

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOL DOLGUSU ALTINDAKİ ZEMİNE GÖMÜLÜ
BORULARIN DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Görkem TUNCA

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOL DOLGUSU ALTINDAKİ ZEMİNE GÖMÜLÜ
BORULARIN DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Görkem TUNCA

(501041309)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Mete İNCECİK

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet SAĞLAMER

Prof.Dr. Gökhan BAYKAL (B.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam süresince danışmanlığımı yürüten, yardımlarını ve hoşgörüsünü esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. M. Mete İNCECİK'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

PLAXIS sonlu elemanlar programını öğrenmeye yardımcı olan, ilgisini ve desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Müge BALKAYA'ya teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailem; İbrahim, Güldoğan ve Gizem TUNCA'ya sonsuz teşekkürlerim ile sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca sevgisini ve desteğini hep yanımda hissettiğim, gösterdiği sabır ve yardımlarından ötürü, çok sevdiğim ve hayatım boyunca yanımda olmasını istediğim Dilara KARADENİZ'e sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2006

İnş. Müh. Görkem TUNCA

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xvi
ÖZET	xviii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. GEOSENTETİKLER	3
2.1 Zeminlerin Islahı	3
2.2 Geosentetiklerin Genel Özellikleri ve Çeşitleri	4
2.2.1 Geogridler	4
2.2.2 Geonetler	5
2.2.3 Geomembranlar	5
2.2.4 Geosentetik Kil Tabakaları (GCL)	6
2.2.5 Geokompozitler	6
2.2.6 Geoborular	6
2.2.7 Geoköpükler	7
2.3 Geotekstilller	7
2.3.1 Geotekstillerin Yapıları ve Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	8
2.3.2 Geotekstillerin Sınıflandırılması	9
2.3.2.1 Örgülü Geotekstilller	9
2.3.2.2 Örgüsüz Geotekstilller	10
2.3.3 Geotekstillerin Mekanik Özellikleri	11
2.3.4 Geotekstillerin İşlevleri	13
2.3.4.1 Ayırma	13
2.3.4.2 Güçlendirme	14
2.3.4.3 Filtrasyon	17
2.3.4.4 Drenaj	17
2.3.4.5 Koruma	18
2.3.4.6 Yalıtım	18
2.3.5 Geotekstillerin Özelliklerini Belirleme Yöntemleri	18
3. BORU TÜRLERİ ve KULLANIM ALANLARI	23

3.1	Boru Türleri	23
3.1.1	Beton Borular	23
3.1.2	Asbestli Çimento Borular	23
3.1.3	Font Döküm Borular	24
3.1.4	Çelik Borular	24
3.1.5	PVC Boru	24
3.1.6	HPDE Boru	25
3.2	Boruların Kullanım Alanları	25
3.2.1	Temiz Su Hatları	25
3.2.2	Kanalizasyon Hatları	26
3.2.3	Drenaj Hatları	26
3.2.4	Gaz Hatları	26
4.	ZEMİNE GÖMÜLÜ BORULAR	28
4.1	Boru Yerleştirme Şekilleri	28
4.2	Zemine Gömülü Boru Tasarımında Etkili Olan Faktörler	28
4.2.1	Hendek Durumunda Yataklama Çeşitleri	29
4.2.1.1	A Sınıfı (Beton Gömlek İçerisine Yataklama)	29
4.2.1.2	B Sınıfı (Birinci Sınıf Yataklama)	30
4.2.1.3	C Sınıfı (Sıradan Yataklama)	30
4.2.1.4	D Sınıfı (İzin Verilmeyen Yatak)	31
4.3	Dış Yükler Altında Gösterdiği Dirence Göre Borular	31
5.	ZEMİNE GÖMÜLÜ BORULARA ETKİYEN YÜKLER	34
5.1	Rijit Boru Üzerindeki Dolgu Yüğü	34
5.1.1	Hendek Durumu	34
5.1.2	Dolgu Durumu Pozitif Projeksiyon	39
5.1.3	Dolgu Durumu Negatif Projeksiyon	43
5.2	Esnek (Flexible) Boru Üzerindeki Dolgu Yüğü	49
5.2.1	Marston Yüğü	49
5.2.2	Prizma Yüğü	50
5.2.2.1	Hendek Durumunda Prizma Yüğü	51
5.2.2.2	Dolgu Durumunda Prizma Yüğü	51
5.3	Gömülü Boruların Tasarımı	52
5.3.1	Rijit Boru Tasarımı	52
5.3.1.1	Üç Mesnetli Taşıma Gücü Mukavemeti Deneyi	52
5.3.2	Esnek (Flexible) Boru Tasarımı	53

6. PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI	56
6.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	56
6.2 Plaxis Sonlu Elemanlar Programı	57
7. PLAXIS İLE YAPILAN ANALİZLER	63
7.1 Kum Dolgunun Yerleştirilmesi	66
7.2 Kum Dolguya Geotekstil Uygulanması	68
7.2.1 2m Arayla Geotekstil Uygulanması	68
7.2.2 1m Arayla Geotekstil Uygulanması	71
7.2.3 Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması	74
7.2.4 Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması	77
7.2.5 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	80
7.3 Beton Boru Hattının Yerleştirilmesi	82
7.3.1 Değişik Yataklama Şekillerinin Boru Hattına Etkileri	84
7.3.2 Boru Hattının Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilmesi	86
7.3.2.1 Boru Hattının 1/2 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi	86
7.3.2.2 Boru Hattının 1/3 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi	91
7.3.3 Boru Hattının İksa Yöntemi ile Açılan Hendek İçerisine Yerleştirilmesi	95
7.3.3.1 Boru Hattının Genişliği 7m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi	95
7.3.3.2 Boru Hattının Genişliği 5m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi	100
7.3.3.3 Boru Hattının Genişliği 4m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi	104
7.4 Hdpe Boru Hattının Yerleştirilmesi	108
7.4.1 Boru Hattının Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilmesi	108
7.4.1.1 Boru Hattının 1/2 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi	108
7.4.1.2 Boru Hattının 1/3 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi	109
7.4.2 Boru Hattının İksa Yöntemi ile Hendek Açılarak Yerleştirilmesi	110
7.4.2.1 Boru Hattının Genişliği 7m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi	110
7.4.2.2 Boru Hattının Genişliği 5m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi	112
7.4.2.3 Boru Hattının Genişliği 4m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi	113
7.5 Beton Boru Hattı Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	114
7.5.1 Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	114
7.5.1.1 Geotekstilin 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Uygulanması	114
7.5.1.2 Geotekstilin 1/3 Şev Eğimli Hendek İçerisine Uygulanması	118
7.5.2 İksa Yöntemi ile Açılan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	122
7.5.2.1 Genişliği 7m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	122

7.5.2.2	Genişliği 5m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	126
7.5.2.3	Genişliği 4m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	130
7.6	Hdpe Boru Hattı Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	134
7.6.1	Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	134
7.6.1.1	Geotekstilin 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Uygulanması	134
7.6.1.2	Geotekstilin 1/3 Şev Eğimli Hendek İçerisine Uygulanması	135
7.6.2	İksa Yöntemi ile Açılan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	137
7.6.2.1	Genişliği 7m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	137
7.6.2.2	Genişliği 5m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	138
7.6.2.3	Genişliği 4m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması	139
8.	ANALİZLERİN DEğERLENDİRİLMESİ ve YÜK HESAPLARI	140
8.1	Analizlerin Karşılaştırılması ve Sonuçların Değerlendirilmesi	140
8.2	Yük Hesapları	150
9.	SONUçLAR ve ÖNERİLER	158
9.1	Sonuçlar	158
9.2	İleriki Çalışmalar İçin Öneriler	159
	KAYNAKLAR	160
	EKLER	163
	ÖZGEÇMİŞ	175

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
HDPE	: High Density Polyethylene
IGS	: International Geotextile Society
PE	: Polyethylene
PVC	: Polyvinly Chloride
TS	: Türk Standardı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1: Kobe, Nishinamiyo ve Ashiya kentlerinde Kullanılan Farklı Boru Malzemeleri İçin Hasar Oranları	32
Tablo 5.1: C_d Katsayısı İçin Zemin Cinsine Göre K , μ , γ değerleri	37
Tablo 5.2: Oturma Oranı (r_{sd}) İçin Tipik Değerler	41
Tablo 7.1: Analizlerde Kullanılan Zemin Profillerinin Parametreleri	65
Tablo 7.2: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi, Analiz Sonuçları	67
Tablo 7.3: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları	70
Tablo 7.4: 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları	73
Tablo 7.5: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları	76
Tablo 7.6: Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları	79
Tablo 7.7: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ...	80
Tablo 7.8: Boru Malzeme Özellikleri	83
Tablo 7.9: İksa İle Yerleştirmede Kullanılan Elemanların Malzeme Özellikleri.....	83
Tablo 7.10: Ara Yüzey Mukavemet Azaltma Katsayıları.....	83
Tablo 7.11: Yataklama Şekillerinin Boru Davranışına Etkisi	84
Tablo 7.12: Gömlek Malzemesinin Elastisite Modülünün Değiştirilmesi.....	85
Tablo 7.13: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)	90
Tablo 7.14: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)	90
Tablo 7.15: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)	94
Tablo 7.16: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)	94
Tablo 7.17: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	99
Tablo 7.18: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra).....	99

Tablo 7.19: 5m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	103
Tablo 7.20: 5m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra).....	103
Tablo 7.21: 4m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	107
Tablo 7.22: 4m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra).....	107
Tablo 7.23: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)	108
Tablo 7.24: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)	109
Tablo 7.25: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)	109
Tablo 7.26: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)	110
Tablo 7.27: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	111
Tablo 7.28: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra).....	111
Tablo 7.29: 5m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	112
Tablo 7.30: 5m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra).....	112
Tablo 7.31: 4m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	113
Tablo 7.32: 4m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra).....	113
Tablo 7.33: 1/2 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	117
Tablo 7.34: 1/2 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	117
Tablo 7.35: 1/3 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	121
Tablo 7.36: 1/3 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	121
Tablo 7.37: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	125
Tablo 7.38: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	125
Tablo 7.39: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	129

Tablo 7.40: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	129
Tablo 7.41: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	133
Tablo 7.42: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	133
Tablo 7.43: 1/2 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	134
Tablo 7.44: 1/2 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	135
Tablo 7.45: 1/3 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	136
Tablo 7.46: 1/3 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	136
Tablo 7.47: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	137
Tablo 7.48: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	137
Tablo 7.49: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	138
Tablo 7.50: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	138
Tablo 7.51: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)	139
Tablo 7.52: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)	139
Tablo 8.1: Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen Değerler)	141
Tablo 8.2: Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen Değerler)	142
Tablo 8.3: İksa İle Açılan Hendek İçerisine Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen Değerler)	143
Tablo 8.4: İksa İle Açılan Hendek İçerisine Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen Değerler)	144
Tablo 8.5: Beton Boru Yük Hesapları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce)	150
Tablo 8.6: Beton Boru Yük Hesapları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra)	151
Tablo 8.7: Hdpe Boru Yük Hesapları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce)	151
Tablo 8.8: Hdpe Boru Yük Hesapları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra)	151

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: Bazı Geotekstillerin Mikro Fotoğrafları	11
Şekil 2.2: Farklı Yöntemlerle Üretilmiş Geotekstillerin Çekme Deneyi Sonuçları...12	12
Şekil 2.3: Ayırma İşlevi, Geotekstilsiz ve Geotekstil Uygulanmış Zemin Arasındaki Fark	13
Şekil 2.4: Geotekstilin Ayırma İşlevinin Kullanıldığı Bazı Alanlar	14
Şekil 2.5: Değişik Bölgelerine Geotekstil Yerleştirilmiş Sıkı Kum Numunelerinin Üç Eksenli Deneyi Sonuçları.....	15
Şekil 2.6: Geotekstilin Güçlendirme İşlevinin Kullanıldığı Bazı Uygulamalar	16
Şekil 2.7: Geotekstilin Kalınlığının Belirlenmesinde Kullanılan Deney Ekipmanı ..19	19
Şekil 2.8: Geniş Doğrultuda Çekme Dayanımı Deneyi.....	20
Şekil 2.9: İkizkenar Yamuk Yırtılma Deneyi	21
Şekil 2.10: Düz Yırtılma Deneyi.....	21
Şekil 2.11: Yarılma Deneyi	22
Şekil 4.1: Boru Yerleştirme Şekilleri	28
Şekil 4.2: Hendek Durumunda A Sınıfı Yataklama	29
Şekil 4.3: Hendek Durumunda B Sınıfı Yataklama	30
Şekil 4.4: Hendek Durumunda C Sınıfı Yataklama	30
Şekil 4.5: Hendek Durumunda D Sınıfı Yataklama.....	31
Şekil 5.1: Hendek Durumunda Boruya Etkiyen Yükler.....	35
Şekil 5.2: Eğimli Hendek Ve Alt Hendeklerde Kullanılacak B_d Genişlikleri	37
Şekil 5.3: Hendek Durumunda C_d Katsayısı Diyagramı	38
Şekil 5.4: Geçiş Genişliği Hesaplama Diyagramı.....	39
Şekil 5.5: Pozitif Projeksiyon, Projeksiyon Durumu	40
Şekil 5.6: Pozitif Projeksiyon, Hendek Durumu.....	40
Şekil 5.7: Pozitif Projeksiyonlu Borular İçin C_c Katsayısı Diyagramı	43
Şekil 5.8: Negatif Projeksiyon Durum	44
Şekil 5.9: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p' = 0.5$).....	45
Şekil 5.10: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p' = 1.0$).....	46
Şekil 5.11: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p' = 1.5$).....	47

Şekil 5.12: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p' = 2.0$).....	48
Şekil 5.13: Marston Teorisi Esnek Borularda Yük Dağılımı	49
Şekil 5.14: Esnek Borularda Prizma Yüğü	50
Şekil 5.15: Üç Mesnetli Taşıma Gücü Mukavemeti Deneyi	52
Şekil 5.16: Yataklama Şekilleri İçin Yük Faktörleri.....	53
Şekil 5.17: Esnek Boruların Deformasyonu	54
Şekil 6.1: Genel Ayarlar Proje Sekmesi	58
Şekil 6.2: Genel Ayarlar Boyutlar Sekmesi.....	58
Şekil 6.3: 'Input' Bölümü Ana Sayfası	60
Şekil 6.4: 'Calculation' Bölümü Ana Sayfa	61
Şekil 6.5: 'Tunnel Designer' Bölümü Sayfa Görünüşü.....	62
Şekil 7.1: Genel Zemin Profili	63
Şekil 7.2: Yol Dolgusunun Yerleştirilmesi Analizde Kullanılan Geometri	64
Şekil 7.3: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi, Sonlu Elemanlar Ağı.....	66
Şekil 7.4: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği	67
Şekil 7.5: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi Deplasman Artım Vektörleri.....	68
Şekil 7.6: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı	69
Şekil 7.7: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği	70
Şekil 7.8: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri	71
Şekil 7.9: 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı	71
Şekil 7.10: 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği	73
Şekil 7.11: Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri	74
Şekil 7.12: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı	74
Şekil 7.13: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği	76
Şekil 7.14: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri	77
Şekil 7.15: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı	77
Şekil 7.16: Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği	79
Şekil 7.17: Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri	80

Şekil 7.18: Donatılı ve Donatısız Kum Dolgu Deplasman Artım Vektörlerinin Karşılaştırılması.....	81
Şekil 7.19: Boru Hattının Yerleştirilmesi.....	82
Şekil 7.20: Eğimli Hendek Açılarak Boru Hattının Yerleştirilmesi.....	86
Şekil 7.21: 1/2 Şev Eğimli Hendek Kesiti.....	87
Şekil 7.22: 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı.....	87
Şekil 7.23: 1/2 Şev Eğimli Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti.....	88
Şekil 7.24: 1/3 Şev Eğimli Hendek Kesiti.....	91
Şekil 7.25: 1/3 Şev Eğimli Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı.....	91
Şekil 7.26: 1/3 Şev Eğimli Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti.....	92
Şekil 7.27: İksa İle Boru Hattının Yerleştirilmesi.....	95
Şekil 7.28: 7m Genişlik İksa Kesiti.....	96
Şekil 7.29: 7m Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı.....	96
Şekil 7.30: 7m Genişlikte Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti.....	97
Şekil 7.31: 5m Genişlik İksa Kesiti.....	100
Şekil 7.32: 5m Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı.....	100
Şekil 7.33: 5m Genişlikte Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti.....	101
Şekil 7.34: 4m Genişlik İksa Kesiti.....	104
Şekil 7.35: 4m Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı.....	104
Şekil 7.36: 4m Genişlikte Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti.....	105
Şekil 7.37: Geotekstil Uygulanan 1/2 Şev Eğimli Hendek Kesiti.....	114
Şekil 7.38: Geotekstil Uygulanan 1/2 Şev Eğimli Hendeğin Sonlu Eleman Ağı.....	115
Şekil 7.39: 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Modelde Kullanılan Kesit.....	115
Şekil 7.40: Geotekstil Uygulanan 1/3 Şev Eğimli Hendek Kesiti.....	118
Şekil 7.41: Geotekstil uygulanan 1/3 Şev Eğimli Hendeğin Sonlu Eleman Ağı.....	118
Şekil 7.42: 1/3 Şev Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Modelde Kullanılan Kesit.....	119
Şekil 7.43: Geotekstil Uygulanan 7m Genişliğindeki Hendek Kesiti.....	122
Şekil 7.44: Geotekstil Uygulanan 7m Genişlikteki Hendeğin Sonlu Eleman Ağı.....	122
Şekil 7.45: Geotekstil Uygulanan 7m Genişlikteki Hendeğin Modelde Kullanılan Kesiti.....	123
Şekil 7.46: Geotekstil Uygulanan 5m Genişliğindeki Hendek Kesiti.....	126
Şekil 7.47: Geotekstil Uygulanan 5m Genişlikteki Hendeğin Sonlu Eleman Ağı.....	126

Şekil 7.48: Geotekstil Uygulanan 5m Genişlikteki Hendeğin Modelde Kullanılan Kesiti	127
Şekil 7.49: Geotekstil Uygulanan 4m Genişliğindeki Hendek Kesiti	130
Şekil 7.50: Geotekstil Uygulanan 4m Genişlikteki Hendeğin Sonlu Eleman Ağı...	130
Şekil 7.51: Geotekstil Uygulanan 4m Genişlikteki Hendeğin Modelde Kullanılan Kesiti	131
Şekil 8.1: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen Eğimli Hendek Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması Grafiği.....	145
Şekil 8.2: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen Eğimli Hendek Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması Grafiği.....	145
Şekil 8.3: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması Beton ve Hdpe Boru Analizlerinin Karşılaştırılması Grafiği.....	147
Şekil 8.4: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması, Beton Boru Hattının Yerleştirildiği Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları Karşılaştırılması Grafiği	147
Şekil 8.5: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması Beton ve Hdpe Boru Analizlerinin Karşılaştırılması Grafiği.....	148
Şekil 8.6: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması, Beton Boru Hattının Yerleştirildiği Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları Karşılaştırılması Grafiği	148
Şekil 8.7: Eğimli Hendek Açılarak Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce).....	152
Şekil 8.8: Eğimli Hendek Açılarak Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra).....	153
Şekil 8.9: İksa İle Açılan Hendeğe Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce).....	154
Şekil 8.10: İksa İle Açılan Hendeğe Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra).....	155
Şekil 8.11: Beton Boru Yük hesapları Karşılaştırılması	156
Şekil 8.12: Hdpe Boru Yük Hesapları Karşılaştırılması	156
Şekil A1.1: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Deformasyondan Sonra Sonlu Eleman Ağı.....	164
Şekil A1.2: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Düşey Deplasmanlar	165
Şekil A1.3: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Efektif Gerilmeler	166
Şekil A1.4: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Toplam Gerilmeler	167
Şekil A1.5: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Aktif Boşluk Suyu Basınçları.....	168

Şekil A1.6: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Artık Boşluk Suyu Basıçları.....	169
Şekil A1.7: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Düşey Deplasmanlar	170
Şekil A1.8: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Eksenel Kuvvetler	171
Şekil A1.9: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Kesme Kuvveti	172
Şekil A1.10: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Eğilme Momenti	173
Şekil A1.11: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Efektif Normal Gerilmeler.....	174

SEMBOL LİSTESİ

- B_c** : Borunun dış çapı
- B_a** : Boru üst seviyesinde hendek genişliği
- c** : Kohezyon
- C_c** : Pozitif projeksiyonlu borular için katsayı
- C_d** : Hendek tipi borular için yük katsayısı
- C_n** : Negatif projeksiyonlu borular için katsayı
- D_L** : Eğilme gecikme faktörü
- ΔX** : Yatay eğilme veya çapta değişim
- e** : Yan dolgunun pasif direnci
- E** : Borunun elastisite modülü
- EA** : Eksenel rijitlik
- EI** : Bükülme rijitliği
- E_{ref}** : Young modülü
- φ** : İçsel sürtünme açısı
- γ** : Yerleştirilen zeminin birim hacim ağırlığı
- γ_{dry}** : Kuru birim hacim ağırlığı
- γ_{sat}** : Doygun birim hacim ağırlığı
- H** : Boru üzerindeki dolgu yüksekliği
- H_e** : Eşit oturma düzleminin yüksekliği
- I** : Borunun eylemsizlik momenti
- K** : Aktif yanal basıncın düşey basınca oranı
- K** : Yataklama açısına bağlı katsayı
- k_x** : Yatay yönlü permeabilite
- k_y** : Düşey yönlü permeabilite

- μ : Yerleştirilen zemin sürtünme katsayısı ($\tan\Phi$)
- μ' : Hendek cidarı ile yerleştirilmiş zemin arasındaki sürtünme katsayısı ($\tan\Phi'$)
- ν : Poisson oranı
- p : Pozitif projeksiyonlu borularda projeksiyon oranı
- p' : Negatif projeksiyonlu borularda projeksiyon oranı
- P : Prizma yükü
- r : Borunun ortalama yarıçapı
- r_{sd} : Oturma oranı
- R_{inter} : Arayüzey mukavemet azaltma katsayısı
- ψ : Dilatansi açısı
- V : Hacimsel elemanın üst seviyesindeki basınç
- w : Ağırlık
- W : Boru üzerindeki yük

ÖZET

İnşaat mühendisliğin ana bilim dallarından biri olan zemin mekaniği; zemin ile ilgili problemleri çözmeye yönelik bir daldır. İnşaat projelerinde zemin ile ilgili problemler sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

1970’li yıllardan beri üretilen birçok yeni yöntemle problemlerli zeminler iyileştirilerek, zemindeki oturma problemi ortadan kaldırılmakta, taşıma kapasitesi, güvenlik sayısı artırılmakta ve deprem durumunda sıvılaşan, mukavemeti azalan zeminler iyileştirilmektedir. Yumuşak zemine oturan dolgular ve zemine gömülü borular da projelerde karşılaşılan zemin problemlerindedir.

Yapılan çalışma kapsamında; yumuşak zemin içerisine 3m çapında boru hattı yerleştirilerek, doğal zemin yüzeyine yol dolgusunun inşası sonlu elemanlar analiziyle modellenmiştir. Analizlerde PLAXIS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

İlk olarak yol dolgusunun inşası modellenerek, boru hattı yerleştirilmeden dolgunun analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda donatısız olarak inşa edilen yol dolgusunun, şev stabilitesini sağlamadığı görülmüştür. Yol dolgusunu sorunsuz olarak inşa edebilmek ve şev stabilitesini sağlayabilmek için zemin iyileştirilmesi yapılarak yol dolgusu güçlendirilmiştir. Zemin iyileştirilmesi yöntemi olarak zemine donatı yerleştirilmesi tercih edilmiştir. Geosentetiklerle güçlendirme olarak bilinen bu yöntemde donatı olarak geotekstil kullanılmıştır.

Yol dolgusunun stabilitesi sağlandıktan sonra boru hattı yerleştirilerek boru davranışı incelenmiştir. Boru hattının yerleştirilmesinde, yataklama şekli ve yataklama malzemelerinin etkileri farklı modeller kurularak karşılaştırılmıştır. Boru hattının analizlerinde; eğimli hendek ve iksa yöntemi kullanılarak açılan hendek içerisine borunun yerleştirilmesi modellenmiştir. Değişik eğimlerde ve hendek genişliklerinde modeller kurularak hendek genişliği değişiminin boru davranışına etkisi gözlemlenmiştir. Boru malzemesinin, boru davranışına etkilerini incelemek amacıyla beton ve HDPE olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır.

Boru analizleri gerçekleştirilirken; yol dolgusu inşasının boru davranışındaki etkilerini gözlemleyebilmek için, analizler yol dolgusunun inşasından önce ve inşasından sonra olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Son olarak; boru üzerindeki yükler ‘Marston Yük Teorisi’ kullanılarak hesaplanmış, hesaplanan bu yükler PLAXIS sonlu elemanlar yönteminden elde edilen yükler ile karşılaştırılmıştır.

THE BEHAVIOUR OF BURIED PIPES UNDER ROAD EMBANKMENT

SUMMARY

Soil mechanics which is a branch of civil engineering, deals with problems about soil structure. One is often confronted with soil related problems. Since 1970's, with the development of new methods, problematic soils are being improved, the settlement problems are being eliminated, bearing capacities and safety factors are being redounded and the soils which liquefy and lose their strength are being ameliorated. The embankments on soft soils and buried pipes cause problems that the geotechnical engineers have to confront during the projects.

During this study, a 3m diameter pipe was emplaced on soft soil and the construction of a road embankment on natural soil was modelled with finite element analysis. Analyses were performed by using PLAXIS finite element program.

First, the construction of road embankment was modelled and the embankment was analysed without the emplacement of pipeline. The results showed that the road embankment constructed without reinforcement, couldn't provide the slope stability. In order to construct the road embankment without experiencing any problems and to provide the slope stability, the road embankment was reinforced with a soil improvement method. As an improvement method it was chosen to establish geosynthetic reinforcement. For the geosynthetic reinforcement; geotextiles was used as reinforcing material. In geotechnical engineering this method is known as 'Reinforcement with geosynthetics'.

Once the stability of the road embankment was provided, the pipeline was embedded and the pipe behaviour was examined. On the establishment of the pipeline, the effects of bedding class and bedding material were compared with the usage of different models. When analysing the pipeline sloping trench and embedding the pipeline with using brace cuts methods were used and the embedding of the pipeline in the trench was modelled. Models were established with different slopes and trench widths, in this way the effects of trench width changes were investigated. In order to analyse the effects of pipe material on pipe behaviour, concrete and HDPE materials were used.

Pipe analyses were made both before and after the establishment of road embankment to investigate the effects of embankment on the pipe behaviour. Finally to estimate the external loads on the buried pipe 'Marston Load Theory' was chosen. The results were compared to ones that were derived from PLAXIS finite element program.

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliğin ana bilim dallarından biri olan zemin mekaniği; zemin ile ilgili problemleri çözmeye yönelik bir daldır. İnşaat projelerinde zemin ile ilgili problemler karşımıza çıkmaktadır.

1970'li yıllardan beri üretilen birçok yeni yöntemle problemlili zeminler iyileştirilerek, zemindeki oturma problemi ortadan kaldırılmakta, taşıma kapasitesi, güvenlik sayısı artırılmakta ve deprem durumunda sıvılaşan, mukavemeti azalan zeminler iyileştirilmektedir. Yumuşak zemine oturan dolgular ve zemine gömülü borular; projelerde karşılaşılan zemin problemlerindedir.

Yol dolgusunun yumuşak zemine inşasında en büyük sorun dolgunun yerleştirildikten sonra zeminde oluşacak deplasmanlar ve dolgunun şev stabilitesini sağlayamamasıdır. Bu problemin önüne geçebilmek için birtakım zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu iyileştirme yöntemlerinden biri de geosentetiklerle yapılan donatılı zemin olarak adlandırılan iyileştirmedir.

Geosentetiklerle yapılan zemin iyileştirmelerinde problemin çeşidine göre kullanılan; geogrid, geonet, geomembran, geosentetik kil tabakası, geoborular, geoköpükler ve geotekstilller gibi farklı özellikte ve kullanım amacında geosentetikler mevcuttur. Şevin stabilitesini arttırmak ve mukavemetini geliştirmek amacıyla genellikle geotekstilller tercih edilmektedir.

Geotekstillerin ilk kullanımı 1950 yılının sonlarına doğru erozyon kontrolü ve granüler zemin filtrelerine alternatif drenaj uygulamaları olmuştur. Dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlamasının ardından akademisyen ve geoteknik mühendislerinin istekleri doğrultusunda konferanslar düzenlenmiştir. Geotekstilller çeşitli parametrelere göre sınıflandırılabilirler. Sınıflandırma çeşitleri genel olarak; polimer bileşimine göre, ağırlığına göre, mühendislik fonksiyonlarına göre ve yapım tekniğine göre sınıflandırmalardır. En çok kullanılan ve ayırıcı bir sınıflandırma geotekstilleri yapım tekniklerine göre örgülü ve örgüsüz olmak üzere ikiye ayırılır.

Geotekstil çeşitlerinden örgülü geotekstiller yüksek çekme dayanımlarıyla güçlendirme de önemli rol oynamaktadır.

Bahsedilen zemin problemlerinden biri de zemine gömülü boruların tasarımıdır. Gaz, petrol gibi hammaddelerin taşınması, yağmur sularının drenajı, karayolları ve demiryolları menfezleri, elektrik ve telefon hatlarının yeraltından geçirilmeleri, temiz su hatları ve atık su hatları gibi örneklendirebileceğimiz birçok zemine gömülü boru kullanım alanı mevcuttur.

Zemine gömülü boruların sürekli zemin ile etkileşim durumunda olduğu göz önünde bulundurulduğunda oluşturulan boru sistemlerinin karşılayacağı yükler ve çeşitli imalat durumlarına göre kazanacakları mukavemet, tasarımda önemli yer tutmaktadır.

Zemine gömülü boruların tasarımına ait ilk modern yaklaşımlar 1900'lerin başlarında Anston Marston tarafından gerçekleştirilmiştir. Yaptığı çalışmalar ve deneyler sonucunda 'Marston Yük Teorisi' ortaya çıkmıştır. Rijit borular ve belirli yük durumlarıyla sınırlı kalan bu teori M.G. Spangler tarafından geliştirilerek esnek borular ve dolgu altına yerleştirilen boruları da kapsamıştır.

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle geline nokta, mühendislik problemlerinin bilgisayar destekli olarak incelenmesi de ön plana çıkmıştır. Analizlerde 'Sonlu Elemanlar Yöntemi' tercih edilmeye başlanmıştır. Hızlı bir biçimde makul sonuçlar verdiği için zemin mekaniğinde karşılaşılan problemlerin incelenmesi ve analizlerinde de kullanım alanı bulmuştur.

2. GEOSENTETİKLER

2.1 Zeminlerin Islahı

Zeminler her zaman inşaata uygun nitelikte olmamaktadır, problemlı zeminler diye tanımladığımız bu zeminlerde ıslah yöntemleri kullanılarak zeminin iyileştirilmesi ile kullanılabilir duruma getirilmesi ve problemlı zeminin taşıma gücünün artırılması gerekmektedir. 1970'li yıllardan beri üretilen birçok yeni yöntemle problemlı zeminler iyileştirilerek, zemindeki oturma problemi ortadan kaldırılmakta, taşıma kapasitesi, güvenlik sayısı artırılmakta ve deprem durumunda sıvılaşan, mukavemeti azalan zeminler iyileştirilmektedir. Zemin ıslahı yöntemiyle derin temel sistemlerinden çok daha ekonomik ve daha kısa sürede yapılabilen geoteknik çözümler elde edilmektedir. Dünyada ve ülkemizde çok sık kullanılan zemin ıslah yöntemleri aşağıda sıralanmıştır. [39]

- Taş kolonlar
- Kum kazıklar, düşey drenler
- Ön yükleme
- Derin karıştırma
- Vibrokompaksiyon, vibroflotasyon
- Dinamik kompaksiyon (Ağırlık düşürme)
- Enjeksiyon
- Jet grout
- Donatılı zemin (Geosentetikler ile güçlendirme)

Zemin ıslah yöntemlerinden biri olan donatılı zemin uygulamasının tarihsel gelişimi uzun yıllara dayanmaktadır. Donatılı zeminlerde ilk büyük gelişme 1960'lı yılların sonlarında Fransız mimar Henry Vidal sahildeki küçük kum yığınların arasına düşen çam yapraklarının kumun stabilitesini arttırdığını gözlemleyerek donatılı zemin uygulamaları için patent almıştır. Bu yıllardan sonra donatılı istinat duvarları inşa edilmeye başlanmıştır. Zemin içerisine konulan donatılar metal çubuklardan oluşmaktadır. 1970'li yılların ortalarında Bob Holtz metal donatı yerine sentetik

dokuma türü malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmayı yapmıştır. Ülkemizde ise ilk donatılı zemin uygulaması Elmadağ üstgeçidinde gerçekleştirilmiştir. 1970’li yıllarda 6 çeşit geosentetik üretilirken bu sayı günümüzde 600’ü aşmıştır. [6, 7, 15]

2.2 Geosentetiklerin Genel Özellikleri ve Çeşitleri

Geosentetik kelimesi anlam itibariyle geo ve sentetik kelimelerinin birleşmesinden oluşmuştur. Geo yer, arazi anlamına; sentetik ise insan yapımı anlamına gelmektedir.

Geosentetik kelime anlamı itibariyle arazi sentetiği, arazi suni ürünü olarak tanımlanabilir. Geosentetiklerin üretiminde plastik sanayi ön plana çıkmaktadır. Geosentetikler genelde sentetik polimer esaslı ürünler olup farklı kimyasal katkı maddeleri yardımıyla polipropilen, polyester, polivinil klorid, yüksek yoğunluklu polietilen gibi değişik türde ve özellikte polimerler elde edilebilir. Geosentetik üretiminde tüm bu polimerler kullanılmaktadır. Ancak en çok tercih edilen polimerlerin %30’ unu polivinil kloridler ve %65’ ini de yüksek yoğunluklu polietilenler oluşturmaktadır. Başlıca geosentetik türleri aşağıda verilmiştir. [19, 39]

- Geogridler
- Geonetler
- Geomembranlar
- Geosentetik kil tabakaları(GCL)
- Geokompozitler
- Geoborular
- Geoköpükler
- Geotekstilller

Tez kapsamında geotekstil kullanıldığından; daha geniş olarak, alt başlık şeklinde geotekstillere ile ilgili bilgi verilecektir.

2.2.1 Geogridler

Kelime anlamıyla arazi ızgarası, arazi eleği olarak tanımlayabileceğimiz geogridler; birbirine dik iki polimer sıranın kesişmesiyle oluşan bir geosentetik çeşididir. Geogridlerin yapımında genel olarak yüksek yoğunluklu polietilen veya polipropilen kullanılmaktadır. Üretim aşaması polimer plakaların uygun şekil ve aralıkta zımbalama yoluyla delinmesiyle başlar. Delinmiş polimer plaka ısıtılır ve geogrid

yapım sürecine uygun olarak makine yönünde çekilir. Ortaya çıkan ürün tek yönlü geogrid (uniaxial geogrid) olarak adlandırılır. Ürüne dikey ikinci bir çekme uygulanırsa çift yönlü geogrid (biaxial geogrid) olarak adlandırılır. Bu tek yönlü ve çift yönlü çekmeler sırasında uzun zincirli polimer molekülleri çekme yönünde sıralanarak (moleküler uyum) yüksek mukavemetli elemanlardan oluşan bir ağ yapı meydana getirir. Bu yapının elemanlarına (çubuklar ve bağlantı noktaları) moleküler uyum sayesinde yüksek mukavemet kazandırılmış olur. Kalınlıkları 4 ile 6mm arasında değişmektedir. Stabilize yollarda agregaların altına, demiryollarında kırmataşların altına, dolguların altına, şev stabilitesini artırma, yumuşak zeminlerde, diğer geosentetiklerin arasına serilmesi suretiyle birçok uygulama alanı vardır. [19, 40]

2.2.2 Geonetler

Geonetlerin kökenini İngiltere’de ilk olarak hafif plastik fileler olarak süpermarketlerde meyve ve sebze taşımak için üretim patenti alınan malzemeler oluşturmaktadır. Yapılan deneylerle kademeli olarak damarların kalınlığı artırılmış ve inşaat sektöründe kullanmak için drenaj fileleri geliştirilmiştir. Arazi ağı, arazi kafesi olarak da tanımlayabileceğimiz geonetler de yatay ve dikey hatların kesişmesinden oluştuğu için yapı olarak geogridlere benzemektedir ve geogridlerin alt grubunu oluşturmaktadır. Geonetlerin ayrıldığı nokta, geogridler güçlendirme için kullanılırken geonetlerin drenaj için kullanılmasıdır. Çoğu geonet polietilen esastır. Genellikle 12mm uzunluğunda 8mm genişliğinde baklavalardan oluşmaktadır, kalınlıkları ise 5mm ile 7mm arasında değişmektedir. Kullanım alanları; istinat duvarlarının arkasında suyun drenajını sağlamak, otoyol altlarında pis suyun drenajını sağlamak gibi sıralanabilecek birçok drenaj uygulamalarıdır. [19, 35]

2.2.3 Geomembranlar

Geomembranlar ilk olarak bütül kauçuktan imal edilmeye başlanmıştır. 1980’li yıllardan sonra ise plastik endüstrisinin gelişmesiyle beraber termoplastik polimerlerden üretilmeye başlanmıştır. Termoplastik polimerlerin en ilginç özelliği; ısıtıldıklarında dayanıklılıklarında farklılık olmaksızın yumuşak ve esnek bir hal almaları, tekrar soğutulduklarında ise ısıtılmadan önceki orijinal özelliklerine geri dönmeleridir. Oldukça çeşitli üretim şekilleri vardır. Üretim şekillerine göre genişlikleri 4,6m ile 9,5m arasında, kalınlıkları ise 0.75 ile 3mm arasında

değişmektedir. Geomembranların kullanım alanlarını en belirgin özelliği olan geçirimsizlik belirlemektedir. Eşdeğer yayılma permeabilitesi 10^{-13} ile 10^{-15} m/sn olan tipik bir termoplastik geomembranın en yakın rekabetçisi yaklaşık 10^{-9} m/sn permeabilitesiyle doğal kildir. Geomembranlar çevre, geoteknik, hidrolik ve ulaşım dallarında birçok uygulama alanına sahiptir. [19, 35, 27]

2.2.4 Geosentetik Kil Tabakaları (GCL)

Geosentetik kil tabakaları ilk olarak Amerika'da 1988 yılında katı atık deposu yapımında geomembrana yardımcı olarak kullanılmıştır. Almanya'da da aynı senelerde Bentofix adıyla iki geotekstil arasına yerleştirilip preslenmek suretiyle oluşturulan bentonit pudrası üretilmiştir. Günümüzde de farklı isimler altında birçok geosentetik kil tabakaları üretilmektedir. Ancak çoğu üretici permeabilitesi 1×10^{-11} ile 5×10^{-11} m/sn arasında değişen sodyum bentonit kilini tercih etmektedir. Geosentetik kil tabakalarının genişlikleri üreticiye ve seçilen malzemelere göre 4 ile 5m arasında, uzunlukları ise 30 ile 60m arasında değişmektedir. Sıkıştırılmış kil tabakalarına uygulanan geomembranlar gibi geosentetik kil tabakaları da genel olarak sıvı iletimini engellemek için hidrolik bariyer görevini görmektedir. [19, 27]

2.2.5 Geokompozitler

Geokompozitler; birbirinden farklı özelliklere sahip değişik elemanların özel problemlere çözüm getirebilmek amacıyla birlikte kullanılması şeklinde tanımlanabilir. Genelde birlikte kullanılan geokompozitler aşağıda verilmiştir. [19]

- Geotekstil-Geonet
- Geotekstil-Geomembran
- Geomembran-Geogrid
- Geotekstil-Geogrid

2.2.6 Geoborular

Su, gaz, yağ gibi sıvıların taşınması için kullanılan rijit olarak tanımlanan boru hatları genellikle çelik ve betondan üretilmektedir. Yükü tamamıyla kendisi taşıyan bu rijit borular yerine esnek olarak tanımlayabileceğimiz yükü aktaran geoborular son zamanlarda kullanım alanlarını arttırmışlardır. Dünyada günümüzde, doğal gaz hatlarının %95'i plastik boru olarak da adlandırabileceğimiz yüksek yoğunluklu

polietilen geoborulardan oluşmaktadır. Doğal gaz hatları dışında da birçok drenaj hattında kullanımı mevcuttur. [19, 35]

2.2.7 Geoköpükler

Geoköpükler (geofoam); polisitiren köpük malzemelerini oluşturmakta, geoteknik mühendisliğindeki kullanım alanları ve fonksiyonları ülkemizde az değinilen ve az bilinen bir konu olup çalışmaların genellikle bilimsel ve ürün tanıtıcı olarak yapıldığı görülmektedir. Geofoam terimi ilk kez 1992’de kullanılmış olduğundan tanımı üzerinde halen bazı karışıklıklar mevcuttur. Çok basit olarak; geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan her türlü köpük malzemenin genel adıdır. Ancak, Horvath’a (1995) göre geofoamun en doğru tanımı, kapalı ve içi gaz dolu muhtelif hücrelerin oluşumu ile sonuçlanan ve genişletme yolu ile elde edilen bir malzeme olduğudur. Hücre duvarları katı ancak gazlara karşı geçirgendir. Geofoam artık dünya genelinde geotekstil, geomembran v.b. gibi bir geosentetik ürün kabul edilmektedir. [16, 19]

Geoteknik mühendisliği kapsamında özellikle yol mühendisliği uygulamalarında veya herhangi bir amaçlı sedde altında, istinat duvarları arkasında (itki azaltıcı, titreşim sönümleyici), yol üst kaplamalarında ve sığ temellerin altında (don etkilerini azaltıcı), hatta şev kayması olaylarında (kayan kitle ağırlığını oldukça azaltmak üzere) kayan kitle içinde kullanılabilir. Çok yumuşak zeminler üzerinde oturma problemlerini azaltması nedeniyle tercih edilmekte olup bu malzeme günümüzde bir geosentetik malzeme olarak kabul edilmektedir. [34]

2.3 Geotekstiller

Geotekstiller ASTM (American Society of Testing Materials) standartlarına göre; insan yapısı bir proje, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile kullanılan geçirimli bir tekstil ürünü olarak tanımlanmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde erozyon, oturma, deprem gibi etkilere karşı oluşan süreksizlikleri sonlandırarak tabaka ve yüzeylerin korunmasını sağlamaktadır. [3, 35]

Geotekstillerin ilk kullanımı 1950 yılının sonlarına doğru erozyon kontrolü ve granüler zemin filtrelerine alternatif drenaj uygulamaları olmuştur. Dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlamasının ardından akademisyen ve geoteknik

mühendislerinin istekleri doğrultusunda konferanslar düzenlenmiştir. Bu konferanslardan en önemlileri; 1977’de Paris, 1982’de Las Vegas, 1986’da Viyana, 1990’da Lahey ve aynı yıl içinde Singapur’da düzenlenenlerdir. Konferanslar dışında geotekstiller ile ilgili çalışmalar yapan kuruluşların üye olduğu uluslararası bir organizasyon olan IGS (International Geotextile Society) 1983 yılında kurulmuştur. [32]

2.3.1 Geotekstillerin Yapıları ve Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Geotekstilin yapısında iki ana malzeme olarak fiber ve iplik karşımıza çıkmaktadır. Fiberler bükülebilir bir inceliğe sahip yüksek boy kalınlık oranıyla karakterize edilen malzemelerdir. İplikler ise belirli uzunluklara sahip küçük kesit alanlı bükülmüş ya da bükülmemiş fiberlerin montajlanmış geotekstil üretimine hazır halleridir. Fiber üretimi için polimerler eritilir, pompalar yardımıyla çok sayıda deliklere sahip püskürtme memesine doğru itilir, bobinlere sarılı olarak çıkan fiberler germe ve ısıtıl işlemler uygulanarak dayanımları artırılır. Elde edilen fiberler bükülerek iplikler elde edilmektedir.

Polimerlerin üretiminde plastik sanayi önemli rol oynamaktadır. Plastikler genel olarak termoplastikler ve termosetingler olarak üretilebilmektedir. Termoplastikler ısıtılıp soğutulduklarında özelliklerini kaybetmeyen, termosetingler ise sertleştiklerinde ise son durumlarını koruyan plastik çeşitleridir. Geotekstil üretiminde monomerlerden oluşan termoplastiklerden yararlanılmaktadır. Monomerler kimyasal işleme tabi tutularak uzun moleküler zincirler oluşturmaları sağlanarak polimerler elde edilir. Bu işlemde kullanılan kimyasal maddenin çeşitliliğine göre polipropilen, polietilen gibi polimerler elde edilmiş olur. [24]

Geotekstil üretiminde tercih edilen polimer türleri yüzdeler olarak aşağıda verilmiştir. [19]

- Polipropilen (\approx %85)
- Polyester (\approx %12)
- Poliamid (\approx %2)
- Polietilen (\approx %1)

2.3.2 Geotekstillerin Sınıflandırılması

Geotekstiller çeşitli parametrelere göre sınıflandırılabilirler. Sınıflandırma çeşitleri genel olarak; polimer bileşimine göre, ağırlığına göre, mühendislik fonksiyonlarına göre ve yapım tekniğine göre sınıflandırmalardır. En çok kullanılan ve ayırıcı bir sınıflandırma geotekstilleri yapım tekniklerine göre örgülü ve örgüsüz olmak üzere ikiye ayırandır.

2.3.2.1 Örgülü Geotekstiller

Örgülü geotekstiller iki yönde aralıksız iplik içeren, genellikle yüksek çekme mukavemeti istenildiğinde kullanılan geotekstil ürünüdür. Her iki yönde dokunmuş olduğundan dolayı örgülü geotekstiller diyagonal mukavemet göstermektedir. Bu yüzden; yük taşıma kapasitesinin artırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. [35]

Dokuma tezgahlarında üretilen örgülü geotekstiller; bir dizi boyuna elemanın ve bir dizi enine elemanın kullanılarak üretilen bir malzemedir. Dokuma işlemi; ipliklerin uzun doğrultuda uygun deliklerden geçirilerek, kısa doğrultudaki tarakların boyuna doğrultudaki iplikleri yukarı aşağı yönde taraması ve aynı anda kısa doğrultudaki ipliklerin aralardan geçirilmesiyle gerçekleşmektedir. Dokuma işleminden sonra rulo şeklinde sarılan örgülü geotekstilin genişliği 3 ile 5m arasında değişmektedir. [19]

Örgülü geotekstiller de üretildikleri iplik ve fiberin türlerine göre alt gruplara ayrılmaktadır. Aşağıda örgülü geotekstil grupları verilmiştir.

