Φ-°: Malzemenin kesilmesi sırasında, kayma yüzeyinde ekili olan sürtünme katsayısının açısal ifadesidir.

Dilatancy Angle(Genleşilirlik Açısı)-Ψ-°: Dilatancy' nin miktarı (akma nedeniyle malzeme hacmindeki artış) dilatancy açısı ile kontrol edilir.

Drained(akışkan Sıkı olmayan toprak): Bu seçenek kuru, geçirgenliği fazla ve yüksüz toprak seçeneklerinde kullanılır. Bu seçenek uzun vadeli toprak davranışlarında kullanılır.

Undrained(akışkan olmayan sıkı toprak): Bu seçenek gözenek basıncı çok fazla olan ve geçirgenliği az olan fazla yüklü topraklarda kullanılır.

Non-porous(gözeneksiz): Bu seçenek genel olarak lineer-elastik model tipinde seçilir. Geçirgenliği olmayan beton veya yapı malzemelerinde seçilir.

γ_{sat}-kN/m^3-(Doymuş Toprak Birim Ağırlığı): Yer altı su seviyesinin altında kalan toprağın birim ağırlığıdır.

γ_{unsat}-kN/m^3-(Doymamış Toprak Birim Ağırlığı): Yer altı su seviyesinin üzerinde kalan toprağın birim

ağırlığıdır.Her zaman $\gamma_{unsat} < \gamma_{sat}$ olmalıdır.

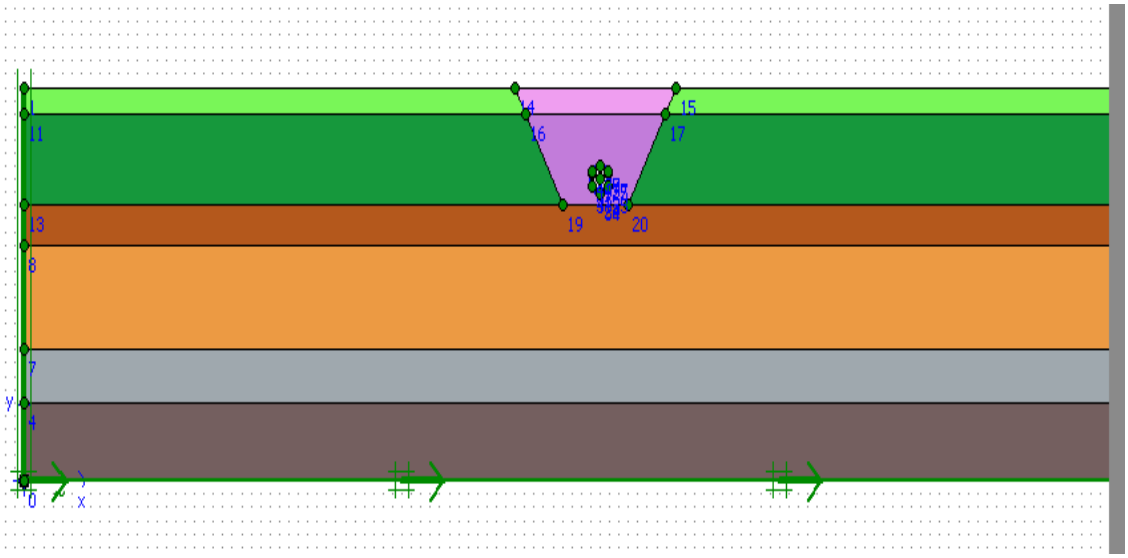
Permeability (Geçirgenlik) k_x ve k_y – m/day: Bu seçenek yalnızca birleştirme analizleri ve yer altı su akışlarında kullanılmaktadır.

İnterface Strenght R_{int} (Yüzey indirgeme faktörü): Bu seçenek bir elastik-plastik modelde toprakla yapı malzemesinin arasındaki etkileşimde kullanılır. Rijit veya plastik ve elastik davranışları incelemek için değer verilir. Bu değer birden küçük olmalıdır.