- Tek iplikli tip (Woven monofilament): Tek, kalın ve genellikle çapları 0,1mm olan yuvarlak kesitli, birlikte haddelenmiş, soğutulmuş, ısı işlem uygulanmış ipliklerden oluşmaktadır. Suyun içinden akışına az direnç gösteren tül veya elek tipi geotekstil yapımında kullanılmaktadır. Genelde filtreme amaçlı bazen de güçlendirme için kullanılmaktadır.
- Çok iplikli tip (Woven multifilament): Çok ince, belirli uzunluğa sahip iplikler yığılından oluşur. Kumaş olarak tanımlanır.
- Şeritli tip (Woven fabric): Eğrilmemiş yassı çok uzun polimer filmlerden çekilmiş şeritlerden üretilmektedir. 5mm den daha az genişliğe şeritlerden örülen şeritli tip örgülü geotekstil suya karşı düşük geçirgenliğe sahiptir.
- Kesikli film tipi (Woven slit film): Fiber kalitesi mekaniksel liflendirmeyeyle elde edilmiştir.

2.3.2.2 Örgüsüz Geotekstiller

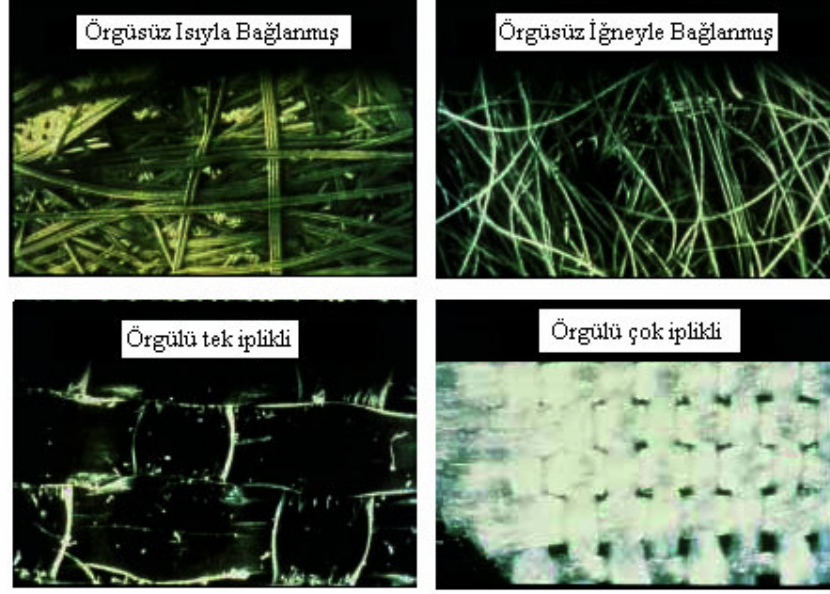
Örgüsüz geotekstiller; mekanik, kimyasal veya fiziksel yöntemlerle birbirine tutturulmuş, tek yönlü ya da gelişigüzel dizilmiş elyaflardan imal edilmiş tabaka, ağ veya keçe olarak tanımlanabilir. Fiberler birbirlerine örme ya da dokuma yoluyla değil de bağlanma ve karşılıklı kilitleme yoluyla birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Örgüsüz geotekstillerin üretim safhaları değişik şekillerde yapılabilmektedir. Kuru işleme tabi tutma, sulu işleme tabi tutma, sonsuz elyaflı işleme tabi tutma, taraklama gibi aşamalarla üretilmektedir. Bu üretim şekillerinin çoğunda dokuları güçlendirmek için kimyasal, ısı ya da mekanik işlemden geçirilmektedir. Birbirlerine örülmediklerinden kimyasal bağlama yöntemiyle akrilik yapıştırıcılar yardımıyla birbirine tutturulur, termik yolla bağlamada ise ısı verilerek birbirine bağlanması sağlanır, bunların dışında mekanik yöntemle de liflerin birbirlerine tutturulması sağlanabilir. Örgüsüz geotekstillerin rulo genişlikleri 2 ile 6m arasında değişmektedir. [19, 24]

Örgüsüz geotekstiller üretim aşamalarında kullanılan liflere göre iki grupta toplanabilirler. Örgüsüz geotekstil çeşitleri aşağıda verilmiştir.

- Kesilmiş fiberden yapılmış: 20 ile 150mm boyunda fiberler iğne ile delinerek mekanik, kimyasal ya da termal bağlama yöntemleriyle birleştirilmesi ile oluşur.
- İpliklerden yapılmış: Mekaniksel, kimyasal veya termal bağlama yöntemleriyle elde edilebilen ipliklerden yapılmış örgüsüz geotekstiller rasgele yönlendirilmiş veya belirli bir şekilde daha iyi mekanik özellikler verecek şekilde yönlendirilmiş fiberlerden yapılmaktadır.

Örgüsüz geotekstilleri sınıflandırmada kullanılan bir diğer parametre de fiberlerin bağlanma proseslerine göre sınıflandırmadır. Isıl yöntemle birleştirilmiş, kimyasal yöntemle birleştirilmiş ve mekanik yöntemle birleştirilmiş olarak üçe ayrılmaktadır.

Şekil 2.1'de örgüsüz ve örgülü bazı geotekstil çeşitlerinin mikro fotoğrafları verilmektedir.

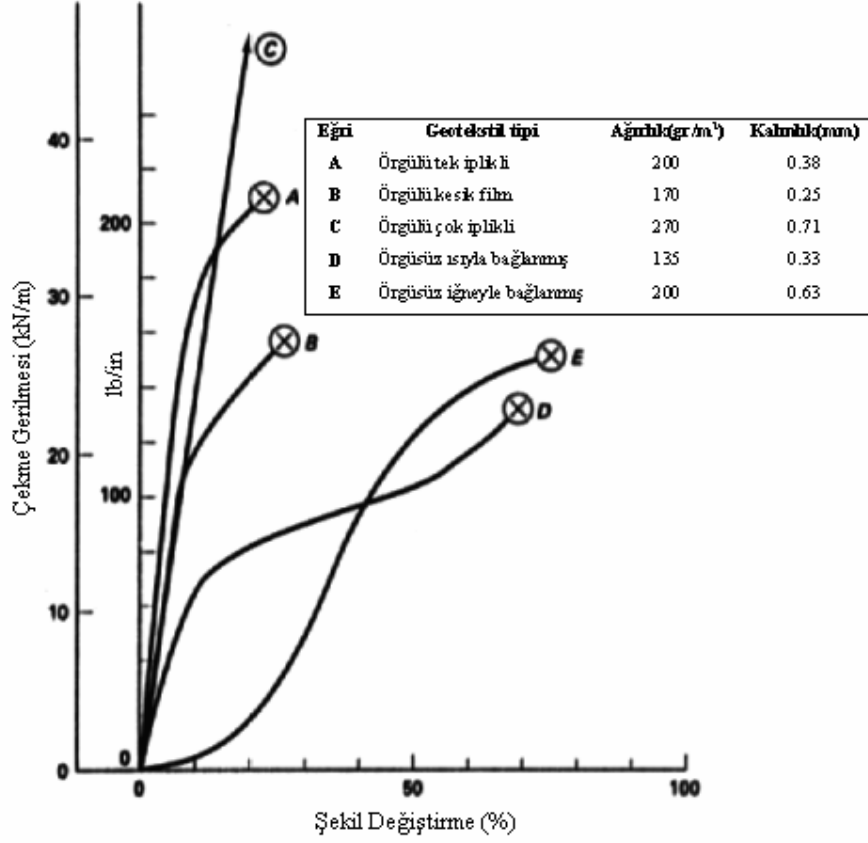


Şekil 2.1: Bazı Geotekstillerin Mikro Fotoğrafları

2.3.3 Geotekstillerin Mekanik Özellikleri

Geotekstilin yük ve deformasyon arasındaki ilişkileri mekanik özellikleri olarak adlandırılmaktadır. Geotekstili oluşturan elyaf ya da iplerin yapısından dolayı geotekstilin kendi düzleminde sıkışma kuvvetine karşı direnci zayıftır. Geotekstilin sahaya uygulanması esnasında meydana gelen konsantre yükler ya da darbeler sebebiyle geotekstil bozulabilir. Geotekstile uygulanacak yüklerin üniform olarak yayılmaması durumunda aşırı yüklenen bölgenin yapacağı deformasyon gerilme yığılmalarına sebep olmaktadır. [15, 19]

Geotekstillerin üretiminde genellikle aynı tip polimerler kullanılmasına rağmen üretim teknikleri ve fiberlerin birbirine bağlanma şekilleri geotekstilin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Şekil 2.2'de ki grafikte de görüldüğü üzere farklı geotekstil tiplerinin şekil değiştirmeye karşılık çekme gerilmesi grafiğinde değişik sonuçlar elde edilmiştir. (Numuneler 100x 200mm boyutundadır.)



Şekil 2.2: Farklı Yöntemlerle Üretilmiş Geotekstillerin Çekme Deneyi Sonuçları [19]

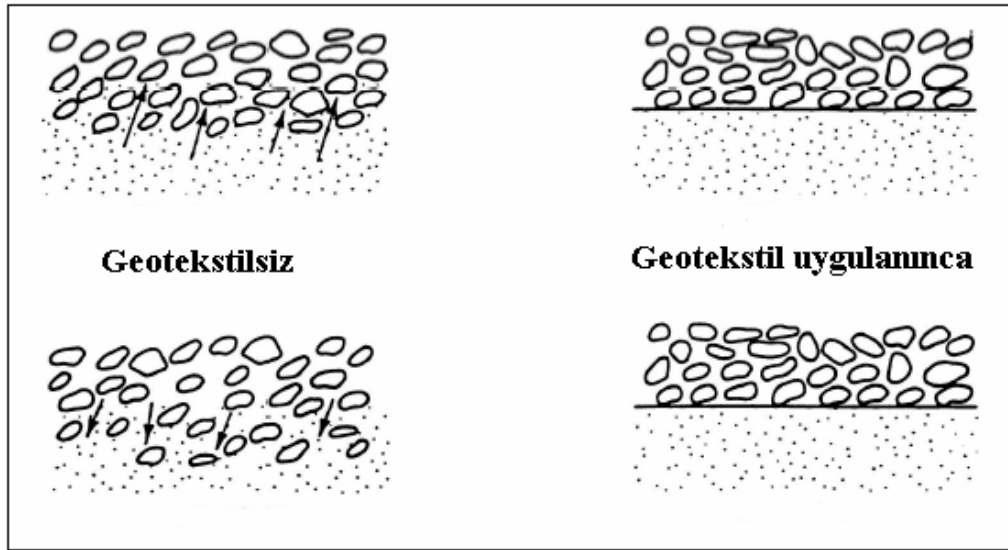
Grafikten de anlaşılacağı gibi A, B ve C küçük şekil değiştirmeler meydana getirirken daha büyük çekme gerilmelerine dayanım göstermektedir. D ve E'nin ise şekil değiştirmeleri büyük mertebede meydana gelirken çekme dayanımları daha düşük seviyede olmaktadır. En yüksek çekme gerilmesi dayanımına örgülü çok iplikli geotekstil çeşidi sahiptir.

Bir geotekstilin uygulanmasında hedeflenen işlev ne olursa olsun, yerleştirilmesi esnasında karşılayacağı gerilmeler servis ömrü boyunca karşılayacağı gerilmelerden daha fazla olmaktadır. Geotekstilin yerleştirilmesi esnasında oluşabilecek yüklere ve darbelerle karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

2.3.4 Geotekstillerin İşlevleri

2.3.4.1 Ayırma

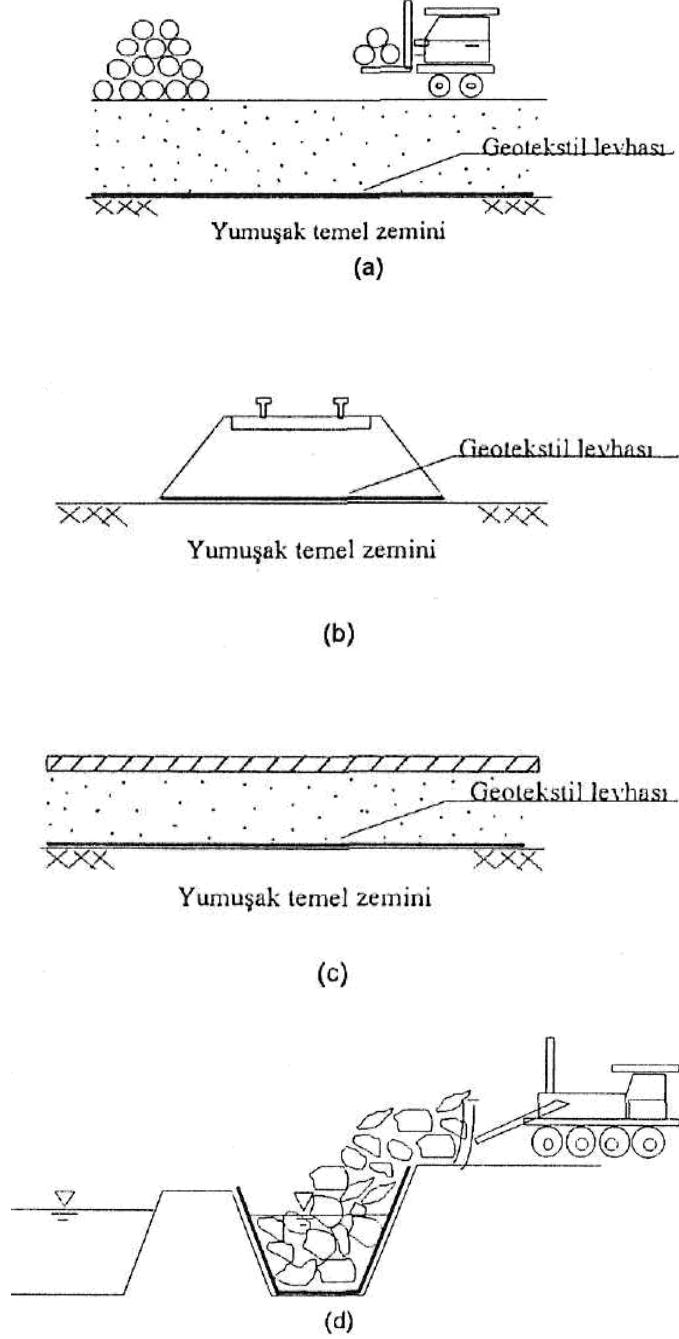
Geotekstiller değişik dane boyutundaki zeminlerin birbirlerine karışmasını önleyerek zeminin taşıma kapasitesini süreklilik, esneklik, deforme olabilme, düşük permeabilite ve yüksek çekme dayanımı sayesinde arttırmış olur. Şekil 2.3'te geotekstilin ayırma işlevi gösterilmiştir. Sonuç olarak kullanılan malzemedan zarar edilmemiş olur ve yüksek performans sağlanır. [17]



Şekil 2.3: Ayırma İşlevi, Geotekstilsiz ve Geotekstil Uygulanmış Zemin Arasındaki Fark [19]

Ayırıcı amaç için kullanılan geotekstilin uygulanan sisteme ikinci bir yararı daha bulunmaktadır. Dinamik yükler altındaki ince daneli zeminlerin hareketini engellediği ve fazla suyun drenajını sağladığı için özellikle yol inşaatlarında daha az agrega kullanılmasını ve daha iyi sıkışma oluşmasını sağlamaktadır.

Şekil 2.4'te geotekstilin ayırıcı olarak kullanıldığı bazı alanlar görülmektedir. Geotekstilin; Şekil 2.4 (a)'da kaplamasız yola granüler tabaka ile zemin arasına uygulanması, (b)'de demiryolu altına uygulanması, (c)'de kaplamalı yol altına uygulanması, (d)'de ise dolgu inşasından önce hendek içerisine uygulanması verilmiştir. [17]



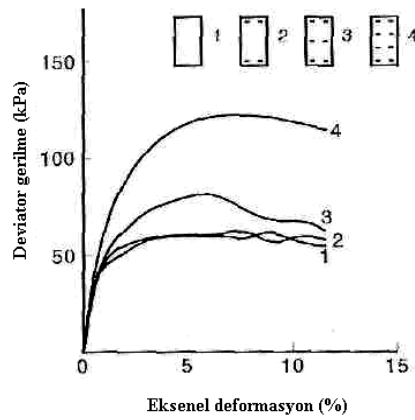
Şekil 2.4: Geotekstilin Ayırma İşlevinin Kullanıldığı Bazı Alanlar [17]

2.3.4.2 Güçlendirme

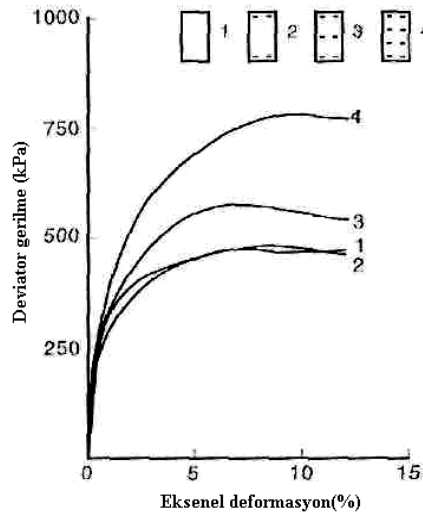
Geotekstiller çekme dayanımı yüksek elemanlardır. Bu bakımdan basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük elemanlarla kullanıldıklarında performans gösterirler. Düşük dayanımlı yumuşak kil ve silt zeminlerle bu yüzden kullanılmaktadırlar. Dayanımdaki artış birçok şekilde test edilebilmektedir. Broms tarafından yapılan bir

çalışmada üç eksenli deney düzeneğindeki zemin örneğinin belirli yüzeylerine değişik şekillerde geotekstil yerleştirilerek kayma gerilmelerindeki farklılıkları gözlemlemiştir. Şekil 2.5'te 21kPa ve 210kPa olmak üzere iki farklı çevre basıncı verilerek gerçekleştirilen üç eksenli deney sonuçlarını görmekteyiz.

Geotekstil uygulanan sistemde güçlendirme işlevi; üzerine gelen noktasal yükleri geniş bir alana yaymak, oluşan gerilmelere direnerek zemin kütlelerinin dayanımını arttırmak olarak tanımlanabilir. Zeminler gerilme direncine sahip olmadıklarından geotekstiller bu özellikleri ile gerilme direncini ve kopmadan önce deformasyon kabiliyetini arttırarak zeminin güçlendirilmesini sağlarlar.



(a) Sıkı kum, 21kPa çevre basıncı

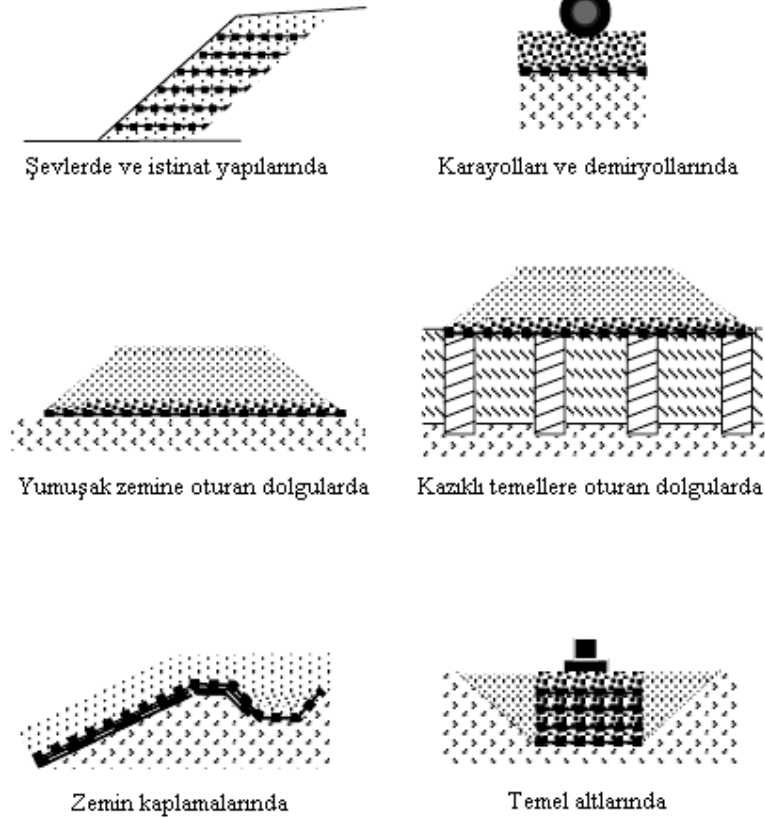


(b) Sıkı kum, 210kPa çevre basıncı

Şekil 2.5: Değişik Bölgelerine Geotekstil Yerleştirilmiş Sıkı Kum Numunelerinin Üç Eksenli Deneyi Sonuçları [19]

Şekil 2.5 incelendiğinde; 1 numaralı eğri geotekstil yerleştirilmeden numunenin kayma mukavemetini, 2 numaralı eğri alt ve üstüne geotekstil yerleştirilmiş numunenin kayma mukavemetini göstermektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere alt ve üste geotekstil serilmesi numunenin kendi başına gösterdiği mukavemette değişiklik yapamamıştır. Ancak numunenin orta tabakasına serilen geotekstil mukavemette artışa sebep olmuştur. Bu sonuçlardan yola çıkarak yanlış yerlere yerleştirilecek geotekstilin mukavemeti arttırmayacağı açıkça görülmektedir. Güçlendirme amacıyla kullanılacak geotekstillerin çekme dayanımlarının yüksek olması, maksimum yükte yeterli uzama ve dayanıklılık gösterebilmesi gerekmektedir. [19]

Şekil 2.6’da geotekstilin güçlendirme işlevinin kullanıldığı bazı alanlar görülmektedir.



Şekil 2.6: Geotekstilin Güçlendirme İşlevinin Kullanıldığı Bazı Uygulamalar [26]

2.3.4.3 Filtrasyon

Geotekstilin bir filtre olarak kullanılması yaygın olarak kullanılmaktadır. Suyun geçişine izin verilirken zemin danelerinin geçişi engellenir. Bu şekilde uzun sürede ince malzeme kaybı önlenmiş olur.

Filtrasyon işlevinin gerçekleştirilebilmesi için geotekstil su akımına karşı yerleştirilmelidir. Bu şekilde ardi ardına yerleştirilmiş çeşitli agrega tabakalarının yerini geotekstil almaktadır. Geotekstilin bir diğer işlevi olan önceki bölümlerde bahsedilen ayırma işlevi ile filtrasyon işlevinde ortak nokta suyun geçişine izin verilmesidir. Filtrasyon işlevinde geotekstilin geçirgenliği ayırma işlevine göre daha fazla önem taşımaktadır.

Ani bir yük etkisiyle suyun üst tabakalara doğru çıkmasına pompaj adı verilmektedir. Yüksek basınçlar ara yüzey üzerindeki granüler malzemenin, yumuşak zeminin deforme olmasına ve suyla beraber çamursu bir karışım oluşturmasına sebep olur. Bu karışım temel boşluklarını doldurma eğilimindedir ve bu tabakanın permeabilitesini azaltır, direncini düşürür. Granüler zemin ve ince daneli zemin tabakaları arasında uygulanan geotekstil bu sorunları ortadan kaldırmaktadır.

Filtrasyon amacıyla kullanılacak geotekstilin maksimum gözenek açıklığının uygun, su geçirgenliğinin yeterli, sıkışmadan etkilenmesinin düşük ve porozitesinin de yüksek olması gerekmektedir. [18]

2.3.4.4 Drenaj

Drenaj için kullanılan; geçirgenliği yüksek geotekstil suyun geçişini kolaylaştırır, ince daneli zeminleri tutarak drenin tıkanmasını önler. Ayrıca kendi düzlemi boyunca, üzerindeki sıvı ve gazı taşıyarak ta bir çeşit drenaj işlevi görmüş olur. Drenaj işlevi için kullanılacak geotekstilin; kendi düzleminde yüksek geçirgenliğe sahip olması, basınca karşı dayanıklı olması ve filtre olarak kullanılacak özellikleri taşıması gereklidir. [13, 14]

Drenaj uygulamaları için kompozit malzemeler tercih edilmelidir. Kompozit malzemeler basınca dayanıklı bir çekirdek etrafında, zemin parçacığı girişini engelleyen ince ve örgüsüz geotekstillere oluşmaktadır.

2.3.4.5 Koruma

Geotekstilin deformasyonu ve gerilmeleri azaltıcı etkisi, uygulandığı sisteme yüzey koruması ve ara yüzey koruması olarak fayda sağlamaktadır.

Geotekstilin hava koşulları ve trafik gibi etkenlerden sistemi korumasına yüzey koruması, iki malzeme arasına yerleştirilen geotekstilin de temas ettiği malzemelerin birisini korumasına da ara yüzey koruması adı verilmektedir.

2.3.4.6 Yalıtım

Geçirimsiz bir folyo oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilen geotekstil bir çeşit membran görevi görerek yalıtım sağlamaktadır. Yalıtım uygulamasında kullanılacak geotekstilin yeterli miktarda bitüm tutma özelliği bulundurması gerekmektedir.

2.3.5 Geotekstillerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Geotekstillerin özellikleri genel olarak 4 ana grupta belirlenmektedir. Aşağıda bu genel özellikler verilmektedir;

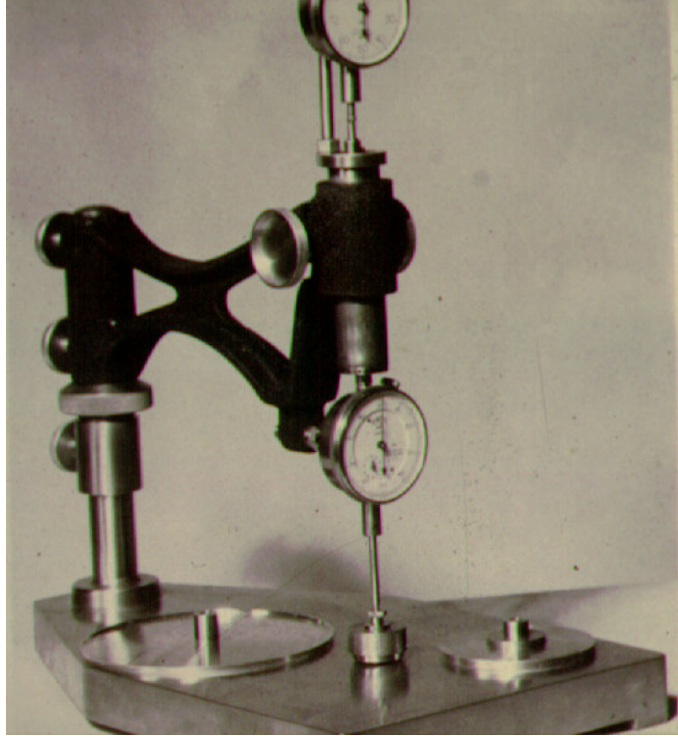
- Fiziksel özellikler
- Mekanik özellikler
- Hidrolik özellikler
- Dayanıklılık özellikleri

Geotekstil hakkında bilgi veren özellikleri bulabilmek amacıyla bir takım testler uygulanmaktadır. Uygulanan testler yardımıyla geotekstilin özellikleri belirlenerek uygulanacak yer için parametreler belirlenip doğru geotekstilin kullanılması amaçlanmaktadır.

Geotekstilin fiziksel özellikleri ve deney standartları aşağıda verilmektedir;

- Birim hacim ağırlığı (ASTM D792)
- Birim alana düşen ağırlık (ASTM D1910- ASTM D3776)
- Kalınlık (ASTM D1777)
- Rijitlik (ASTM D1388)

Şekil 2.7’de geotekstilin kalınlığının belirlenmesi için kullanılan deney ekipmanı verilmiştir.



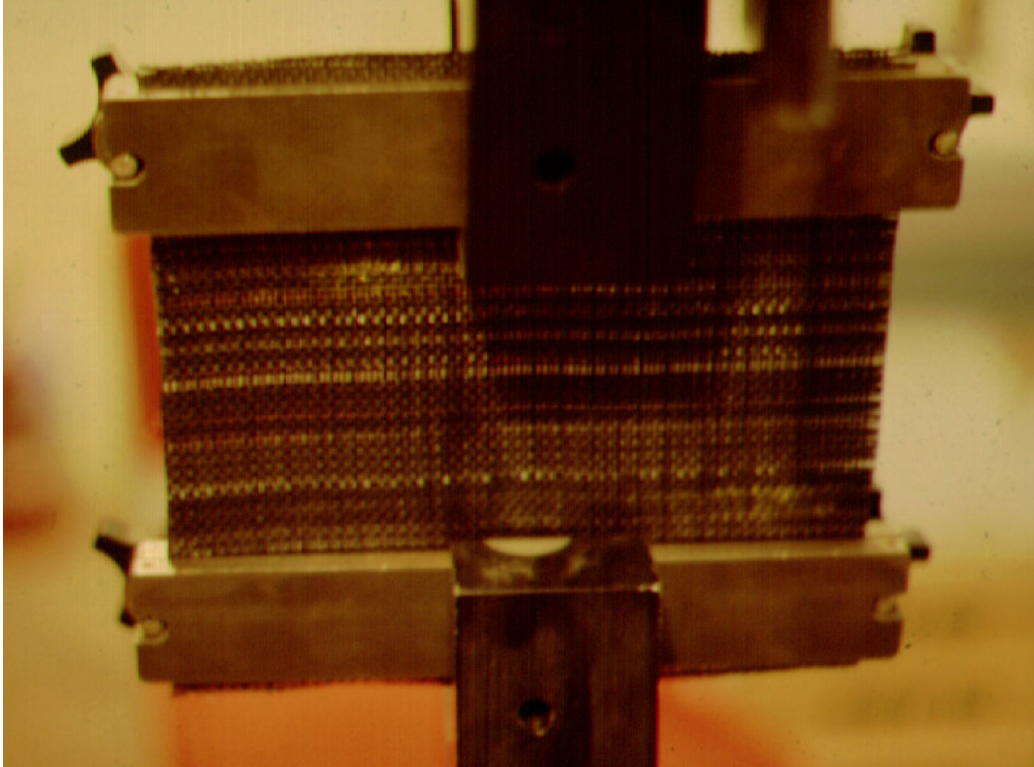
Şekil 2.7: Geotekstilin Kalınlığının Belirlenmesinde Kullanılan Deney Ekipmanı

Geotekstilin mekanik özelliklerini belirleyen parametreler ve bu parametreleri belirleme de kullanılan deney standartları aşağıda verilmektedir;

- Sıkışabilirlik
- Çekme dayanımı
 - Dar mesnetli çekme dayanımı (ASTM D4632)
 - Geniş doğrultuda çekme dayanımı (ASTM D4595)
 - Dar doğrultuda çekme dayanımı (ASTM D1682)
- Üç eksenli çekme dayanımı
- Dikiş yeri dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Yarılma dayanımı (ASTM D3786)

- Yırılma deneyleri
 - İkizkenar yamuk yırtılma deneyi (ASTM D2263-ASTM D4533)
 - Düz yırtılma deneyi (ASTM D751)
 - Elmendorf yırtılma deneyi (ASTM D1424)
- Darbe deneyleri (ASTM A370-ASTM D256)
- Delme deneyleri (ASTM D3787)
- Sürtünme davranışı

Şekil 2.8’de geniş doğrultuda çekme dayanımı deneyi, Şekil 2.9’da ikizkenar yamuk yırtılma deneyi, Şekil 2.10’da düz yırtılma deneyi, Şekil 2.11’de ise yarılma deneyi verilmektedir.



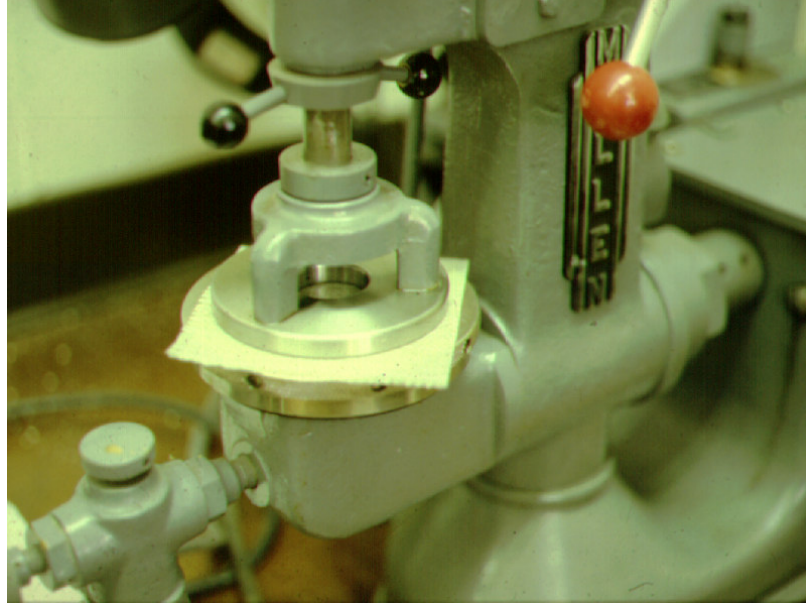
Şekil 2.8: Geniş Doğrultuda Çekme Dayanımı Deneyi



Şekil 2.9: İkizkenar Yamuk Yırtılma Deneyi



Şekil 2.10: Düz Yırtılma Deneyi



Şekil 2.11: Yarılma Deneyi

Geotekstilin hidrolik özelliklerini belirlemede kullanılan deneyler aşağıda verilmektedir;

- Porozite
- Açık alan yüzdesi
- Görünen göz açıklığı (ASTM D4751)
- Düzleme dik permeabilite (ASTM D4491)
- Düzleme dik yük altında permeabilite (ASTM D5493)
- Düzlem içindeki permeabilite (ASTM D4716)

Dayanıklılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneyler ise aşağıda sıralanmaktadır;

- Sünme deneyi
- Üç eksenli sünme deneyi
- Aşınma deneyi (ASTM D1175)
- Uzun süreli akış (Tıkanma) deneyi
- Hidrolik eğim (Tıkanma) deneyi

3. BORU TÜRLERİ ve KULLANIM ALANLARI

3.1 Boru Türleri

3.1.1 Beton Borular

Birim hacim ağırlıkları dolayısıyla içleri boş olsa bile gömüldükleri zemin içlerinde yüzme ihtimalleri azdır. Geri dolgu ve dış basınca bağlı oluşan yüklere karşı dayanıklıdır. Genel olarak korozyondan etkilenmemekle beraber asidik ve alkali ortamlarda korozyona maruz kalmaktadırlar. Yüzeylerinde çatlaklar oluşması halinde sızıntı olma ihtimali ile karşı karşıya kalırlar. Ametal pas payı kullanılarak korozyona karşı koruma sağlanabilir. Bakım maliyetleri düşük olmasına rağmen tamir edilmeleri zordur.[4]

3.1.2 Asbestli Çimento Borular

Asbestli çimento borulara yüksek fiziksel ve kimyasal dayanıklılığı içindeki asbest vermektedir. Asbest çok ince liflere ayrılabilen bir madendir ve liflerinin dayanıklılığı çeliğinkine yakındır. Diğer yandan asbest liflerinin kimyasal ve bakteriyolojik etkilere dayanıklılığı da son derece yüksektir.

Çok ince liflere ayrılmış olan asbest, belirli bir oranda çimento ve su ile birlikte karıştırılır. Bir keçe üzerine alınan bu karışım filmi, çelik takozlar üzerine rulo şeklinde basınç altına sarılır. Daha sonra bu rulodan takozlar çıkarılır. Takozlar düzgün yüzeyli olduğundan boruların iç yüzeyleri pürüzsüz olarak elde edilir. Takozları çıkarılan borular su havuzları içinde bırakılır, bu havuzlarda iki hafta kadar dinlendirilen borular, üzerinde çalışma yapabilecek kadar sertleşir. Havuzlardan alınan borular gerekli ölçülere göre özenle işlendikten sonra basınç deneyinden geçirilmektedir. Bu yüzden kolaylıkla işlenebilir kesilip delinebilirler. Buna karşılık darbelere karşı hassastırlar ve eğilme momentleri de düşüktür. Heyelan bölgelerinde ve dolgu zeminlerde kullanılmaları sakıncalıdır. Isı geçirgenlik katsayısı düşük olduğu için dona karşı dayanıklı ve yük kayıpları da azdır. [38]

3.1.3 Font Döküm Borular

Font döküm borular çelik borularla karşılaştırıldıklarında korozyona, toprak ve trafik yüklerine karşı daha dayanıklıdır. Ancak kırılma, darbelere daha dayanıksız ve daha ağırdır.

Font döküm borular geliştirilerek düktil döküm boru adı altında üretilmeye başlanmıştır. Düktil döküm borular santifrüj döküm tekniği ile üretilmiş dökme demir borulardır. Bu döküm tekniğiyle üretilen borular normal dökme demir borulara göre, daha esnek olup yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Normal dökme demirde grafitler lameller şeklindedir ve bu kırılma bir yapıya neden olur, düktil döküm borular ise küresel grafitli bir yapıya sahiptir. Bu da malzemenin çelik gibi esnek olmasını sağlar. Mekanik ve kimyasal mukavemetleri sebebiyle atık su hatlarında tercih edilmektedirler. [5]

3.1.4 Çelik Borular

Beton ve font döküm borulara kıyasla daha hafif, taşınması ve döşenmesi daha kolaydır. Boylarının uzun olması boru hattının döşenmesinde kolaylık sağlamaktadır. İç basınçlara ve korozyona karşı dayanıksızdır. Ancak korozyonu azaltmak amacıyla paslanmaz çelikten de borular üretilmektedir, bu da maliyeti arttırmaktadır.

Heyelan bölgeleri için kullanıma elverişlidirler. Birbirine eklenmesi güç olduğu için su hatlarında tercih edilmemektedir. [5]

3.1.5 PVC Boru

Polivinil klorür (PVC) amorf plastiklerin başında gelir. PVC beyaz veya açık sarı renkli toz polimerdir. Normal PVC % 53-55 klor içerir. Isıtıldığında klorlanmış hidrokarbonlar tarafından çözünür. Asitlerin ve bazların etkisine karşı dayanıklıdır. Su, alkol ve benzin PVC'ye hiçbir etki göstermez. PVC yüksek elektroliz özelliğine sahiptir ve yanmayan bir polimerdir. PVC 140°C' de yavaş, 170°C' de ise kolaylıkla HCL ayrılmasıyla parçalanır. PVC sert ve esnek olarak iki çeşit kullanım alanı vardır. Sert PVC daha çok boru, pencere profili, duvar kaplamaları vb. alanlarda kullanılır. Sert PVC'ler hava şartlarına dayanıklı, mukavemeti yüksek, sert ve kendi kendine yanmama özelliklerine sahiptirler.

Hafif olmaları, taşınmaları ve döşenmelerini kolaylaştırmaktadır. Pürüzsüz olduklarından enerji kayıpları daha azdır. Çapı aynı olan diğer boru türlerine karşılık

daha fazla debi geçirmektedir. Harici alev altında yandıklarından önlem alınarak yerleştirilmelidirler. Direkt olarak güneş ışığıyla temas etmemelidirler.

3.1.6 HPDE Boru

Yüksek yoğunluklu polietilen boru diye adlandırılan HPDE borular, PVC borulara kıyasla yüksek yoğunlukları sebebiyle daha ağır ve mukavemetlidirler. Kimyasal dirençleri yüksektir, korozyondan etkilenmezler, çürümezler, aşınmazlar. Ek yerleri iyi yapıştirıldığında sızdırmazlık sağlamaktadırlar. Böylece, şebekedeki dengesiz basınçlardan doğan sızmaların neden olduğu kayıplar azaltılabilir. Uzun boylarda döşenmesi mümkün olduğundan inşaat süresini kısaltmaktadır. HDPE borular PVC borular gibi güneş ışınlarından etkilenmez, ancak harici alevle teması halinde yanıcıdır.

3.2 Boruların Kullanım Alanları

3.2.1 Temiz Su Hatları

Temiz su hatları toplumlar için büyük önem taşımaktadır. Valfler, tesisatlar, pompalar, borular ve diğer elemanlardan oluşmaktadır. Temiz su hatları taşıma hattı ve dağıtım hattı olmak üzere iki ana sisteme ayırabiliriz. Taşıma hatları kaynaktan suyu alarak dağıtım hatlarına aktaran sistemlerdir. Bu yüzden çok yöne ayrılmış boru hatlarından oluşmazlar. Tek bir hatta su yol alıyormuş gibi kabul edilebileceğinden küçük süreksizlikler dışında taşıma hatlarında akım sabit kabul edilmektedir. Zemine fazla derinliklerde gömülmezler. Tasarım aşamasında dikkate alınması gereken en önemli parametre iç basınçtır. Diğer tasarım parametreleri ise burkulma, sapma, boyuna doğrultudaki gerilmeler ve kemerlenme noktalarıdır.

Dağıtım hattı ise suyu şebeke kullanıcılarına ulaştıran boru hatlarıdır. Kullanıcılara ulaştığından sistem dallanan birçok boru hattından oluşur. Boyuna doğrultudaki eğilmeleri ve farklı oturmaları önlemek amacıyla borunun etrafına yerleştirilecek dolgunun özellikleri proje aşamasında dikkatlice belirlenmelidir. Dağıtım hatlarında; borular meydana gelecek gerilmelere karşı koyabilecek derinliklere yerleştirilmeli, iç yüzeyleri pürüzsüz olmalı, borular arası bağlantılar iyi yapılmalı ayrıca suya ve yerleştirileceği zemine karşı kimyasal olarak tepkimeye girmeyecek malzeme seçimi yapılmalıdır.

3.2.2 Kanalizasyon Hatları

Kanalizasyon hatları toplama ve arıtma sistemi olmak üzere iki sistemden meydana gelmektedir. Binaların bodrumlarından atık suyun toplanabilmesi için genel olarak derinlere gömülmektedirler. Bu yüzden borulara etkiyen toprak basınçları da artmış olur. Böylece seçilecek boru tipini belirleyen parametreler borunun mukavemeti, borunun rijitliği, dolgunun stabil yerleştirilmesi ve iyi sıkıştırılması olarak karşımıza çıkar. Kanalizasyon hatlarında sızıntıyı önlemek amacıyla sistemdeki boruların ek yerlerinin birleşimlerine dikkat edilmelidir. Proje aşamasında seçilecek boru; atık sularla temas edeceğinden atık madde ve zeminle kimyasal olarak tepkimeye girmeyecek ve boru içi akışını engellemeyecek şekilde iç cidarı pürüzsüz olacak şekilde seçilmelidir.

3.2.3 Drenaj Hatları

Genellikle atık suları taşımada kullanılan drenaj hatları en yaygın olarak yağmur suyunun taşınmasında kullanılmaktadır. Atık su taşıyan bir drenaj hattında herhangi bir tıkanma halinde müdahale edilmesi için bağlantı yerleri oluşturulmalıdır. Tıkanma gerçekleştiğinde bu bağlantı yerleri açılarak sorun giderilir ve bağlantı yeri tekrar kapatılır. Atık su drenaj hatlarında bağlantı yerlerinin dışında havalandırma bacaları da inşa edilmelidir. Atık su drenaj hatlarında yaygın olarak dökme demir boru hattı olarak tercih edilmektedir.

3.2.4 Gaz Hatları

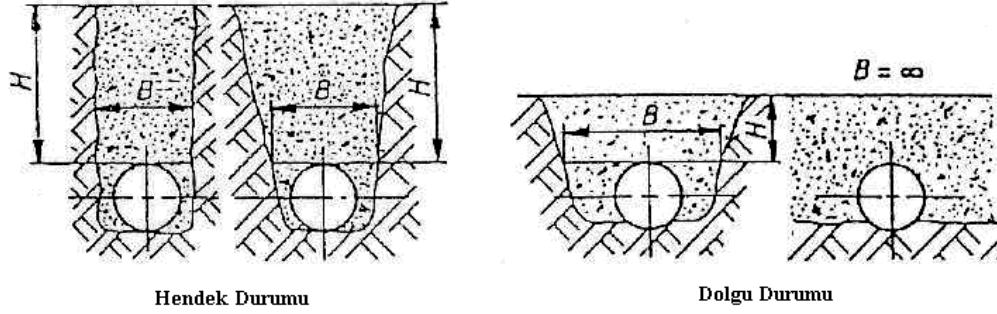
Gaz hatlarının büyük bir bölümünü doğal gaz hatları oluşturmaktadır. Doğal gaz; yakacak ve hammadde olarak çeşitli alanlarda kullanılabilir. Yakacak olarak termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi için, endüstri kuruluşlarında ısıtma, kurutma, pişirme ısı işlem fırınlarında, kaynak işlemleri ve buhar üretimi için; konut ve işyerlerinde ise sıcak su, pişirme, kurutma, ısıtma ve soğutma işlemleri için doğrudan doğruya kullanılabilir. Doğal gazın taşınması için inşa edilen boru hattı genellikle çelik borulardan meydana gelmektedir. Çelik borulardan oluşan gaz hattını korozyondan korumak amacıyla da katodik koruma (TS 5141) uygulanmaktadır. Katodik koruma; boruyu toprağa göre negatif hale getirecek bir güç kaynağı veya boru boyunca negatif magnezyum anotlar yerleştirme esasına dayanmaktadır. Dış sargıda hasar meydana geldiğinde boru hattı karada gömülü ise dolgu toprağının, denizaltında ise deniz suyunun etkisiyle, çelik boruların dış yüzeyinde gittikçe

yayılan bir korozyon oluşmaktadır. Sargı malzemesinde meydana gelen bozulmaları (kaplamanın bozularak borudan ayrılması ve termal aşınmalar dahil) ve toprağa gömülü borularda zemin gerilmeleri boru kaplama hasarlarının büyük kısmını oluşturmaktadır. Bu problemlerin ortadan kaldırılması için katodik korumanın uygulanması gerekmektedir.

4. ZEMİNE GÖMÜLÜ BORULAR

4.1 Boru Yerleştirme Şekilleri

Zemine gömülü borular hendek veya dolgu durumu olmak üzere iki şekilde yerleştirilebilmektedir. Hendek durumunda doğal zeminin içine açılan bir hendek içerisine boru yerleştirilip hendek içi doldurulmakta, dolgu durumunda ise doğal zemin yüzeyine yerleştirilen borunun üzeri dolgu ile teşkil edilmektedir. Şekil 4.1’de hendek durumu ve dolgu durumu gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Boru Yerleştirme Şekilleri [10]

Hendek tipi borular kısmen kendini tutabilen örselenmemiş zemin içerisinde kazılmış dar ve derin bir hendek içerisine yerleştirilen borular olup kanalizasyon hatları, drenaj hatları, su ve gaz hatları bu şekilde yerleştirilmektedir. Dolgu tipi borular ise otoyol ve demiryolu menfezlerinde kullanılmaktadır. Dolgu tipi borular yerleştirme şekillerine göre kendi arasında ayrıldığından dolgu tipi borulara ileriki bölümlerde daha ayrıntılı olarak değinilecektir. [29]

4.2 Zemine Gömülü Boru Tasarımında Etkili Olan Faktörler

Zemine gömülü boru tasarımında eğimli hendek kullanılması durumunda hendek taban genişliğini sınırlandıran koşullar karşımıza çıkmaktadır. Yerleştirilecek boru çapına göre hendek genişliği belirlenmektedir. TS 2170’e göre dış çapı 200mm’den küçük borular için hendek taban genişliği 0.60m olmalıdır. Dış çapı 200mm-1000mm arasında olan borular için hendek taban genişliği, boruyla hendek kenarları

arasındaki genişliğin her iki tarafından en az 0.20m kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Eğer dış çapı 1000mm'den büyük bir boru kullanılacaksa borunun iki tarafından hendek kenarlarına olan uzaklığı en az 0.30m olmalıdır. Hendek içerisine birden fazla koyulacak borular arasında en az 0.20m boşluk bırakılması gerekmektedir.

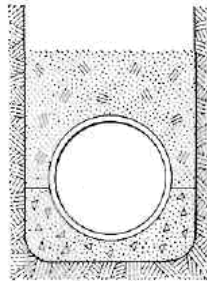
Hendeğin açılmasından sonra borunun hendek tabanına yerleştirilmesi esnasında dikkat edilmesi gereken birtakım hususlar mevcuttur. Yerleştirilecek olan borunun yataklanacağı zeminin kazıdan ötürü gevşememiş olmasına dikkat edilmelidir. Projede aksi belirtilmediği sürece borunun yataklanacağı zeminin üzerine yastık yerleştirildikten sonra boru belirli bir açı yapacak biçimde yastık içerisine yerleştirilmelidir. [30]

4.2.1 Hendek Durumunda Yataklama Çeşitleri

Boru tabanının üniform olarak mesnetlenmesini sağlamak ve boru hattı boyunca farklı oturmaları önlemek amacıyla borunun yerleştirileceği zemine yataklama yapılmaktadır. Seçilecek yataklama koşullarına göre borunun taban basıncı ve yanal basınçlar değişim gösterecektir. Ayrıca yatakların büyüklüğü ve cinsinin borunun taşıma gücüne etkisi olacaktır.

4.2.1.1 A Sınıfı (Beton Gömlek İçerisine Yataklama)

Boru hattının taşıma gücünün artırılması istendiğinde borular beton gömlek içine yataklanabilmektedir. Oluşturulacak beton yatak; borunun altında boru iç çapının en az 0.25 katı yüksekliğinde olmalıdır. Borunun yanlarında bulunacak betonun ise boru dış çapının 0.25 katı genişliğe sahip olması gerekmektedir. Şekil 4.2'de A sınıfı yataklama olarak adlandırılan beton gömlek içerisine yataklama verilmektedir.

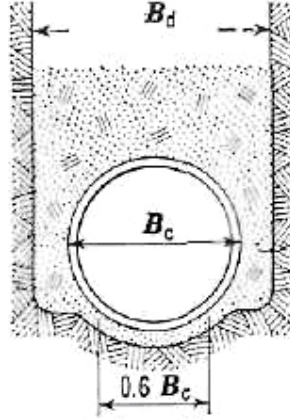


A sınıfı - Beton Yatak
Yük Faktörü=2.25-3.40

Şekil 4.2: Hendek Durumunda A Sınıfı Yataklama [29]

4.2.1.2 B Sınıfı (Birinci Sınıf Yataklama)

Borunun çapının en az %60'ı genişliğinde hazırlanmış toprak temel üzerindeki granüler malzemeye borunun oturtulduğu, boru üst noktasının 30cm yukarısına kadar iyi sıkıştırılmış granüler malzemeyle sarıldığı yataklama yöntemidir. Şekil 4.3'te B sınıfı yataklama görülmektedir. [21, 29]

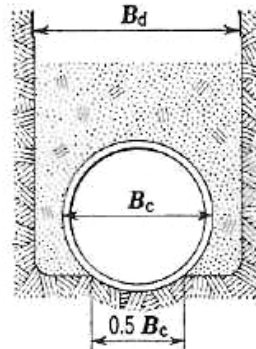


B Sınıfı - Birinci Sınıf Yatak
Yük Faktörü=1.90

Şekil 4.3: Hendek Durumunda B Sınıfı Yataklama [29]

4.2.1.3 C Sınıfı (Sıradan Yataklama)

Borunun çapının en az %50'si kadar genişliğinde hazırlanmış granüler bir temel içerisine yerleştirilmiş bir yataklama yöntemidir. Boru üst noktasının en az 15cm yukarısına kadar boru yanlarındaki ve üstündeki tüm alanlara sıkıştırılmış granüler malzeme ile sarılmalıdır. Şekil 4.4'te C sınıfı yataklama görülmektedir. [21, 29]

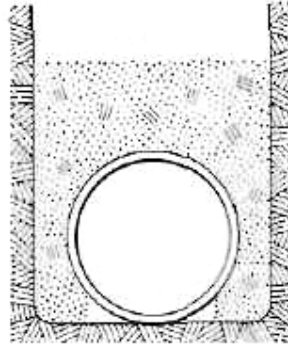


C Sınıfı - Sıradan Yatak
Yük Faktörü=1.50

Şekil 4.4: Hendek Durumunda C Sınıfı Yataklama [29]

4.2.1.4 D Sınıfı (İzin Verilmeyen Yatak)

Fazla özen gösterilmeden borunun zemine oturtulduğu, borunun yanına ve üstüne yerleştirilecek granüler malzemenin sıkıştırılmadan yerleştirildiği yataklama şeklidir. Şekil 4.5'te D sınıfı izin verilmeyen yataklama görülmektedir. [29]



D Sınıfı - İzin Verilmeyen Yatak

Şekil 4.5: Hendek Durumunda D Sınıfı Yataklama [29]

4.3 Dış Yükler Altında Gösterdiği Dirence Göre Borular

Dış yükler boruyu dış basınç etkisi altına almaktadır. Bu basınçlar hesaplanırken zemin ile borunun rölatif rijitlikleri ve zemin ile boru etkileşimiyle ortak davranışlarının dikkate alınması gerekmektedir. Kısacası dış yüklerin taşınmasında borunun rijitliği ve zeminin rijitliği önemli rol oynamaktadır.

Boru; etrafındaki dolguya kıyasla daha az sıkışabilen malzemeden imal edilmiş ise borunun üzerinde basınç yoğunlaşması meydana gelerek yükün büyük bir bölümü boru tarafından taşınacaktır. Eğer boru yük altında şekil değiştiriyorsa yapı üzerindeki prizma ağırlığı zeminin mukavemeti sayesinde azalacaktır. Kemerlenme meydana gelerek borunun üzerindeki yük azalmış olur; bu sayede yükün büyük bir kısmı boruya kıyasla dış yükler altında daha az sıkışan yan dolgu tarafından taşınmaktadır.

Yapıldıkları malzemeye göre borular rijit ve esnek (flexible) boru olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Rijit borular; asbestli çimento boru, sert çelik ve beton gibi malzemelerden imal edilmektedir. Rijit boruların deformasyon yapmadıkları kabul edilmektedir. Rijit borular esnek borulara kıyasla üzerine gelen dış yükleri kendisi taşımaktadır. Rijit bir boru üzerindeki düşey toprak basıncı boru üzerindeki zeminin ağırlığından büyüktür. Bu sebeple negatif kemerlenme meydana gelerek yan dolgular

oturur ve boruya ek bir yük binmiş olur. Bu şekilde gerilmeler boru etrafında yoğunlaşırken yan dolgularda azalma eğilimine gitmektedir. [20, 21, 29]

Esnek borular ise dökme demir, PVC, HDPE gibi malzemelerden imal edilen borulardır. Esnek borular deformasyona uğradıkları için; dış yüklerin etkisinde aşağı yönde eğilerek ve yana doğru genişleyerek reaksiyon vermektedir. Yaptığı bu hareket yan dolguda pasif direncin doğmasına sebep olduğundan yan dolguya yük aktarmaktadır. Esnek borular düşey yönde çapının %10'u kadar deformasyona uğrayabilmektedir. Esnek boru üzerindeki düşey toprak basıncı boru üzerindeki toprak ağırlığından küçük olduğundan pozitif kemerlenme meydana gelir. Pozitif kemerlenme durumunda boru üzerindeki zemin prizması yükünün bir bölümü yan dolgulara transfer edilmektedir. [20, 21, 29]

Deprem etkisinin zemine gömülü borularda oluşturacak etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada 1995 yılında Japonya'da meydana gelen depremde Kobe, Nishinamiyo ve Ashiya kentlerinde değişik malzemelerden yapılmış zemine gömülü boru hatlarının depremde hasarları incelenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1: Kobe, Nishinamiyo ve Ashiya kentlerinde Kullanılan Farklı Boru Malzemeleri İçin Hasar Oranları [25]

Boru Türü	Hasar Oranı (Hasar/km)
Polietilen (PE)	0.000
Çelik	0.437
Sünek Demir	0.488
PVC	1.430
Dökme Demir	1.508
Asbestli çimento	1.782

Tablodan da anlaşılacağı üzere su ve gaz borusu olarak PE borular, diğer boru malzemeleriyle karşılaştırıldığında deprem kuvvetlerine karşı daha iyi performans

göstermektedir. Bu nedenle, deprem bölgelerinde polietilen, çelik, sünek demir ve cam lifi donatılı plastik borular gibi esnek boruların kullanılması tavsiye edilmektedir. Buna karşılık, asbestli çimento malzemeler kırılğan, yer değiştirmelere, farklı oturmalara ve deprem kuvvetlerine karşı zayıf olduklarından bu tip borular deprem bölgelerinde kullanılabilir en kötü boru cinsi olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan, esnek boru olan HDPE veya sünek demir borular deprem bölgelerinde daha iyi performans göstermektedir. [25]

5. ZEMİNE GÖMÜLÜ BORULARA ETKİYEN YÜKLER

Bu bölümde zemine gömülü borulara etkiyen yüklerin hesaplanmasına yer verilmektedir. Borunun cinsine göre; rijit ve esnek boru analizlerine değinilerek yük hesap yöntemleri anlatılacaktır. Rijit boru analizinde hendek durumu ve dolgu durumu incelenecek; dolgu durumunu oluşturan pozitif ve negatif projeksiyon hallerinde yük hesaplarına değinilecektir.

5.1 Rijit Boru Üzerindeki Dolgu Yüğü

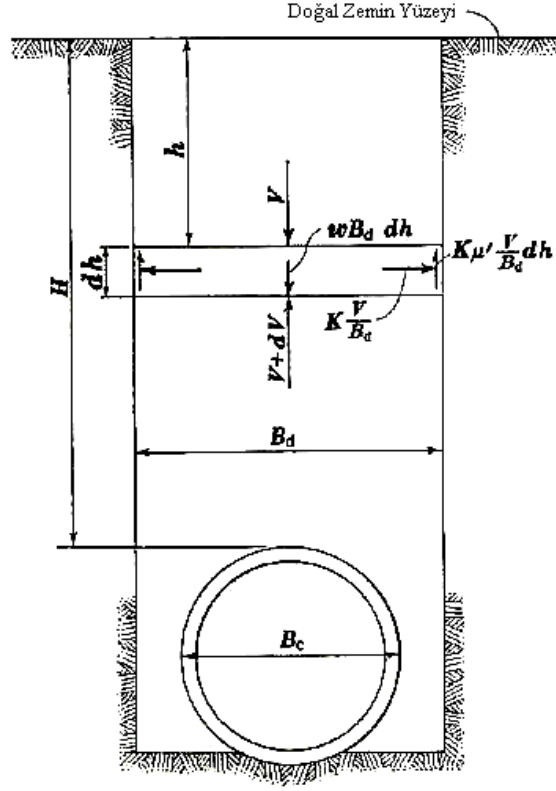
Boru analizlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan ‘Marston Yük Teorisi’ esas alınarak rijit borular üzerindeki yüklerin hesaplanmasına yer verilecektir. Marston teorisine göre bazı varsayımlar yapılmaktadır. Yapılan bu varsayımlar aşağıda sıralanmaktadır; [21, 31]

- Yük hesaplarında zeminin en büyük oturması esas alınır.
- Tünel durumu hariç olarak kohezyon ihmal edilir.
- Komşu zeminle boru üstündeki zemin prizmasının arasında oluşan sürtünme kuvvetleri dikkate alınır.

5.1.1 Hendek Durumu

Boru yerleştirildikten sonra geri dolgu esnasında serilecek her dolgu tabakası sıkışarak oturmaktadır. Bu oturma sonucunda hendek kenarlarında, sürtünme sebebiyle kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Zemin ile dolgu malzemesi arasındaki kohezyon kuvveti ihmal edildiğinde; düşey kayma gerilmeleri, aktif yanal basıncın içsel sürtünme açısının tanjantı ile çarpımına eşit olmaktadır.

Hendek kohezyonlu bir geri dolguyla doldurulduğunda bile; geri dolgu ve hendek kenarları arasında etkili bir kohezyon oluşabilmesi için uzun bir süre geçmelidir. Kohezyonun ihmal edilmesi varsayımı hendek üzerinde olası maksimum kuvveti meydana getirmektedir. Şekil 5.1’de hendek durumu verilmiştir. [20, 21, 29]



Şekil 5.1: Hendek Durumunda Boruya Etkiyen Yükler [21]

- γ = Yerleştirilen zeminin birim hacim ağırlığı
 μ = Yerleştirilen zemin sürtünme katsayısı ($\tan\Phi$)
 μ' = Hendek cidarı ile yerleştirilmiş zemin arasındaki sürtünme katsayısı ($\tan\Phi'$)
 K = Aktif yanal basıncın düşey basınca oranı
 V = Hacimsel elemanın üst seviyesindeki basınç
 $V+dV$ = Hacimsel elemanın alt seviyesindeki basınç
 $\gamma \cdot B_d \cdot dh$ = Hacimsel elemanın ağırlığı
 $K \cdot (V/B_d) \cdot dh$ = Hacimsel elemanın etrafındaki yanal basınç

$(B_d \cdot 1)dh$ hacimsel elemanın üzerindeki basınç V , yukarı yönlü düşey kuvvet olan $V+dV$ ile dengelenmektedir. Bu hacimsel elemanın üzerindeki basıncın B_d genişliği boyunca üniform olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Hacimsel bölgenin ağırlığı elemanın hacmi ile birim hacim ağırlığının çarpımına eşit olacaktır;

$$W = B_d \times dh \times 1 \times \gamma \quad (5.1)$$

h derinliğindeki elemanın yanal toprak basıncı P_L ise aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir;

$$P_L = K \times \frac{V}{B_d} \quad (5.2)$$

K = Aktif basıncın düşey basınca oranı;

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (5.3)$$

Zemin yüzeyinin h derinliğinde dh kalınlığındaki yatay düzleme etkiyen düşey kuvvetlerin eşitliği denklemdeki gibidir;

$$(V + dV) + \left(\frac{2 \times K \mu \times V}{B_d} \right) dh = V + (\gamma \times B_d \times dh) \quad (5.4)$$

Oluşan bu diferansiyel denklem çözüldüğünde;

$$V = \gamma \times B_d^2 \times \left[\frac{1 - e^{-2K\mu'(h/B_d)}}{2 \times K \times \mu'} \right] \quad (5.5)$$

Denklem 5.5'te h yerine H koyduğumuzda boru üzerindeki toplam zemin yüküne ulaşılmaktadır. Hendek durumu için boru üzerindeki yük W_d ;

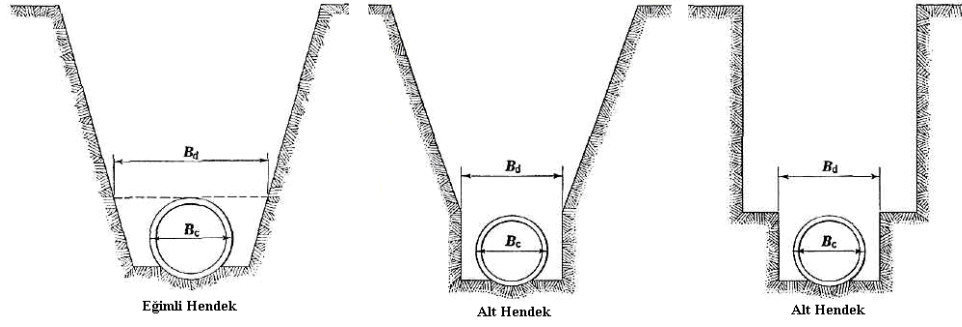
$$W_d = C_d \times \gamma \times B_d^2 \quad (5.6)$$

B_d = Boru üst seviyesinde hendek genişliği

H = Boru üzerindeki dolgu yüksekliği

C_d = Hendek tipi borular için yük katsayısı

Açılan hendekler her durumda dikdörtgen olarak açılmamaktadır. Hendeğin eğimli olarak açılması veya alt hendek kullanılması durumunda yük hesabında kullanılacak Boru üst seviyesindeki hendek genişliği B_d , Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2: Eğimli Hendek Ve Alt Hendeklerde Kullanılacak B_d Genişlikleri [29]

C_d katsayısı sayısal olarak şu şekilde ifade edilmektedir;

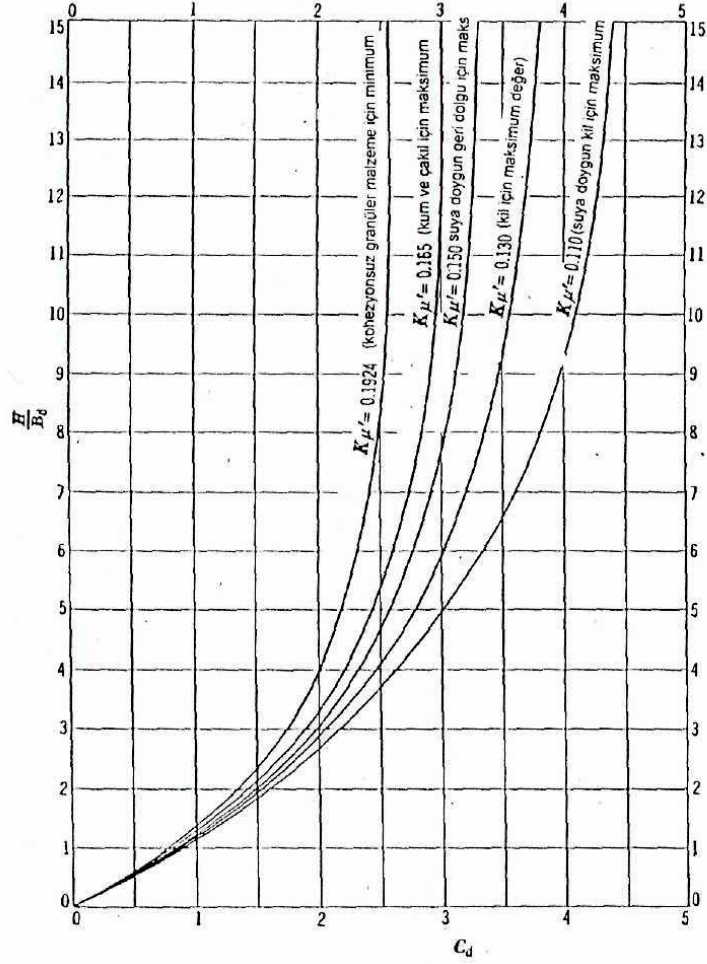
$$C_d = \left[\frac{1 - e^{-2K\mu'(H/Bd)}}{2 \times K \times \mu'} \right] \quad (5.7)$$

Denklemden yer alan K , μ , γ değerlerine bağlı olan C_d katsayısı için Marston deneysel olarak bazı değerler elde etmiştir. Tablo 5.1’de bu değerler verilmektedir.

Tablo 5.1: C_d Katsayısı İçin Zemin Cinsine Göre K , μ , γ değerleri [21]

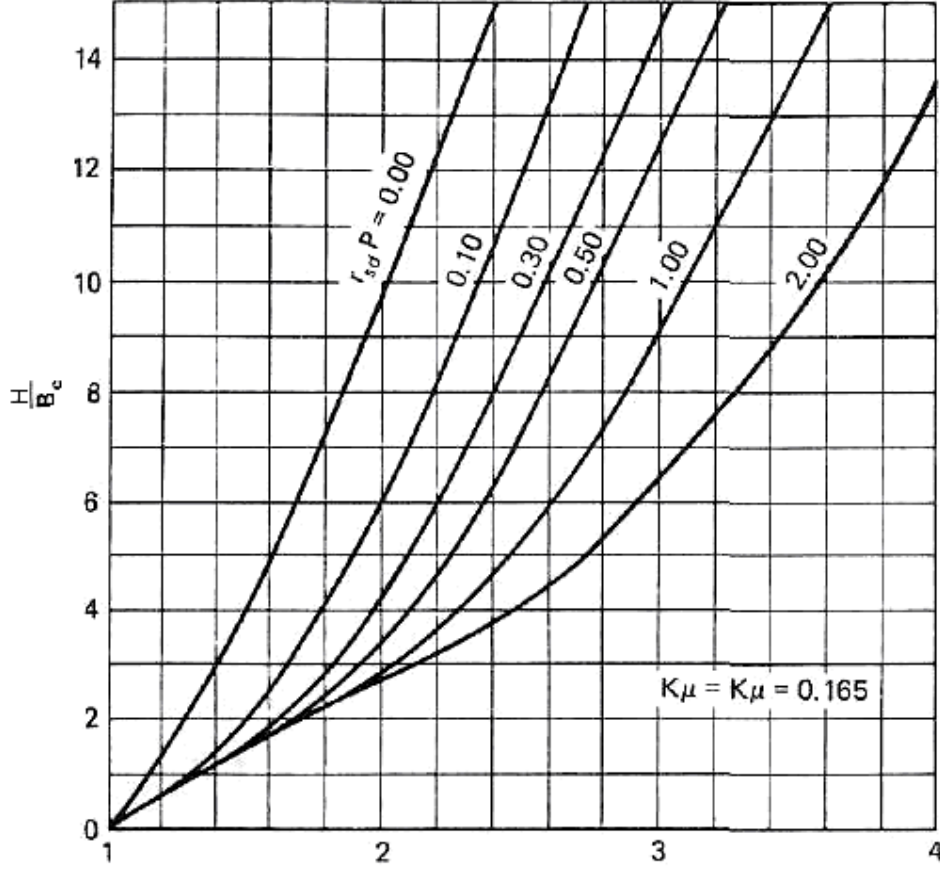
Zemin Cinsi	Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Rankine Oranı (K)	Sürtünme Katsayısı (μ)
Kısmen sıkıştırılmış nemli bitkisel toprak	14,1	0,33	0,50
Suya doymuş bitkisel toprak	17,3	0,33	0,40
Kısmen sıkıştırılmış nemli kil	15,7	0,33	0,40
Suya doymuş kil	18,9	0,33	0,30
Kuru kum	15,7	0,33	0,50
Islak kum	18,9	0,33	0,50

C_d katsayısının bulunması için verilen parametreler diyagram haline getirilerek, katsayının bulunması kolaylaştırılmıştır. Şekil 5.3’te C_d katsayısı için hesap diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.3: Hendek Durumunda C_d Katsayısı Diyagramı [29]

Boru üzerindeki yükün hesaplanması için kullanılan Denklem 5.6'da boru üst seviyesindeki genişlik ile boru üzerindeki yük doğru orantılı olduğundan; boru üst seviyesindeki genişlik arttıkça boru üzerindeki yük de artmaktadır. Ancak; öyle bir genişlik belirlenmiştir ki, hendek kenarlarının boruya etkileyen yük üzerinde bir etkisi kalmamaktadır. Bu genişlik; geçiş genişliği olarak tanımlanmıştır. Boruya etkileyen yük Denklem 5.6'ya göre artmaya devam edip, hendek yükü dolgu yüküne eşit olunca gerçek yük Denklem 5.8'le hesaplanacaktır. Geçiş genişliğini hesaplamak için en elverişsiz durumdaki değerler kullanılarak Şekil 5.4'de ki diyagram elde edilmiştir. Bu diyagram kullanılarak geçiş genişliği hesaplanabilmektedir.



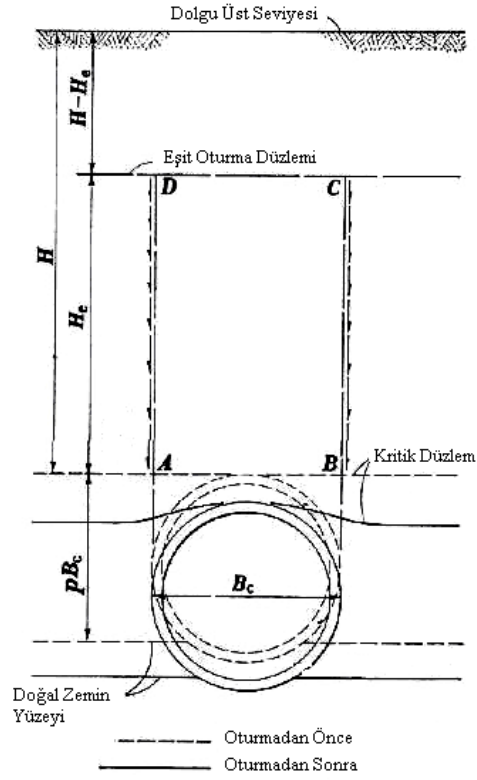
Şekil 5.4: Geçiş Genişliği Hesaplama Diyagramı [21]

5.1.2 Dolgu Durumu Pozitif Projeksiyon

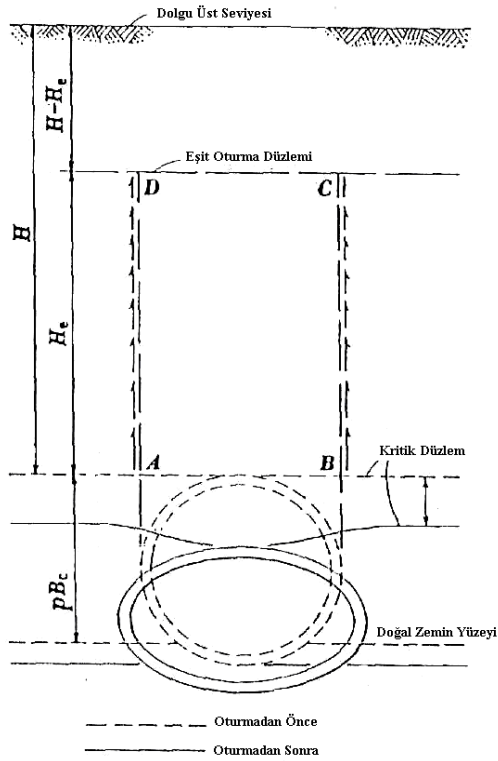
Boru hattı zemin yüzeyinde yapılan bir yatağa yerleştirildikten sonra üzerleri dolgu malzemesiyle kaplanmaktadır. Karayolu ve demiryolu menfezleri bu şekilde inşa edilmektedir.

Pozitif projeksiyon durumunda kayma kuvvetleri ön plana çıkmaktadır. Kayma kuvvetlerinin oluştuğu düzlemler; borunun kenarlarından yukarı doğru uzanan hayali düzlemler olarak tanımlanır.

Pozitif projeksiyonlu borularda projeksiyon oranı (p) ve oturma oranı (r_{sd}) önemli rol oynamaktadır. Projeksiyon oranı (p) boru üst noktası ile doğal zemin seviyesi arasındaki farkın dış çapa oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu parametrelerin değişimine göre pozitif projeksiyon; projeksiyon durumu ve hendek durumu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 5.5'te projeksiyon durumu, Şekil 5.6'da ise hendek durumu gösterilmektedir.



Şekil 5.5: Pozitif Projeksiyon, Projeksiyon Durumu [29]



Şekil 5.6: Pozitif Projeksiyon, Hendek Durumu [29]

Projeksiyon durumunda borunun üst kısmına kıyasla yan dolgu daha fazla oturma yapmaktadır. Kayma kuvvetleri aşağı yönlü oluşarak boru üzerine fazladan yük gelmesine sebep olmaktadır. Hendek durumunda ise boru yan dolguya kıyasla daha fazla oturma yaptığından kayma kuvvetleri yukarı yönlü oluşarak boru üzerindeki yük azalma eğilimine geçer.

Oturma oranı (r_{sd}) hesaplanırken değişik boru ve dolgu tipleri için oturma oranlarının verildiği Tablo 5.2'den yararlanılmaktadır.

Tablo 5.2: Oturma Oranı (r_{sd}) İçin Tipik Değerler [21]

Durum	Oturma Oranı (r_{sd})
Kaya veya sert zemine oturan rijit boru	1,00
Sıradan zemine oturan rijit boru	0.50 – 0.80
Doğal zemine oturan rijit boru	0.00 – 0.50
Yan dolguları kötü sıkıştırılmış esnek boru	-0.40 – 0.00
Yan dolguları iyi sıkıştırılmış esnek boru	-0.20 – 0.80

Doğal zemin yüzeyine yerleştirilen borularda dolgu yüksekliği fazla ise kayma gerilmeleri oluşmadığı için bu duruma tamamlanmamış hendek ya da tamamlanmamış projeksiyon durumu denir. Eşit oturma düzlemi dolgu yüksekliğinden büyük olduğu durumda ise kayma gerilmeleri eşit oturma düzlemi boyunca oluşacağından bu duruma da tamamlanmış hendek ya da tamamlanmış projeksiyon durumu denmektedir.

Pozitif projeksiyon için boru üzerine etkiyen yük;

$$W_c = C_c \times \gamma \times B_c^2 \quad (5.8)$$

Projeksiyon durumu için yük katsayısı ise;

$$C_c = \left[\frac{e^{\pm 2K\mu(H/B_c)} - 1}{\pm 2K\mu} \right] \quad (5.9)$$

$$C_c = \left[\frac{e^{\pm 2K\mu(H/B_c)} - 1}{\pm 2K\mu} \right] + \left[\frac{H}{B_c} - \frac{H_e}{B_c} \right] \times e^{2K\mu(H_e/B_c)} \quad (5.10)$$

$$H_e = r_{sd} p \frac{H}{B_c} \quad (5.11)$$

Denklem 5.9'da; tamamlanmış hendek durumunda eksi işaretler, tamamlanmış projeksiyon durumunda ise artı işaretler kullanılmalıdır.

Denklem 5.10'da ise; tamamlanmamış hendek durumunda eksi işaretler, tamamlanmamış projeksiyon durumunda ise artı işaretler kullanılmalıdır.

Formüllerde geçen parametreler;

W_c = Boru üzerindeki yük

B_c = Borunun dış çapı

γ = Yerleştirilen zeminin birim hacim ağırlığı

H = Boru üzerindeki dolgu yüksekliği

H_e = Eşit oturma düzleminin yüksekliği

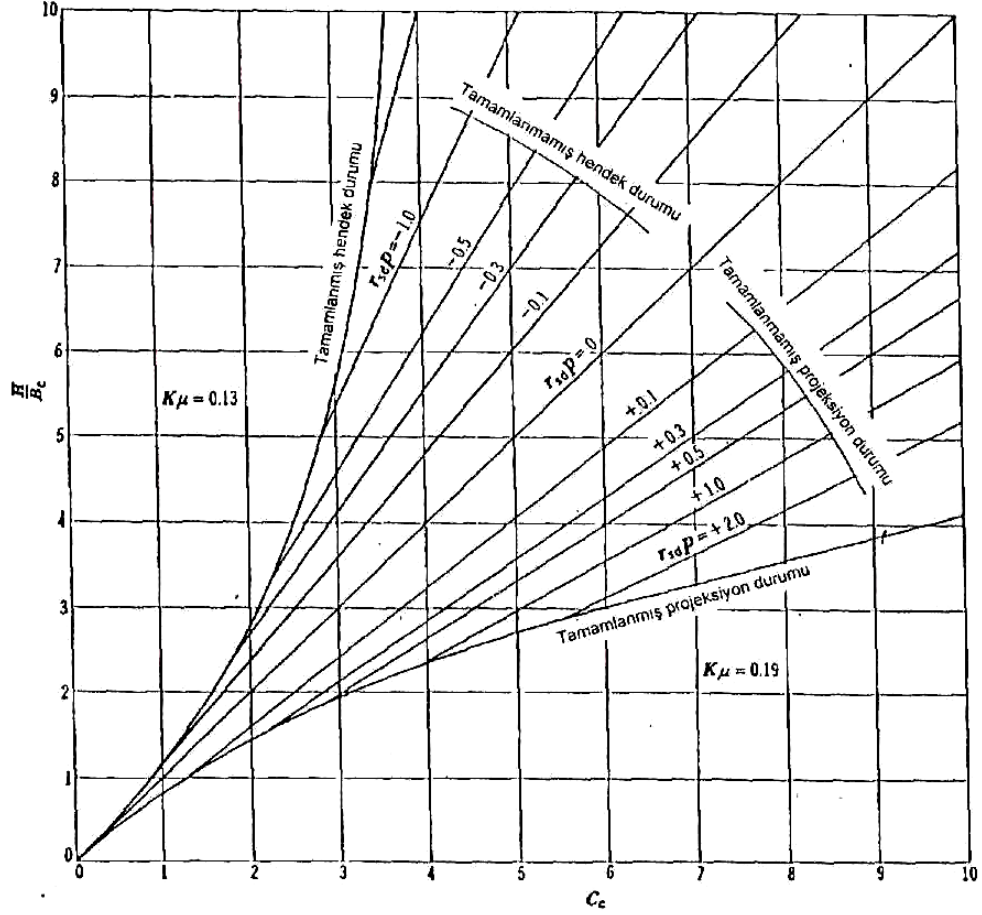
K = Aktif yanal basıncın düşey basınca oranı

μ = Yerleştirilen zemin sürtünme katsayısı ($\tan\Phi$)

r_{sd} = Oturma oranı

p = Projeksiyon oranı

C_c katsayısının belirlenmesinde kullanılan formüllerin karmaşıklığı projeksiyon durumlarını içeren diyagram oluşturulması ile çözümlenmiştir. Şekil 5.7'te pozitif projeksiyonlu borular için C_c katsayısı diyagramı verilmektedir.

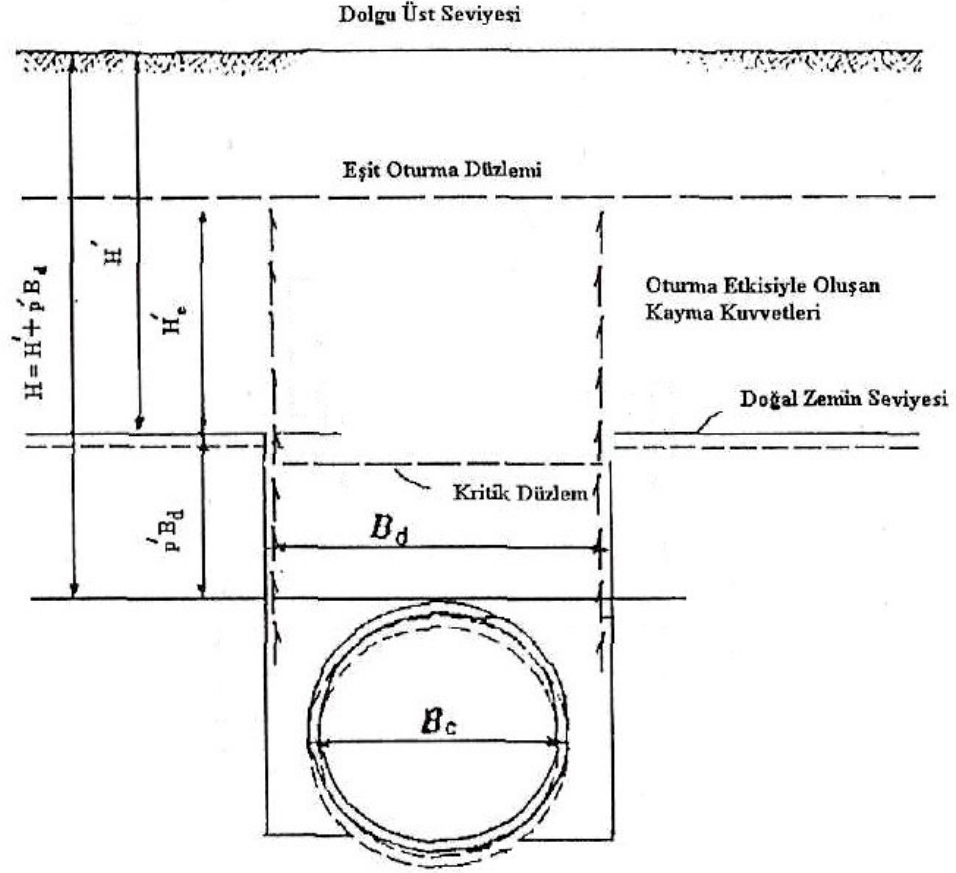


Şekil 5.7: Pozitif Projeksiyonlu Borular İçin C_c Katsayısı Diyagramı [29]

5.1.3 Dolgu Durumu Negatif Projeksiyon

Pozitif projeksiyon durumundan farklı olarak; Şekil 5.8’de görüldüğü üzere, doğal zemine dar ve sığ bir hendek açılarak boru yerleştirilir. Yerleştirilen boru üzerine, doğal zemin seviyesini aşacak biçimde dolgu teşkil edilmektedir.

İç prizmanın yüksekliğinin fazla olmasından dolayı, dış prizmaya göre daha fazla oturma eğilimi gösterecektir. Oturma eğilimi sayesinde; iç prizma ile dış prizma arasında oluşan kayma kuvvetleri yukarı doğru oluşarak boru üzerine gelen yükü azaltma eğilimde olacaktır. [20, 21, 29]



Şekil 5.8: Negatif Projeksiyon Durumu [29]

Negatif projeksiyon durumunda borunun üzerine etkiyen yük;

$$W_c = C_n \times \gamma \times B_d^2 \quad (5.12)$$

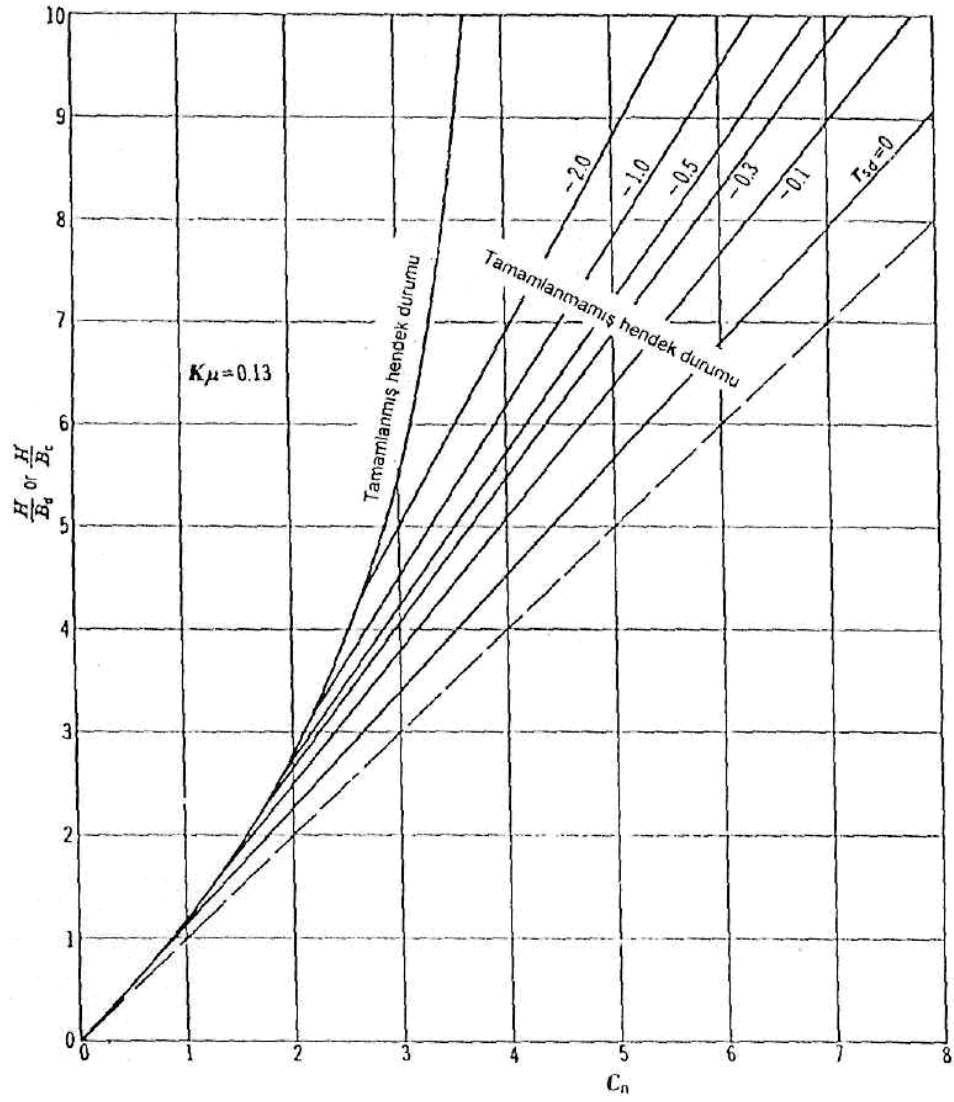
Denklemiyle hesaplanmaktadır.

Negatif projeksiyonlu borularda yük katsayısı aşağıdaki denklemle hesaplanabilir;

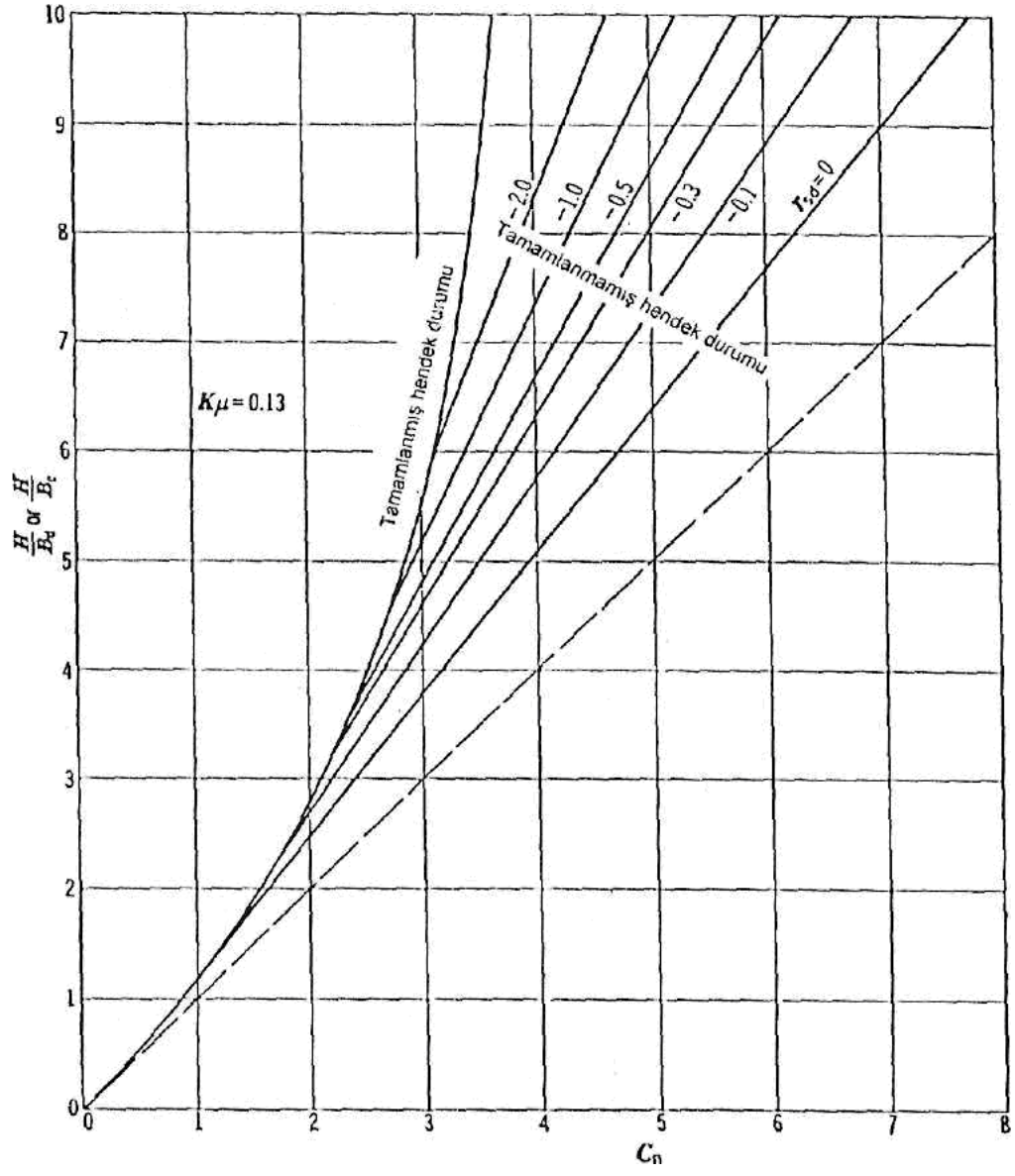
$$C_n = \left[\frac{1 - e^{-2K\mu(H/B_d)}}{2K\mu} \right] \quad (5.13)$$

Negatif projeksiyonlu borularda projeksiyon oranı (p'); boru üst seviyesi ile doğal zemin seviyesi arasındaki farkın borunun üst noktasındaki hendek genişliğine oranı olarak tanımlanmaktadır. Projeksiyon oranının değişimine göre C_n katsayısını hesaplamak için diyagramlar hazırlanmıştır. Şekil 5.9'da $p'=0.5$ için, Şekil 5.10'da

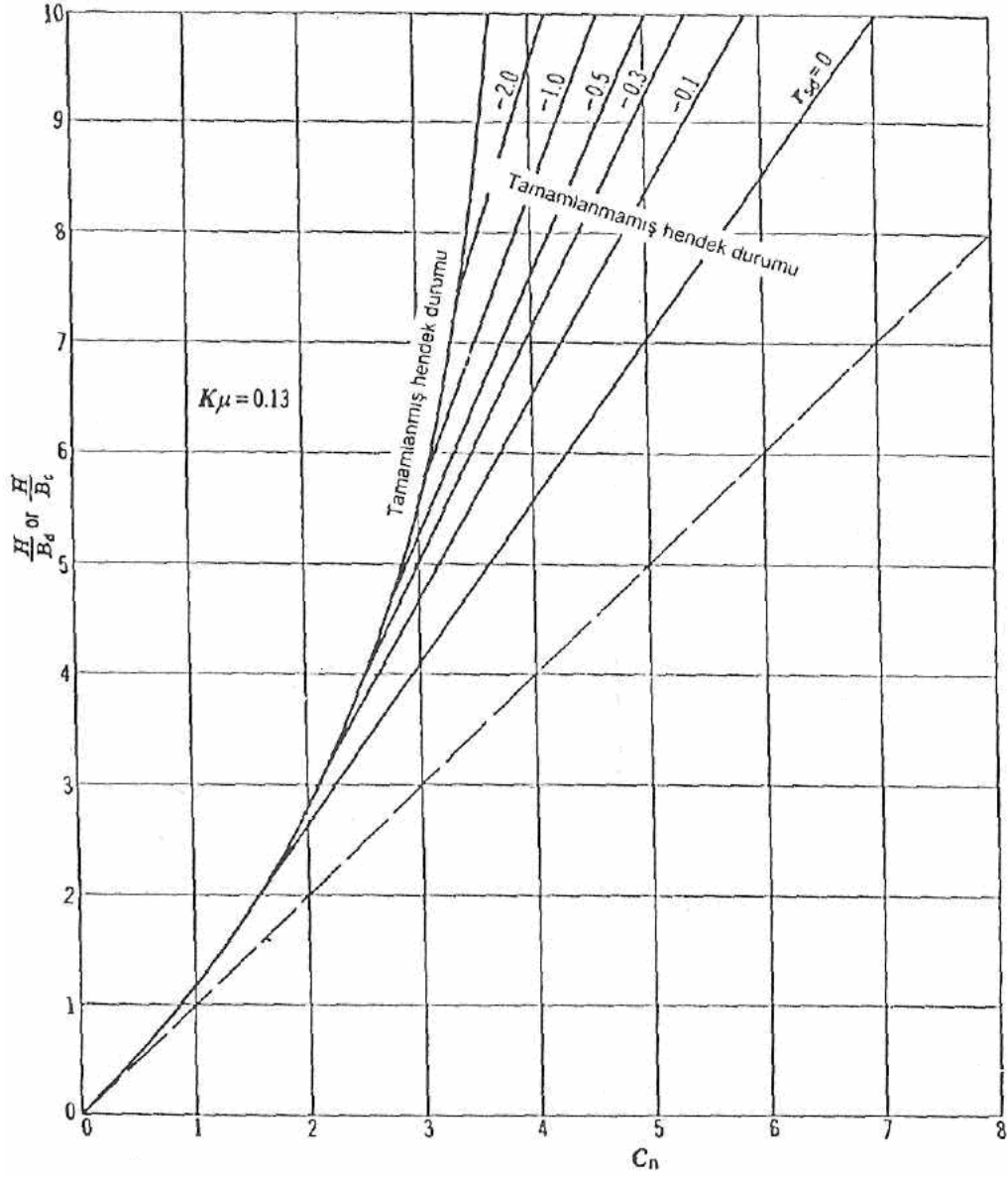
$p'=1.0$ için, Şekil 5.11'de $p'=1.5$ için, Şekil 5.12'de $p'=2.0$ için C_n katsayısı diyagramları verilmiştir.