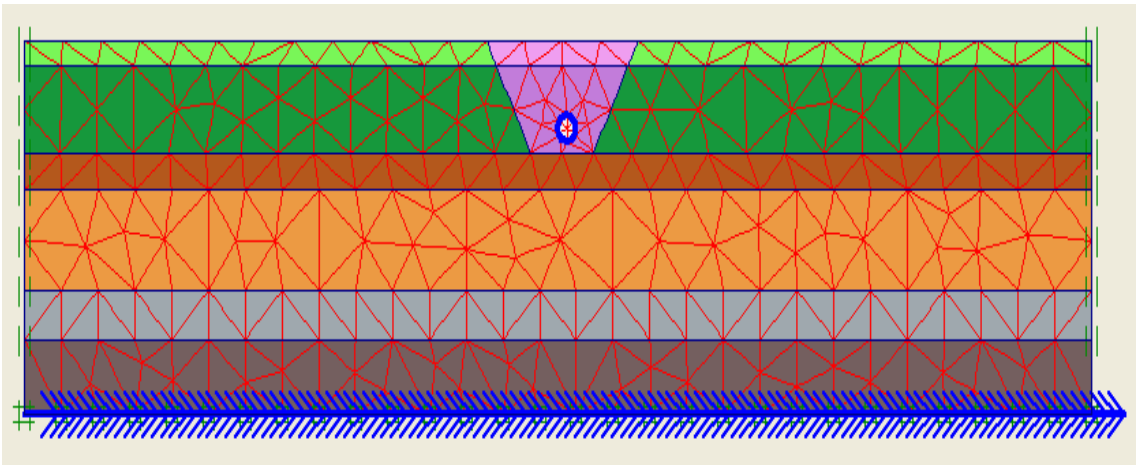
PROBLEMİ UYGULAMA YÖNTEMİ

Gömülü boru hattında deprem etkisiyle oluşan gerilmelerin hesabında bir sonlu eleman paketi olan 'Plaxis 8.2 (2D)' programı kullanılmıştır.

Program, modellenen sistem geometrisini mesh yaparak ağlara böler. Modeli 15 ve 6 olmak üzere istenen düğüm sayısında üçgenlere bölerek gerilmeleri hesaplar.15 düğümlü elemanda 12, 6 düğümlü elemanda ise 3 gerilme noktasında gerilme değeri hesaplar.

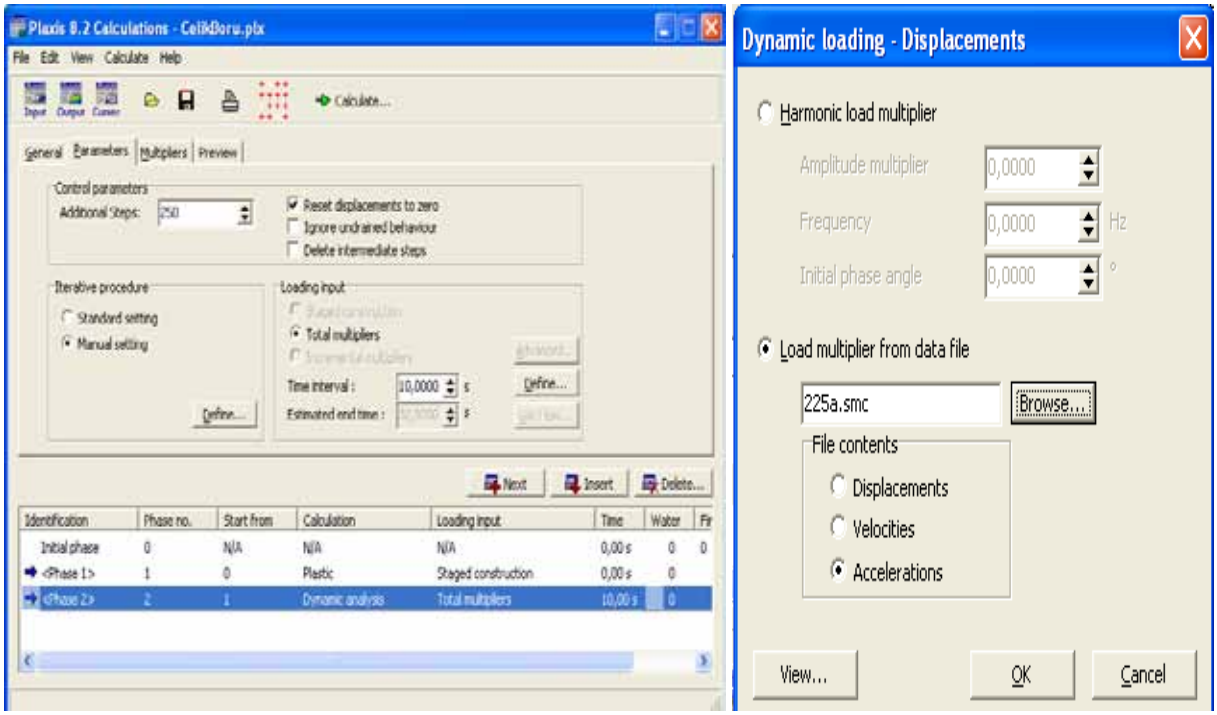


Şekil-6. Gömülü Borunun Modellenmiş Hali

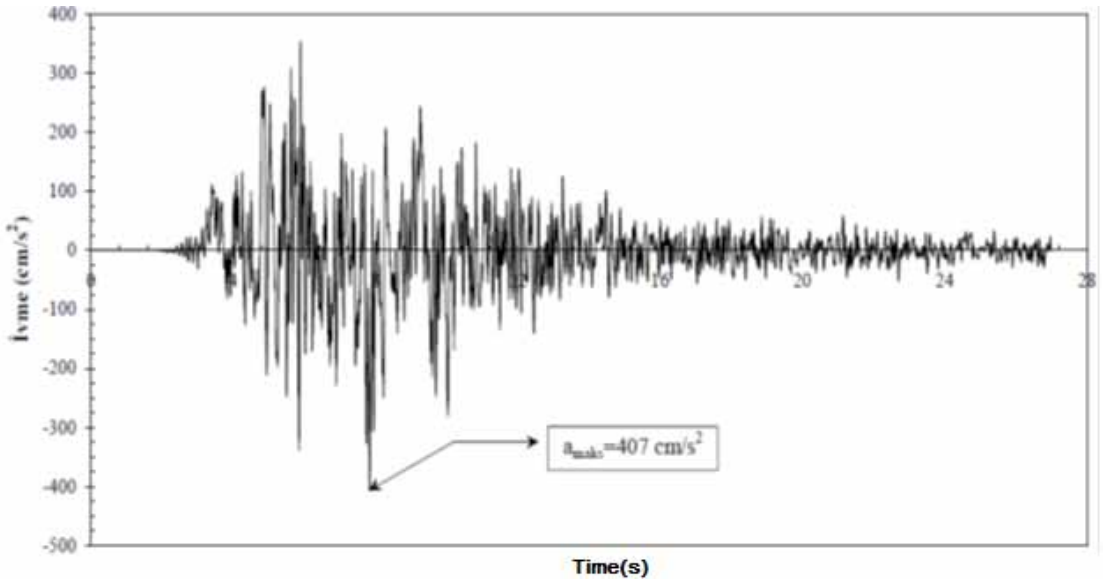


Şekil-7. Modelin 2D Mesh Durumu

Gerilme hesaplama plastik ve dinamik olmak üzere iki çeşittir. Bu çalışmada üzerinde durulacak analiz ise dinamik analizdir. Bu analizde önceki depremlerden oluşturulmuş 1999 Kocaeli depremi ivme kaydının 20 sn lik kısmı (Şekil-9) programa girilerek deprem sırasında meydana gelen gerilme ve deformasyonlar bulunabilmektedir.



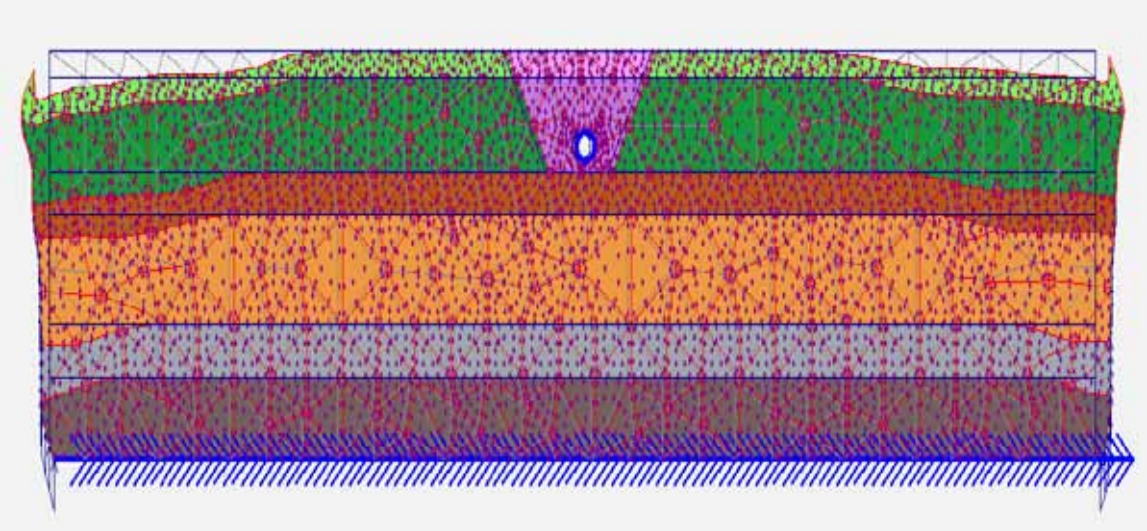
Şekil-8. Hesaplama Aşaması ve Programa İvme Kaydının Girilmesi.