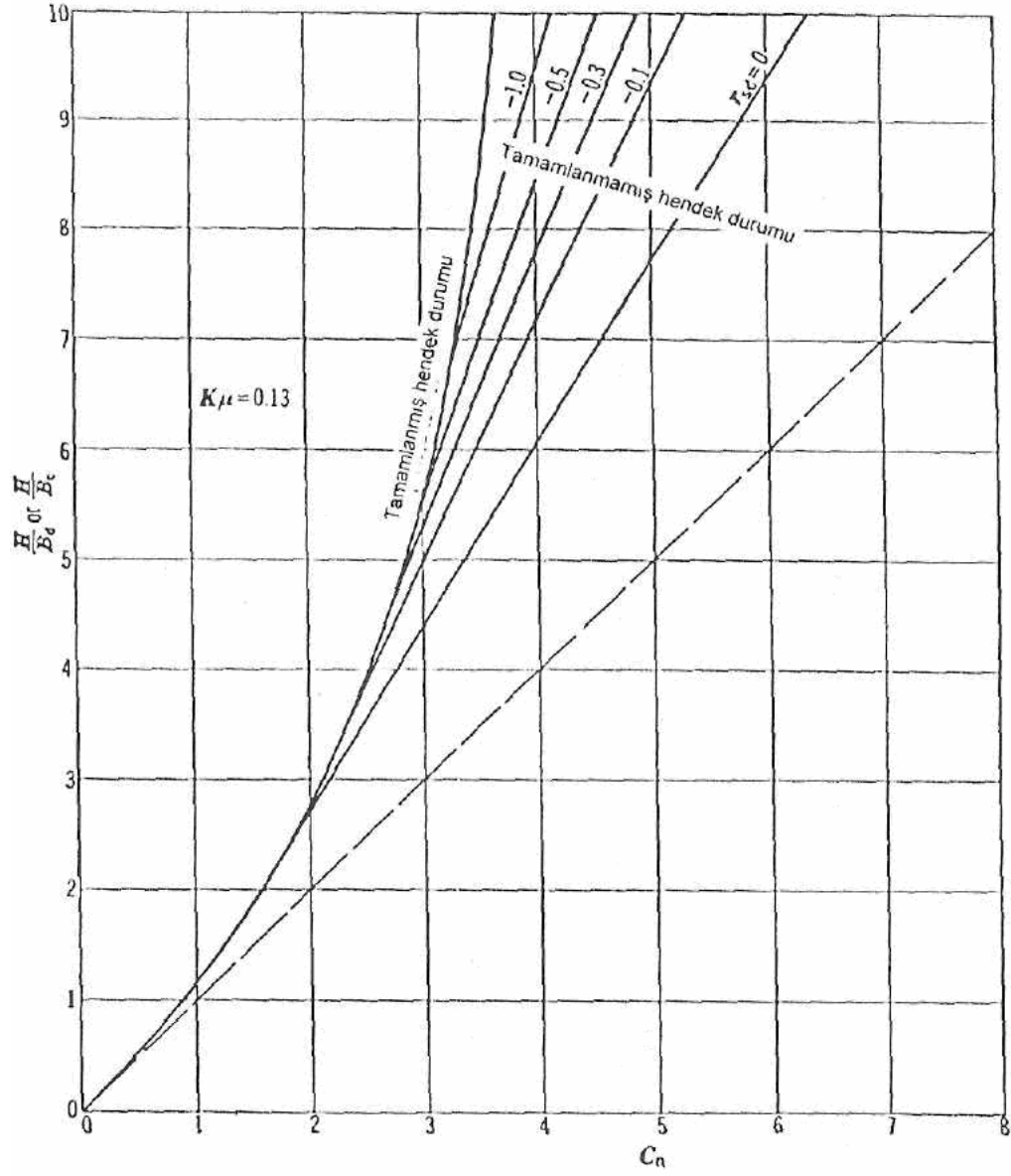
Şekil 5.9: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p' = 0.5$) [29]



Şekil 5.10: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p'=1.0$) [29]



Şekil 5.11: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p' = 1.5$) [29]



Şekil 5.12: Negatif Projeksiyon Durumu C_n Diyagramı ($p'=2.0$) [29]

5.2 Esnek (Flexible) Boru Üzerindeki Dolgu Yükü

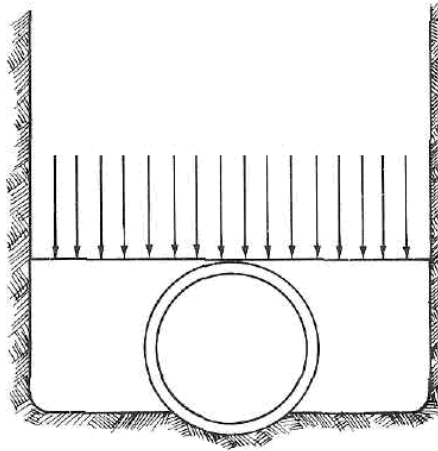
Karayolları ve demiryolları altında drenaj yapılarında sıkça kullanılan esnek boruların yük taşıma kapasitesi borunun esnekliğine bağlıdır. Yük altında esnek borular hem düşey yönde eğilme hem de yana doğru genişleme eğilimi göstermektedirler. Bu davranış sonucu yan dolguda pasif basınç oluşmasını sağlayarak yan dolgunun yük taşımasını artırır. Yan dolgu ne kadar iyi derecede sıkıştırılırsa taşıyacağı yük de o oranda artış gösterecektir. [21, 29, 31]

Esnek borular üzerine yük uygulandığında deformasyona uğrarken yükün bir bölümünü de kendisi karşılayacaktır. Örneğin bir yay üzerine ağırlık yerleştirildiğinde yayın rijitliği sebebiyle eğilmeye karşı koyarak deforme olacaktır. Yük eğilme grafiği çizilirse; orantı limitine kadar boru üzerine gelen yük ile eğilme arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu görülür. Esnek borular üzerine yük etkidiğinde de boru eğilirken rijitliği sebebiyle eğilmeye karşı koyar. Bu sebeple esnek boru davranışını doğrusal olmayan bir yay olarak kabul etmek mümkündür. [12, 21]

Esnek boru üzerindeki yükler Marston yükü ve prizma yükü teorileriyle hesaplanabilmektedir.

5.2.1 Marston Yükü

Özel bir durum olarak kabul edilen boru rijitliği ile dolgunun rijitliğinin eşit olduğu durumda; boru ile yan dolgu hendek üzerindeki yükü eşit oranda paylaşabilirler. Bu durumda hendek içerisine etkiyen yük üniform olarak dağılacaktır. Şekil 5.13'te üniform yük dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.13: Marston Teorisi Esnek Borularda Yük Dağılımı [21]

Yapılan bu varsayıma göre esnek boru üzerindeki dolgu yükü;

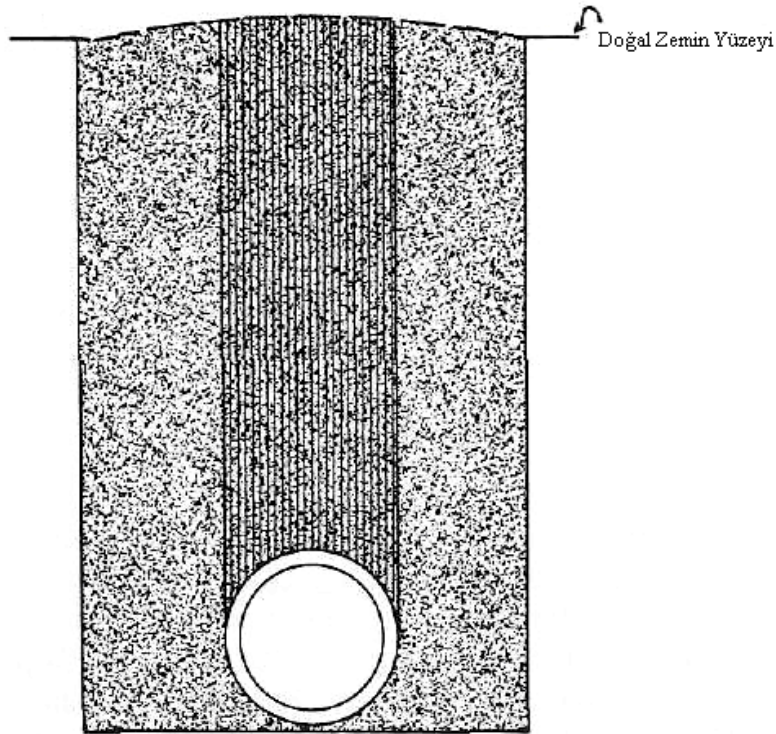
$$W_d = \frac{W_d \times B_c}{B_d} = \frac{C_d \times B_c \times B_d^2}{B_d} = C_d \times \gamma \times B_c \times B_d \quad (5.14)$$

Şeklinde Marston-Spangler denklemi hesaplanmaktadır. C_d katsayısını bulmak için Şekil 5.3'ten yararlanılabilir.

5.2.2 Prizma Yüğü

Denklem 5.14 Boru üzerine etkiyen yükün minimum değerini vermektedir. Kayma kuvvetlerine bağlı olarak oluşan yükün azalması doğal hendek şartlarında her zaman oluşmayabilir. Buna rağmen her zaman rijit bir boru üzerindeki maksimum yük esnek borulara göre daha büyük olacaktır.

Yapılan çalışmalarda esnek boru üzerindeki efektif yükün; Marston yükü ile prizma yükü arasında olduğu bulunmuştur. Uzun süreli analiz söz konusu olduğunda da yükün prizma yüküne yaklaştığı görülmektedir. Hendek genişliğinden bağımsız olması ve hesapladığı yük sebebiyle esnek borularda yük hesaplarında prizma yükü esas alınmaktadır. Şekil 5.14'te prizma yükü verilmektedir.



Şekil 5.14: Esnek Borularda Prizma Yüğü [21]

Esnek bir boru üzerindeki prizma yükü;

$$P = \gamma \times H \quad (5.15)$$

Şeklinde hesaplanır.

P = H yüksekliğindeki dolgu ağırlığından ötürü oluşan basınç

γ = Yerleştirilen zeminin birim hacim ağırlığı

H = Dolgu yüksekliği

5.2.2.1 Hendek Durumunda Prizma Yükü

Hendek içerisindeki esnek boru üzerine gelen yükleri hesaplamak için prizma yükü B_c ile çarpılıp Marston-Spangler yüküne eşitlenirse;

Prizma yükü : $P = \gamma \times H$

Marston yükü : $W_d = C_d \times \gamma \times B_c \times B_d$

$$\gamma \times H \times B_c = C_d \times \gamma \times B_c \times B_d \quad (5.16)$$

Şeklini alır. Denklem çözülürse $C_d = H/B_d$ elde edilir. Buradan da prizma yükünün Marston-Spangler yükünün özel bir durumu olduğu anlaşılmaktadır.

5.2.2.2 Dolgu Durumunda Prizma Yükü

Hendek durumunda olduğu gibi Marston-Spangler yükü, prizma yükü B_c ile çarpılıp eşitlenirse;

Prizma yükü : $P = \gamma \times H$

Marston yükü : $W_c = C_c \times \gamma \times B_c^2$

$$\gamma \times H \times B_c = C_c \times \gamma \times B_c^2 \quad (5.17)$$

Eşitliği elde edilir. Oluşan bu denklem çözüldüğünde; $C_c = H/B_c$ elde edilir. Bu durumda dolgu tipi borularda $r_{sdp} = 0$ için Marston ile prizma yükünün aynı olduğunu göstermektedir.

Her durumda da prizma yükünü $P = \gamma \times H \times B_c$ olarak hesaplamak yeterli olacaktır.

Bu şekilde esnek borular üzerindeki yük hesaplanmış olacaktır.

5.3 Gömülü Boruların Tasarımı

Gömülü boruların tasarımı genel olarak; rijit boruların tasarımı ve esnek boruların tasarımı olarak iki şekilde incelenmektedir. Tasarımı etkileyen başlıca faktörler; boru rijitliği, yataklama malzemesi özellikleri, dolgu malzemesi özellikleri, kompaksiyon derecesi, hendek derinliği ve doğal zemin özellikleri gibi parametrelerdir.

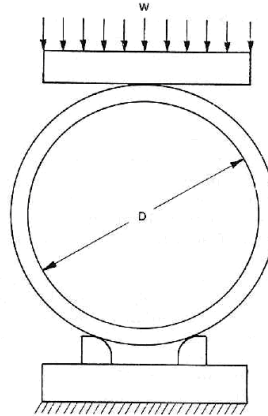
5.3.1 Rijit Boru Tasarımı

Rijit borularda tasarım genelde yük taşıma kapasitelerine göre yapılmaktadır. Arazide boruya etkiyecek dış yükler hesaplanarak, laboratuarda elde edilen maksimum yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması ile uygun boru seçilir.

Laboratuarda borunun maksimum yük taşıma kapasitesinin bulunması için yapılan bazı deneyler şunlardır; iki mesnetli taşıma gücü mukavemeti deneyi, üç mesnetli taşıma gücü mukavemeti deneyi, kumlu taşıma gücü mukavemeti deneyi ve Minnesota taşıma gücü mukavemeti deneyleridir. Kullanılan bu deney çeşitlerinden en sık tercih edilen deney; kesin ve doğru sonuç vermesi, kolay bir şekilde yapılması açısından üç mesnetli taşıma gücü mukavemeti deneyidir. [28, 29]

5.3.1.1 Üç Mesnetli Taşıma Gücü Mukavemeti Deneyi

Rijit borularda kullanılan üç mesnetli taşıma gücü mukavemeti deneyinde Şekil 5.15'te görüldüğü gibi; üç adet yatay destek üzerinde duran boruya yük uygulanarak, uygulanan yük altında malzemede oluşacak kırılmalar gözlenmektedir. Standard olarak; boru numunesinde 0.254mm genişliğinde çatlak meydana getirildiği andaki yükün arazide uygulanan boru sisteminde göçme meydana getirdiği kabul edilir.



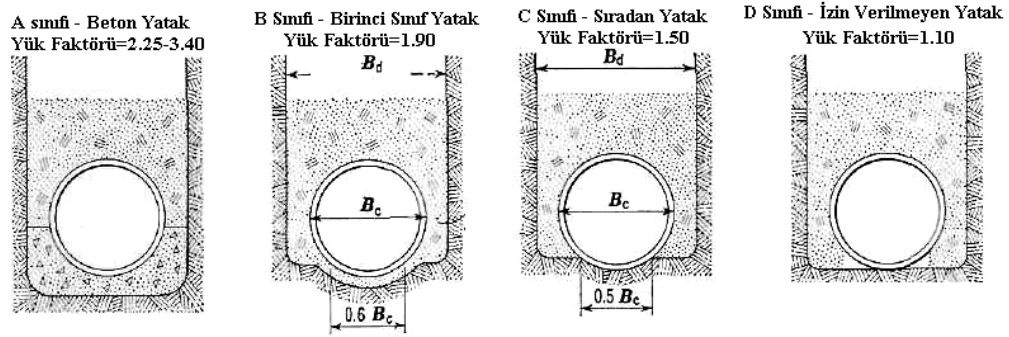
Şekil 5.15: Üç Mesnetli Taşıma Gücü Mukavemeti Deneyi [21]

Rijit borularda, boru üzerine etkiyen yük Marston formülüyle ($W_d = C_d \times \gamma \times B_d^2$) hesaplandığı önceki bölümlerde verilmişti. Yapılan çalışmalarda göçmeye sebep olan Marston yükünün genellikle üç mesnetli taşıma gücü deneyi ile bulunan sonuçlardan daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür. Göçme anındaki Marston yüküne; borunun arazi mukavemeti adı verilmektedir. Arazi mukavemetinin üç mesnetli taşıma gücü mukavemetine oranı borunun yataklanma koşullarına bağlı olduğu için, yataklama faktörü olarak adlandırılmaktadır.

Üç mesnetli taşıma gücü mukavemeti yataklama faktörüne bağlı olarak şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\text{Üç Mesnetli Dayanma Mukavemeti} = \frac{\text{Arazi Mukavemeti}}{\text{Yataklama Faktörü}} \quad (5.18)$$

Laboratuarda elde edilen mukavemetten arazideki mukavemet farklı olacağından borunun yataklama şartına göre yük faktörleri belirlenmiştir. Bölüm 4.2.1’de anlatılan yataklama şekilleri için yük faktörleri Şekil 5.16’da verilmiştir. Yataklama şekline göre verilen yük faktörlerinden biri seçilerek arazi mukavemetini elde etmek için; seçilen yük faktörü üç mesnetli taşıma gücü mukavemeti ile çarpılır.



Şekil 5.16: Yataklama Şekilleri İçin Yük Faktörleri

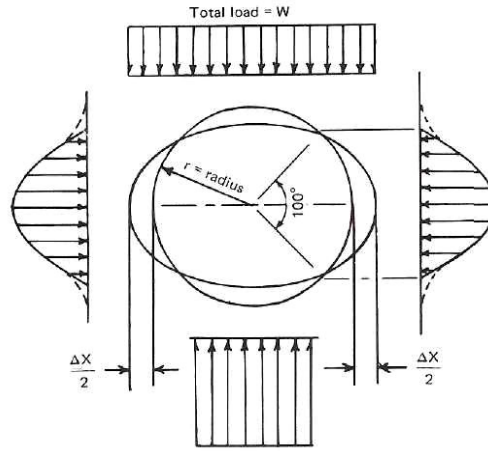
5.3.2 Esnek (Flexible) Boru Tasarımı

Esnek boru tasarımında; borunun üzerine gelen yük, yan dolgunun rijitliği ve borunun rijitliği önemli rol oynamaktadır.

Marston’un öğrencisi olan Spangler yaptığı çalışmalarda esnek boru tasarımı için Marston yük teorisinin uygun olmadığını düşünmüştür. Yaptığı incelemeler sonucunda zemine gömüldükten sonra esnek boruların rijit borulara göre az da olsa

dayanım kazandığını görmüştür. Boru üzerindeki düşey yöndeki yükün artması ile boru düşey yönde deplasman yapacaktır. Yaptığı bu deplasman da boru üzerindeki yük yan dolgulara aktarılacaktır.

Spangler yaptığı inceleme ve çalışmalar sonucunda Iowa formülünü oluşturmuştur. Yan dolgu etkisini de göz önüne alarak Marston teorisinde kabul edilen, boru üzerindeki yükün yatay düzlemde üniform olarak dağılması varsayımına uygulamıştır. Şekil 5.17'de görüldüğü üzere her bir kenardaki yatay basıncın borunun zemine gömülmesiyle orantılı olduğunu kabul etmiştir.



Şekil 5.17: Esnek Boruların Deformasyonu [21]

Spangler Iowa formülü şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\Delta X = \frac{(D_L \times K \times W_c \times r^3)}{(E \times I) + (0.061 \times e \times r^4)} \quad (5.19)$$

ΔX = Yatay eğilme veya çapta değişim

D_L = Eğilme gecikme faktörü

K = Yataklama açısına bağlı katsayı

W_c = Borunun birim uzunluğuna gelen düşey yük

r = Borunun ortalama yarıçapı

E = Borunun elastisite modülü

I = Borunun eylemsizlik momenti

e = Yan dolgunun pasif direnci

Formülde yataklama açısına bağlı katsayı (K) genel bir kural olarak K= 0.1 olarak formüle girmektedir.

Spangler'in öğrencisi olan Reynold K. Watkins dolgu zeminlerde pasif direnç modülünü araştırmaktaydı. Yaptığı çalışmalar sonucunda Denklem 5.19'da farklı bir zemin parametresi tanımlamıştır. Yenilenen Spangler'in ortaya koyduğu denklem, Watkins tarafından geliştirilmiş Iowa formülü olarak literatüre geçmiştir.

Geliştirilmiş Iowa formülü;

$$\Delta X = \frac{(D_L \times K \times W_c \times r^3)}{(E \times I) + (0.061 \times E' \times r^3)} \quad (5.20)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır.

D_L değerinin; esnek boru yük hesabında Marston yükü alındığında 1.5, prizma yükü alındığında ise 1.0 alınması önerilmektedir.

Denkleminde bir diğer parametre zemin modülü'dür (E'). Zemin modülünün belirlenmesi için yapılan çalışmalar başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Parametrenin belirlenmesi için kullanılan en kullanışlı metot ise tüm verilerin kullanıldığı durumda geri işlem yaparak zemin modülünün belirlenmesidir. Bu metotta yataklama faktörü ve eğilme gecikmesi faktörü için varsayımlar yapılarak zemin modülüne ulaşılabilir.

Esnek borular deformasyon yeteneğine sahip olmakla birlikte tasarım esnasında yapacakları deformasyonlar sınırlandırılmıştır. Şekil 5.18'de görüldüğü gibi; esnek borularda normal deformasyon ve aşırı deformasyon tanımlanmaktadır. PVC borularda başlangıç durumuna göre %30, çelik borularda ise %20 deformasyon normal olarak kabul edilir. Bu bakımdan deformasyon limiti bir performans limiti olarak algılanmamalıdır. Ancak bu değerler aşıldığında boru aşırı deformasyona uğramış olur. ASTM'ye göre tasarım esnasında PVC borular için %7.5, çelik borular için ise %5 deformasyon limiti öngörülmektedir. [21]

6. PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

6.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir.

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler Bu şekilde matematiksel bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi; diferansiyel denklemlerle ifade edilen mühendislik problemlerinin analizi için geliştirilen nümerik bir çözüm yöntemidir. Sürekli bir ortamın sonlu elemanlara bölünerek, denklemler bir eleman için yazılır ve integre edilerek sistem denklemleri elde edilir.

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metotlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından kullanılmıştır. Metodun üç boyutlu problemlere uygulanması iki boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleşmiştir.

Matematik modelleme işleminin, modelin değişen problem olarak ifade edilmesinden sonraki aşaması, bilgisayarda çözümlenmesi hedeflenen ayrık modelin oluşturulmasıdır. Günümüzde, diferansiyel denklemlerle ilgili matematik modellerin ayrık benzeşiklerinin oluşturulması ve elde edilen ayrık problemin bilgisayarda

çözümlemesi açısından en kapsamlı ve evrensel yöntem, sonlu elemanlar yöntemidir. Bu yöntemin klasik sonlu farklar yönteminden başlıca farkı, bunun sınır değer problemini değil, değişen problemi temel almasıdır. Bu nedenle, bilimsel ve teknolojik problemlerin sayısal çözümlemesinde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. [36]

Aşağıda sonlu elemanlar yönteminin üstünlükleri verilmiştir;

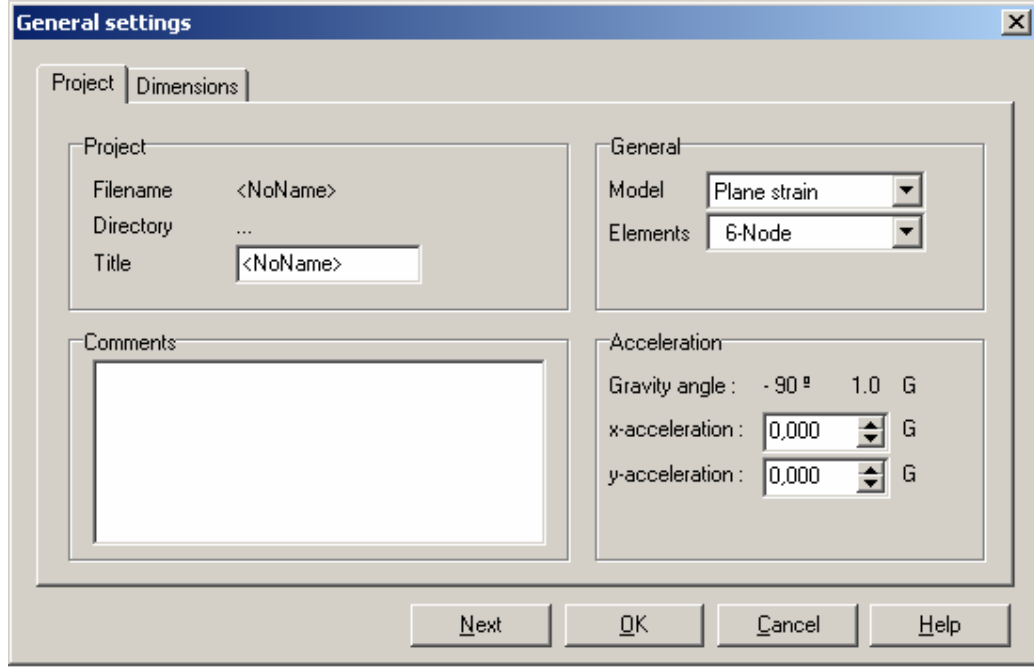
- Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle, verilen bir cisim temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.
- Çok bağlantılı bölgeler (yani bir veya çok delikli cisimler) veya köseleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.
- Değişik malzeme ve/ya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme doğrusallıkları, kalıtsal olsa bile (örneğin zamana bağlı) malzeme özellikleri kolaylıkla göz önüne alınabilir.
- Sebep-sonuç bağıntılarına ait problemler tümel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş "kuvvetler" ve "yer değiştirmeler" cinsinden formüle edilebilir. Sonlu eleman metodunun bu özelliği problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- Sınır şartları kolayca uygulanır.
- Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç verir.

6.2 Plaxis Sonlu Elemanlar Programı

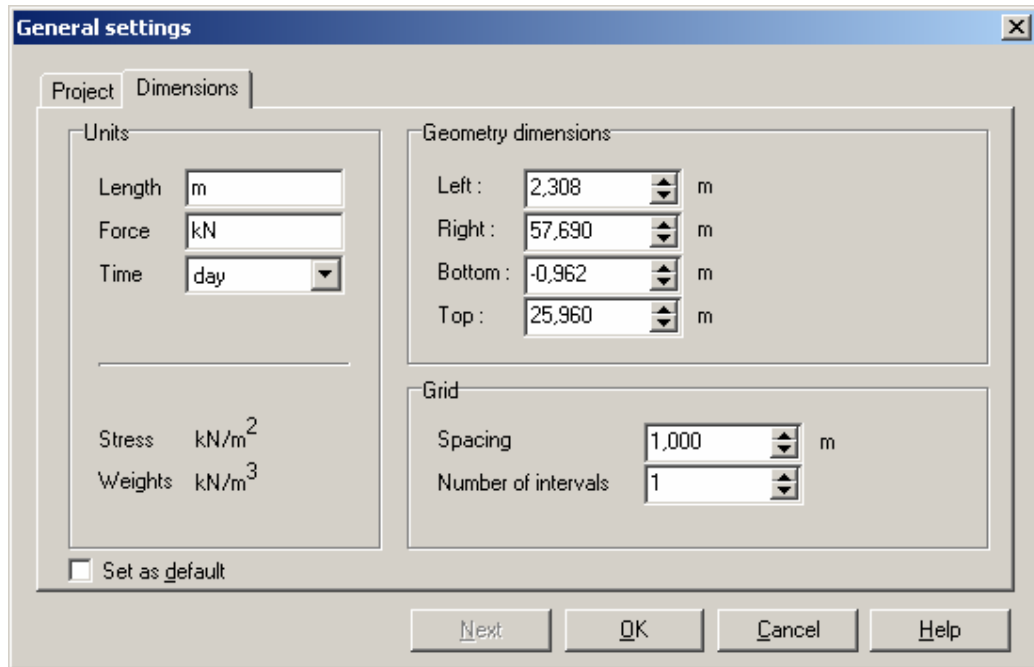
1987 yılından bu yana kullanılmakta olan PLAXIS programı geoteknik mühendisliği problemlerine çözümler getirmiştir. Program 'Input', 'Output', 'Calculation' ve 'Curves' olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır. 'Input' bölümünde analizi yapılacak olan geometri oluşturularak zemin ve yapı elemanlarına ait parametreler girilir ve sistem tanımlanır, 'Output' bölümünde analiz sonuçlarına ulaşılır,

‘Calculation’ bölümünde hesap adımları tanımlanır ve analizler gerçekleştirilir, ‘Curves’ bölümünde ise analiz sonuçlarını içeren grafiklere ulaşılmaktadır.

Yeni bir proje başlatıldığında karşımıza Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilen, proje ve boyutlar olmak üzere iki sekmeden oluşan genel ayarlar penceresi çıkmaktadır.



Şekil 6.1: Genel Ayarlar Proje Sekmesi



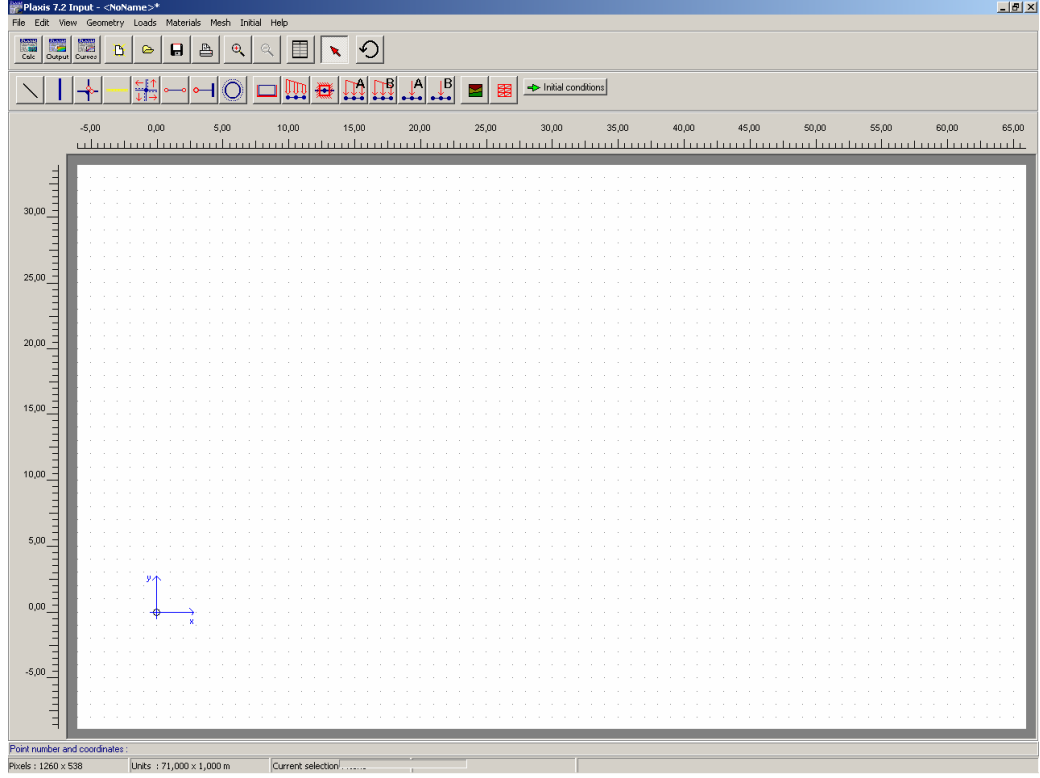
Şekil 6.2: Genel Ayarlar Boyutlar Sekmesi

PLAXIS programında deplasmanlar esas bilinmeyenler olarak tanımlanmıştır. Programda sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında 6 ve 15 düğümlü üçgen elemanlar kullanılmaktadır. Gerilme ve göçmeye bağlı analiz yapılacaksa 15 düğümlü üçgen elemanların tercih edilmesi daha hassas sonuçlar verecektir.

Genel ayarlardaki parametreler girildikten sonra geometrinin oluşturulmasına sıra gelmektedir. Şekil 6.3'te 'Input' sayfasının görünümü verilmektedir. 'Geometry Line' komutuyla çizgisel elemanlar yardımıyla proje geometrisi oluşturulur. Geometriyi oluşturduktan sonra projede olan zeminlerin parametreleri, eğer varsa yapısal elemanların parametreleri girilerek kullanılacak elemanlar tanımlanmış olur. Tanımlanan elemanları zemin profilinin üzerine sürükleyerek veya menüden seçerek girilen özellikler belirtilen geometriye atanmış olur. Yapısal elemanlar 'Beam' (Palplanş), 'Geotextile' (Geotekstil), 'Node To Node Anchor' (Ankraj) ve 'Fixed End Anchor' (Yatay destek) olarak karşımıza çıkar. Yapısal elemanlarında özellikleri girildikten sonra tanımlanan parametreleri üzerine sürükleyerek malzeme özellikleri atanır. Zemin ve yapısal elemanların özellikleri atandıktan sonra 'Standard Fixities' komutuyla otomatik olarak sistemin serbestlik dereceleri girilir.

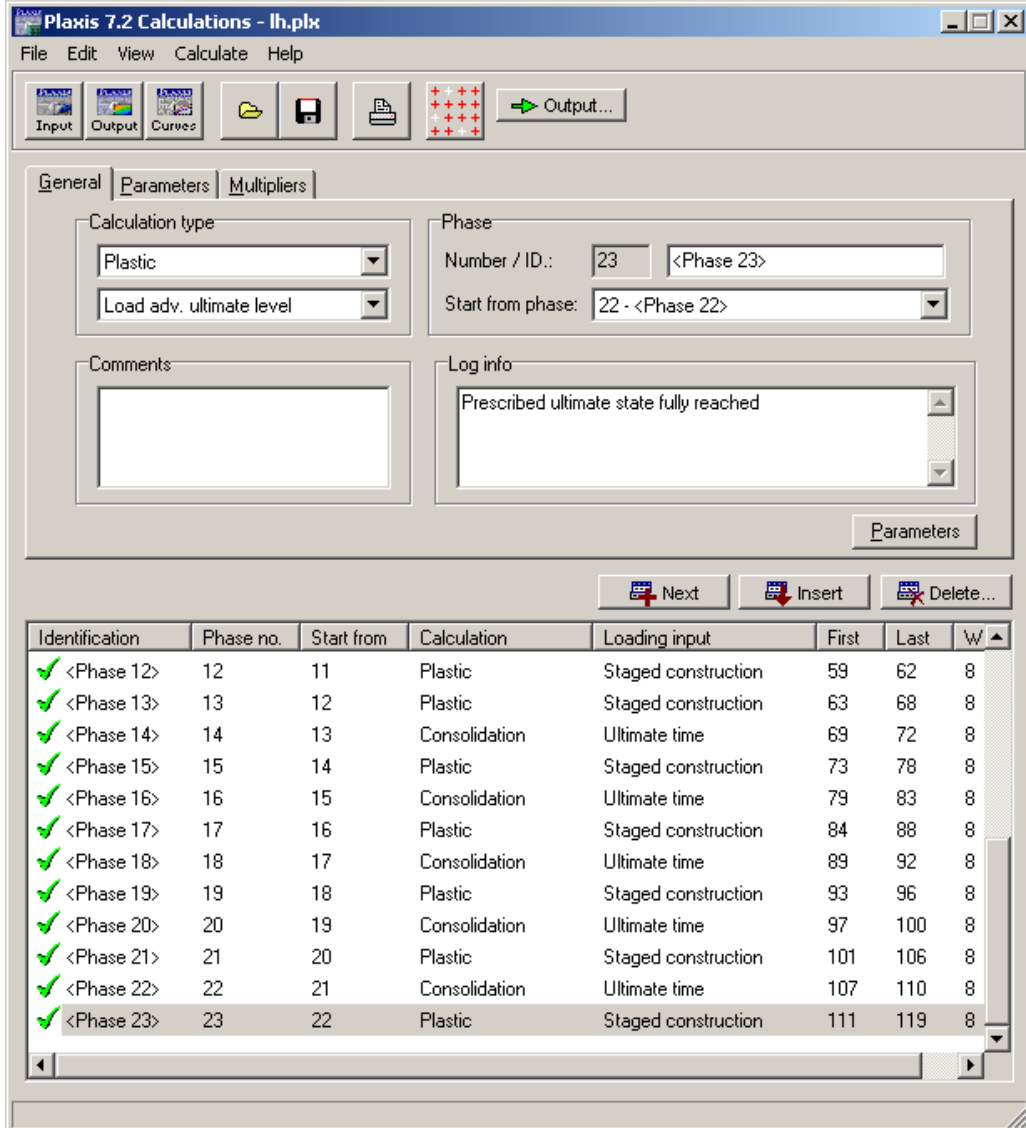
Sonlu eleman ağının oluşturulması için 'Mesh' komutu kullanılır. Sonlu elemanlar ağı; kalından başlayıp ince aralıklara doğru giden beş farklı sıklıkta oluşturulabilir. Programın genel ayarı kalın olarak tanımlanmıştır. İstendiği takdirde geometride seçilecek bir bölge veya elemanın çevresindeki eleman ağı inceltiler.

Sonlu eleman ağı oluşturulduktan sonra sistemin başlangıç koşullarının tanımlanacağı 'Initial Conditions' komutu çalıştırılır. Başlangıç koşulları iki aşamada tanımlanmaktadır. İlk olarak su seviyesi belirlenir ve başlangıç boşluk suyu basınçları hesaplatılır, daha sonra sistemin inşaatı başlamadan önceki ilk haline getirilerek başlangıç gerilmeleri hesaplatılır.



Şekil 6.3: 'Input' Bölümü Ana Sayfası

Hesaplamalara geçmek için 'Calculate' komutu kullanılır. Kademeli inşaat yapılması durumunda 'Staged Construction', tekil ya da yayılı yük tanımlanması durumunda ise 'Total Multipliers' sekmesi kullanılmalıdır. Şekil 6.4'te hesaplama sayfası verilmektedir.



Şekil 6.4: 'Calculation' Bölümü Ana Sayfa

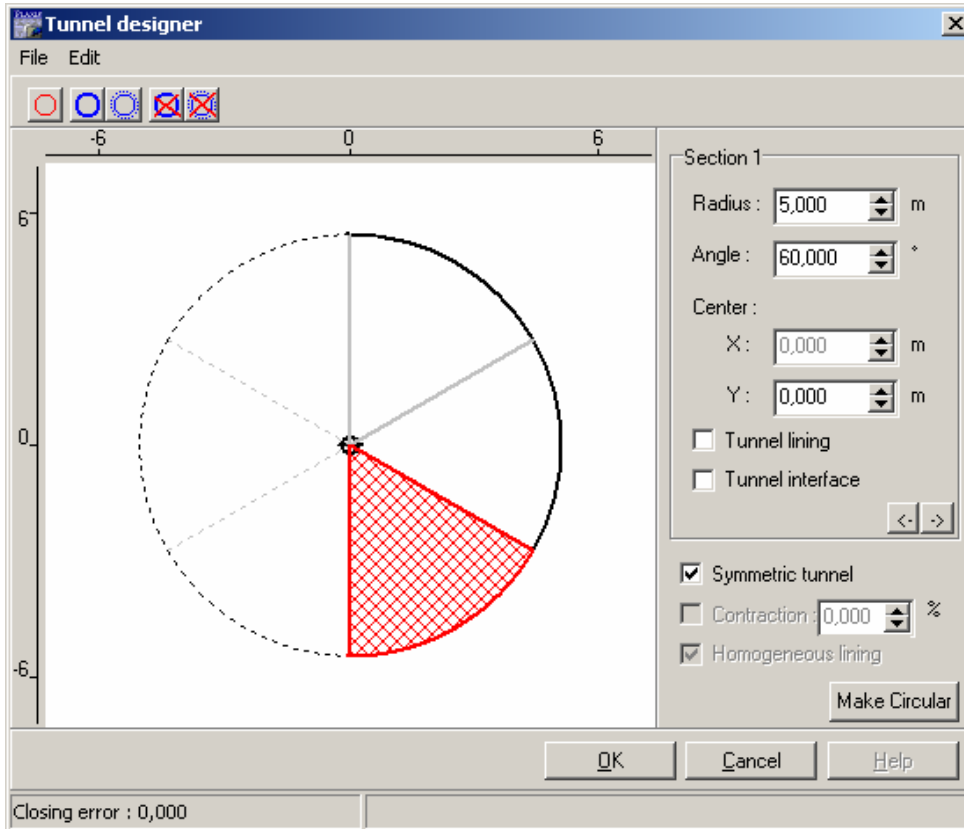
Analiz tamamlandıktan sonra 'Output' konutu kullanılarak grafikler oluşturulup karşılaştırmalar yapılabilir.

PLAXIS sonlu elemanlar analizi programında güvenlik sayısı analizi yapmakta mümkündür. 'Calculation' safhasında 'Phi-c Reduction' yardımıyla güvenlik sayısı analizi yapılır. Zemin parametreleri olan 'tan ϕ ' ve 'c' kademeli olarak azaltılarak sistemin göçtüğü an belirlenmektedir. Herhangi bir inşaat adımı için güvenlik sayısı hesaplamak mümkündür. Zeminin dayanım parametrelerinin belirlenmesinde toplam çarpan $\sum M_{sf}$ kullanılmaktadır.

$$\sum M_{sf} = \frac{\tan \phi_i}{\tan \phi_r} = \frac{c_i}{c_r} \quad (6.1)$$

Denklemdaki (i) alt indisi malzeme özelliklerinin başlangıçta tanımlandığı değerleri, (r) alt indisi ise analizlerde azaltılan değeri belirtmektedir. Başlangıç durumunda $\sum M_{sf} = 1$ alınır, ‘tan ϕ ’ ve ‘c’ kademeli olarak azaltılarak sistem göçme durumuna ulaştırılır. Güvenlik sayısı da göçme meydana gelene kadar azaltılan $\sum M_{sf}$ ‘in göçme anındaki değeri güvenlik sayısı olarak belirlenir.

Programda tünel hesapları için ayrı bir konut olan ‘Tunnel’ komutu kullanılmaktadır. Tünelin sol yarım tünel kesiti, sağ yarım tünel kesiti ve tam tünel kesiti olarak tanımlanabilmektedir. Tünel geometrisini belirlemek için Şekil 6.5’te verilen ‘Tunnel Designer’ kullanılmaktadır.



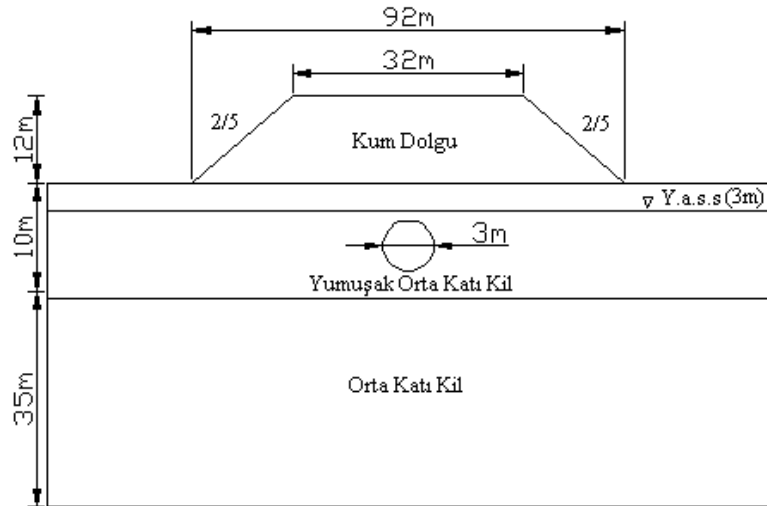
Şekil 6.5: ‘Tunnel Designer’ Bölümü Sayfa Görünüşü

Tünelin yarıçapı ve her dilim için merkez açısı girilir. Tünel etrafında zemin yapısı etkileşimini inceleyebilme amacıyla ‘Interface Elements’ adı verilen arayüzler belirlenebilir.