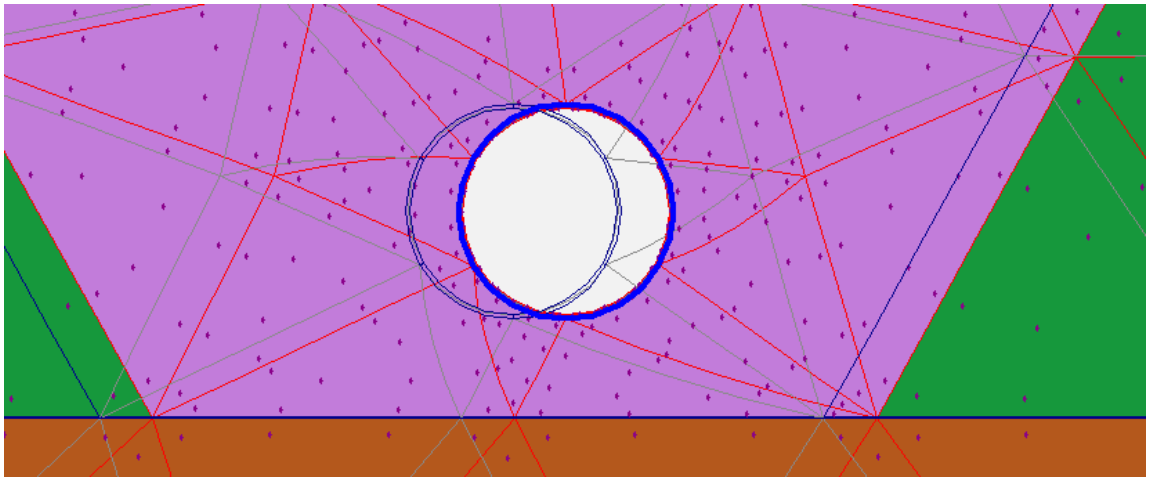
Şekil-9.1999 Kocaeli Depremi Sakarya D-B İvme Kaydı.

ANALİZ SONUÇLARI

Hesaplama çelik ve HDPE boru üzerine yapılmıştır. Öncelikle çelik boru incelendiğinde çelik borunun yatay deformasyonu (sağa-sola hareketi) $25.6*10^{-3}$ m, dikey deformasyonu ise ($-136.8*10^{-6}$ m) olarak bulunmuştur. Dikey deformasyon yönü zeminden yukarı doğrudur. Borunun zeminden yukarı çıkmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil-10. Çelik Borunun Deprem Sonrası Toprak Altındaki Durumu



Şekil-11. Çelik Borunun Deformasyonu

Çelik boruda oluşan gerilmelere bakıldığında, borunun ekseni boyunca maruz kaldığı gerilme σ_x, boru üzerine eksene dik doğrultuda gelen kuvvetin oluşturduğu gerilme ise σ_y olacak şekilde program bir gerilme tablosu verir. Bu tablodan yaklaşık büyük bir değer seçilip akma sınırı hesaplanır. Bu değerlere bakılırsa;

σ_x=1363.2 kN/m^2 ve σ_y= -3024.9 kN/m^2 olarak alınır ve Von Misses' te yerine konulursa yaklaşık 4 Mpa değerinde bir akma sınırı elde edilir. Çelik için gerçekteki akma sınırı 180-250 Mpa kabul edilirse çelik boru davranışı elastik bölgede kalacak ve herhangi bir sorun oluşmayacaktır.