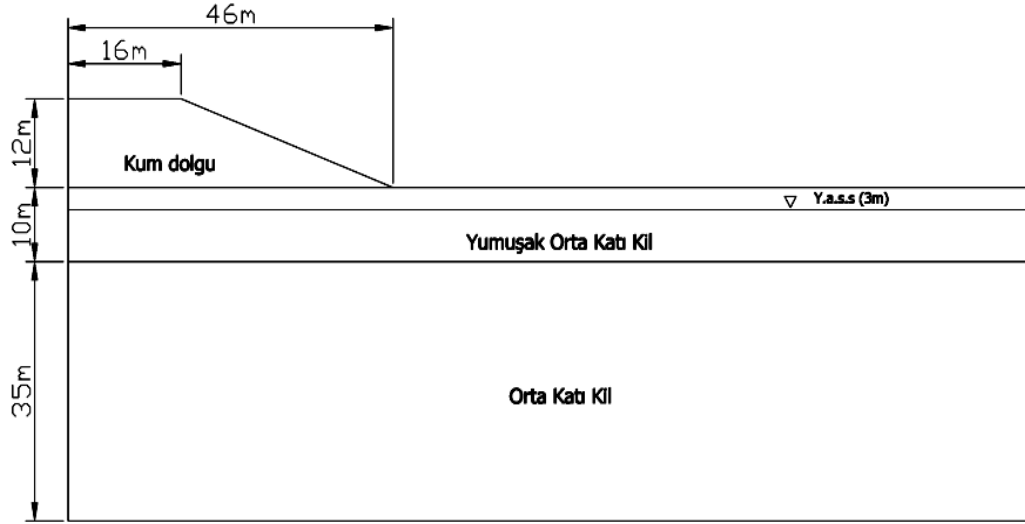
7. PLAXIS İLE YAPILAN ANALİZLER

Yumuşak orta katı kil ve orta katı kil katmanlarından oluşan zemin profiline yol dolgusunun inşası modellenerek dolgunun davranışı incelenmiş, kum dolgunun güvenli bir biçimde yerleştirilerek boru hattının dolgu altına yerleştirilmesi ve boru hattına etkileyen kuvvetlerin yataklama şartlarına, boru tipine, boru hattını yerleştirme şekillerine göre değişimi incelenerek araştırılmıştır. Şekil 7.1’de 35m orta katı kil tabakasının üzerinde yer alan 10m yumuşak orta katı kil tabakası olmak üzere toplam 45m yüksekliğindeki zemin profili ve kum dolgunun ebatları görülmektedir. Yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinin 3m aşağısında yer almaktadır.

Genel geometriden de anlaşılacağı gibi zemin profili ve yerleştirilecek dolgu simetrik olduğundan PLAXIS programında modellenecek geometrinin zemin profilinin simetri ekseninin yarısı olarak alınmıştır. Şekil 7.2’de yalnızca kum dolgunun yerleştirilmesinin, sonlu elemanlar analizinde kullanılan geometrisi gösterilmektedir. İstenmeyen gerilme artışlarını azaltabilmek amacıyla toplam zemin profili yüksekliğinin iki katı olacak şekilde kum dolgunun topuk noktasından itibaren model genişliği belirlenmiştir. Sonlu elemanlar ağı; her modellenen geometride aynı olacak şekilde tasarlanarak objektif bir karşılaştırma olanağı sağlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 7.1: Genel Zemin Profili



Şekil 7.2: Yol Dolgusunun Yerleştirilmesi Analizde Kullanılan Geometri

Analizlerde gerçeğe yakın sonuç elde edebilmek için inşaat adımları kademeli olarak modellenmiştir. Her kurulan modeldeki inşaat adımları analiz açıklamalarında verilecektir. Tablo 7.1’de ise analizlerde kullanılan tüm zemin profillerinin parametreleri verilmiştir. Analizlerin tümünde göçme mekanizmasının daha iyi incelenebilmesi için 15 düğümlü üçgen elemanlar kullanılarak sonlu eleman ağının oluşturulması tercih edilmiştir. Gerçekleştirilecek analizlerde hesaplanan değerler inşaat süresi tamamlandığındaki değerlerdir. Tüm modellerde inşaat bitimindeki sistemin davranışları ele alınarak birbirleriyle kıyaslanacaktır.

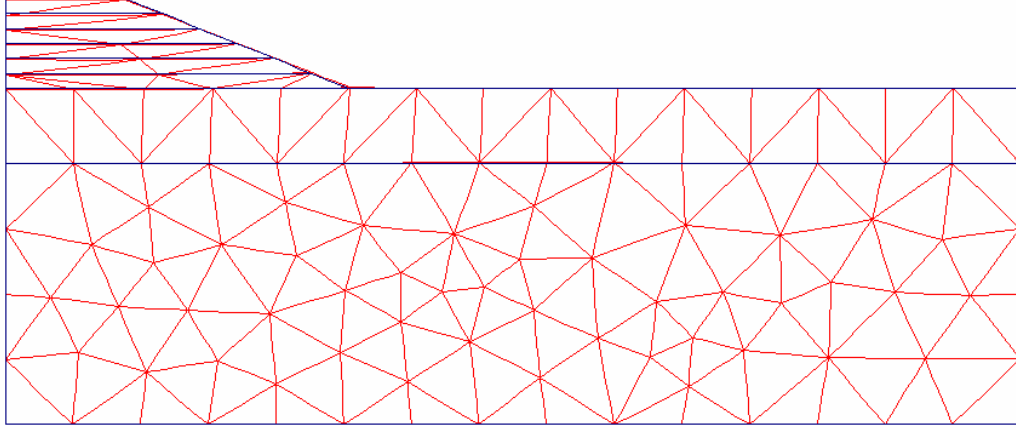
Boru hattını yumuşak orta katı kil zemine yerleştirmeden önce yol dolgusunun donatısız olarak doğal zemin üzerine inşası modellenerek, gerekli şev stabilitesi sağlandıktan sonra boru hattının yerleştirilmesi ve boru davranışı incelenmiştir. Ayrıca boru hattının davranışına etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla boru analizlerinin incelenmesinde; yol dolgusunun inşasından önce yalnızca borunun yerleştirilmesi ve borunun yerleştirilip yol dolgusunun inşasından sonra olmak üzere iki şekilde analiz sonuçlarına yer verilecektir.

Tablo 7.1: Analizlerde Kullanılan Zemin Profillerinin Parametreleri

Parametre	Sembol	Birim	Yumuşak Orta Katı Kil	Orta Katı Kil	Kum Dolgu	Kum Yastık	Kum Çakıl	Orta Sıkı Kum
Malzeme Modeli	-	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
Davranış Tipi	-	-	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	γ_{dry}	kN/m ³	17.5	18.5	20.0	19.0	21.0	20.0
Doygun Birim Hacim Ağırlığı	γ_{sat}	kN/m ³	19.0	20.0	21.0	20.0	22.0	21.0
Permeabilite (X-yönü)	k_x	m/gün	8.64×10^{-6}	8.64×10^{-5}	1	1	1	1
Permeabilite (Y-yönü)	k_y	m/gün	8.64×10^{-6}	8.64×10^{-5}	1	1	1	1
Young Modülü	E_{ref}	kN/m ²	20000	35000	45000	40000	120000	17250
Poisson Oranı	ν	-	0.33	0.33	0.3	0.3	0.3	0.25
Kohezyon	c	kN/m ²	8	10	1	1	1	1
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ	(°)	22	27.5	34	30	35	30
Dilatansi Açısı	Ψ	(°)	0	0	4	0	5	0

7.1 Kum Dolgunun Yerleştirilmesi

Orta katı kil ve yumuşak orta katı kilden oluşan zemin profillerinin üzerine 12m yuşekliğindeki kum dolgu 2m'lik tabakalar halinde kademeli olarak yerleştirilmiştir. Şekil 7.3'te sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş model görülmektedir.



Şekil 7.3: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi, Sonlu Elemanlar Ağı

Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

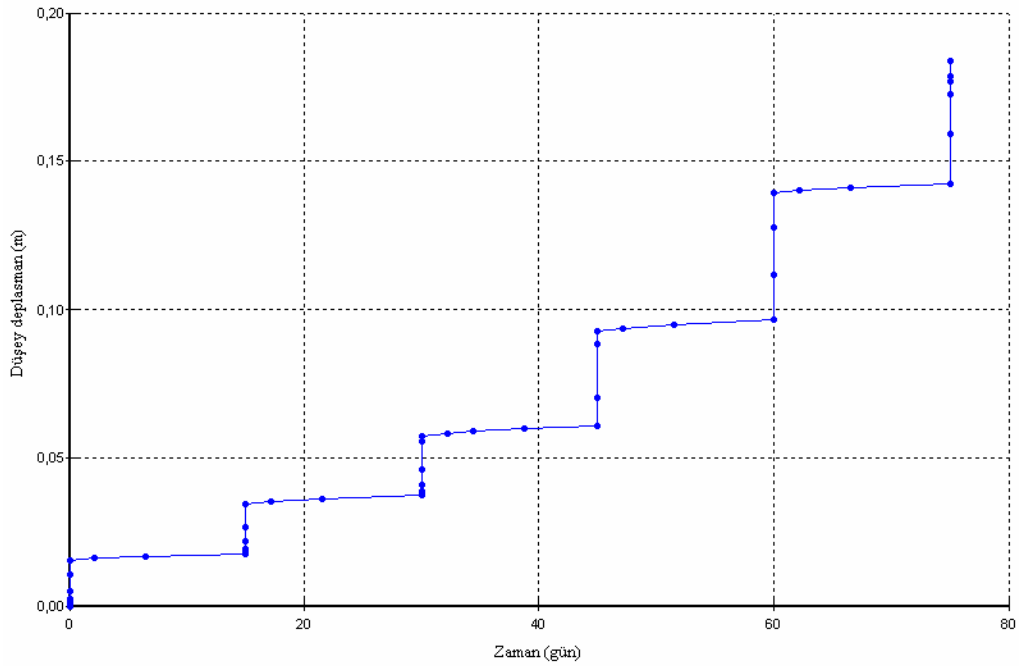
- 1.Adım: Kum dolgunun 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 2.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 3.Adım: Kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 4.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 5.Adım: Kum dolgunun uğnc 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 6.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 7.Adım: Kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 8.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 9.Adım: Kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 10.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 11.Adım: Güvenlik sayısı analizi
- 12.Adım: Kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

Analiz sonucunda; altıncı 2m'lik kum dolgu yerleştirilirken sistem göçmüştür. Tablo 7.2'de sistemin göçtüğü andaki değerler verilmiştir.

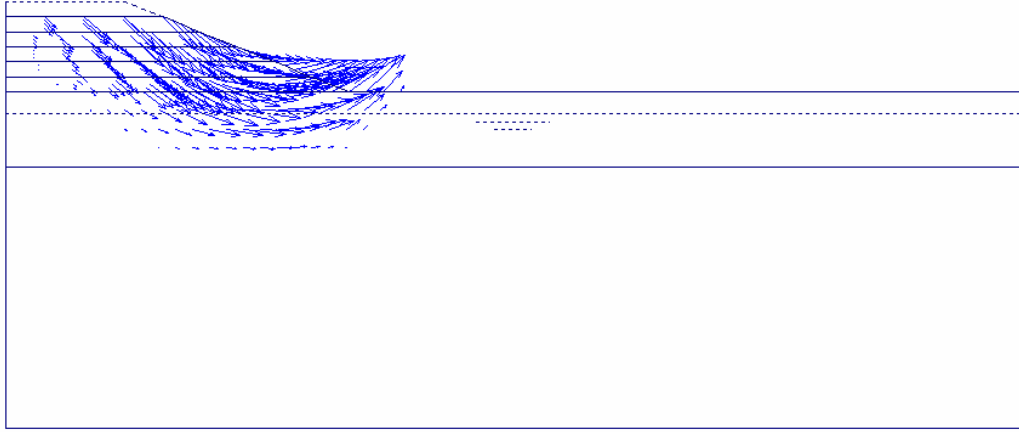
Tablo 7.2: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi, Analiz Sonuçları

Maksimum Deplasman	cm	23.76
Dolgu Alt Simetri merkezi (0;45 Noktası Deplasman)	cm	18.40
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	431.39
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	194.92
Efektif Gerilme	kN/m ²	585.72
Toplam Gerilme	kN/m ²	1010
Güvenlik Sayısı	-	1.06

Analiz sonucunda elde edilen; dolgu alt simetri merkezi (0;45) zamana bağlı yer değiştirme grafiği Şekil 7.4'te, deplasman artım vektörleri ise Şekil 7.5'te verilmiştir.



Şekil 7.4: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 7.5: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi Deplasman Artım Vektörleri

Yumuşak orta katı kil zemin içerisine boru yerleştirilmesi planlandığından kum dolgunun güvenli bir biçimde zemine taşıtılması gerekmektedir. Görüldüğü üzere dolgunun son kademe yüklemesinde göçmesi sebebiyle bu mümkün olmamaktadır. Diğer analizlerde öncelikle kum dolgunun güvenli bir şekilde inşası amaçlanacak, bu amaç gerçekleştirildikten sonra da borunun yerleştirilmesi incelenecektir.

7.2 Kum Dolguya Geotekstil Uygulanması

Kum dolgunun yerleştirilmesini güvenli bir biçimde gerçekleştirmek için kum dolguya geotekstil uygulamaları değişik şekillerde yapılacak, uygun ve ekonomik çözüm seçildikten sonra borunun yerleştirilmesi incelenecektir.

7.2.1 2m Arayla Geotekstil Uygulanması

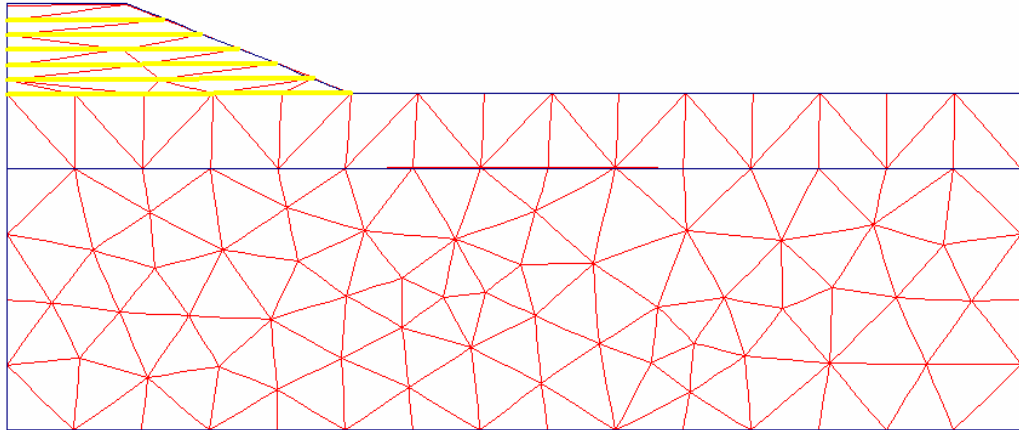
Kum dolgu 2m'lik tabakalar halinde yerleştirilmiş ve her tabaka yerleştirilirken aksenal rijitliği 2400kN/m olan toplamda 6 sıra geotekstil serilmiştir. Bu şekilde şevin stabilitesinin artırılıp güvenli bir biçimde kum dolgunun zemine taşıtılması amaçlanmaktadır. Şekil 7.6'da sonlu eleman ağı oluşturulmuş zemin görülmektedir.

Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

- 1.Adım: Zemine geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 2.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 3.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

- 4.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 5.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 6.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 7.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 8.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 9.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 10.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 11.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 12.Adım: Güvenlik sayısı analizi

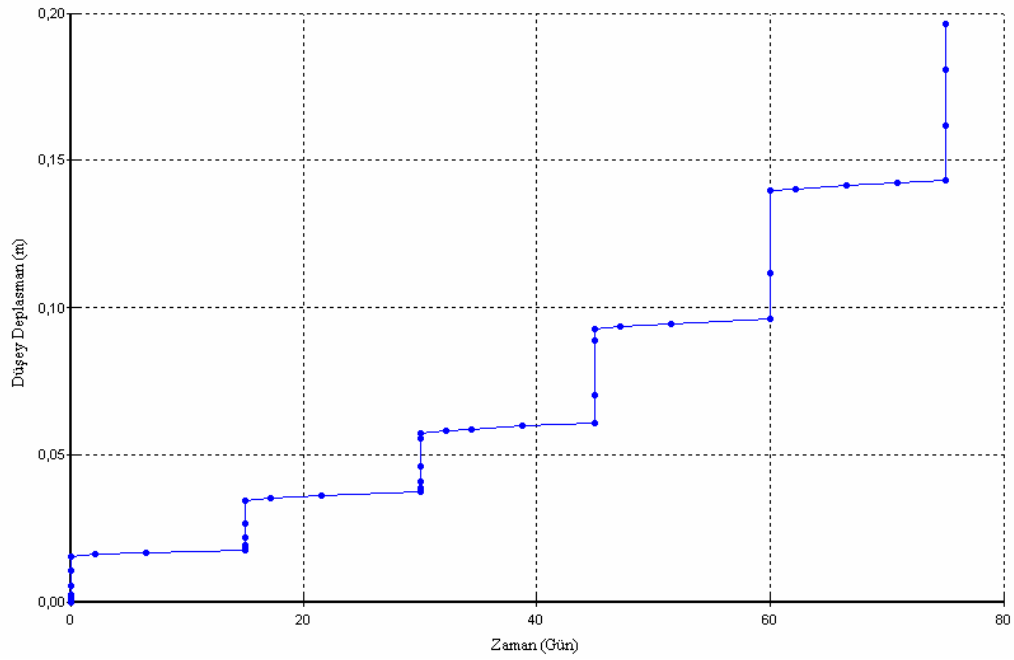
Analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 7.3'te verilmiştir. Geotekstiller sistemin göçmesini engellemiş ve şevin stabilitesini artırmıştır. Dolgu alt simetri merkezi (0;45) zamana bağlı yer değiştirme grafiği Şekil 7.7'de, deplasman artım vektörleri ise Şekil 7.8'de verilmiştir.



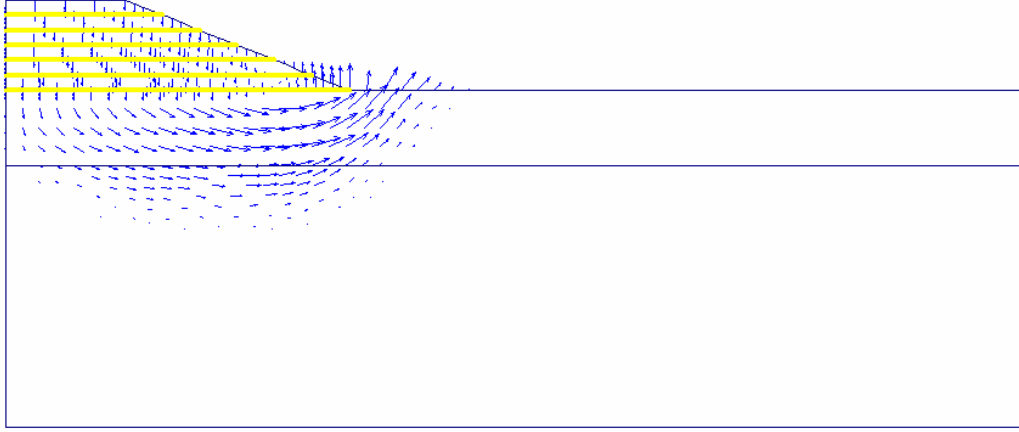
Şekil 7.6: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı

Tablo 7.3: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları

Maksimum Deplasman	cm	24.68
Dolgu Alt Simetri merkezi (0;45 noktası deplasman)	cm	19.60
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	441.91
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	218.19
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.70
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	1.86



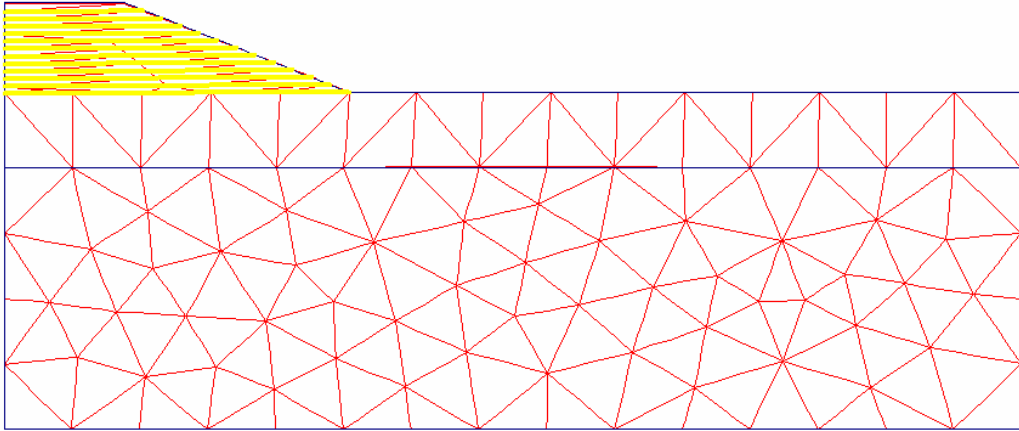
Şekil 7.7: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 7.8: 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri

7.2.2 1m Arayla Geotekstil Uygulanması

Kum dolgu 1m'lik tabakalar halinde yerleştirilerek her tabaka yerleştirilirken aksenal rijitliği 2400kN/m olan toplamda 12 sıra geotekstil serilmiştir. Sonlu eleman ağı oluşturulmuş zemin Şekil 7.9'da verilmektedir.



Şekil 7.9: 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı

2m arayla geotekstil uygulamasıyla sonuçları objektif bir biçimde karşılaştırabilmek için hesap adımları oluşturulurken 2m'lik kum dolgu tabakası ve geotekstil uygulaması tek bir hesap adımında gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde her modelin konsolidasyona bırakılma sürelerinin eşit tutulması hedeflenmektedir.

Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

1.Adım: Zemine geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi

2.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

3.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi

4.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

5.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi

6.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

7.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun yedinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun sekizinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi

8.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

9.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dokuzuncu 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun onuncu 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi

10.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

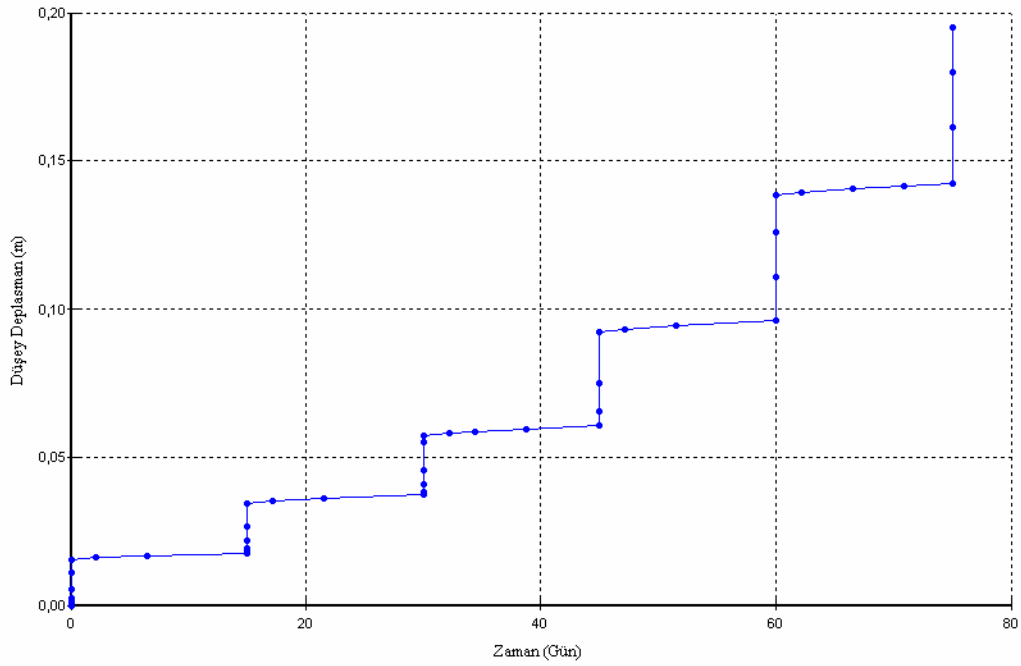
11.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun onbirinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun onikinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi

12.Adım: Güvenlik sayısı analizi

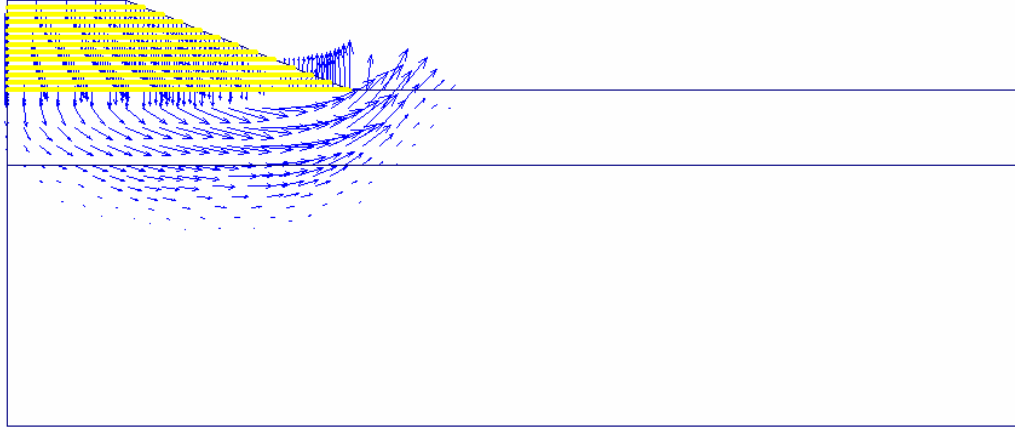
Analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 7.4'te verilmiştir. Dolgu alt simetri merkezi (0;45) zamana bağlı yer değiştirme grafiği Şekil 7.10'da, deplasman artım vektörleri ise Şekil 7.11'de verilmiştir.

Tablo 7.4: 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları

Maksimum Deplasman	cm	24.43
Simetri merkezi (0;45 noktası deplasman)	cm	19.50
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	442.15
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	217.84
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.95
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	1.87



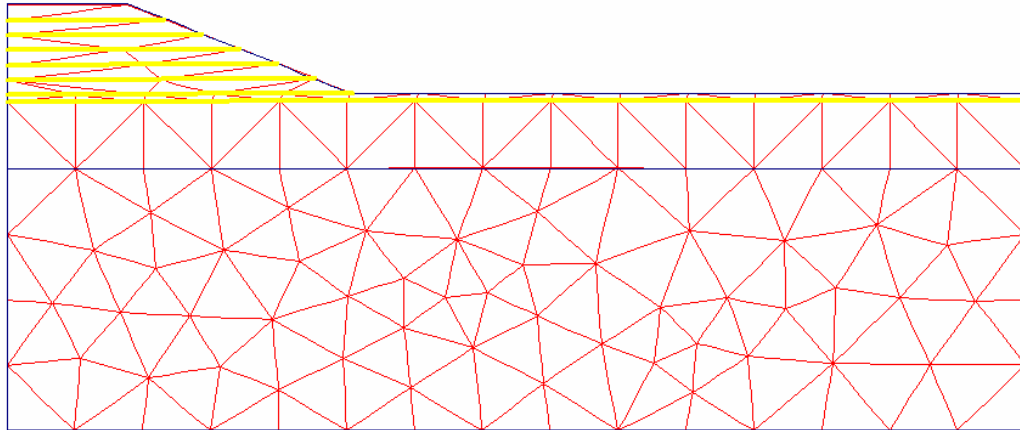
Şekil 7.10: 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 7.11: 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri

7.2.3 Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması

Yumuşak orta katı kil zeminin 1m'lik bölümü kazılarak, geotekstil yerleştirilip üzerine kum yastık yerleştirilmiştir. Kum dolgu altı kademe 2m'lik tabakalar halinde yüklenilmiş, her tabaka arasına aksenal rijitliği 2400kN/m olan geotekstiller serilmiştir. Şekil 7.12'de sonlu eleman ağı oluşturulmuş zemin görülmektedir.



Şekil 7.12: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı

Hesap adımları oluşturulurken kazı sebebiyle oluşacak kabarmalar sıfırlanmıştır. Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

- 1.Adım: Yumuşak orta katı kil zeminin 1m'lik bölümünün kazılması
- 2.Adım: Kazılan zemin üzerine geotekstil serilerek kum yastığının yerleştirilmesi

3.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

4.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

5.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

6.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

7.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

8.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

9.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

10.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

11.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

12.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

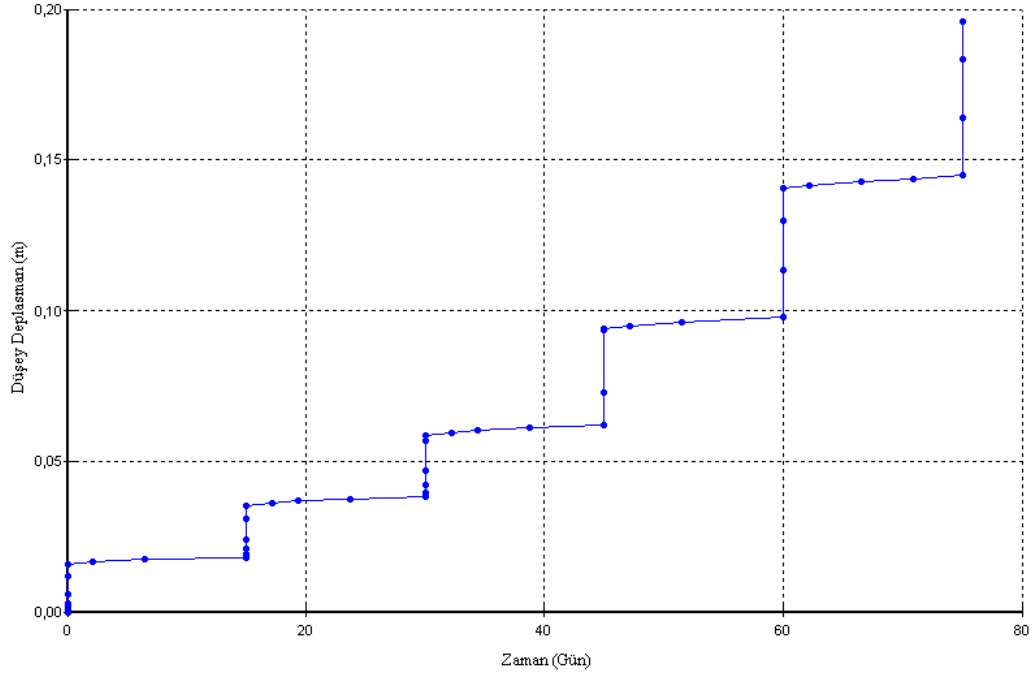
13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

14.Adım: Güvenlik sayısı analizi

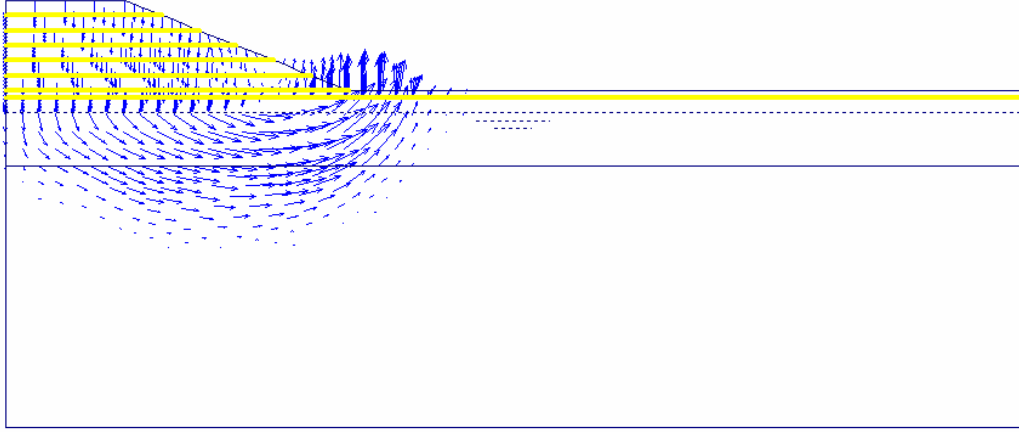
Analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 7.5'te verilmiştir. Dolgu alt simetri merkezi (0;45) zamana bağlı yer değiştirme grafiği Şekil 7.13'te, deplasman artım vektörleri ise Şekil 7.14'te verilmiştir.

Tablo 7.5: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları

Maksimum Deplasman	cm	24.03
Simetri merkezi (0;45 noktası deplasman)	cm	19.60
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.87
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	215.24
Efektif Gerilme	kN/m ²	590.78
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.09



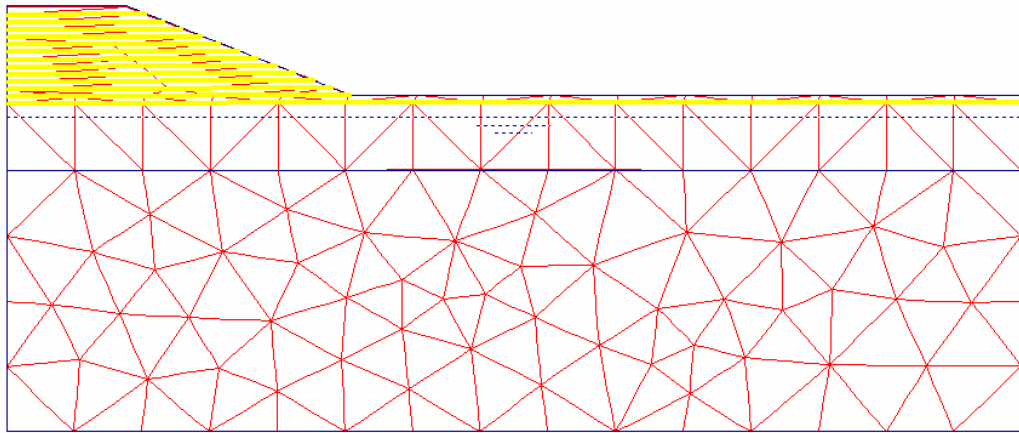
Şekil 7.13: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 7.14: Kum Yastık Üzerine 2m Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri

7.2.4 Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması

Kum yastık üzerine 2m arayla geotekstil uygulamasının sonuçlarıyla karşılaştırabilmek için 1m geotekstil serilmesi modeline kum yastık uygulanması eklenerek yeni bir model oluşturulmuştur. Yumuşak orta katı kil zeminin 1m'lik bölümü kazılarak, kazılmış zemin üzerine geotekstil serilmiş daha sonra 1m'lik kademeler yüklenirken her bir kademeye geotekstil serilmiştir. Kullanılan geotekstilin aksenal rijitliği 2400kN/m'dir. Sonuçların objektif olarak karşılaştırılabilmesi, konsolidasyon sürelerini eşit tutmak amacıyla 1m geotekstil uygulaması hesap adımlarında izlenen yol kum yastık üzerine 1m arayla geotekstil uygulanması hesap adımlarında da dikkate alınmıştır. Şekil 7.15'te sonlu eleman ağı oluşturulmuş zemin görülmektedir.



Şekil 7.15: Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Sonlu Eleman Ağı

Hesap adımları oluşturulurken kazı sebebiyle oluşacak kabarmalar sıfırlanmıştır.

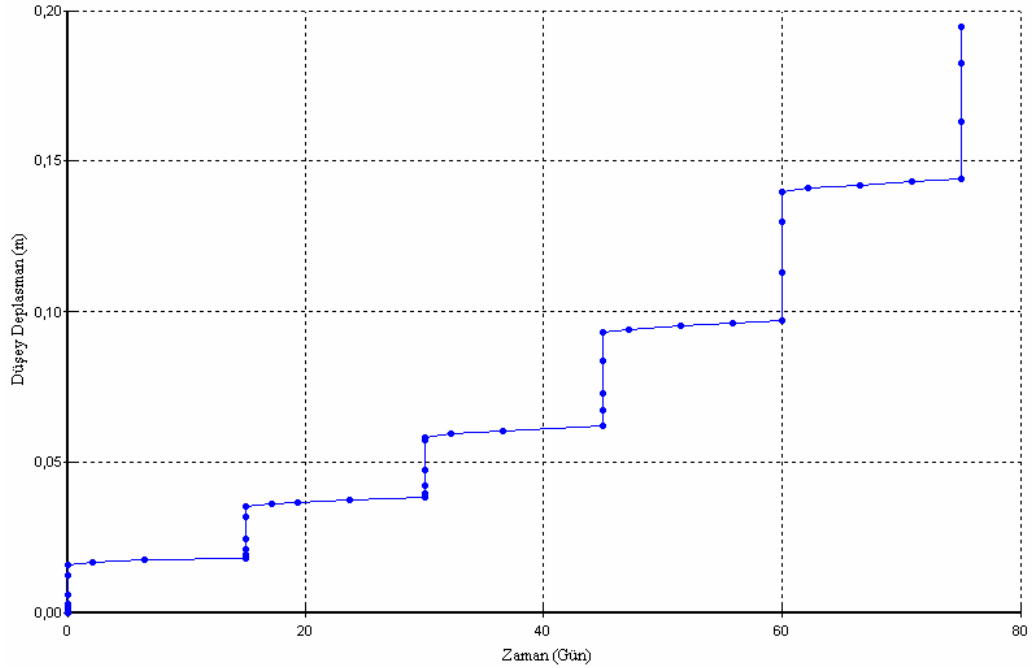
Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

- 1.Adım: Yumuşak orta katı kil zeminin 1m'lik bölümünün kazılması
- 2.Adım: Kazılan zemin üzerine geotekstil serilerek kum yastığının yerleştirilmesi
- 3.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 4.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 5.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 6.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 7.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 8.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 9.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun yedinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun sekizinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 10.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 11.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dokuzuncu 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun onuncu 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 12.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun onbirinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi, geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun onikinci 1m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 14.Adım: Güvenlik sayısı analizi

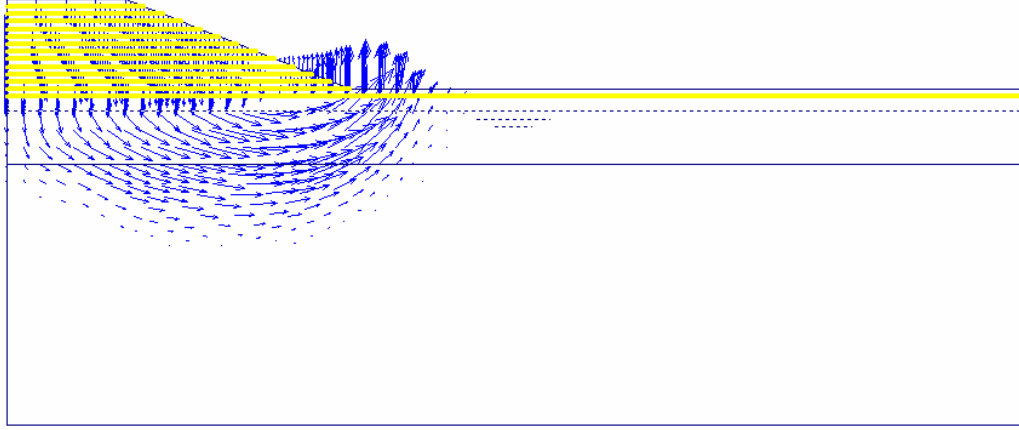
Analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 7.6'da verilmiştir. Dolgu alt simetri merkezi (0;45) zamana bağlı yer değiştirme grafiği Şekil 7.16'da, deplasman artım vektörleri ise Şekil 7.17'de verilmiştir.

Tablo 7.6: Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Analiz Sonuçları

Maksimum Deplasman	cm	23.87
Simetri merkezi (0;45 noktası deplasman)	cm	19.50
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.81
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	215.04
Efektif Gerilme	kN/m ²	591.08
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.10



Şekil 7.16: Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, (0;45) Noktası Düşey Deplasman Zaman Grafiği



Şekil 7.17: Kum Yastık Üzerine 1m Arayla Geotekstil Uygulanması, Deplasman Artım Vektörleri

7.2.5 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kum dolgunun herhangi bir güçlendirme olmaksızın yerleştirilmesi esnasında yapılan analizler sonucu dolgunun güvenli biçimde zemine taşıtılamadığı, şev stabilitesinin sağlanamadığı görülmüştür.

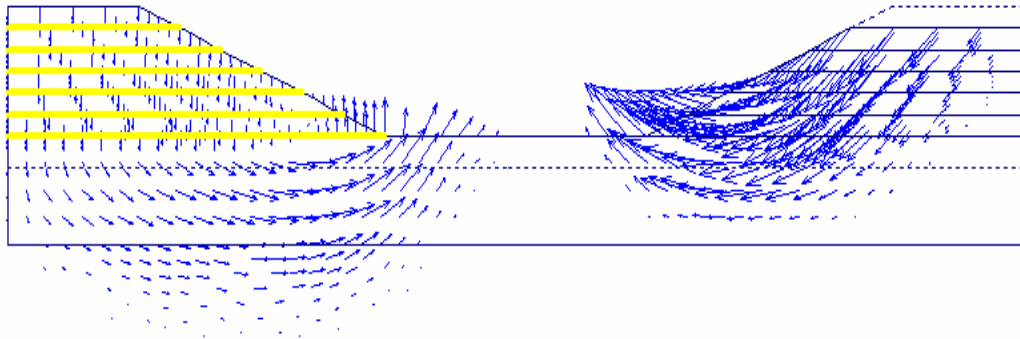
Bu sorunu ortadan kaldırmak üzere 2m arayla geotekstil uygulama, 1m arayla geotekstil uygulama, kum yastık üzerine 2m ve 1m arayla olmak üzere değişik şekillerde modeller oluşturulmuş dolgunun zemine taşıtılması sağlanmıştır. Tablo 7.7’de yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 7.7: Kum Dolgunun Yerleştirilmesi Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Analiz Sonuçları	Birim	2m'lik tabakalar halinde yerleştirme (*)	2m'de bir geotekstil uygulama	1m'de bir geotekstil uygulama	Kum yastık 2m'de bir geotekstil	Kum yastık 1m'de bir geotekstil
Maksimum Deplasman	cm	23.76	24.68	24.43	24.03	23.87
(0;45 noktası deplasman)	cm	18.40	19.60	19.50	19.60	19.50
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	431.39	441.91	442.15	443.87	443.81
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	194.92	218.19	217.84	215.24	215.04
Efektif Gerilme	kN/m ²	585.72	587.70	587.95	590.78	591.08
Toplam Gerilme	kN/m ²	1010	1020	1020	1020	1020
Güvenlik Sayısı		1.06	1.86	1.87	2.09	2.10
(*) Sistemin göçtüğü andaki değerler alınmıştır.						

Tablo 7.7’de ki analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi kum dolgu herhangi bir önlem alınmadan yerleştirildiğinde sistem göçmüştür. Göçtüğü andaki güvenlik sayısı ise beklenildiği gibi 1.06 gibi düşük bir değerdedir. Bu amaçla yapılan iyileştirme işlemlerinde 2m’lik tabakalar halinde geotekstil uygulandığında güvenlik sayısı 1.86’ya yükselmiştir. 1m’lik tabakalar halinde geotekstil uygulanmasında da yaklaşık aynı sonuç elde edilmiştir. Kum yastık ile geotekstil uygulamalarına geçildiğinde ise güvenlik sayısı 2.10 değerlerine kadar çıkartılmıştır.

Şekil 7.18’de geotekstil uygulanmış ve geotekstil uygulanmamış iki modelin analiz sonuçlarından deplasman artım vektörlerinin farkını görmekteyiz. Şeklin sağ tarafında yer alan iyileştirme yapılmamış kum dolgu yerleştirme modelinin henüz dolgu tamamlanamadan göçme mekanizmasının gerçekleşmiş, kayma yüzeyi ise dairesel biçimde kum dolguya yakın bölümde oluşmuştur. Şeklin solunda yer alan geotekstil uygulanan modelde ise kayma yüzeyinin geotekstilden etkilendiği görülmektedir.



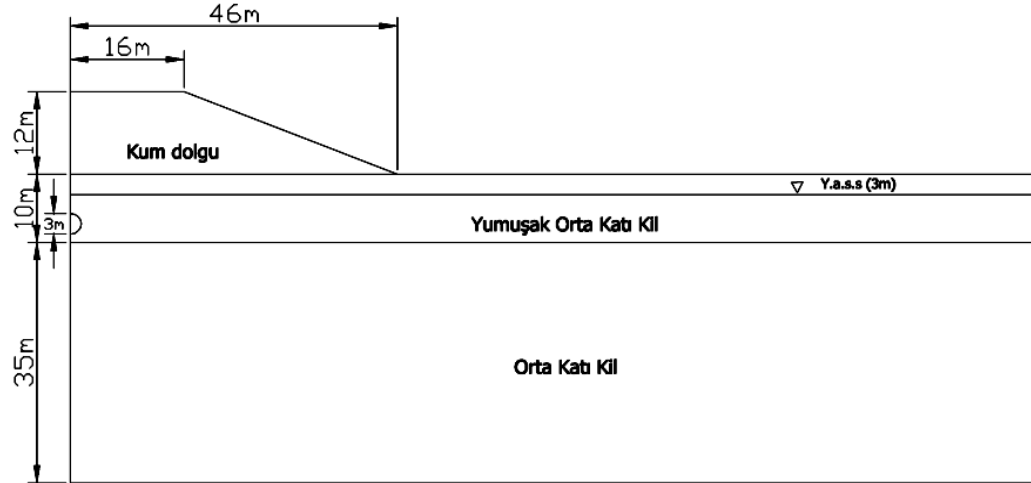
Şekil 7.18: Donatılı ve Donatısız Kum Dolgu Deplasman Artım Vektörlerinin Karşılaştırılması

Kum yastık ve geotekstil uygulamalarında 1m ve 2m tabakalar halinde uygulanan modellerin analiz sonuçları incelendiğinde; 1m tabaka halinde kum yastık kullanılan modelde elde edilen deplasman ve güvenlik sayısının, 2m tabaka halinde kum yastık kullanılan modeldeki sonuçlara yakın olduğu görülmüştür. Bu sebeple boru hattının yerleştirilmesi ve üzerine 12m’lik kum dolgunun inşa edilmesinde kullanılacak olan geotekstil uygulama yöntemi olarak; ekonomik olması, şev stabilitesini sağlaması ve yeterli güvenlik sayısını elde edebilmesi açısından kum yastık üzerine kum dolgunun 2m’lik tabakalar halinde geotekstil ile birlikte uygulanması uygun görülmüştür.

7.3 Beton Boru Hattının Yerleştirilmesi

Yumuşak orta katı kil zeminin üst seviyesinden borunun üst seviyesine olan mesafesi 4m, çapı 3m'lik borulardan oluşan bir boru hattının zemine yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Boru hattı yerleştirildikten sonra, önceki bölümlerde analiz edilen kum yastık üzerine 2m tabakalar halinde geotekstil uygulanması yöntemiyle, 12m yüksekliğindeki kum dolgunun inşası gerçekleştirilecektir.