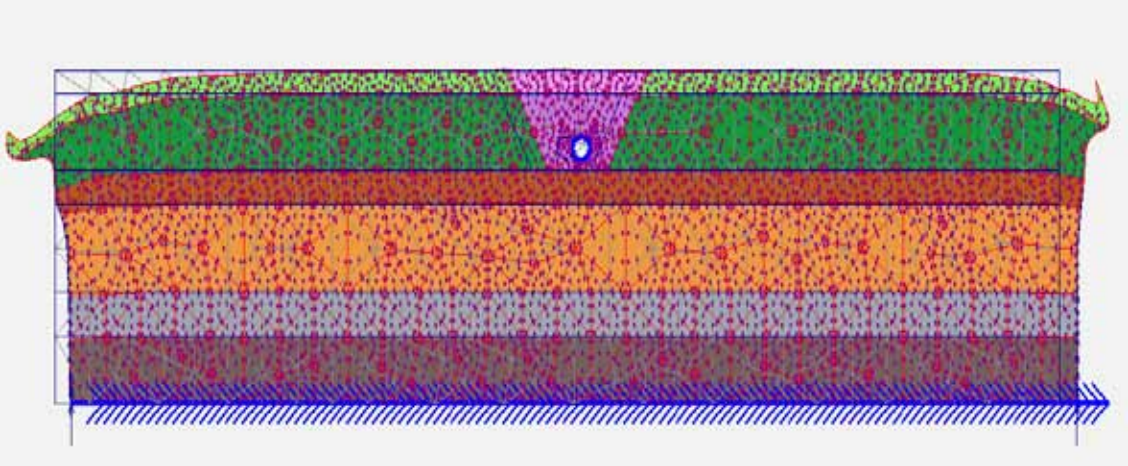
Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	σ_{xx} [kN/m^2]	σ_{yy} [kN/m^2]	σ_{xy} [kN/m^2]	σ_{zz} [kN/m^2]	Status
439	5257	30,932	11,216	1123,978	344,491	-704,533	390,264	Elastic
CELiK	5258	30,916	11,221	1947,370	-1860,595	-1648,481	17,387	Elastic
	5259	30,563	11,004	627,372	-485,462	639,719	32,280	Elastic
	5260	30,858	11,138	-581,571	746,418	-658,460	38,413	Elastic
	5261	30,854	11,141	-789,804	628,190	-603,085	-49,660	Elastic
	5262	30,753	11,063	-1757,634	-2152,897	-453,614	-1061,884	Elastic
	5263	30,926	11,218	-73,465	-2252,429	-264,155	-634,146	Elastic
	5264	30,921	11,221	372,249	-3071,338	-661,208	-734,837	Elastic
	5265	30,831	11,124	-1612,574	-799,286	-87,628	-657,226	Elastic
	5266	30,687	11,036	-360,800	575,510	-1019,123	51,937	Elastic
	5267	30,686	11,030	-472,069	772,859	-830,188	75,137	Elastic
	5268	30,844	11,119	-1221,404	-1425,922	-221,083	-720,904	Elastic
440	5269	30,531	10,999	1626,567	590,567	-1349,757	592,586	Elastic
CELiK	5270	30,535	10,983	-1818,991	-382,795	363,737	-600,636	Elastic
	5271	30,913	11,187	-656,748	-625,221	-78,599	-352,370	Elastic
	5272	30,637	11,010	-246,450	1723,817	-286,342	392,806	Elastic
	5273	30,638	11,005	-1815,223	-1402,369	8,375	-874,872	Elastic
	5274	30,759	11,055	-1676,928	-975,364	-432,988	-722,263	Elastic
	5275	30,531	10,995	389,465	-1131,733	-1433,387	-206,480	Elastic
	5276	30,532	10,989	-175,449	819,044	-668,194	167,653	Elastic
	5277	30,666	11,009	-1113,039	447,293	-584,561	-185,914	Elastic
	5278	30,820	11,092	-432,141	-354,530	-752,038	-218,578	Elastic
	5279	30,823	11,100	-26,982	-58,339	-974,092	-29,190	Elastic
	5280	30,660	11,019	-1791,899	-1153,025	392,353	-801,211	Elastic
441	5281	30,068	11,784	-1249,179	545,432	-814,087	-195,279	Elastic
CELiK	5282	30,084	11,779	1080,051	-2992,847	-1650,749	-521,880	Elastic
	5283	30,437	11,996	766,748	-649,790	695,768	26,543	Elastic
	5284	30,142	11,862	-35,120	1066,628	-677,251	273,281	Elastic
	5285	30,146	11,859	-1058,440	624,735	-423,563	-122,367	Elastic
	5286	30,247	11,937	-1894,158	-2387,565	-92,847	-1161,195	Elastic
	5287	30,074	11,782	-308,031	-2305,822	-462,882	-711,068	Elastic
	5288	30,079	11,779	1363,163	-3024,865	-1177,665	-454,051	Elastic
	5289	30,169	11,876	-1307,338	-590,064	-36,643	-517,542	Elastic
	5290	30,313	11,964	42,218	760,678	-1091,191	211,692	Elastic
	5291	30,314	11,970	-191,804	1141,549	-782,386	251,383	Elastic
	5292	30,156	11,881	-683,237	-1720,384	-95,297	-654,130	Elastic
442	5293	30,469	12,001	2052,398	878,158	-1583,660	786,223	Elastic
CELiK	5294	30,465	12,017	-1618,616	-420,663	421,185	-555,519	Elastic
	5295	30,087	11,813	-908,069	-839,254	-48,053	-477,002	Elastic
	5296	30,363	11,990	-24,426	2134,083	-495,515	564,589	Elastic
	5297	30,362	11,995	-1982,874	-1520,604	-30,616	-950,919	Elastic
	5298	30,241	11,945	-1778,131	-1188,409	-48,506	-806,022	Elastic
	5299	30,469	12,005	672,258	-1367,618	-1530,527	-192,746	Elastic
	5300	30,468	12,011	194,019	901,555	-714,467	290,856	Elastic
	5301	30,334	11,991	-1232,659	473,637	-574,526	-209,889	Elastic
	5302	30,180	11,908	152,254	17,004	-627,496	40,619	Elastic
	5303	30,177	11,900	576,157	338,635	-934,903	241,887	Elastic
	5304	30,340	11,981	-1957,480	-1441,821	662,327	-922,842	Elastic