Boru hattı; yataklama şartlarına, yerleştirilme şekillerine ve boru tipine göre farklı biçimlerde yumuşak orta katı kil zemine inşa edilecektir. En elverişsiz durumu incelemek ve gelen kuvvetlerin artışı tespit edebilmek amacıyla boru hattı 12m'lik kum dolgunun simetri merkezine yerleştirilmiştir. Şekil 7.19'da boru hattının yerleştirildiği yer görülmektedir.



Şekil 7.19: Boru Hattının Yerleştirilmesi

Boru hattının analizinde; boru öncelikle eğimli hendek açılarak yerleştirilecek daha sonra gömlekleme ve geri dolgu malzemesinin değişimine göre en uygun değer seçilecektir. En uygun yataklama koşulu belirlendikten sonra boru değişik eğimlerde hendek açılarak farklar incelenecek, daha sonra iksa ile hendek açılarak yerleştirilmesi incelenecektir. Aynı yataklama ve aynı yerleştirme koşullarına bağlı kalma şartıyla boruyu oluşturan malzeme değiştirilerek rijit boru ve esnek boru arasındaki davranış farkları incelenecektir. Tablo 7.8'de boru hattının yerleştirilmesinde kullanılan borunun malzeme özellikleri görülmektedir. Borunun analizleri incelenirken hem borunun yerleştirilmesi bittiğinde, hem de 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandığındaki değerler araştırılacaktır.

Tablo 7.8: Boru Malzeme Özellikleri

Parametre	Sembol	Birim	Beton Boru	HDPE Boru
Malzeme Modeli	-	-	Elastik	Elastik
Eksenel Rijitlik	EA	kN/m	1,05E+07	3,00E+05
Bükülme Rijitliği	EI	kNm ² /m	7,85E+04	2250
Ağırlık	w	kN/m/m	4,5	0
Poisson Oranı	ν	-	0,15	0,45

İksa ile boru hattının yerleştirilmesinde kullanılan palplanş ve yatay desteğin malzeme özellikleri Tablo 7.9’da verilmiştir.

Tablo 7.9: İksa İle Yerleştirmede Kullanılan Elemanların Malzeme Özellikleri

Parametre	Sembol	Birim	Palplanş	Yatay destek
Malzeme Modeli	-	-	Elastik	Elastik
Eksenel Rijitlik	EA	kN/m	2,44E+06	8,00E+06
Bükülme Rijitliği	EI	kNm ² /m	2,70E+04	-
Ağırlık	w	kN/m/m	0,910	-
Poisson Oranı	ν	-	0	-

Boru analizlerinde yapı elemanlarına temas eden zemin yüzeylerinde ara yüzeyler tanımlanmıştır. Zemin ve yapı elemanı etkileşimini etkileyen ara yüzey mukavemet azaltma katsayıları Tablo 7.10’da verilmiştir.

Tablo 7.10: Ara Yüzey Mukavemet Azaltma Katsayıları

Zemin profili	Temas yüzeyi	R_{inter}
Yumuşak Orta Katı Kil	Çelik	0.7
Orta Katı Kil	Çelik	0.7
Orta Sıkı Kum	Çelik	0.7
Kum Yastık	Çelik	0.8
	HDPE	1.0
	Beton	0.8
Kum Çakıl	Çelik	0.8
	HDPE	1.0
	Beton	0.9

7.3.1 Değişik Yataklama Şekillerinin Boru Hattına Etkileri

Boru hattının yerleştirilmesinde hendek açıldıktan sonra borunun üzerine uygulanan gömlek malzemesi ve geri dolgunun değiştirilmesinin borunun davranışını nasıl etkileyeceğini görmek amacıyla; 1/2 şev eğimli hendek açılarak, gömlek malzemesi ve geri dolgunun farklı özellikteki malzemeleri kullanılmıştır. Yataklama malzemesi kum yastık olarak sabit tutulmuştur.

Gömlek malzemesi ve geri dolgunun orta sıkı kum olduğu, gömlek malzemesi ve geri dolgunun kum çakıl olduğu ve gömlek malzemesinin kum çakıl, geri dolgunun orta sıkı kum olduğu durumlar incelenmiştir. Tablo 7.11’de 12m’lik kum dolgunun inşasının bittiğinde elde edilen sonuçlar verilmektedir. Boru hattı beton boru olacak şekilde tanımlanmıştır. Gömlek malzemesi olarak veya geri dolgu olarak kullanılan kum çakılın elastisite modülü bu analizde $E=75000 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

Tablo 7.11: Yataklama Şekillerinin Boru Davranışına Etkisi

Dolgunun Analizi	Birim	1/2 şev eğimli hendek	1/2 şev eğimli hendek	1/2 şev eğimli hendek
Gömlek malzemesi	-	Orta sıkı kum	Kum çakıl	Kum çakıl
Geri dolgu	-	Orta sıkı kum	Kum çakıl	Orta sıkı kum
Maksimum Deplasman	cm	26.33	24.32	24.91
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m^2	443.40	443.15	443.15
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m^2	204.83	207.71	206.10
Efektif Gerilme	kN/m^2	587.34	587.24	587.14
Toplam Gerilme	kN/m^2	1020	1020	1020
Borunun Analizi				
Maksimum Deplasman	cm	18.29	19.51	18.92
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	520.96	544.18	538.07
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	142.53	75.83	60.83
Maksimum Moment	kNm/m	87.50	58.31	48.98

Tablo 7.11’de görüldüğü üzere gömlek ve geri dolgu malzemesinin yalnızca orta sıkı kumdan oluşturulması hafif bir malzeme olması dolayısıyla; boruya etkileyen maksimum eksenel kuvveti azaltmış, ancak kesme kuvveti ve moment değerlerini yükseltmiştir. Daha ağır bir malzeme olan kum çakıl ise hem gömlek malzemesi hem de geri dolgu olarak beraber kullanıldığında; boruya etkileyen maksimum eksenel kuvvet değerini arttırmıştır, ancak orta sıkı kum da elde edilen kesme kuvveti ve moment değerlerinden daha düşük sonuçlara ulaşılmıştır. Gömlek malzemesinin kum çakıl olarak seçildiği geri dolgunun ise orta sıkı kumdan oluşturulduğu son modelde ise eksenel kuvvet geri dolgunun orta sıkı kum gibi daha hafif bir malzemedendir.

seçilmesi sebebiyle azaltılmış, kum çakılın getirdiği ek yükü ortadan kaldırarak kesme kuvveti ve moment değerlerini de düşürmüştür.

Analiz sonuçları göz önünde bulundurularak; kum dolgunun küçük bir değer de olsa daha fazla deplasman yaptırmış olmasına karşın, boruya etkileyen aksel kuvvet ve moment değerlerini düşük tuttuğu göz önünde bulundurularak bundan sonra kurulacak modellerde gömlek malzemesinin kum çakıldan, geri dolgu malzemesinin ise orta sıkı kumdan oluşturulması uygun görülmüştür.

Yapılan bu analizin ardından gömlek malzemesi olarak kullanılan kum çakılın elastisite modülünün boruya etkileyen kuvvetlere etkisini görebilmek amacıyla; yataklama malzemesinin kum yastıktan, geri dolgu malzemesinin orta sıkı kumdan oluştuğu, gömlek malzemesinin ise üç farklı elastisite modülü değerlerine sahip; $E=75000\text{kN/m}^2$, $E=100000\text{kN/m}^2$, $E=120000\text{kN/m}^2$ olan kum çakıldan oluşturularak boruya etkileyen kuvvetlerin değişimi gözlenmek istemiştir. Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan değerler Tablo 7.12’de verilmiştir.

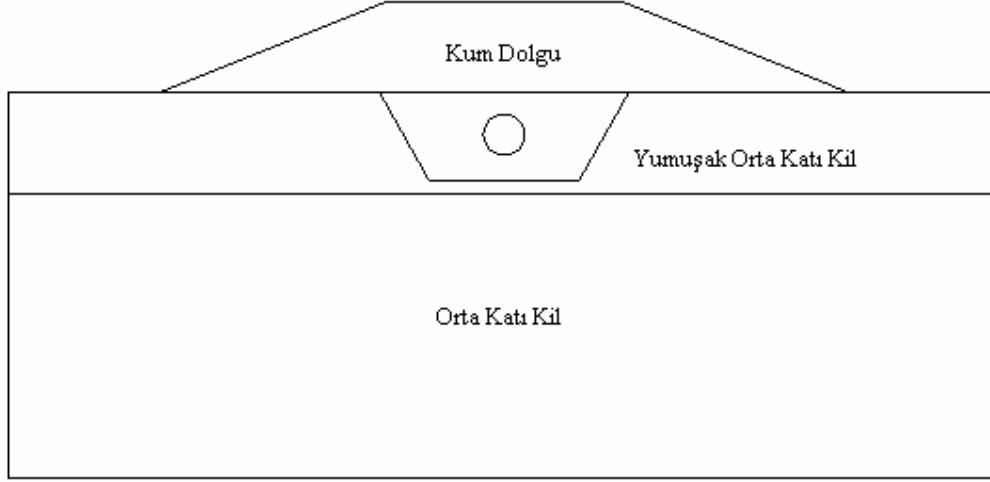
Tablo 7.12: Gömlek Malzemesinin Elastisite Modülünün Değiştirilmesi

Dolgunun Analizi	Birim	1/2 şev eğimli hendek	1/2 şev eğimli hendek	1/2 şev eğimli hendek
Gömlek malzemesi		Kum çakıl $E=75000\text{kN/m}^2$	Kum çakıl $E=100000\text{kN/m}^2$	Kum çakıl $E=120000\text{kN/m}^2$
Geri dolgu	-	Orta sıkı kum	Orta sıkı kum	Orta sıkı kum
Maksimum Deplasman	cm	24.91	24.85	24.78
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m^2	443.15	443.16	442.62
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m^2	206.10	206.40	204.72
Efektif Gerilme	kN/m^2	587.14	587.13	586.91
Toplam Gerilme	kN/m^2	1020	1020	1020
Borunun Analizi				
Maksimum Deplasman	cm	18.92	19.01	18.96
Maksimum Aksel Kuvvet	kN/m	538.07	535.99	532.43
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	60.83	53.32	52.40
Maksimum Moment	kNm/m	48.98	44.01	42.99

Tablo 7.12’deki değerler incelendiğinde gömlek malzemesinin elastisite modülü artırıldığında sistemin deplasmanın, boruya etkileyen aksel kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bundan sonra kurulacak modellerde gömlek malzemesi kum çakılın elastisite modülü $E=120000\text{kN/m}^2$ olarak alınacaktır.

7.3.2 Boru Hattının Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilmesi

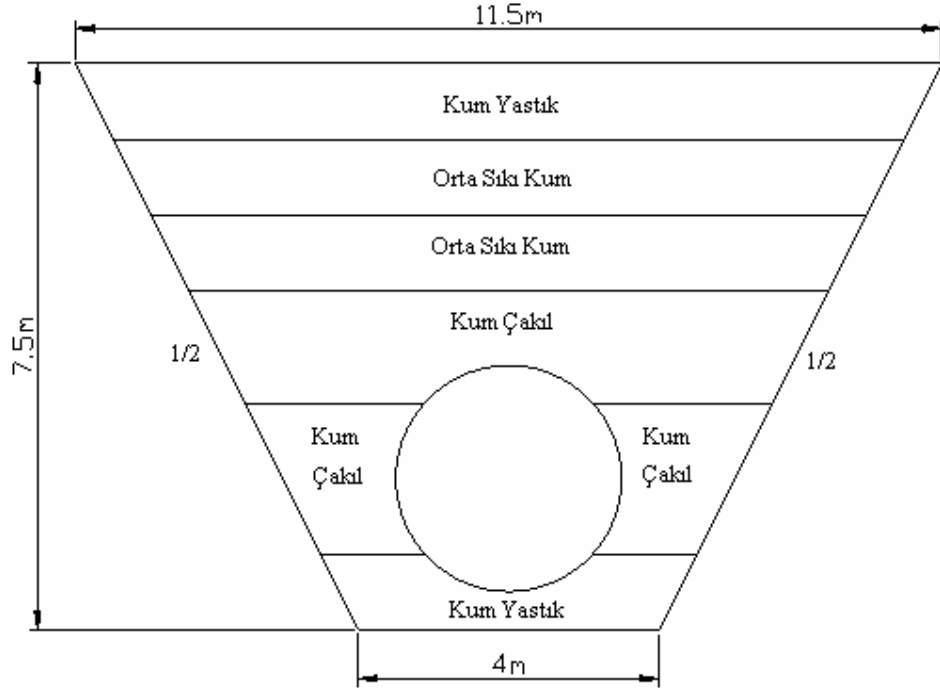
Boru hattı öncelikle eğimli hendek açılarak modellenecektir. Eğimli hendek açılmasında herhangi bir destek kullanılmayacaktır. Yumuşak orta katı kil içerisinde yerleştirilecek boru hattının eğimli hendek açılması yöntemiyle amaçlanan kesit Şekil 7.20’de gösterilmektedir. Eğimli hendek; 1/2 ve 1/3 şev eğimli olmak üzere iki değişik şekilde modellenecektir.



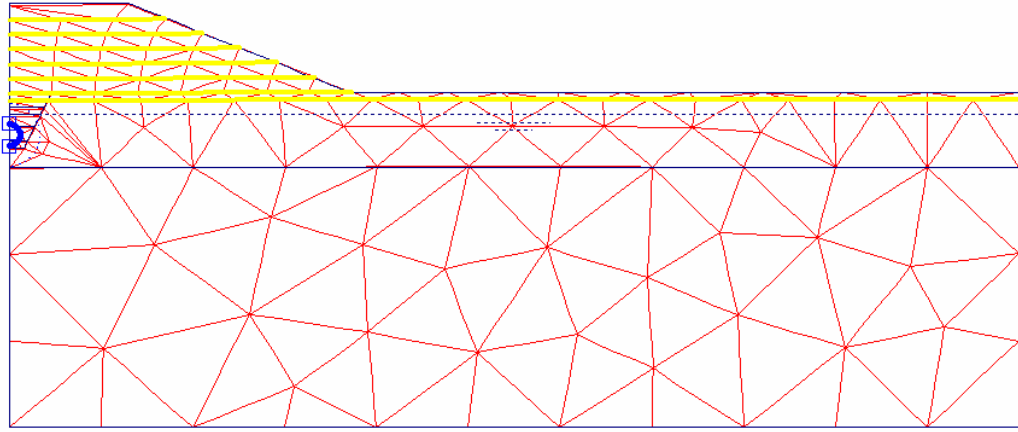
Şekil 7.20: Eğimli Hendek Açılarak Boru Hattının Yerleştirilmesi

7.3.2.1 Boru Hattının 1/2 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi

Beton boru hattının yumuşak orta katı kil tabaka içerisinde yerleştirmek için 1/2 şev eğimli hendek açılmıştır. 1/2 şev eğimli hendek kesiti Şekil 7.21’de gösterilmektedir, Şekil 7.22’de ise kum dolgunun da bulunduğu sonlu eleman ağı oluşturulmuş modeli görmekteyiz.

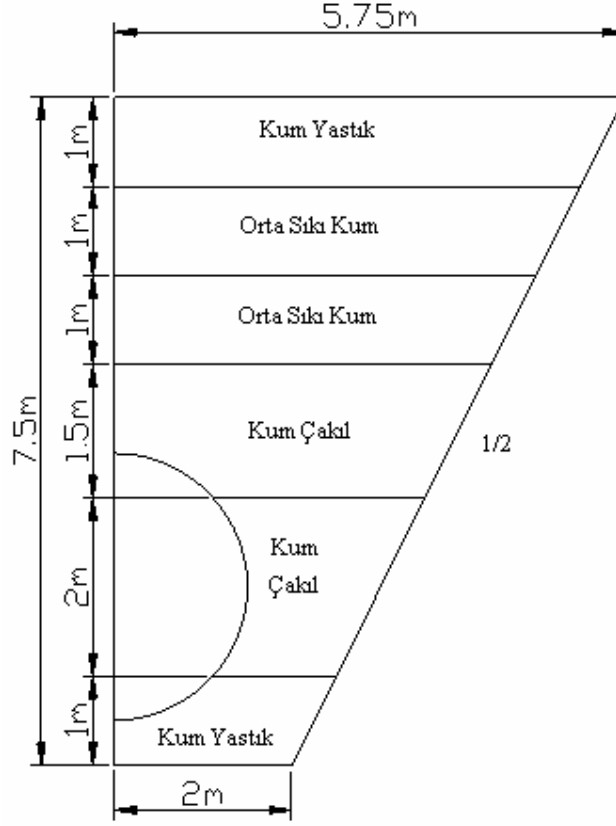


Şekil 7.21: 1/2 Şev Eğimli Hendek Kesiti



Şekil 7.22: 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı

Kurulan modelde simetri söz konusu olduğundan boru hattının simetri ekseninin sağ tarafında kalan bölümünün modellendiği Şekil 7.22'deki sonlu eleman ağından da görülmektedir. Şekil 7.23'te modellenen yarım boru hattının kesiti ve tabaka kalınlıkları gösterilmiştir.



Şekil 7.23: 1/2 Şev Eğimli Hendek Açılışının Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir. Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmiştir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 5.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 6.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik kum yastığın yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi
- 8.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 9.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi

10.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yüzey boyunca yerleştirilmesi

11.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

12.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

22.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.13'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.14'te verilmiştir.

Tablo 7.13: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)

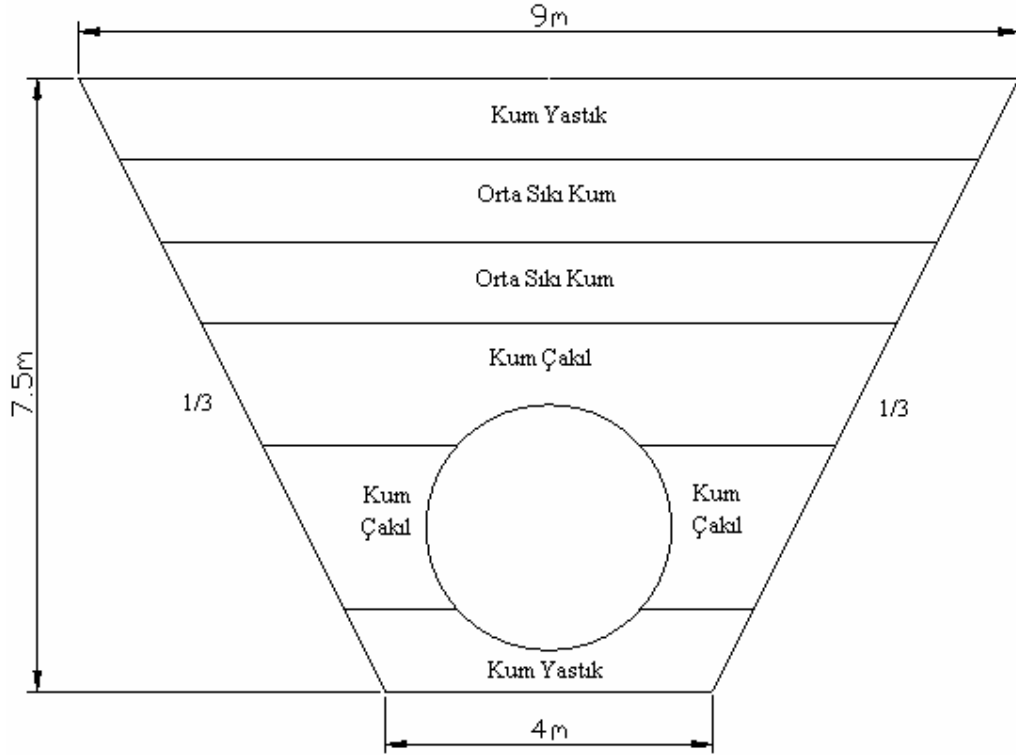
Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	3.04
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.71
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	16.45
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.58
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.30
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.48
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	153.57
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	33.96
Maksimum Moment	kNm/m	25.80

Tablo 7.14: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)

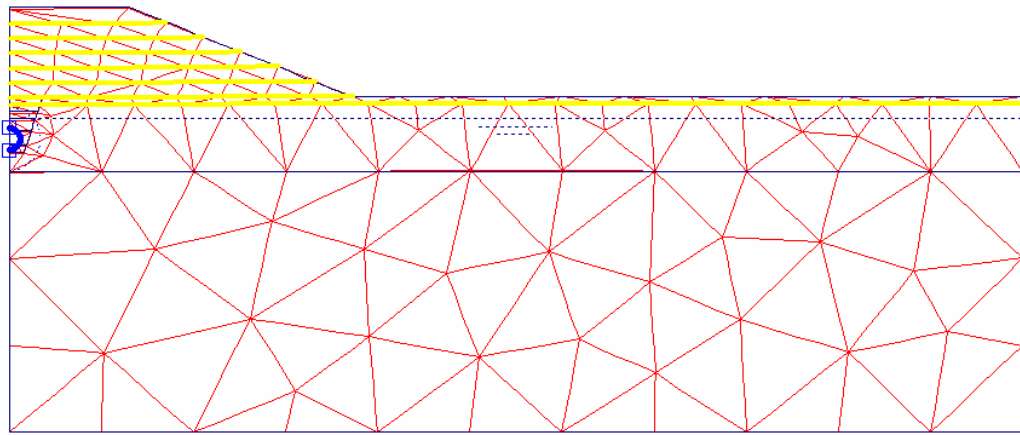
Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.78
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.60
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.10
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.70
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.20
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	442.62
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	204.72
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.91
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.10
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.96
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.90
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	532.43
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	52.40
Maksimum Moment	kNm/m	42.99

7.3.2.2 Boru Hattının 1/3 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi

Beton boru hattının yumuşak orta katı kil tabaka içerisine yerleştirmek için 1/3 şev eğimli hendek açılmıştır. Eğimli hendek kesiti Şekil 7.24'te gösterilmektedir, Şekil 7.25'te ise kum dolgunun da bulunduğu sonlu eleman ağı oluşturulmuş model verilmiştir.

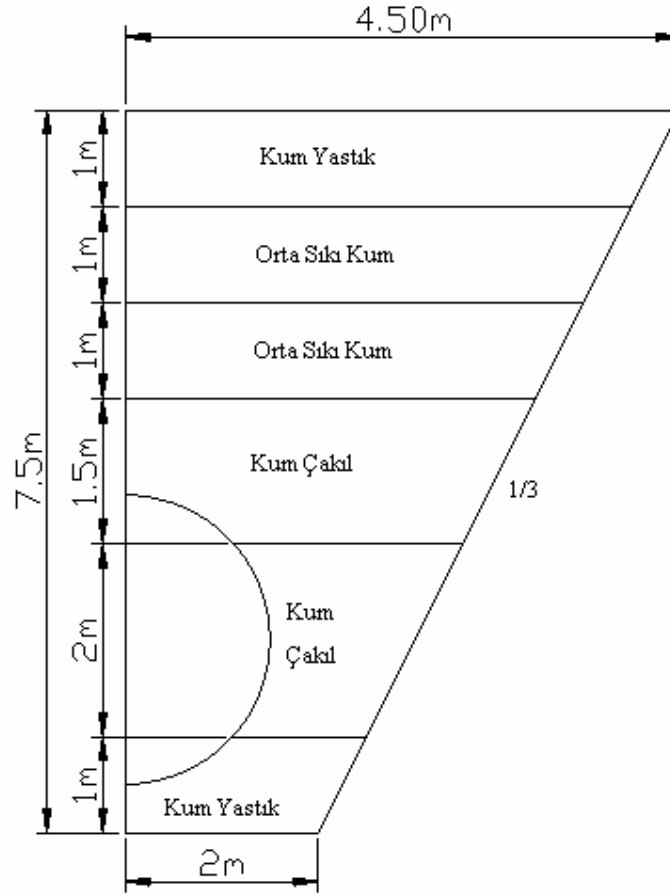


Şekil 7.24: 1/3 Şev Eğimli Hendek Kesiti



Şekil 7.25: 1/3 Şev Eğimli Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan hendek kesiti detayı ve kullanılan tabakalar Şekil 7.26'da verilmektedir.



Şekil 7.26: 1/3 Şev Eğimli Hendek Açılışının Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir. Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmiştir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 5.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 6.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması

7.Adım: 1m'lik kum yastığın yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi

8.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi

9.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi

10.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yüzey boyunca yerleştirilmesi

11.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

12.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

22.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.15'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.16'da verilmiştir.

Tablo 7.15: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)

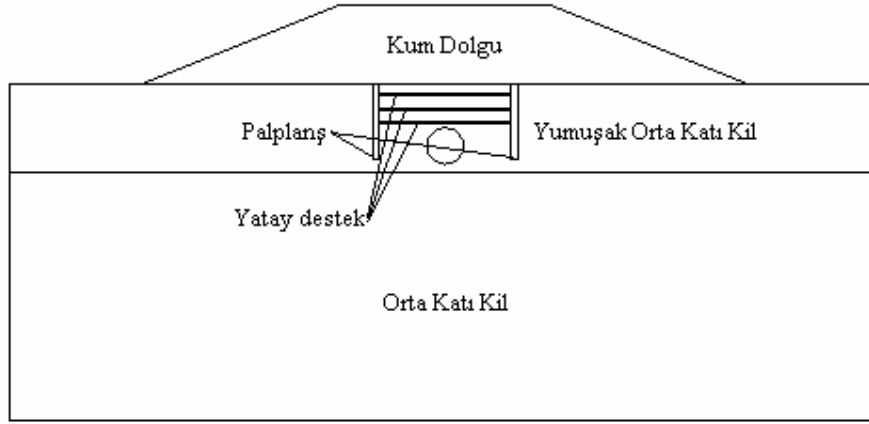
Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.78
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.88
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	25.14
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.59
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.47
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.26
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	152.86
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	33.40
Maksimum Moment	kNm/m	25.92

Tablo 7.16: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.67
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.10
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.70
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.30
(0;42 noktası deplasman)	cm	18.70
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.38
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	204.57
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.34
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.11
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.58
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.50
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	543.64
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	55.00
Maksimum Moment	kNm/m	45.56

7.3.3 Boru Hattının İksa Yöntemi ile Açılan Hendek İçerisine Yerleştirilmesi

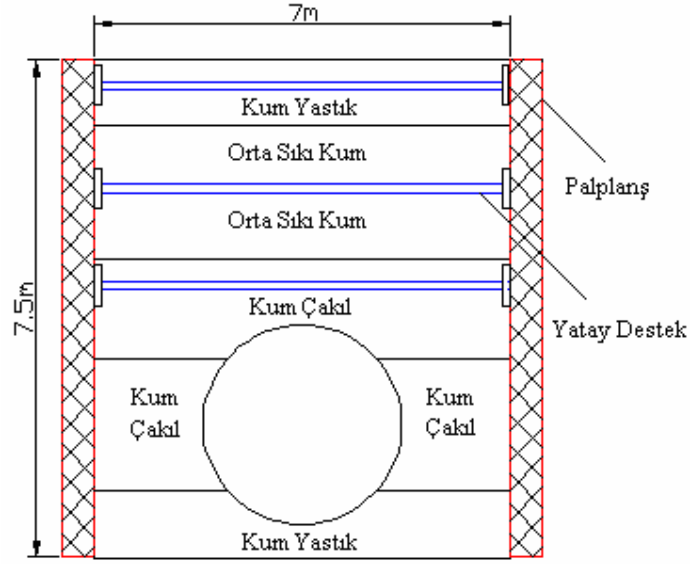
Boru hattı iksa yöntemi ile açılacaktır. Çelik palplanşlar yumuşak orta katı kile çakılacak hendek açılırken yatay desteklerle stabilitesi sağlanacaktır. Boru yerleştirildikten sonra geri dolgu malzemesi yerleştirilirken yatay destekler çıkartılıp hendek dolgusu tamamlanınca palplanş çekilecektir. Boru hattına yerleştirme şeklinin etkilerini araştırabilmek amacıyla 7m, 5m ve 4m hendek genişliğine sahip üç model oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Şekil 7.27’de iksa ile hendek açılıp kum dolgunun yerleştirilmesi gösterilmiştir.



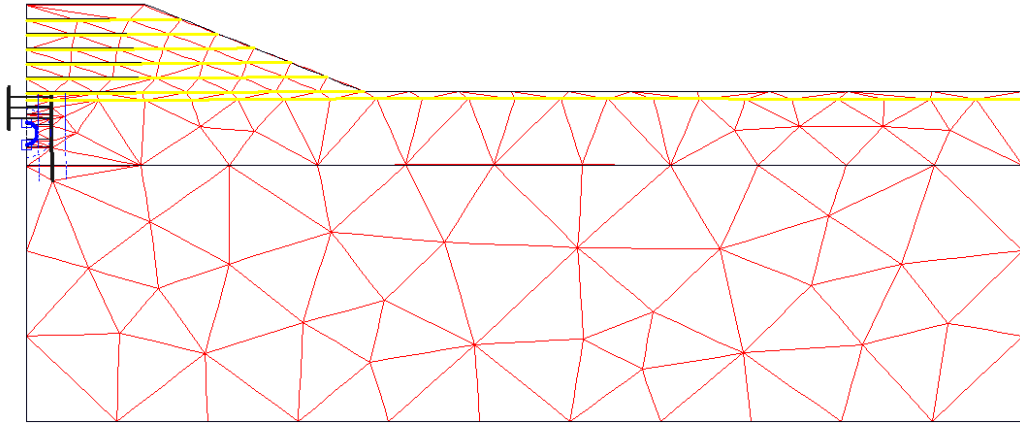
Şekil 7.27: İksa İle Boru Hattının Yerleştirilmesi

7.3.3.1 Boru Hattının Genişliği 7m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi

Beton boru hattının yumuşak orta katı kil tabaka içerisine yerleştirmek için 7m genişliğinde hendek açılması planlanmaktadır. 7m genişliğindeki hendek kesiti Şekil 7.28’de gösterilmektedir, Şekil 7.29’da ise kum dolgunun da bulunduğu sonlu eleman ağı oluşturulmuş modeli görmekteyiz. Kum dolgunun inşasından sonra elde edilen beton boru analiz sonuçları da Ek A’da verilmiştir.

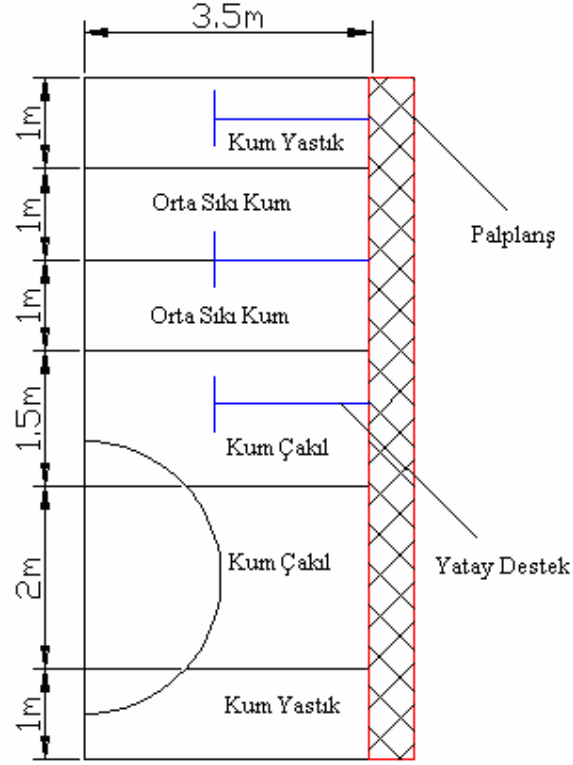


Şekil 7.28: 7m Genişlik İksa Kesiti



Şekil 7.29: 7m Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı

Simetri ekseninin yarısı analizde modellendiği için analizde kullanılan boru yerleştirme kesiti Şekil 7.30'da verilmiştir.



Şekil 7.30: 7m Genişlikte Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir.

Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmiştir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: Palplanşın yumuşak orta katı kil zemine çakılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması, ikinci yatay desteğin yerleştirilmesi
- 5.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması, üçüncü yatay desteğin yerleştirilmesi
- 6.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 8.Adım: 1m'lik kum yastığının yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi, yatay desteğin alınması

- 9.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi, yatay desteğin alınması
- 10.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi yatay desteğin alınması
- 11.Adım: Palplanşın çekilmesi
- 12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığının yüzey boyunca yerleştirilmesi
- 13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 22.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.17'de, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.18'de verilmiştir.

Tablo 7.17: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

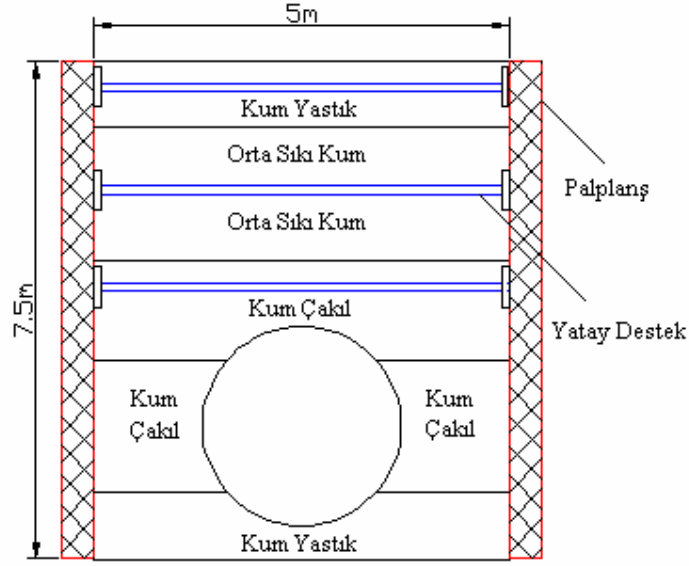
Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	3.13
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.17
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	11.95
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.80
Toplam Gerilme	kN/m ²	879.97
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.60
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	157.30
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	43.19
Maksimum Moment	kNm/m	29.98

Tablo 7.18: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

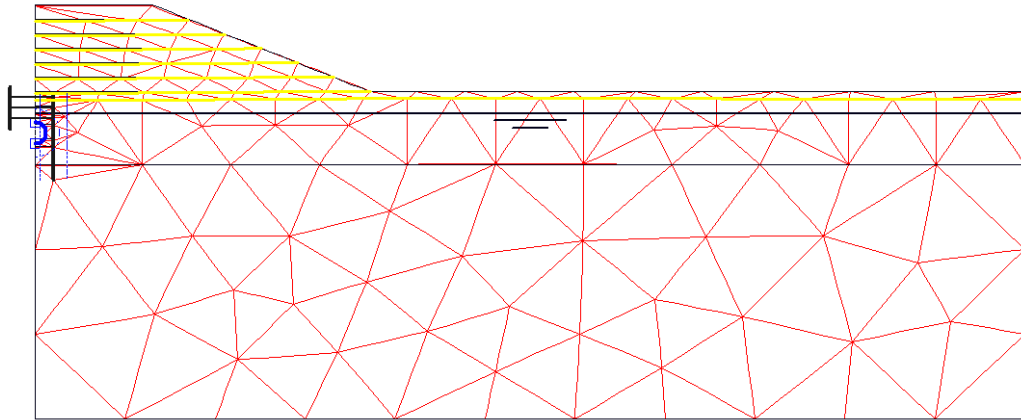
Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	25.25
(0;45 noktası deplasman)	cm	23.10
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.60
(0;43 noktası deplasman)	cm	21.30
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.80
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.43
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	234.29
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.41
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.11
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	19.49
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	18.40
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	540.65
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	82.08
Maksimum Moment	kNm/m	57.00

7.3.3.2 Boru Hattının Genişliği 5m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi

Beton boru hattının yumuşak orta katı kil tabaka içerisine yerleştirmek için 5m genişliğinde hendek açılması planlanmaktadır. 5m genişliğindeki hendek kesiti Şekil 7.31’de gösterilmektedir, Şekil 7.32’de ise kum dolgunun da bulunduğu sonlu eleman ağı oluşturulmuş modeli görmekteyiz.

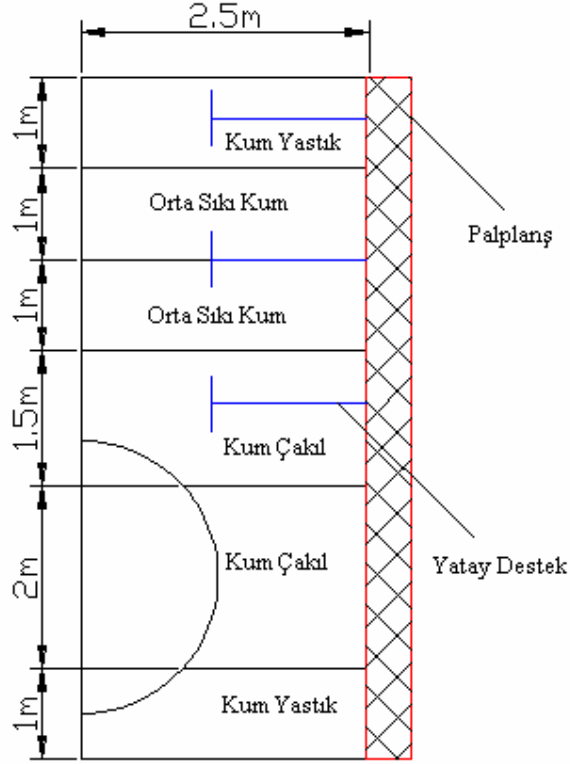


Şekil 7.31: 5m Genişlik İksa Kesiti



Şekil 7.32: 5m Hendek İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı

Simetri ekseninin yarısı analizde modellendiği için analizde kullanılan boru yerleştirme kesiti Şekil 7.33’te verilmiştir.



Şekil 7.33: 5m Genişlikte Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir.

Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmiştir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: Palplanşın yumuşak orta katı kil zemine çakılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması, ikinci yatay desteğin yerleştirilmesi
- 5.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması, üçüncü yatay desteğin yerleştirilmesi
- 6.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 8.Adım: 1m'lik kum yastığının yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi, yatay desteğin alınması

- 9.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi, yatay desteğin alınması
- 10.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi yatay desteğin alınması
- 11.Adım: Palplanşın çekilmesi
- 12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığının yüzey boyunca yerleştirilmesi
- 13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 22.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.19'da, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.20'de verilmiştir.

Tablo 7.19: 5m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

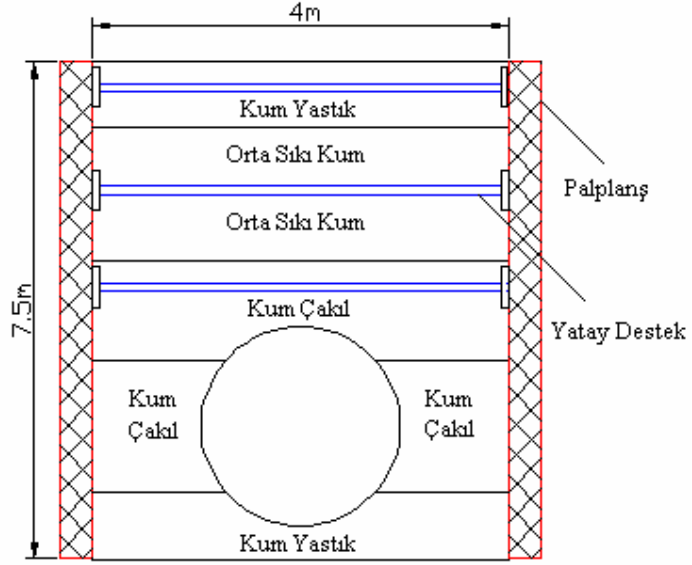
Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.59
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.35
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	15.47
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.11
Toplam Gerilme	kN/m ²	880.47
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.14
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	151.04
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	37.95
Maksimum Moment	kNm/m	27.48

Tablo 7.20: 5m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

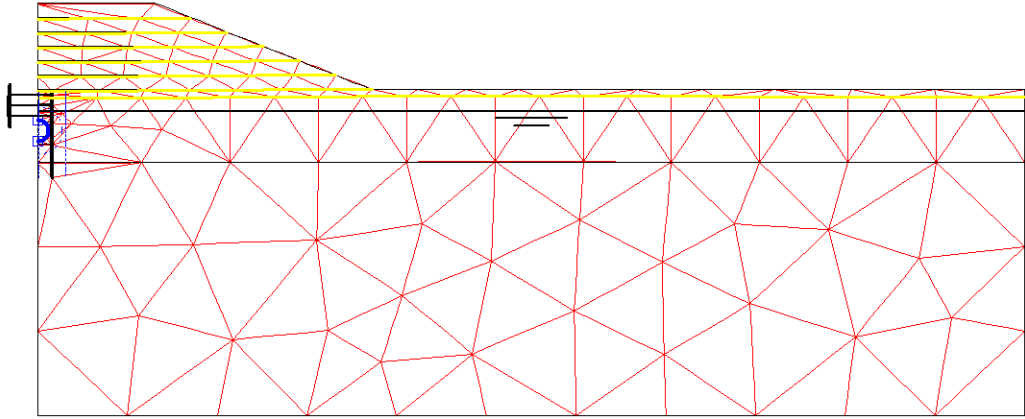
Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.95
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.40
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.20
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.60
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.20
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.50
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	237.98
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.23
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.09
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.81
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.70
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	558.85
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	91.93
Maksimum Moment	kNm/m	63.19

7.3.3.3 Boru Hattının Genişliği 4m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi

Beton boru hattının yumuşak orta katı kil tabaka içerisine yerleştirmek için 4m genişliğinde hendek açılarak hendek genişliği daraltılacaktır. 4m genişliğindeki hendek kesiti Şekil 7.34'te gösterilmektedir, Şekil 7.35'te ise kum dolgunun da bulunduğu sonlu eleman ağı oluşturulmuş modeli verilmiştir.

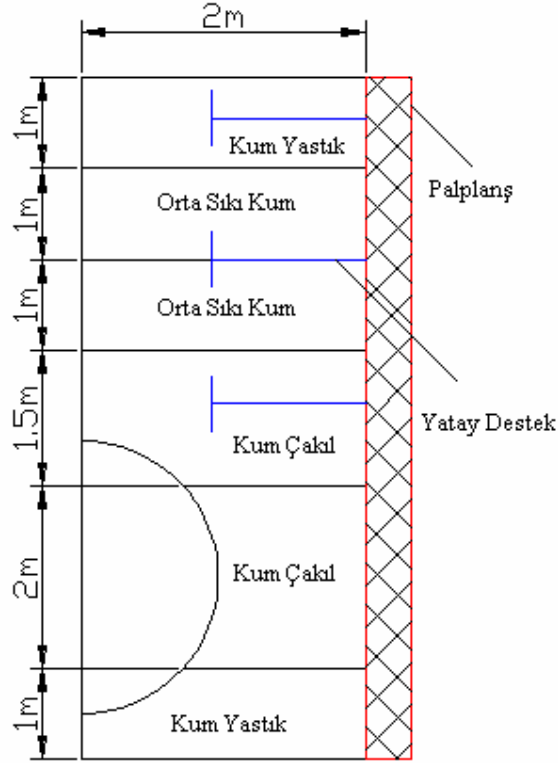


Şekil 7.34: 4m Genişlik İksa Kesiti



Şekil 7.35: 4m Hendeک İçerisine Beton Borunun Yerleştirilmesi Sonlu Eleman Ağı

Simetri ekseninin yarısı analizde modellendiği için analizde kullanılan boru yerleştirme kesiti Şekil 7.36'da verilmiştir.



Şekil 7.36: 4m Genişlikte Hendek Açılmasının Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir.

Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmiştir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: Palplanşın yumuşak orta katı kil zemine çakılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması, ikinci yatay desteğin yerleştirilmesi
- 5.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması, üçüncü yatay desteğin yerleştirilmesi
- 6.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması

8.Adım: 1m'lik kum yastığın yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi, yatay desteğin alınması

9.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi, yatay desteğin alınması

10.Adım: 1m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi yatay desteğin alınması

11.Adım: Palplanşın çekilmesi

12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yüzey boyunca yerleştirilmesi

13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

22.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.21'de, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.22'de verilmiştir.

Tablo 7.21: 4m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.16
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.02
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	18.68
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.66
Toplam Gerilme	kN/m ²	879.69
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	1.80
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	143.25
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	33.10
Maksimum Moment	kNm/m	24.63

Tablo 7.22: 4m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hendek Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.70
(0;45 noktası deplasman)	cm	21.80
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.40
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.10
(0;42 noktası deplasman)	cm	18.60
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.94
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	243.32
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.13
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.10
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.23
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.10
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	564.20
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	96.13
Maksimum Moment	kNm/m	68.18

7.4 HDPE Boru Hattının Yerleştirilmesi

Boru hattının yerleştirilmesinde; kullanılan boru tipinin boru hattının davranışına etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla rijit olan beton boru yerine elastik davranış gösteren HDPE boru modellerde kullanılmıştır. Bu sayede rijit ve elastik boru davranışlarını karşılaştırma olanağı sağlanacaktır. Beton boru ve HDPE boru davranış farklarını iyi gözlemleyebilmek için beton boruda kullanılan hesap aşamaları ve sonlu eleman ağı aynı tutulup sadece boru tipi HDPE olarak değiştirilmiştir. HDPE boru yerleştirmedeki tüm aşamalar beton boru ile aynı olduğundan bu bölümde yalnızca HDPE boru analizinde elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilecektir.

7.4.1 Boru Hattının Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilmesi

Beton boruda analiz edilen 1/2 şev eğimli ve 1/3 şev eğimli hendek içine borunun yerleştirilmesi, HDPE boru içinde uygulanmıştır.

7.4.1.1 Boru Hattının 1/2 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.23'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.24'te verilmiştir.

Tablo 7.23: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hendek HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.97
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.50
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	21.92
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.58
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.08
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.35
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	127.81
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	13.92
Maksimum Moment	kNm/m	9.91

Tablo 7.24: 1/2 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hendek HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.64
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.40
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.90
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.50
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.10
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	442.92
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	205.41
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.77
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.10
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.86
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.20
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	475.08
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	28.90
Maksimum Moment	kNm/m	18.49

7.4.1.2 Boru Hattının 1/3 Şev Eğimli Hendek İçine Yerleştirilmesi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.25'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.26'da verilmiştir.

Tablo 7.25: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendek HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.66
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.71
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	30.09
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.59
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.30
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.00
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	126.58
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	13.94
Maksimum Moment	kNm/m	10.64

Tablo 7.26: 1/3 Şev Eğimli Hendek Analiz Sonuçları (Kum Dolgu İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendek HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.53
(0;45 noktası deplasman)	cm	21.90
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.40
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.00
(0;42 noktası deplasman)	cm	18.50
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.41
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	206.56
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.22
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.11
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.32
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	16.80
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	484.40
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	28.91
Maksimum Moment	kNm/m	19.30

7.4.2 Boru Hattının İksa Yöntemi ile Hendek Açılarak Yerleştirilmesi

Beton boruda analiz edilen 7m, 5m ve 4m genişlikteki hendek içine borunun yerleştirilmesi, HDPE boru içinde uygulanmıştır.

7.4.2.1 Boru Hattının Genişliği 7m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.27’de, 12m’lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.28’de verilmiştir.

Tablo 7.27: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hendek HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	3.10
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.16
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	13.94
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.80
Toplam Gerilme	kN/m ²	879.97
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.65
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	131.21
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	14.84
Maksimum Moment	kNm/m	11.91

Tablo 7.28: 7m Genişlikte Hendek Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hendek HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	25.11
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.90
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.40
(0;43 noktası deplasman)	cm	21.11
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.80
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.52
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	234.33
Efektif Gerilme	kN/m ²	585.95
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.11
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	19.52
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.50
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	462.78
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	34.61
Maksimum Moment	kNm/m	23.17

7.4.2.2 Boru Hattının Genişliği 5m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.29’da, 12m’lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.30’da verilmiştir.

Tablo 7.29: 5m Genişlikte Hendeک Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hendeک HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.46
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.36
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	22.14
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.12
Toplam Gerilme	kN/m ²	880.47
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.09
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	128.51
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	14.02
Maksimum Moment	kNm/m	11.17

Tablo 7.30: 5m Genişlikte Hendeک Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hendeک HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.82
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.20
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.70
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.40
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.10
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.66
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	239.72
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.81
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.09
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.83
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	16.80
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	496.65
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	31.44
Maksimum Moment	kNm/m	25.55

7.4.2.3 Boru Hattının Genişliği 4m Olan Hendeğe Yerleştirilmesi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.31’de verilmiştir. 12m’lik kum dolgunun inşası sırasında üçüncü kademe (6m) dolgu inşası sırasında sistem göçmüştür. Tablo 7.32’de göçtüğü anda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 7.31: 4m Genişlikte Hendeک Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hendeک HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	1.57
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.02
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	30.63
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.67
Toplam Gerilme	kN/m ²	879.69
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	1.13
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	121.32
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	12.06
Maksimum Moment	kNm/m	9.78

Tablo 7.32: 4m Genişlikte Hendeک Açılması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hendeک HDPE boru
Sistemin Analizi		
		(*)
Maksimum Deplasman	cm	7.41
(0;45 noktası deplasman)	cm	7.30
(0;44 noktası deplasman)	cm	7.10
(0;43 noktası deplasman)	cm	6.50
(0;42 noktası deplasman)	cm	5.90
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	446.74
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	115.67
Efektif Gerilme	kN/m ²	519.15
Toplam Gerilme	kN/m ²	963.19
Güvenlik Sayısı	-	-
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	5.72
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	5.10
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	273.43
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	21.65
Maksimum Moment	kNm/m	17.78
(*)Üçüncü kademe dolgu (6m) yüklenirken sistemin göçtüğü andaki değerlerdir.		

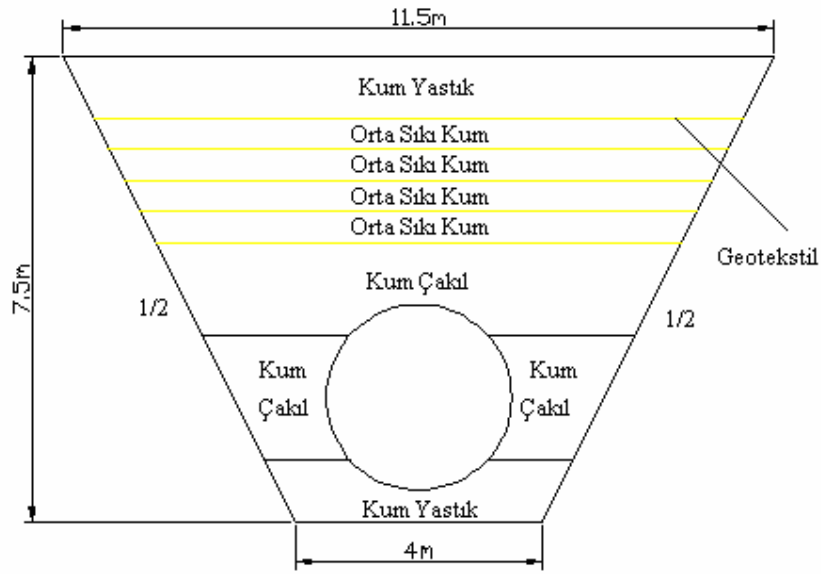
7.5 Beton Boru Hattı Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

Açılan eğimli hendek içine beton boru hattının yerleştirilirken hendek içerisine aksel rijitliği 2400kN/m olan geotekstillerin serilmesi planlanmaktadır. Geotekstil Uygulamaları 1/2 ve 1/3 şev eğimli hendek; 7m, 5m ve 4m iksa yöntemiyle açılmış hendek içerisine yapılacaktır.

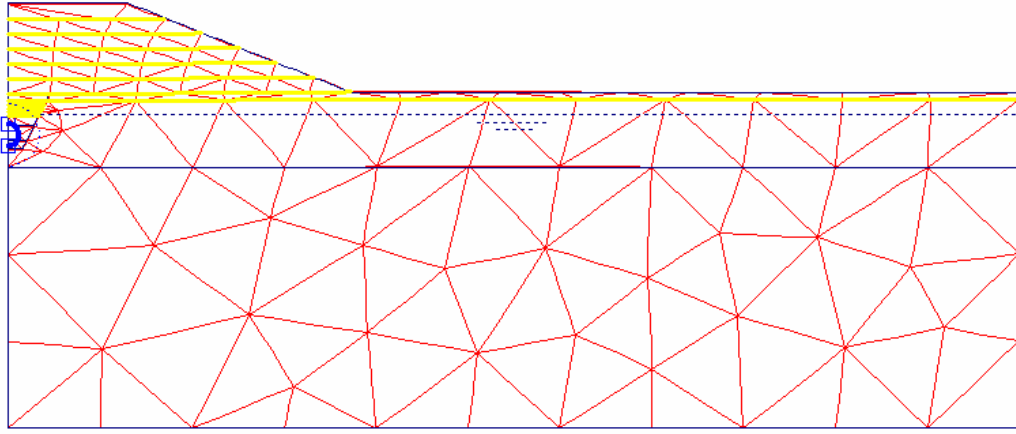
7.5.1 Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

7.5.1.1 Geotekstilin 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Uygulanması

Hendek içerisine boru hattı üst noktasının 1m yukarisından başlamak üzere 50cm aralıklarla boru hattının üzerine 4 sıra geotekstil ek olarak hendek içerisine uygulanmıştır. Geotekstil uygulanan 1/2 şev eğimli hendek kesiti Şekil 7.37'de, sonlu eleman ağı oluşturulmuş sistem ise Şekil 7.38'de verilmiştir.

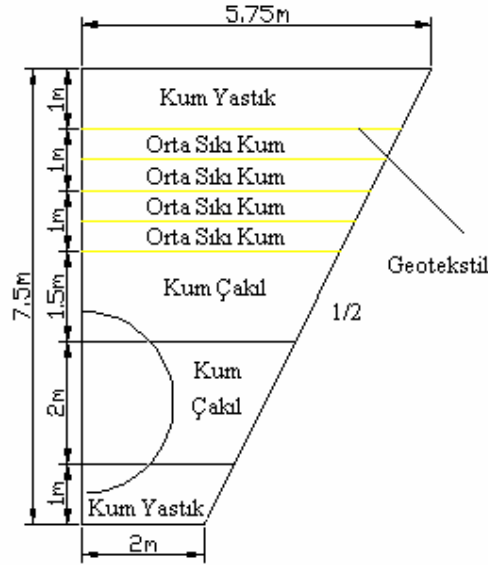


Şekil 7.37: Geotekstil Uygulanan 1/2 Şev Eğimli Hendek Kesiti



Şekil 7.38: Geotekstil Uygulanan 1/2 Şev Eğimli Hendeğin Sonlu Eleman Ağı

Sonlu eleman ağından da anlaşılacağı üzere geometrinin simetri ekseninin yarısı modellenmiştir. Modellemede kullanılan hendek kesitinin daha açık görülebilmesi amacıyla Şekil 7.39’da modelde kullanılan hendek kesiti verilmiştir.



Şekil 7.39: 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Modelde Kullanılan Kesit

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

1.Adım: 1m’lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması

- 2.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 5.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 6.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik kum yastığın yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi
- 8.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 9.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 10.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 11.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yzeye boyunca yerleştirilmesi
- 13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 14.Adım: Sistemin 15 gnlk konsolidasyona bırakılması
- 15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 16.Adım: Sistemin 15 gnlk konsolidasyona bırakılması
- 17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun uuncu 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 18.Adım: Sistemin 15 gnlk konsolidasyona bırakılması
- 19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dorduncu 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 20.Adım: Sistemin 15 gnlk konsolidasyona bırakılması
- 21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 22.Adım: Sistemin 15 gnlk konsolidasyona bırakılması

23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.33'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.34'te verilmektedir.

Tablo 7.33: 1/2 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

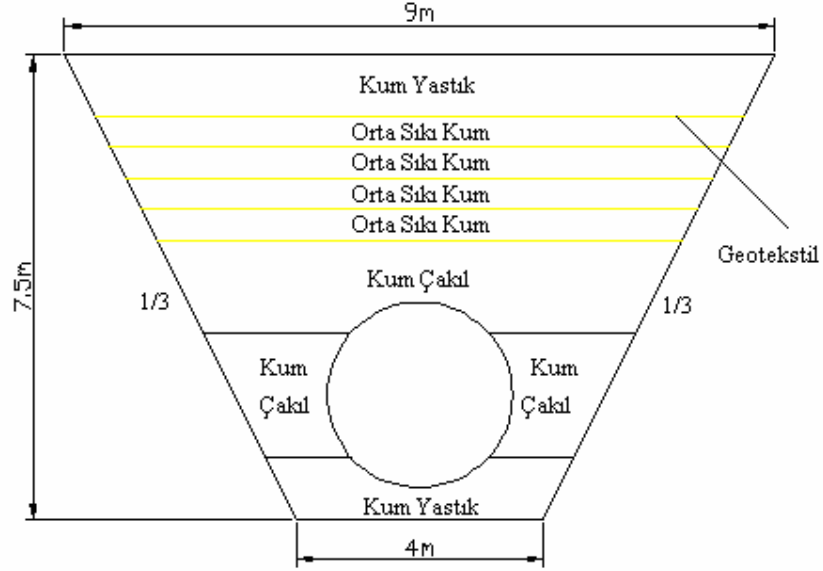
Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hendek geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	3.03
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	419.05
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	18.45
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.60
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.64
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.46
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	151.39
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	33.58
Maksimum Moment	kNm/m	25.72

Tablo 7.34: 1/2 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

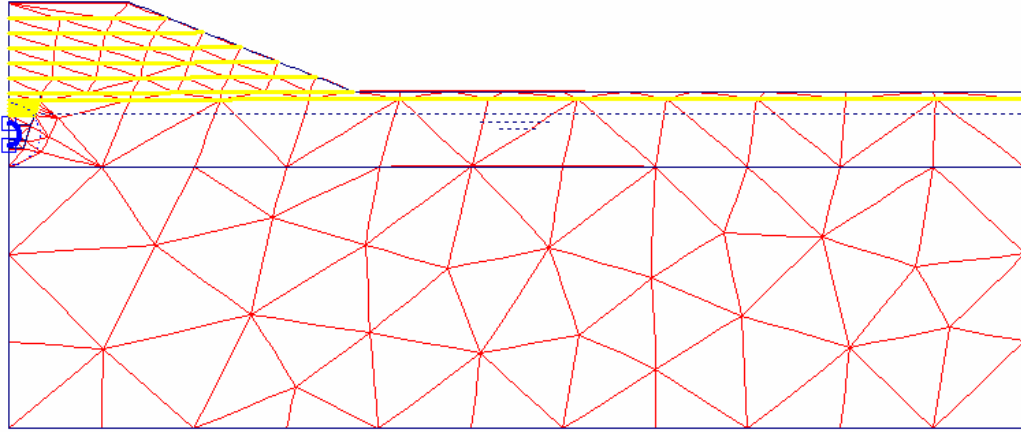
Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hendek geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.66
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.50
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.00
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.60
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.10
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.61
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	204.84
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.47
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.12
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.87
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.80
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	531.57
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	51.80
Maksimum Moment	kNm/m	42.01

7.5.1.2 Geotekstilin 1/3 Şev Eğimli Hendek İçerisine Uygulanması

Hendek içerisine boru hattı üst noktasının 1m yukarisından başlamak üzere 50cm aralıklarla boru hattının üzerine 4 sıra geotekstil ek olarak hendek içerisine uygulanmıştır. Geotekstil uygulanan 1/3 şev eğimli hendek kesiti Şekil 7.40'ta, sonlu eleman ağı oluşturulmuş sistem ise Şekil 7.41'de verilmiştir.

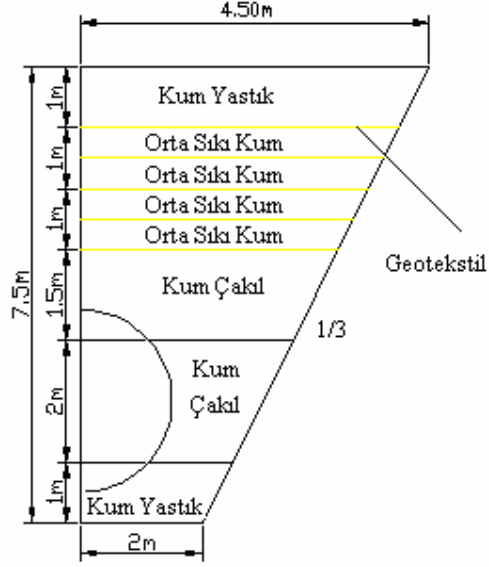


Şekil 7.40: Geotekstil Uygulanan 1/3 Şev Eğimli Hendek Kesiti



Şekil 7.41: Geotekstil uygulanan 1/3 Şev Eğimli Hendeğin Sonlu Eleman Ağı

Geometrinin simetri ekseninin yarısı modellenmiştir. Modellemede kullanılan hendek kesitinin daha açık görülebilmesi amacıyla Şekil 7.42'de modelde kullanılan hendek kesiti verilmiştir.



Şekil 7.42: 1/3 Şev Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Modelde Kullanılan Kesit

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 5.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 6.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik kum yastığın yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi
- 8.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 9.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 10.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 11.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yüzey boyunca yerleştirilmesi

13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

22.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.35'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.36'da verilmektedir.

Tablo 7.35: 1/3 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendek geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.76
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.93
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	24.12
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.60
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.52
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.24
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	150.51
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	33.20
Maksimum Moment	kNm/m	25.89

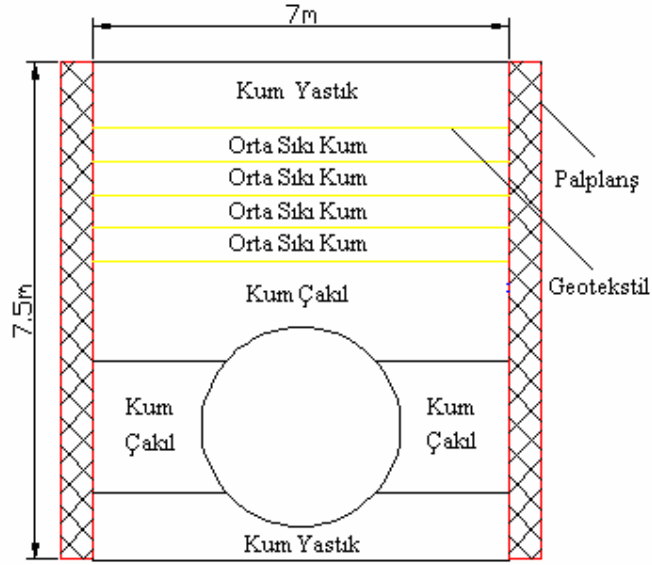
Tablo 7.36: 1/3 Şev Eğimli Hendek Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendek geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.55
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.10
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.60
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.20
(0;42 noktası deplasman)	cm	18.70
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.70
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	203.73
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.26
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.12
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.55
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.40
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	541.31
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	54.19
Maksimum Moment	kNm/m	45.38

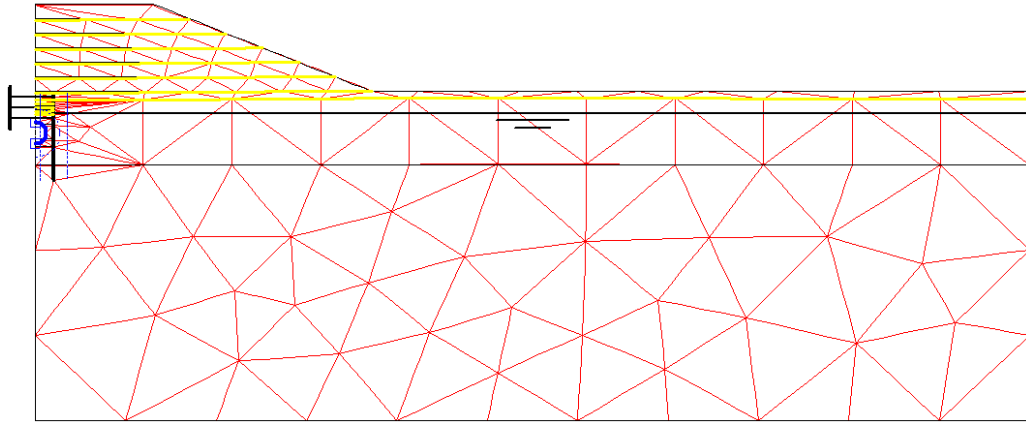
7.5.2 İksa Yöntemi ile Açılan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

7.5.2.1 Genişliği 7m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

Hendek içerisine boru hattı üst noktasının 1m yukarisından başlamak üzere 50cm aralıklarla boru hattının üzerine 4 sıra geotekstil ek olarak hendek içerisine uygulanmıştır. Geotekstil uygulanan 7m genişlikteki hendek kesiti Şekil 7.43'te, sonlu eleman ağı oluşturulmuş sistem ise Şekil 7.44'te verilmiştir.

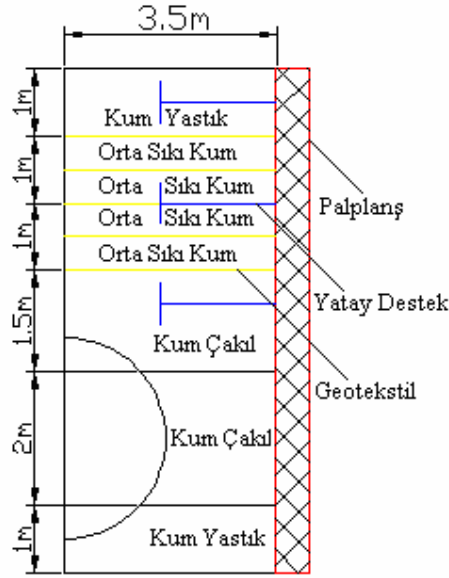


Şekil 7.43: Geotekstil Uygulanan 7m Genişliğindeki Hendek Kesiti



Şekil 7.44: Geotekstil Uygulanan 7m Genişlikteki Hendeğin Sonlu Eleman Ağı

Geometrinin simetri ekseninin yarısı modellenmiştir. Modellemede kullanılan hendek kesitinin daha açık görülebilmesi amacıyla Şekil 7.45'te modelde kullanılan hendek kesiti verilmiştir.



Şekil 7.45: Geotekstil Uygulanan 7m Genişlikteki Hendeğin Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir. Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 5.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 6.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik kum yastığının yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi
- 8.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 9.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi

- 10.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 11.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yüzey boyunca yerleştirilmesi
- 13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 22.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması
- 23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi
- 24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.37'de, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.38'de verilmektedir.

Tablo 7.37: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Önce)

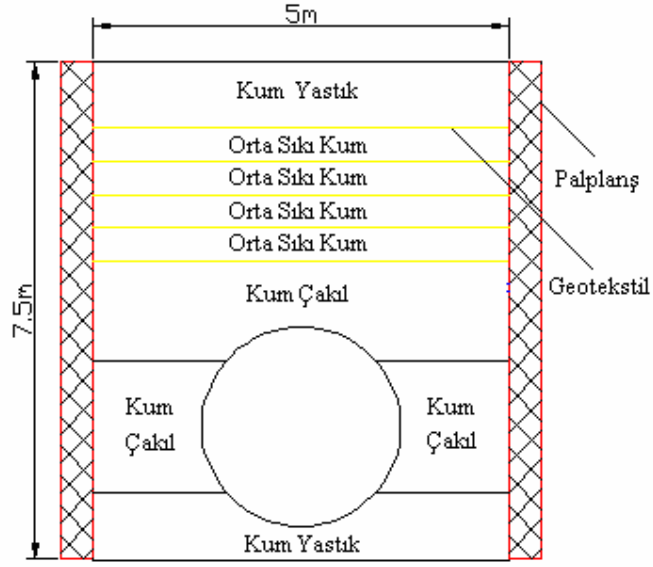
Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hedeğe geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	3.11
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.40
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	9.81
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.81
Toplam Gerilme	kN/m ²	880.21
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.57
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	154.69
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	41.23
Maksimum Moment	kNm/m	28.48

Tablo 7.38: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

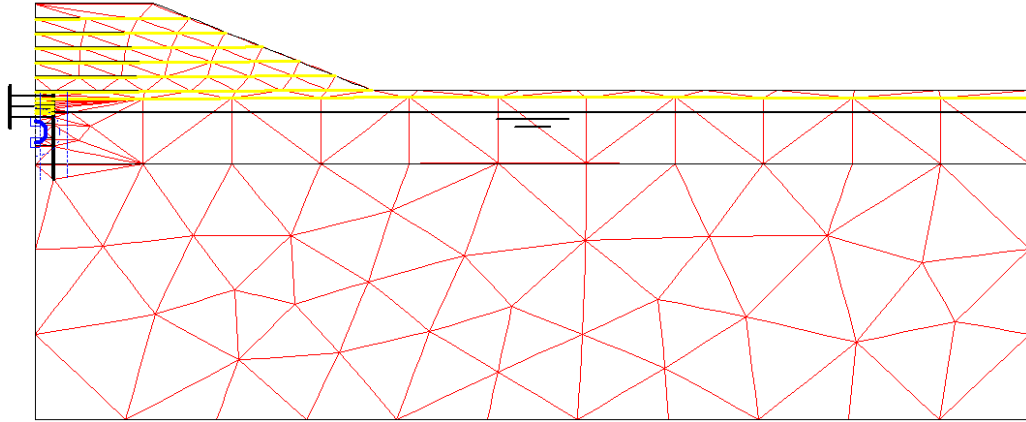
Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hedeğe geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	25.14
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.90
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.50
(0;43 noktası deplasman)	cm	21.20
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.70
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.62
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	236.20
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.49
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.12
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	19.37
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	18.30
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	538.74
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	78.65
Maksimum Moment	kNm/m	55.41

7.5.2.2 Genişliği 5m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

Hendek içerisine boru hattı üst noktasının 1m yukarisından başlamak üzere 50cm araliklarla boru hattının üzerine 4 sıra geotekstil ek olarak hendek içerisine uygulanmıştır. Geotekstil uygulanan 5m genişlikteki hendek kesiti şekil 7.46'da, sonlu eleman ağı oluşturulmuş sistem ise şekil 7.47'de verilmiştir.

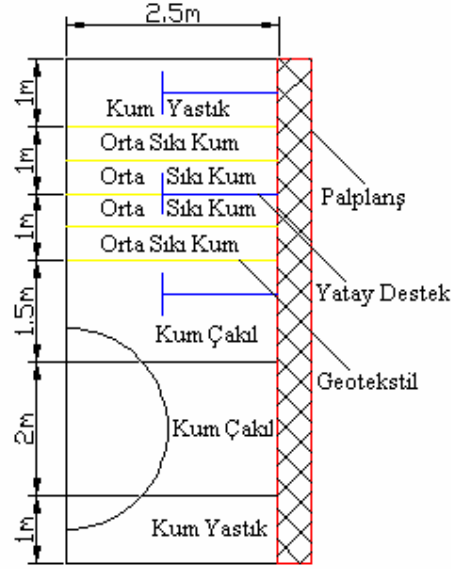


şekil 7.46: Geotekstil Uygulanan 5m Genişliğindeki Hendek Kesiti



şekil 7.47: Geotekstil Uygulanan 5m Genişlikteki Hendeğin Sonlu Eleman Ağı

Geometrinin simetri ekseninin yarısı modellenmiştir. Modellemede kullanılan hendek kesitinin daha açık görülebilmesi amacıyla şekil 7.48'de modelde kullanılan hendek kesiti verilmiştir.



Şekil 7.48: Geotekstil Uygulanan 5m Genişlikteki Hendeğin Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 5.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 6.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik kum yastığının yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi
- 8.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 9.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 10.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 11.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi

12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yüzey boyunca yerleştirilmesi

13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

22.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.39'da, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.40'ta verilmektedir.

Tablo 7.39: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Önce)

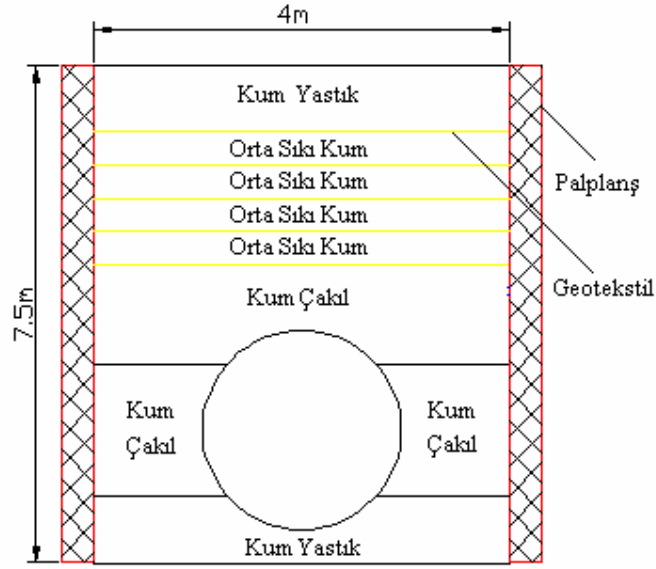
Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hedeğe geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.54
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.69
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	15.07
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.12
Toplam Gerilme	kN/m ²	880.82
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.11
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	147.13
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	36.25
Maksimum Moment	kNm/m	26.74

Tablo 7.40: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

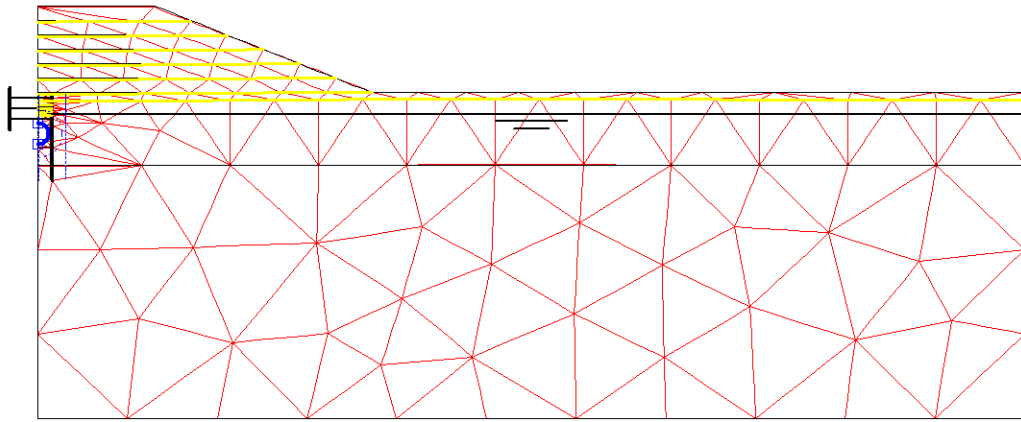
Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hedeğe geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.82
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.20
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.80
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.50
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.10
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.71
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	238.88
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.41
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.10
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.64
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.50
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	554.74
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	88.75
Maksimum Moment	kNm/m	61.72

7.5.2.3 Genişliği 4m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

Hendek içerisine boru hattı st noktasının 1m yukarisından başlamak üzere 50cm aralıklarla boru hattının üzerine 4 sıra geotekstil ek olarak hendek içerisine uygulanmıştır. Geotekstil uygulanan 4m genişlikteki hendek kesiti şekil 7.49'da, sonlu eleman ağı oluşturulmuş sistem ise şekil 7.50'de verilmiştir.

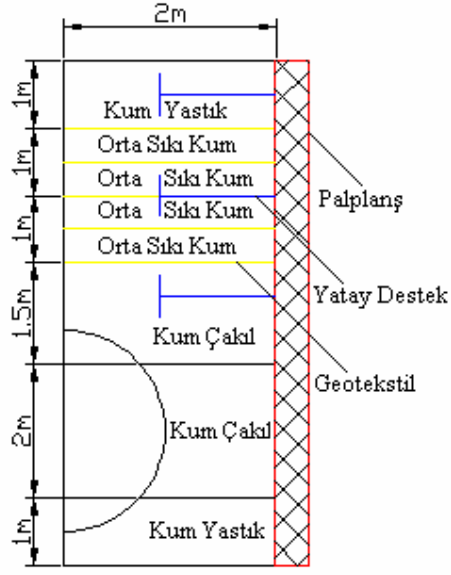


şekil 7.49: Geotekstil Uygulanan 4m Genişliğindeki Hendek Kesiti



şekil 7.50: Geotekstil Uygulanan 4m Genişlikteki Hendeğin Sonlu Eleman Ağı

Geometrinin simetri ekseninin yarısı modellenmiştir. Modellemede kullanılan hendek kesitinin daha açık görülebilmesi amacıyla şekil 7.51'de modelde kullanılan hendek kesiti verilmiştir.



Şekil 7.51: Geotekstil Uygulanan 4m Genişlikteki Hendeğin Modelde Kullanılan Kesiti

Hesap adımları uygulanırken kazı esnasında oluşabilecek kabarmalar önlenmiştir. Ayrıca kazı esnasında yeraltı su seviyesi kazı tabanına indirilmiştir. Analizde uygulanan hesap adımları aşağıda verilmektedir;

- 1.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının yüzey boyunca kazılması
- 2.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 3.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 4.Adım: 1.5m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 5.Adım: 2m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 6.Adım: 1m'lik yumuşak orta katı kil tabakasının kazılması
- 7.Adım: 1m'lik kum yastığının yerleştirilmesi, borunun yerleştirilmesi, kum çakıl tabakalarının yerleştirilmesi
- 8.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 9.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 10.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi
- 11.Adım: Geotekstilin serilmesi, 0.5m'lik orta sıkı kum tabakasının yerleştirilmesi

12.Adım: Geotekstilin serilmesi, 1m'lik kum yastığın yüzey boyunca yerleştirilmesi

13.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun birinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

14.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

15.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun ikinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

16.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

17.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun üçüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

18.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

19.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun dördüncü 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

20.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

21.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun beşinci 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

22.Adım: Sistemin 15 günlük konsolidasyona bırakılması

23.Adım: Geotekstilin serilmesi ve kum dolgunun altıncı 2m'lik kademesinin yerleştirilmesi

24.Adım: Güvenlik sayısı analizi

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.41'de, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.42'de verilmektedir.

Tablo 7.41: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hedeğe geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.14
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.03
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	19.75
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.66
Toplam Gerilme	kN/m ²	879.70
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	1.77
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	141.20
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	32.53
Maksimum Moment	kNm/m	24.07

Tablo 7.42: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hedeğe geotekstil Beton boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.58
(0;45 noktası deplasman)	cm	21.70
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.30
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.00
(0;42 noktası deplasman)	cm	18.50
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.48
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	240.64
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.34
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.11
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.20
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.00
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	561.28
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	94.93
Maksimum Moment	kNm/m	67.21

7.6 HDPE Boru Hattı Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

Açılan eğimli hendek içine HDPE boru hattının yerleştirilirken hendek içerisine eksenel rijitliği 2400kN/m olan geotekstillerin serilmesi planlanmaktadır. Geotekstil Uygulamaları 1/2 ve 1/3 şev eğimli hendek; 7m, 5m ve 4m iksa yöntemiyle açılmış hendek içerisine yapılacaktır. HDPE boru hattı içerisine geotekstil uygulanmasındaki tüm aşamalar beton boru hattı içerisine geotekstil uygulanması ile aynı olduğundan bu bölümde yalnızca HDPE boru analizinde elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilecektir.

7.6.1 Eğimli Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

7.6.1.1 Geotekstilin 1/2 Şev Eğimli Hendek İçerisine Uygulanması

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.43'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.44'te verilmektedir.

Tablo 7.43: 1/2 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hendek geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.95
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.99
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	22.69
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.60
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.60
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.33
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	126.70
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	13.39
Maksimum Moment	kNm/m	9.70

Tablo 7.44: 1/2 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	1/2 şev eğimli hedeğe geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.52
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.30
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.90
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.50
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.10
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.73
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	206.85
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.24
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.12
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.78
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.10
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	474.56
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	28.56
Maksimum Moment	kNm/m	18.33

7.6.1.2 Geotekstilin 1/3 Şev Eğimli Hendeğe İçerisine Uygulanması

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.45'te, 12m'lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.46'da verilmektedir.

Tablo 7.45: 1/3 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendedek geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.65
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.90
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	28.87
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.60
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.50
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	1.98
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	124.22
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	13.50
Maksimum Moment	kNm/m	10.42

Tablo 7.46: 1/3 Şev Eğimli Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları
(Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	1/3 şev eğimli hendedek geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.45
(0;45 noktası deplasman)	cm	21.90
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.40
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.00
(0;42 noktası deplasman)	cm	18.50
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.68
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	205.43
Efektif Gerilme	kN/m ²	587.06
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.12
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.28
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	16.70
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	482.16
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	28.50
Maksimum Moment	kNm/m	18.60

7.6.2 İksa Yöntemi ile Açılan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

7.6.2.1 Genişliği 7m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.47’de, 12m’lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.48’de verilmektedir.

Tablo 7.47: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hendek geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	3.08
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.40
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	15.18
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.81
Toplam Gerilme	kN/m ²	880.21
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.63
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	129.33
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	14.20
Maksimum Moment	kNm/m	11.55

Tablo 7.48: 7m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	7m genişlikte hendek geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.98
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.70
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.30
(0;43 noktası deplasman)	cm	21.00
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.70
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.70
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	236.27
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.33
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.12
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	19.37
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	17.40
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	462.00
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	34.96
Maksimum Moment	kNm/m	23.04

7.6.2.2 Genişliği 5m Olan Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.49’da, 12m’lik kum dolgunun inşası tamamlandıktan sonra elde edilen değerler ise Tablo 7.50’de verilmektedir.

Tablo 7.49: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hendek geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.39
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.70
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	25.01
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.13
Toplam Gerilme	kN/m ²	880.82
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	2.04
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	126.40
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	13.47
Maksimum Moment	kNm/m	10.44

Tablo 7.50: 5m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	5m genişlikte hendek geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	24.70
(0;45 noktası deplasman)	cm	21.90
(0;44 noktası deplasman)	cm	21.50
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.20
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.00
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.95
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	238.87
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.87
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020
Güvenlik Sayısı	-	2.10
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	18.65
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	16.60
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	494.57
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	31.36
Maksimum Moment	kNm/m	24.78

7.6.2.3 Genişliği 4m Olan Hendeğ İçerisine Geotekstil Uygulanması

Analiz sonucunda borunun yerleştirilmesi tamamlandığında kum dolgunun inşasına başlanmadan elde edilen değerler Tablo 7.51’de verilmiştir. 12m’lik kum dolgunun inşası sırasında beşinci kademe (10m) dolgu inşası sırasında sistem göçmüştür. Tablo 7.52’de göçtüğü anda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 7.51: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Önce)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hendeğ geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	1.49
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.03
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	31.53
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.67
Toplam Gerilme	kN/m ²	879.70
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	1.10
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	120.00
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	11.95
Maksimum Moment	kNm/m	9.47

Tablo 7.52: 4m Genişlikteki Hendeğe Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları (Kum Dolgunun İnşasından Sonra)

Analiz Sonuçları	Birim	4m genişlikte hendeğ geotekstil HDPE boru
Sistemin Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	12.90
(0;45 noktası deplasman)	cm	11.70
(0;44 noktası deplasman)	cm	11.50
(0;43 noktası deplasman)	cm	10.60
(0;42 noktası deplasman)	cm	9.60
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	438.67
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	181.05
Efektif Gerilme	kN/m ²	569.20
Toplam Gerilme	kN/m ²	994.86
Güvenlik Sayısı	-	-
Borunun Analizi		
Maksimum Deplasman	cm	9.50
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	8.40
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	369.13
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	28.24
Maksimum Moment	kNm/m	23.55
(*)Beşinci kademe dolgu (10m) yüklenirken sistemin göçtüğü andaki değerlerdir.		

8. ANALİZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve YÜK HESAPLARI

8.1 Analizlerin Karşılaştırılması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Boru hattı davranışına etkilerini araştırmak amacıyla boru hattı eğimli hendek ve iksa ile hendek açılması yöntemleriyle analiz edilmiş, her iki durumda hendek içerisine geotekstil uygulanmıştır. Rijit ve elastik boru davranışlarını karşılaştırmak amacıyla tüm koşullar eşit tutularak beton boru ve HDPE boru kullanılmıştır. Tablo 8.1’de 12m’lik kum dolgunun inşasına başlanmadan önce eğimli hendek açılarak borunun yerleştirilmesi analiz sonuçları verilmiştir. Tablo 8.2’de 12m’lik kum dolgunun inşasından sonra eğimli hendek analiz sonuçları yer almaktadır. İksa ile boru hattının yerleştirilmesi analiz sonuçları ise; 12m’lik yol dolgusunun inşasından önce elde edilen değerler Tablo 8.3’te, 12m’lik yol dolgusunun inşasından sonra elde edilen değerler de Tablo 8.4’te verilmiştir.

Tablo 8.1: Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları (12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen Değerler)

Analiz Sonuçları	Birim	Eğimli Hendek							
		1/2 eğim		1/2 eğim geotekstil		1/3 eğim		1/3 eğim geotekstil	
Boru Tipi		Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE
Sistemin Analizi									
Maksimum Deplasman	cm	3.04	2.97	3.03	2.95	2.78	2.66	2.76	2.65
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.71	418.50	419.05	418.99	418.88	418.71	418.93	418.90
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	16.45	21.92	18.45	22.69	25.14	30.09	24.12	28.87
Efektif Gerilme	kN/m ²	462.58	462.58	462.60	462.60	462.59	462.59	462.60	462.60
Toplam Gerilme	kN/m ²	881.30	881.08	881.64	881.60	881.47	881.30	881.52	881.50
Borunun Analizi									
Maksimum Deplasman	cm	2.48	2.35	2.46	2.33	2.26	2.00	2.24	1.98
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	153.57	127.81	151.39	126.70	152.86	126.58	150.51	124.22
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	33.96	13.92	33.58	13.39	33.40	13.94	33.20	13.50
Maksimum Moment	kNm/m	25.80	9.91	25.72	9.70	25.92	10.64	25.89	10.42

Tablo 8.2: Eğimli Hendek Açılarak Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları(12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen Değerler)

	Birim	Eğimli Hendek							
		1/2 eğim		1/2 eğim geotekstil		1/3 eğim		1/3 eğim geotekstil	
Boru Tipi		Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE
Sistemin Analizi									
Maksimum Deplasman	cm	24.78	24.64	24.66	24.52	24.67	24.53	24.55	24.45
(0;45 noktası deplasman)	cm	22.60	22.40	22.50	22.30	22.10	21.90	22.10	21.90
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.10	21.90	22.00	21.90	21.70	21.40	21.60	21.40
(0;43 noktası deplasman)	cm	20.70	20.50	20.60	20.50	20.30	20.00	20.20	20.00
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.20	19.10	19.10	19.10	18.70	18.50	18.70	18.50
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	442.62	442.92	443.61	443.73	443.38	443.41	443.70	443.68
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	204.72	205.41	204.84	206.85	204.57	206.56	203.73	205.43
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.91	586.77	587.47	587.24	587.34	587.22	587.26	587.06
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
Güvenlik Faktörü	-	2.10	2.10	2.12	2.12	2.11	2.11	2.12	2.12
Borunun Analizi									
Maksimum Deplasman	cm	18.96	18.86	18.87	18.78	18.58	18.32	18.55	18.28
(0;37.5 noktası deplasman)	cm	17.90	17.20	17.80	17.10	17.50	16.80	17.40	16.70
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	532.43	475.08	531.57	474.56	543.64	484.40	541.31	482.16
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	52.40	28.90	51.80	28.56	55.00	28.91	54.19	28.50
Maksimum Moment	kNm/m	42.99	18.49	42.01	18.33	45.56	19.30	45.38	18.60

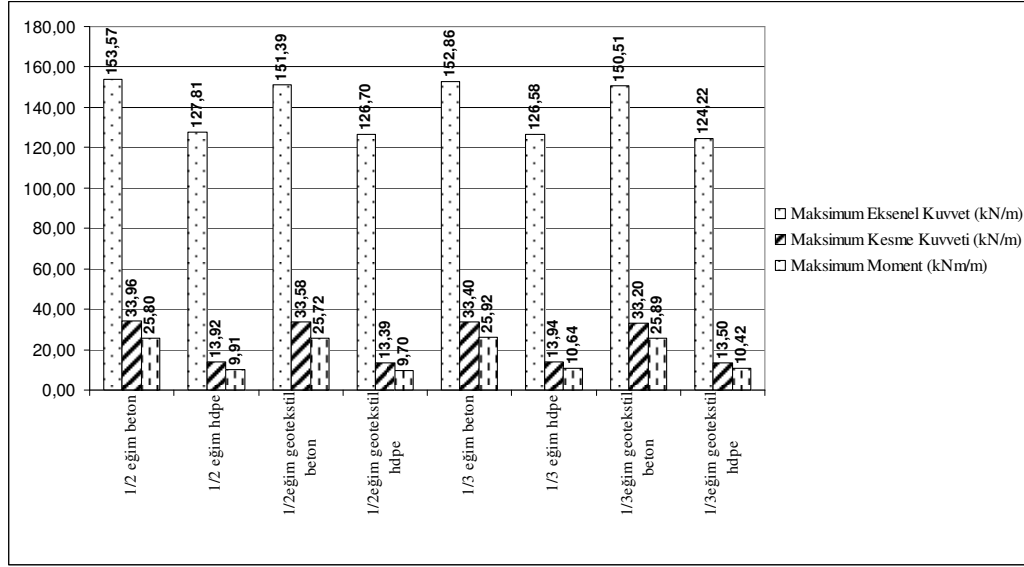
Tablo 8.3: İksa İle Açılan Hendek İçerisine Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen Değerler)

	Birim	İksa İle Yerleştirme											
		7m genişlik		7m genişlik geotekstil		5m genişlik		5m genişlik geotekstil		4m genişlik		4m genişlik geotekstil	
Boru Tipi		Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE
Sistemin Analizi													
Maksimum Deplasman	cm	3.13	3.10	3.11	3.08	2.59	2.46	2.54	2.39	2.16	1.57	2.14	1.49
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	418.17	418.16	418.40	418.40	418.35	418.36	418.69	418.70	418.02	418.02	418.03	418.03
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	11.95	13.94	9.81	15.18	15.47	22.14	15.07	25.01	18.68	30.63	19.75	31.53
Efektif Gerilme	kN/m ²	461.80	461.80	461.81	461.81	462.11	462.12	462.12	462.13	461.66	461.67	461.66	461.67
Toplam Gerilme	kN/m ²	879.97	879.97	880.21	880.21	880.47	880.47	880.82	880.82	879.69	879.69	879.70	879.70
Borunun Analizi													
Maksimum Deplasman	cm	2.60	2.65	2.57	2.63	2.14	2.09	2.11	2.04	1.80	1.13	1.77	1.10
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	157.30	131.21	154.69	129.33	151.04	128.51	147.13	126.40	143.25	121.32	141.20	120.00
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	43.19	14.84	41.23	14.20	37.95	14.02	36.25	13.47	33.10	12.06	32.53	11.95
Maksimum Moment	kNm/m	29.98	11.91	28.48	11.55	27.48	11.17	26.74	10.44	24.63	9.78	24.07	9.47

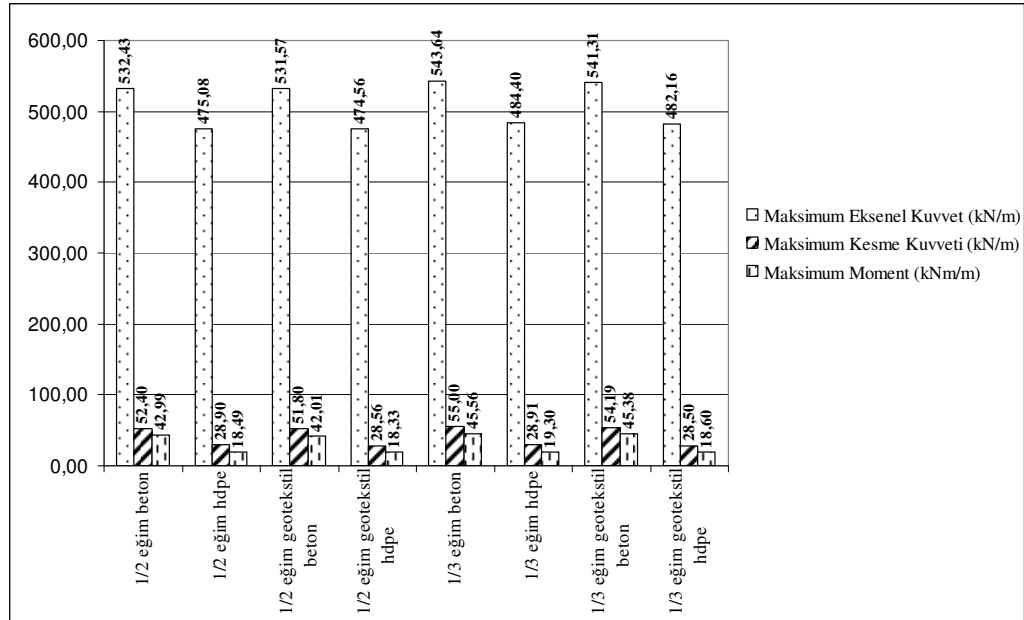
Tablo 8.4: İksa İle Açılan Hendek İçerisine Yerleştirilen Boru Hattı Analiz Sonuçları (12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen Değerler)

	Birim	İksa İle Yerleştirme											
		7m		7m geotekstil		5m		5m geotekstil		4m (*)		4m geotekstil (**)	
Boru Tipi		Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE	Beton	HDPE
Sistemin Analizi													
Maksimum Deplasman	cm	25.25	25.11	25.14	24.98	24.95	24.82	24.82	24.70	24.70	7.41	24.58	12.90
(0;45 noktası deplasman)	cm	23.10	22.90	22.90	22.70	22.40	22.20	22.20	21.90	21.80	7.30	21.70	11.70
(0;44 noktası deplasman)	cm	22.60	22.40	22.50	22.30	22.20	21.70	21.80	21.50	21.40	7.10	21.30	11.50
(0;43 noktası deplasman)	cm	21.30	21.11	21.20	21.00	20.60	20.40	20.50	20.20	20.10	6.50	20.00	10.60
(0;42 noktası deplasman)	cm	19.80	19.80	19.70	19.70	19.20	19.10	19.10	19.00	18.60	5.90	18.50	9.60
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	443.43	443.52	443.62	443.70	443.50	443.66	443.71	443.95	443.94	446.74	443.48	438.67
Artık Boşluk Suyu Basıncı	kN/m ²	234.29	234.33	236.20	236.27	237.98	239.72	238.88	238.87	243.32	115.67	240.64	181.05
Efektif Gerilme	kN/m ²	586.41	585.95	586.49	586.33	587.23	586.81	587.41	586.87	586.13	519.15	586.34	569.20
Toplam Gerilme	kN/m ²	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	963.19	1020	994.86
Güvenlik Faktörü	-	2.11	2.11	2.12	2.12	2.09	2.09	2.10	2.10	2.10	-	2.11	-
Borunun Analizi													
Maksimum Deplasman	cm	19.49	19.52	19.37	19.37	18.81	18.83	18.64	18.65	18.23	5.72	18.20	9.50
(0;37.5) Noktasındaki Deplasman	cm	18.40	17.50	18.30	17.40	17.70	16.80	17.50	16.60	17.10	5.10	17.00	8.40
Maksimum Eksenel Kuvvet	kN/m	540.65	462.78	538.74	462.00	558.85	496.65	554.74	494.57	564.20	273.43	561.28	369.13
Maksimum Kesme Kuvveti	kN/m	82.08	34.61	78.65	34.96	91.93	31.44	88.75	31.36	96.13	21.65	94.93	28.24
Maksimum Moment	kNm/m	57.00	23.17	55.41	23.04	63.19	25.55	61.72	24.78	68.18	17.78	67.21	23.55
(*) HDPE boru yerleştirilmesi esnasında üçüncü kademe dolgu (6m) yüklenirken sistemin göçtüğü andaki değerlerdir.													
(**) HDPE boru yerleştirilmesi esnasında beşinci kademe dolgu (10m) yüklenirken sistemin göçtüğü andaki değerlerdir.													