Tablo-3. Çelik Boru Üzerine Gelen Gerilmeler-1

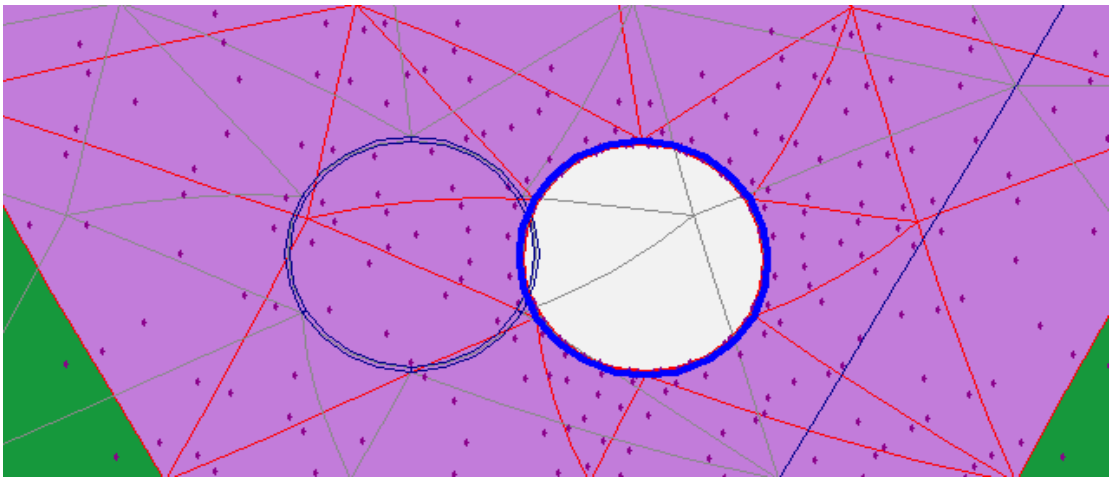
Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	σ_{xx} [kN/m^2]	σ_{yy} [kN/m^2]	σ_{xy} [kN/m^2]	σ_{zz} [kN/m^2]	Status
443	5305	30,977	11,701	-349,976	-951,445	501,205	-356,778	Elastic
CELiK	5306	30,949	11,276	-3538,750	-2522,255	-1075,746	-1642,635	Elastic
	5307	30,965	11,272	-762,050	-1019,400	-144,412	-487,443	Elastic
	5308	31,015	11,502	-1738,884	-1953,014	133,592	-1002,718	Elastic
	5309	30,993	11,373	666,836	-1568,560	-52,925	-250,332	Elastic
	5310	30,998	11,372	1474,233	-1007,545	-296,324	118,735	Elastic
	5311	31,008	11,580	349,288	-1206,128	50,144	-237,014	Elastic
	5312	30,997	11,398	462,978	-1313,977	-327,610	-236,744	Elastic
	5313	30,953	11,275	-1729,942	-892,154	-1568,363	-714,208	Elastic
	5314	30,959	11,272	-1416,034	-705,109	-953,690	-579,075	Elastic
	5315	31,009	11,398	-675,693	-1624,953	-248,645	-628,027	Elastic
	5316	31,013	11,573	765,116	-872,372	-29,869	-34,548	Elastic
444	5317	30,961	11,307	109,521	-1857,342	-895,852	-478,067	Elastic
CELiK	5318	30,962	11,732	1178,151	-898,746	271,376	70,092	Elastic
	5319	30,950	11,721	-3001,893	-1552,837	972,805	-1235,375	Elastic
	5320	31,005	11,501	872,150	-1256,341	-87,603	-110,089	Elastic
	5321	30,992	11,629	692,254	-1024,883	584,234	-95,481	Elastic
	5322	30,988	11,627	-1403,658	-2300,262	204,603	-1005,810	Elastic
	5323	31,000	11,426	-325,930	-1621,565	-126,678	-532,878	Elastic
	5324	31,002	11,607	-719,892	-1615,507	171,954	-636,262	Elastic
	5325	30,957	11,728	-1051,120	-1324,496	712,357	-646,857	Elastic
	5326	30,952	11,725	-1252,810	-1098,064	1090,118	-640,276	Elastic
	5327	30,991	11,599	1657,028	-1413,316	325,571	59,888	Elastic
	5328	30,995	11,430	-1111,898	-1939,013	-141,411	-830,390	Elastic

Tablo-4. Çelik Boru Üzerine Gelen Gerilmeler-2

HDPE borunun davranışına bakılırsa, yataydaki deformasyonu 19.2*10^{-3}m ve dikey deformasyonu ise (-404.1*10^{-6} m) olarak bulunmuştur. HDPE boruda da herhangi bir zeminden yukarı çıkma şeklinde bir hasar oluşmamıştır.



Şekil-12. HDPE Borunun Deprem Sonrası Toprak Altındaki Durumu



Şekil-13. HDPE Borunun Deformasyonu

HDPE borudaki gerilmeler incelendiğinde, gerilme tablosundan değerlere göre; σ_x=27kN/m^2 ve σ_y= -868.2kn/m^2 değerleri alındığında bulunan akma değeri ise yaklaşık 900 Kpa bulunmuştur. HDPE'nin gerçekteki akma sınırı ise yaklaşık 20 Mpa olarak düşünülürse HDPE malzemenin de bir sorun oluşturmayacağı tespit edilmiştir.

Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	σ_{xx} [kN/m^2]	σ_{yy} [kN/m^2]	σ_{xy} [kN/m^2]	σ_{zz} [kN/m^2]	Status
439 hdpe	5257	30,932	11,216	-250,969	-526,648	-353,474	-167,621	Elastic
	5258	30,916	11,221	-148,430	-562,713	-448,326	-154,342	Elastic
	5259	30,563	11,004	-591,431	-45,178	-46,597	-139,651	Elastic
	5260	30,858	11,138	-377,004	-333,115	-371,189	-154,214	Elastic
	5261	30,854	11,141	-377,860	-296,860	-394,369	-147,145	Elastic
	5262	30,753	11,063	-598,131	-303,317	-288,085	-192,562	Elastic
	5263	30,926	11,210	-265,166	-597,633	-350,162	-184,663	Elastic
	5264	30,921	11,221	-203,830	-632,285	-382,165	-179,332	Elastic
	5265	30,831	11,124	-484,163	-382,471	-335,902	-185,544	Elastic
	5266	30,687	11,036	-568,103	-37,963	-289,014	-133,512	Elastic
	5267	30,686	11,030	-580,969	-42,527	-260,075	-136,998	Elastic
	5268	30,844	11,119	-411,195	-381,784	-342,745	-170,805	Elastic
440 hdpe	5269	30,531	10,999	-567,020	-48,861	-141,874	-135,509	Elastic
	5270	30,535	10,983	-648,043	-9,132	-13,887	-143,773	Elastic
	5271	30,913	11,187	-296,708	-482,791	-340,065	-168,030	Elastic
	5272	30,637	11,010	-605,669	28,931	-165,741	-127,663	Elastic
	5273	30,638	11,005	-659,610	-156,531	-144,832	-175,543	Elastic
	5274	30,759	11,055	-531,799	-206,205	-309,801	-159,862	Elastic
	5275	30,531	10,995	-593,963	-62,642	-104,953	-143,654	Elastic
	5276	30,532	10,989	-593,565	98,104	-49,346	-111,425	Elastic
	5277	30,666	11,009	-597,369	-61,588	-221,721	-144,104	Elastic
	5278	30,820	11,092	-446,297	-297,282	-331,319	-160,950	Elastic
	5279	30,823	11,100	-416,393	-313,996	-355,808	-158,300	Elastic
	5280	30,660	11,019	-646,371	-94,202	-163,957	-160,422	Elastic

Tablo-5. HDPE Boru Üzerine Gelen Gerilmeler-1

Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	σ_{xx} [kN/m^2]	σ_{yy} [kN/m^2]	σ_{xy} [kN/m^2]	σ_{zz} [kN/m^2]	Status
441	5281	30,068	11,784	-289,288	-481,778	-323,518	-165,303	Elastic
hdpe	5282	30,084	11,779	-134,650	-587,825	-401,960	-155,519	Elastic
	5283	30,437	11,996	-554,431	-41,100	-39,656	-129,469	Elastic
	5284	30,142	11,862	-348,007	-311,867	-345,654	-142,775	Elastic
	5285	30,146	11,859	-361,352	-263,922	-368,661	-135,845	Elastic
	5286	30,247	11,937	-553,656	-285,910	-255,526	-178,463	Elastic
	5287	30,074	11,782	-240,354	-558,858	-326,012	-170,911	Elastic
	5288	30,079	11,779	-154,895	-603,984	-361,650	-162,821	Elastic
	5289	30,169	11,876	-453,747	-342,027	-310,979	-169,888	Elastic
	5290	30,313	11,964	-509,027	-37,767	-271,504	-119,821	Elastic
	5291	30,314	11,970	-527,142	-33,489	-240,508	-122,587	Elastic
	5292	30,156	11,881	-372,048	-357,620	-319,471	-156,698	Elastic
442	5293	30,469	12,001	-525,244	-9,203	-126,658	-117,238	Elastic
hdpe	5294	30,465	12,017	-599,915	-16,176	-8,954	-133,563	Elastic
	5295	30,087	11,813	-280,431	-454,418	-315,652	-157,968	Elastic
	5296	30,363	11,990	-556,983	25,634	-158,249	-116,666	Elastic
	5297	30,362	11,995	-613,679	-156,177	-132,900	-164,368	Elastic
	5298	30,241	11,945	-486,810	-183,290	-282,968	-144,578	Elastic
	5299	30,469	12,005	-552,031	-53,723	-89,434	-131,500	Elastic
	5300	30,468	12,011	-548,245	89,957	-42,260	-102,007	Elastic
	5301	30,334	11,991	-549,568	-53,125	-206,493	-130,966	Elastic
	5302	30,180	11,908	-409,836	-275,198	-305,008	-147,702	Elastic
	5303	30,177	11,900	-383,368	-283,662	-328,898	-144,119	Elastic
	5304	30,340	11,981	-595,444	-100,773	-149,963	-149,670	Elastic
443	5305	30,977	11,701	-103,060	-595,150	245,443	-150,998	Elastic
hdpe	5306	30,949	11,276	-321,672	-713,125	-313,518	-218,967	Elastic
	5307	30,965	11,272	-152,063	-637,001	-294,917	-169,799	Elastic
	5308	31,015	11,502	-82,699	-833,670	28,178	-195,152	Elastic
	5309	30,993	11,373	-59,683	-743,491	-195,115	-172,343	Elastic
	5310	30,998	11,372	31,950	-701,032	-197,780	-145,418	Elastic
	5311	31,008	11,580	-47,112	-769,962	101,070	-175,112	Elastic
	5312	30,997	11,398	16,423	-782,108	-163,917	-164,766	Elastic
	5313	30,953	11,275	-232,039	-687,565	-325,834	-195,917	Elastic
	5314	30,959	11,272	-226,363	-659,105	-318,380	-189,078	Elastic
	5315	31,009	11,398	-97,265	-759,743	-134,960	-183,176	Elastic
	5316	31,013	11,573	-16,154	-749,902	80,077	-164,978	Elastic
444	5317	30,961	11,307	-88,913	-710,904	-291,045	-171,943	Elastic
hdpe	5318	30,962	11,732	-97,666	-544,873	308,432	-139,766	Elastic
	5319	30,950	11,721	-258,552	-572,426	223,375	-177,361	Elastic
	5320	31,005	11,501	26,979	-868,219	-13,643	-179,882	Elastic
	5321	30,992	11,629	-26,798	-683,584	191,694	-153,570	Elastic
	5322	30,988	11,627	-96,265	-718,827	201,484	-174,476	Elastic
	5323	31,000	11,426	-43,665	-834,042	-116,550	-187,094	Elastic
	5324	31,002	11,607	-71,156	-746,369	129,858	-175,069	Elastic
	5325	30,957	11,728	-144,364	-591,842	281,240	-158,461	Elastic
	5326	30,952	11,725	-189,506	-627,845	217,596	-174,649	Elastic
	5327	30,991	11,599	50,661	-774,755	178,453	-156,302	Elastic
	5328	30,995	11,430	-79,661	-862,804	-133,525	-200,148	Elastic

Tablo-6. HDPE Boru Üzerine Gelen Gerilmeler-2

SONUÇLAR

İnsan yaşamı için son derece önemli olan altyapı sistemlerinin olası bir depremde nasıl bir davranış sergileyeceğinin bilinmesi ve bir depreme hazırlık açısından büyük önem taşır. Özellikle deprem sonrası oluşabilecek yangınlara müdahale, su temini ve sağlık açısından boruların sismik tasarımı zorunluluktur.

Bu tür çalışmalarla birlikte gömülü hattın projelendirilmesinde boruda oluşacak olası bir hasar tespit edilerek ona göre gerekli eklemeler, güçlendirmeler ve takviyeler yapılabilir. Bu da ancak boruların gerilme ve deformasyon analizi ile mümkündür. Bu çalışma ile bir ilk gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada 1999 Kocaeli depreminin ivme kaydı programa verilerek analiz yapılmış ve boru hattının davranışı incelenmiştir. Bu çalışmayla birlikte gelecekte aynı bölgede oluşabilecek olası bir depremde toprak hareketleri ve boru hattının davranışı önceden bilinebilecek ve gerekli tedbirler alınabilecektir.

Çelik ve HDPE boru için elde edilen gerilme ve deformasyon sonuçları küçük mertebededir. Maksimum deplasman her iki boru modeli için d=25 mm mertebesinde bulunmuştur. Ancak bu çalışma ile diğer deprem kayıtları kullanılarak rijit boruların davranışı incelenebilir ve esnek borular için elde edilen verilerle karşılaştırma yapılabilir. Bununla birlikte aşağıdaki sonuçlar gözlemlemiştir.

1.Deprem davranışı ve emniyet açısından altyapıda esnek boruların kullanımı daha uygundur.

2. Boruları deprem tasarımı için ivedilikle yönetmenlik hazırlanmalıdır.

3. Analizlerde hesaplamalar için boru tipi ve D/t (çap/boru kalınlığı) oranı önemli olmaktadır.

KAYNAKLAR

ALA, 2001 The American Lifelines Alliance Guide Design for Buried Steel Pipe ASCE

Bilham R, Doyle P.,Evans R., Greening P., May R.,Steward A.,et al.,2003. The Kocaeli, Turkey earthquake of 17 August 1999 a field report by EEIT. Eartquake engineering field investigation team institution of structural engineers, Dina D'Ayala(Editor), Matthew Free(editor)

Howard, A (1996). *Pipeline Installation*, Relativity Publishing, Lakewood CO

Marston, A, and Anderson A. O. 1913. The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Tests of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe. *Bulletin* 31. Ames: Iowa Engineering Experiment Station.

Moser A.P. 2001 Buried Pipe Design McGrow-Hill, New York.

JGA,2000 Japan Gas Association, Seismic Design for Gas Pipelines Recommended Practice for Earthquake-Resistant Design of Gas Pipelines

Ipek, C., Kuzucuoglu, H. A., Kıstır, M. R, 2015. ''Evaluation of Nonstructural Systems in Terms of Earhquake Effects'' International Burdur Earthquake & Environment Symposium May 7-9, 2015, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Turkey.