Şekil 8.1’de 12m’lik yol dolgusunun inşasından önce, Şekil 8.2’de ise 12m’lik yol dolgusunun inşasından sonra elde edilen eğimli hendek analiz sonuçları grafik halinde verilmiştir.



Şekil 8.1: 12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen Eğimli Hendek Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması Grafiği



Şekil 8.2: 12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen Eğimli Hendek Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması Grafiği

Rijit boruların esnek borulara göre daha fazla yük aldıkları Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de görülmektedir. Hendek içerisine geotekstil uygulanmasının da boru üzerine etkiyen yükleri azaltma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır.

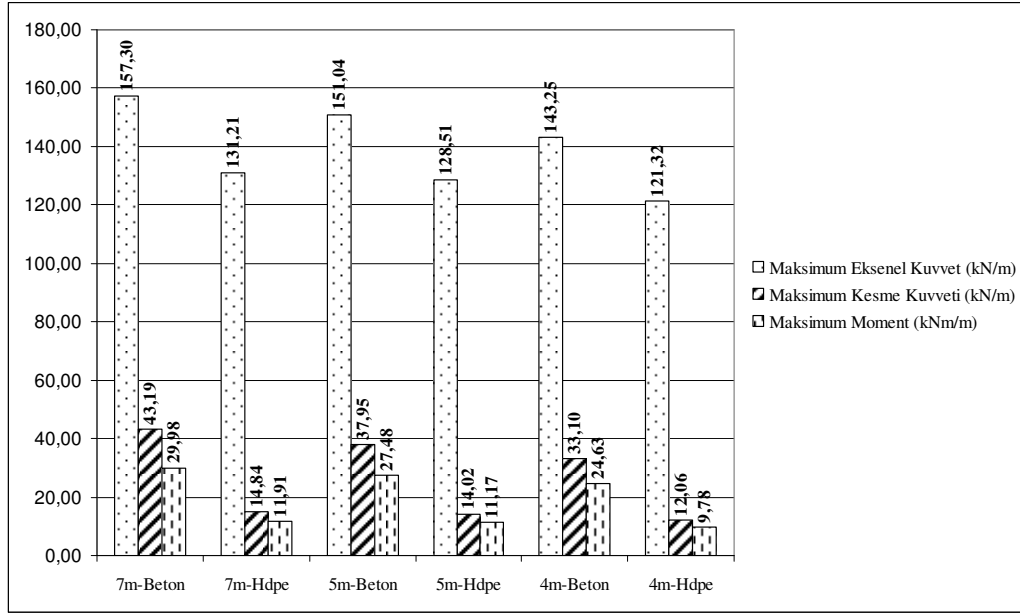
Yol dolgusunun inşasından önce elde edilen analiz sonuçlarında daha büyük hendek genişliğine sahip olan 1/2 şev eğimli hendekte beton ve HDPE borunun daha fazla yük aldığı, daha dar hendek genişliğine sahip olan 1/3 şev eğimli hendekte ise beton ve HDPE borunun daha az yük aldığı görülmüştür. Eğimli hendek analizlerinde hendek tabanları aynı genişliğe sahip olduklarından bu fark belirgin olarak gözlemlenememiştir. İksa ile hendek açılmasında hendek genişliğinin boru davranışına etkisi daha belirgin olarak gözlemlenebilmiştir.

Yol dolgusunun inşasından sonra elde edilen analiz sonuçlarında daha büyük hendek genişliğine sahip olan 1/2 şev eğimli hendekte beton ve HDPE borunun daha az yük aldığı, daha dar hendek genişliğine sahip olan 1/3 şev eğimli hendekte ise beton ve HDPE borunun daha fazla yük aldığı görülmüştür. 12m’lik yol dolgusunun inşasından sonra hendeğe etkiyen kuvvetlerin artması negatif kemerlenmeye sebep olarak boru davranışı tam tersine dönmüştür.

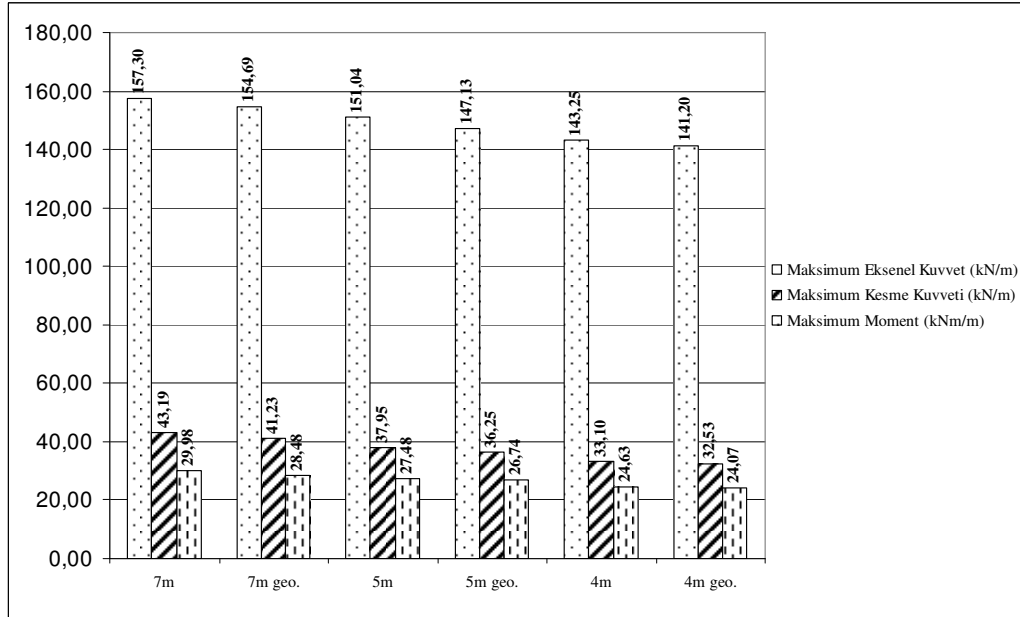
Şekil 8.3’te 12m’lik yol dolgusunun inşasından önce elde edilen beton boru ve HDPE boru davranışları görülmektedir. Şekil 8.4’te 12m’lik yol dolgusunun inşasından önce elde edilen, beton boru hattının yerleştirildiği hendek içerisine geotekstil uygulanması analiz sonuçları verilmiştir.

Şekil 8.5’te 12m’lik yol dolgusunun inşasından sonra elde edilen beton boru ve HDPE boru davranışları görülmektedir. Şekil 8.6’da 12m’lik yol dolgusunun inşasından sonra elde edilen, beton boru hattının yerleştirildiği hendek içerisine geotekstil uygulanması analiz sonuçları verilmiştir.

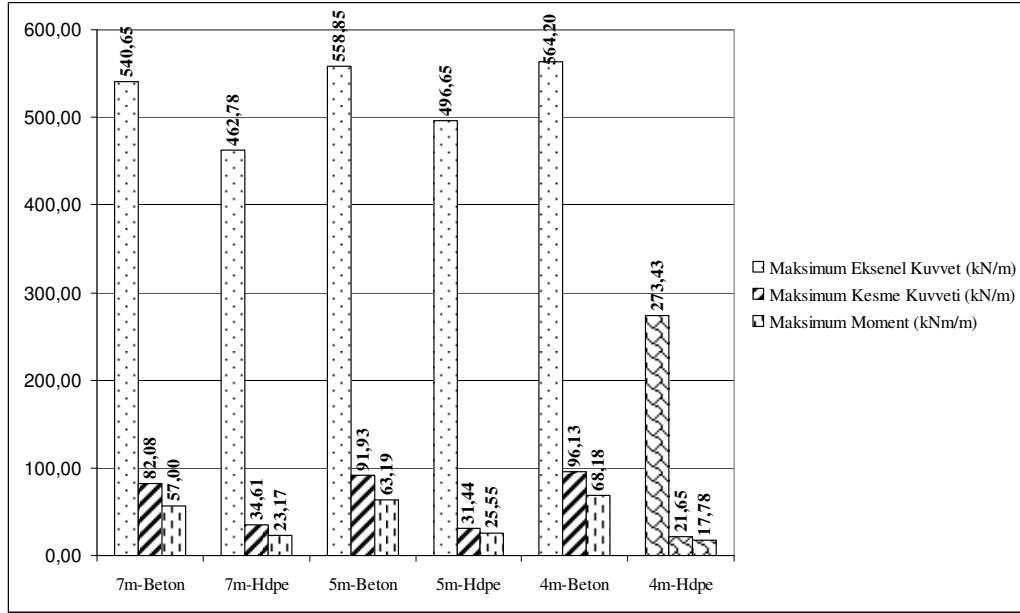
Eğimli hendek analizleri ile karşılaştırıldığında benzer davranışlar gözlemlenmiş fakat hendek genişliğinin değişiminin boru davranışına etkisi daha belirgin olarak elde edilmiştir.



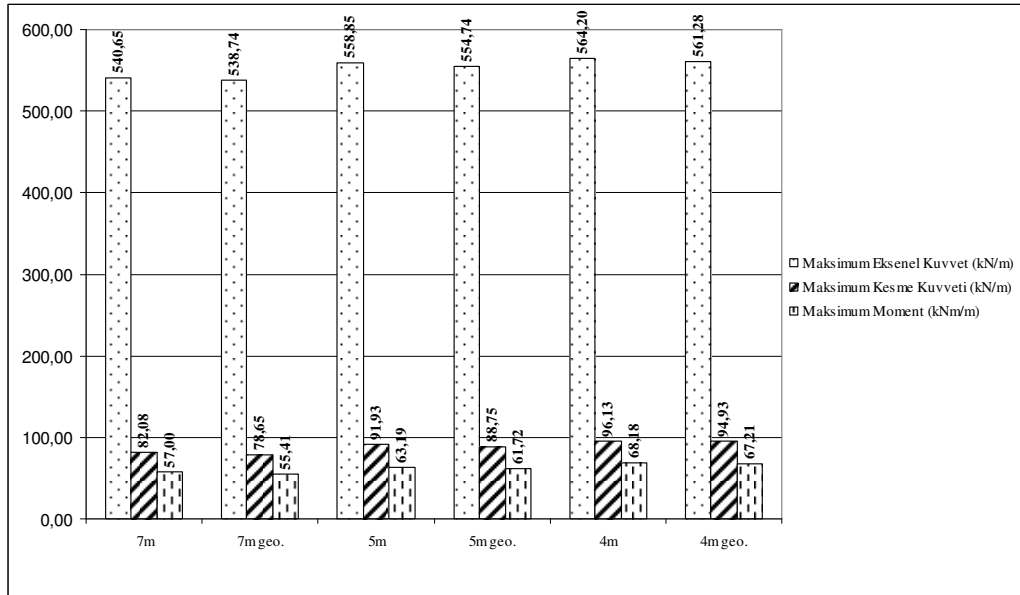
Şekil 8.3: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması Beton ve HDPE Boru Analizlerinin Karşılaştırılması Grafiği



Şekil 8.4: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması, Beton Boru Hattının Yerleştirildiği Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları Karşılaştırılması Grafiği



Şekil 8.5: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması Beton ve HDPE Boru Analizlerinin Karşılaştırılması Grafiği (4m HDPE Sonuçları Göçtüğü Andaki Değerlerdir.)



Şekil 8.6: 12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra Elde Edilen İksa İle Hendek Açılması, Beton Boru Hattının Yerleştirildiği Hendek İçerisine Geotekstil Uygulanması Analiz Sonuçları Karşılaştırılması Grafiği

İksa ile hendek açılarak boru hattı yerleştirilmesi analiz sonuçları incelendiğinde Şekil 8.3 ve Şekil 8.5'te görüldüğü üzere 12m'lik yol dolgusunun inşasından önce ve sonra, beton borunun HDPE boruya göre daha fazla yük aldığı görülmektedir. Şekil 8.4 ve Şekil 8.6'da görüldüğü üzere 12m'lik yol dolgusunun inşasından önce ve sonra beton boru hattı hendek içerisine yerleştirilen geotekstilin boru üzerine etkileyen kuvvetleri azaltma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Şekil 8.3 incelendiğinde yol dolgusu inşa edilmeden önce beton ve HDPE boru için hendek genişliği azaldıkça, boru üzerine etkileyen yüklerin de azaldığı görülmektedir.

Şekil 8.5'te ise yol dolgusunun inşasından sonra beton ve HDPE boru için hendek genişliği azaldıkça, boru üzerine etkileyen yüklerin arttığı görülmektedir. Yol dolgusunun ağırlığından ötürü negatif kemerlenme meydana gelmiş ve boru hattı, hendek genişliği daraldıkça daha yüksek kuvvetlere maruz kalmıştır.

Yapılan analizlerde boru hattı en elverişsiz konumda; yol dolgusunun simetri eksenine yerleştirilerek boru davranışı incelenmiştir. Yol dolgusunun inşasının boru davranışına etkisini araştırmak hedeflenmiştir. Yol dolgusu donatısız olarak yerleştirildiğinde şev stabilitesinin sağlanamamasından ötürü geotekstil uygulanarak ekonomik ve güvenli olan 1m kum yastık üzerine 2m'lik tabakalar halinde kademeli olarak yerleştirilmiş ve yol dolgusunun şev stabilitesi artırılarak güvenli bir biçimde inşa edilmesi sağlanmıştır. Yol dolgusuna uygulanan geotekstilin deplasmanları azaltıcı eğilimde olduğu, şev stabilitesini de artırdığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen analizler sonucu yol dolgusunun inşasından önce hendek genişliği azaldıkça boruya etkileyen kuvvetlerin de azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak yol dolgusunun inşası tamamlandıktan sonra boru hattının davranışı değişerek; daha dar hendekteki boru hattına daha yüksek kuvvetlerin etkilediği gözlemlenmiştir.

Hendek içerisine yerleştirilen geotekstilin de boru üzerine etkileyen kuvvetleri azaltma eğiliminde olduğu görülmüştür. Hendeğin iksa yöntemi ile 4m genişlikte açılıp HDPE borunun yerleştirildiği modelde yol dolgusunun üçüncü kademesi (6m) yerleştirilirken göçme meydana gelmiş, hendek içerisine geotekstil uygulandığında ise yol dolgusunun beşinci kademesi yüklenirken (10m) sistem göçmüştür. Buradan da geotekstilin göçme mekanizmasını geciktirdiği gözlemlenmektedir.

8.2 Yük Hesapları

Boru davranışını daha iyi gözlemleyebilmek amacıyla boruya etkiyen yükler hesaplanmıştır. Yapılan tüm analizlerde; sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen efektif gerilmelerin boru üzerinde noktalar belirlenmesi ve bu noktaların oluşturduğu alanların integrasyonu ile boru üzerine etkiyen yüklerin hesaplanması sağlanmıştır. Boru üzerine etkiyen yüklerin karşılaştırılabilmesi amacıyla Marston yük teoreminden yararlanılarak elle hesaplar gerçekleştirilmiştir.

Yol dolgusunun inşasından önceki durumda yapılan sonlu eleman analizi ve Marston yük hesabı sonuçları karşılaştırılmıştır. Rijit ve esnek boru yük dağılım farklarını görebilmek amacıyla; boru üzerine etkiyen yükler yanında sonlu elemanlar analiziyle elde edilen verilerle yan dolgu yükleri de hesaplanmıştır.

Tablo 8.5'te 12m'lik yol dolgusunun inşasından önce elde edilen beton boru yük hesapları tablo halinde verilmiştir.

Tablo 8.5: Beton Boru Yük Hesapları (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce)

Dolgu yok beton boru	Birim	Boru üzerine gelen yük	Yan dolguya gelen yük	Marston Yüğü
1/2 şev eğimli hendek	kN/m	212,61	194,69	351,58
1/2 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	208,47	191,32	351,58
1/3 şev eğimli hendek	kN/m	202,14	135,46	351,58
1/3 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	197,85	133,25	351,58
4m genişlik iksa ile	kN/m	194,97	56,39	272,09
4m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	192,51	54,60	272,09
5m genişlik iksa ile	kN/m	197,52	122,36	336,26
5m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	195,21	120,32	336,26
7m genişlik iksa ile	kN/m	209,59	289,08	351,58
7m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	206,22	286,65	351,58

Tablo 8.6'da ise 12m'lik yol dolgusunun inşasından sonra elde edilen beton boru yük hesapları verilmektedir. HDPE boru yük hesapları da iki tablo olarak yer almaktadır; dolgunun inşasından önce hesaplanan yükler Tablo 8.7'de, dolgu inşasından sonra hesaplanan yükler ise Tablo 8.8'de görülmektedir.

Tablo 8.6: Beton Boru Yük Hesapları (12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra)

Dolgu var beton boru	Birim	Boru üzerine gelen yük	Yan dolguya gelen yük
1/2 şev eğimli hendek	kN/m	961,40	1047,96
1/2 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	958,76	1044,67
1/3 şev eğimli hendek	kN/m	969,83	861,31
1/3 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	965,66	859,35
4m genişlik iksa ile	kN/m	1004,64	357,44
4m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	1002,32	354,47
5m genişlik iksa ile	kN/m	983,33	698,98
5m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	981,25	696,29
7m genişlik iksa ile	kN/m	944,85	1394,31
7m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	941,25	1390,56

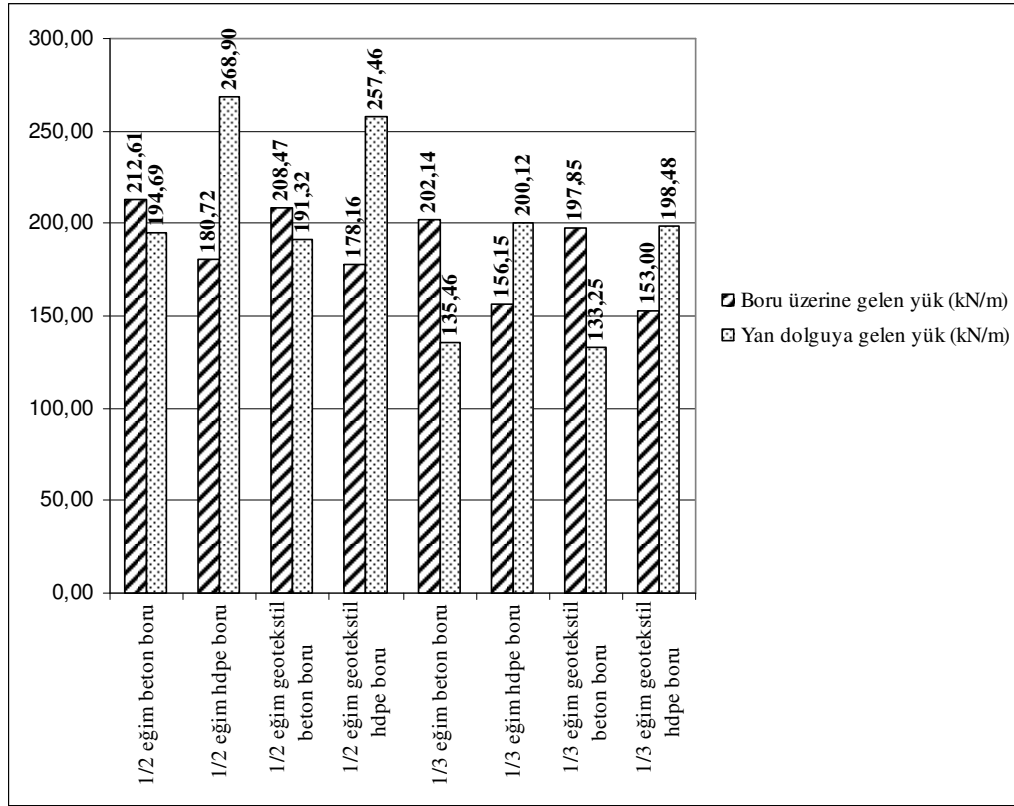
Tablo 8.7: HDPE Boru Yük Hesapları (12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce)

Dolgu yok HDPE boru	Birim	Boru üzerine gelen yük	Yan dolguya gelen yük	Marston Spangler Yüğü
1/2 şev eğimli hendek	kN/m	180,72	268,90	240
1/2 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	178,16	257,46	240
1/3 şev eğimli hendek	kN/m	156,15	200,12	240
1/3 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	153,00	198,48	240
4m genişlik iksa ile	kN/m	146,28	85,65	240
4m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	144,15	82,32	240
5m genişlik iksa ile	kN/m	159,87	174,45	240
5m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	156,65	171,85	240
7m genişlik iksa ile	kN/m	181,30	379,83	240
7m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	179,26	375,63	240

Tablo 8.8: HDPE Boru Yük Hesapları (12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra)

Dolgu var HDPE boru	Birim	Boru üzerine gelen yük	Yan dolguya gelen yük
1/2 şev eğimli hendek	kN/m	838,27	1254,07
1/2 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	836,35	1240,15
1/3 şev eğimli hendek	kN/m	852,92	1035,47
1/3 şev eğimli hendek geotekstil	kN/m	848,02	1033,29
4m genişlik iksa ile (*)	kN/m	416,65	245,18
4m genişlik iksa ile geotekstil (**)	kN/m	586,62	338,48
5m genişlik iksa ile	kN/m	832,32	864,43
5m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	830,25	860,12
7m genişlik iksa ile	kN/m	794,27	1686,36
7m genişlik iksa ile geotekstil	kN/m	791,69	1683,26
(*) HDPE boru yerleştirilmesi esnasında üçüncü kademe dolgu (6m) yüklenirken sistemin göçtüğü andaki değerlerdir.			
(**) HDPE boru yerleştirilmesi esnasında beşinci kademe dolgu (10m) yüklenirken sistemin göçtüğü andaki değerlerdir.			

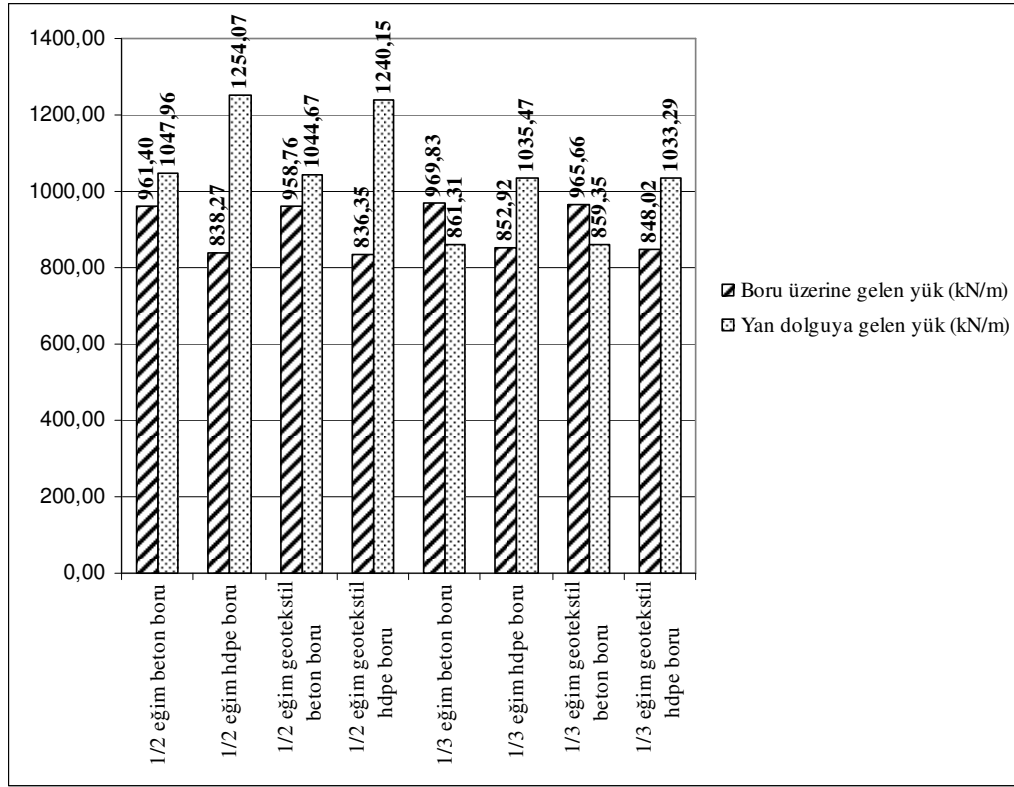
Eğimli hendek analizlerinde hesaplanan yükler Şekil 8.7’de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 8.7: Eğimli Hendek Açılarak Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce)

Şekil 8.7’de ki grafikten de anlaşılacağı üzere eğimli hendek içerisine yerleştirilmiş borunun, yol dolgusunun inşasından önce; 1/3 şev eğimiyle açılan hendeğin, şev eğimiyle açılan hendeğe göre üst genişliği daha dar olduğundan daha az yüke maruz kaldığı görülmektedir. Eğimli hendek analizlerinde; hendek genişliğinin değişimi daha az olduğundan, bu değişim iksa ile açılan hendeğe boru yerleştirilmesi analizlerinde daha belirgin olarak elde edilmiştir. Grafikte eğimli hendek içerisine yerleştirilen geotekstilin boruya etkileyen yükü azaltma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Rijit boru olan beton borunun üzerine gelen yükü, esnek boru olan HDPE boruyla karşılaştırıldığında beton borunun daha fazla yük aldığı görülmektedir. Yan dolgu yükleri karşılaştırıldığında ise HDPE boruya etkileyen yüklerin beton borudan daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

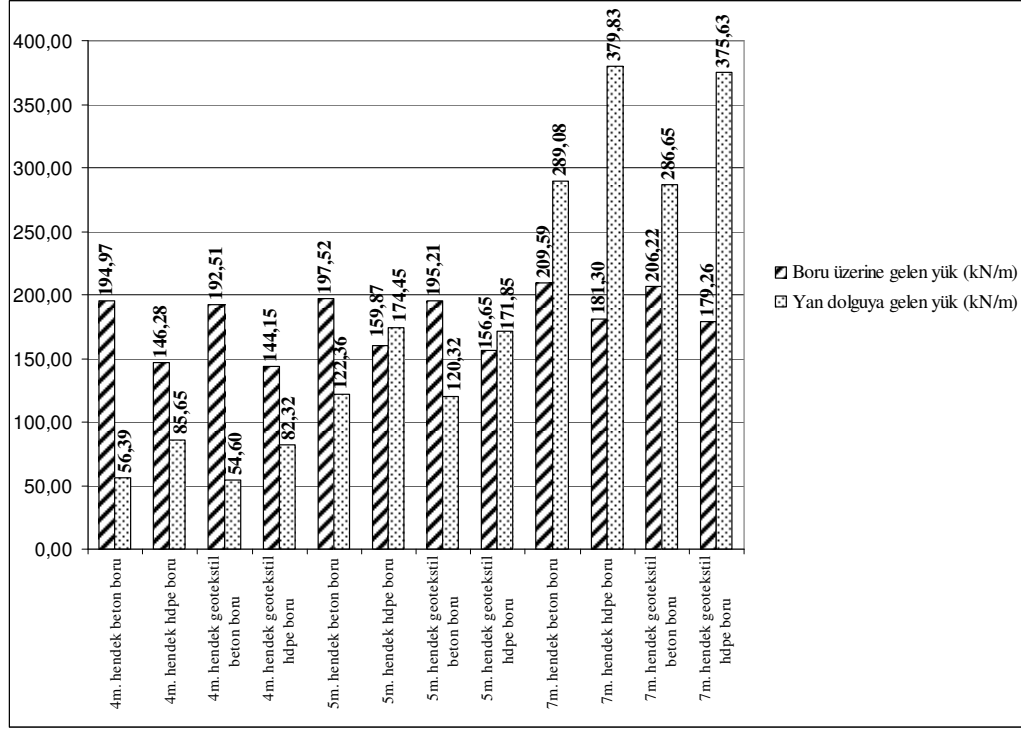
Yol dolgusunun inşasından sonra eğimli hendek içerisine yerleştirilmiş boruya etkiyen yükler Şekil 8.8’de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 8.8: Eğimli Hendek Açılarak Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m’lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra)

Eğimli hendek içerisine yerleştirilen boruya etkiyen yükler 12m’lik yol dolgusu inşa edildikten sonra Şekil 8.8’de ki grafikten de anlaşılacağı gibi artış eğilimine geçmiştir. Boru hattı daha fazla yüke maruz kalmıştır. Dolgu inşasından sonra; dolgu inşasından önce elde edilen sonuçların tam tersine daha dar hendek olan 1/3 şev eğimli hendekteki boruya daha fazla yük etkimiştir. Geotekstil, yol dolgusunun inşasından sonra da yükleri azaltma eğilimdedir. Beton boru ve HDPE boruya etkiyen yüklerde artış olmasına rağmen, yüklerin dağılımında bir değişiklik olmamıştır. Beton boru üzerine daha fazla yük etkimekte, HDPE boruda da yan dolgu yükü beton boruyla karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

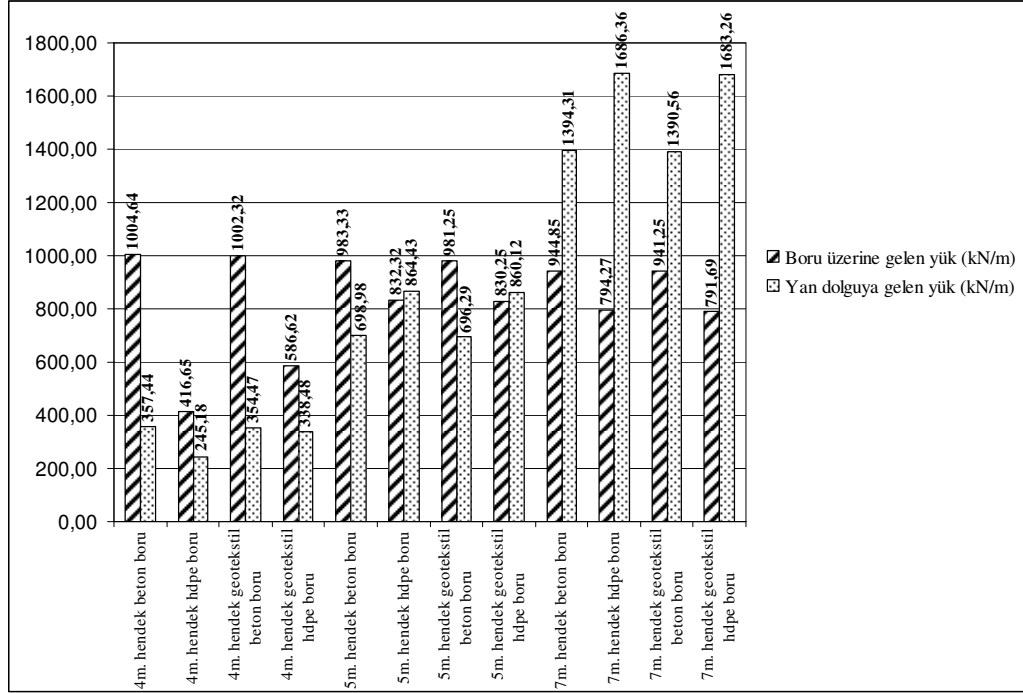
İksa ile açılan hendeğe yerleştirilen boru analizlerinde; dolgunun inşasından önce hesaplanan yükler Şekil 8.9’da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 8.9: İksa İle Açılan Hendeğe Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Önce)

Eğimli hendek içerisine yerleştirilen borulara etkiyen yüklerle karşılaştırıldığında; iksa ile yerleştirilen borulara etkiyen yüklerde, hendek genişliğinin değişimi ile boruya etkiyen yüklerin davranışı daha net biçimde gözlemlenebilmiştir. Şekil 8.9'da ki dolgunun inşasından önce yapılan analizlere ait grafiğe bakıldığında dar hendekte bulunan boruya daha az yük etkidiği, daha geniş hendekte ise daha fazla yük etkidiği gözlemlenmiştir. Hendek içerisine uygulanan geotekstil yükleri azaltma eğilimi göstermektedir. Beton borunun yükleri yan dolgulara aktarmadığı, HDPE borunun ise yükleri yan dolgulara aktardığı anlaşılmaktadır.

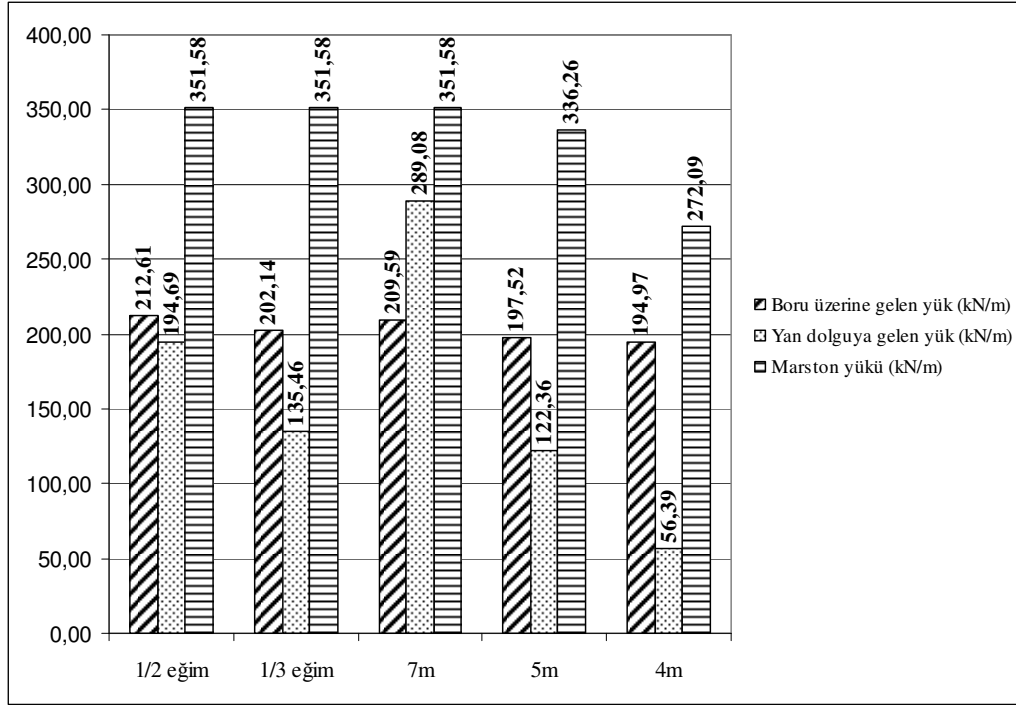
Yol dolgusunun boru davranışına etkisini görebilmek amacıyla; iksa ile açılan hendeğe yerleştirilen borunun, yol dolgusunun inşasından sonra yapılan analizlerde elde edilen sonuçlarla hesaplanan yükler Şekil 8.10'da verilmiştir.



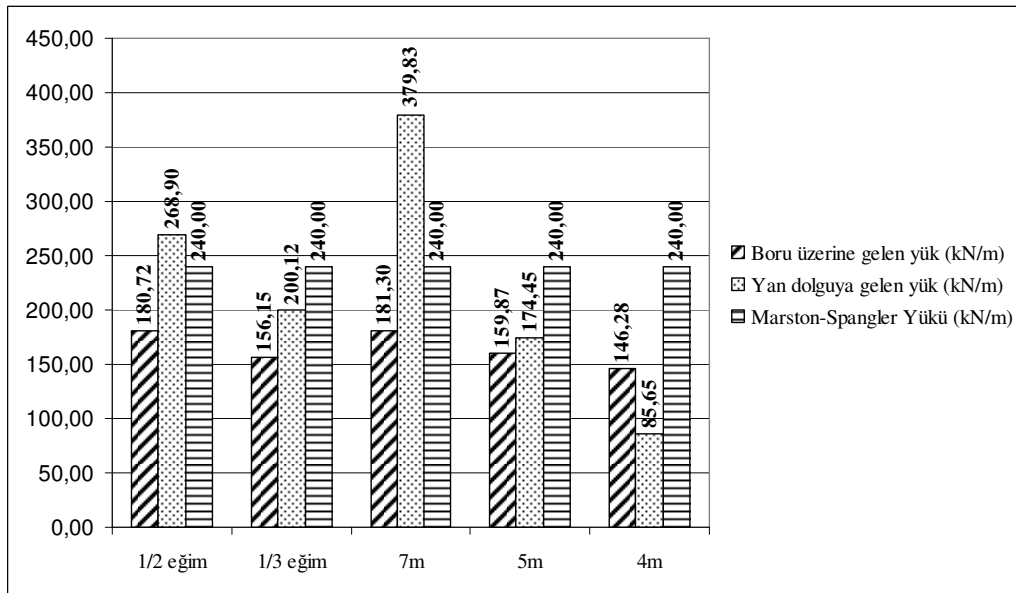
Şekil 8.10: İksa İle Açılan Hendeğe Borunun Yerleştirilmesi Yük Hesabı Karşılaştırılması Grafiği (12m'lik Yol Dolgusunun İnşasından Sonra)

Şekil 8.10'dan da görüldüğü üzere rijit boru ve esnek boru davranışları diğer analizlerde elde edilen sonuçlarla aynı eğilimi göstermiştir. Hendek içerisine uygulanan geotekstilin yükleri azaltma eğilimi bu analizde de görülmüştür. Ancak yol dolgusunun inşasından önce görülen hendek genişliği arttıkça boruya etkiyen yüklerin artışı eğilimi dolgunun inşası tamamlandığında tam tersine dönerek dar hendekte daha fazla yük, geniş hendekte daha az yük elde edilmiştir. Yan dolgu yükünün değişiminde bir değişiklik olmamış artan hendek genişliğinde yan dolgu yükü de artma eğilimi göstermiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlardan hesaplanan yüklerin, elle hesaplanan Marston yükleri ile karşılaştırmak amacı ile dolgunun inşasından önceki durum esas alınmıştır. Marston yük hesaplarında hendek durumu kullanılmıştır. Şekil 8.11'de beton borunun yük hesaplarının karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Şekil 8.12'de ise HDPE borunun yük hesap sonuçları grafik olarak verilmektedir.



Şekil 8.11: Beton Boru Yük hesapları Karşılaştırılması



Şekil 8.12: HDPE Boru Yük Hesapları Karşılaştırılması

Hesaplanan yüklerin karşılaştırılmasında elle hesaplanan Marston yükü temel alınmaktadır. ‘Marston Yük Teoremi’nde borunun üzerindeki yük hesaplandığı için sonlu elemanlar analizinde elde edilen boru üzerindeki yükler, Marston yükü ile karşılaştırılmalıdır. Şekil 8.11 incelendiğinde boru üzerine gelen yük ile Marston

yükünün arasındaki farklar görülmektedir. 'Marston Yük Teoremi' ile hesaplanan yüklerin Plaxis ile elde edilen yüklerden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Marston yük teoreminde kohezyon ihmal edildiğinden daha yüksek değerler ortaya çıkmıştır. Şekil 8.12'de de Marston yük teoremi ile hesaplanan yüklerin sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan yüklerden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Borunun mukavemeti ve proje aşamasında borunun üzerine gelen yüklere göre boru parametreleri seçileceğinden; sonlu elemanlar analizinde bulunan değerler ile Marston yük teoreminden hesaplanan yüklerin ortalamasının boru üzerindeki yük olarak alınması hem ekonomik hem de güvenli bir analize ve tasarıma sebep olacaktır.

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

İncelenen problemde, yumuşak orta katı kil ve orta katı kilden meydana gelen zemin profilinin yumuşak orta katı kil bölümüne boru hattı yerleştirilmiş ve doğal zemin yüzeyi üzerine 12m yüksekliğinde yol dolgusu inşa edilip boru hattının davranışları gözlemlenmiştir.

Yol dolgusunun geosentetik donatısız olarak yerleştirilmesi esnasında altıncı 2m yüksekliğindeki dolgu kademesi yüklenirken sistemde göçme meydana geldiğinden, yol dolgusuna geotekstil uygulamaları yapılmıştır. Yol dolgusunun stabilitesini arttırmak amaçlı uygulanan geotekstilin, sistemde gerçekleşen oturmaları azaltıcı bir rol oynadığı ve yol dolgusunun şev stabilitesini sağlayarak güvenlik sayısı değerinde de artış meydana getirdiği görülmüştür. Doğal zemin yüzeyinin kazılmasının ardından kazılan bölüme kum yastık yerleştirildikten sonra, yol dolgusunun kademeli olarak geotekstil serilmesi suretiyle uygulanmasının, şev stabilitesini kum yastık kullanılmadan yapılan geotekstil uygulamalarına göre daha fazla arttırdığı görülmüştür.

Boru hattının yerleştirilmesinde yataklama şeklini belirlemek için yapılan analizlerde; gömlek malzemesinin ve geri dolgunun değişik malzemelerden oluşturulmasıyla elde edilen analiz sonuçlarına göre; geri dolgunun orta sıkı kumdan, gömlek malzemesinin ise kum çakıldan oluşturulduğu modelde boruya etkileyen kuvvetler azalmıştır. Yapılan analizlere göre; gömlek malzemesinin yüksek elastisite modülü ve yüksek birim hacim ağırlık değerlerine sahip malzemedan, geri dolgunun ise düşük elastisite modülü ve düşük birim hacim ağırlık değerlerine sahip malzemedan seçilmesi, boru hattına etkileyen eksenel kuvveti arttırmasına karşın kesme kuvveti ve moment değerlerini azaltmaktadır. Gömlek malzemesinin elastisite modülünün arttırılması ise boru hattına etkileyen eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerleri düşürmektedir.

Hem eğimli şev içerisine, hem de iksa yöntemiyle açılan hendek içerisine yerleştirilen boru hattı analiz sonuçlarında yol dolgusunun inşasından önce, hendek genişliği azaldıkça boru hattına etkiyen aksenal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerleri de azalmıştır. Yol dolgusunun inşasından sonra negatif kemerlenme dolayısıyla, yol dolgusu inşa edilmeden önce elde edilen sonuçların tersi oluşarak daha dar hendek içerisine yerleştirilen boru hattında elde edilen aksenal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerleri daha geniş hendek içerisine yerleştirilen boru hattında elde edilen değerlere göre daha yüksek değerler almıştır.

Rijit boru ve esnek boru davranışlarını gözlemlemek için hiçbir koşul değiştirmemek suretiyle yalnızca boru tipinin değiştirildiği; rijit boru olarak beton borunun, esnek boru olarak HDPE borunun kullanıldığı analizlerde beton boruya etkiyen aksenal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerlerinin HDPE boruya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Boru davranışına etkilerini gözlemlemek amacıyla hendek içerisine geotekstil yerleştirildiğinde, boru hattına etkiyen yükler ile aksenal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerlerinin azalmakta olduğu görülmüştür.

Sonlu elemanlar yöntemi ve 'Marston Yük Teorisi' yardımıyla iki farklı biçimde boru hattına etkiyen yükler hesaplanarak, elde edilen değerler birbiriyle karşılaştırılmıştır. PLAXIS programında yapılan analizler sonucunda borunun üzerine gelen yükler ile yan dolguya gelen yükler hesaplanmıştır. Beton borularda boru üzerine etkiyen yükün, yan dolguya etkiyen yükten daha yüksek değerler aldığı, HDPE borularda ise yan dolguya etkiyen yükün, boru üzerine etkiyen yükten daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Elde edilen yük hesapları karşılaştırılarak 'Marston Yük Teorisi' ile hesaplanan boru üzerindeki yükler, PLAXIS programıyla hesaplanan yüklerden daha yüksek değerler aldığı görülmüştür.

9.2 İleriki Çalışmalar İçin Öneriler

Yumuşak zeminlere inşa edilen dolgularda oluşan deplasmanların sorun yarattığı bilinmektedir. İleriki çalışmalarda, sistemde oluşan deplasmanları azaltıcı yönde araştırmalar yapılarak dren kazıkları, taş kolon uygulamaları gibi değişik zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanılması ve uygulanan iyileştirme yöntemlerinin analiz sonuçları ile yol dolgusu altında yer alan boru hattı davranışlarının da göz önünde bulundurularak karşılaştırılması yararlı olacaktır.

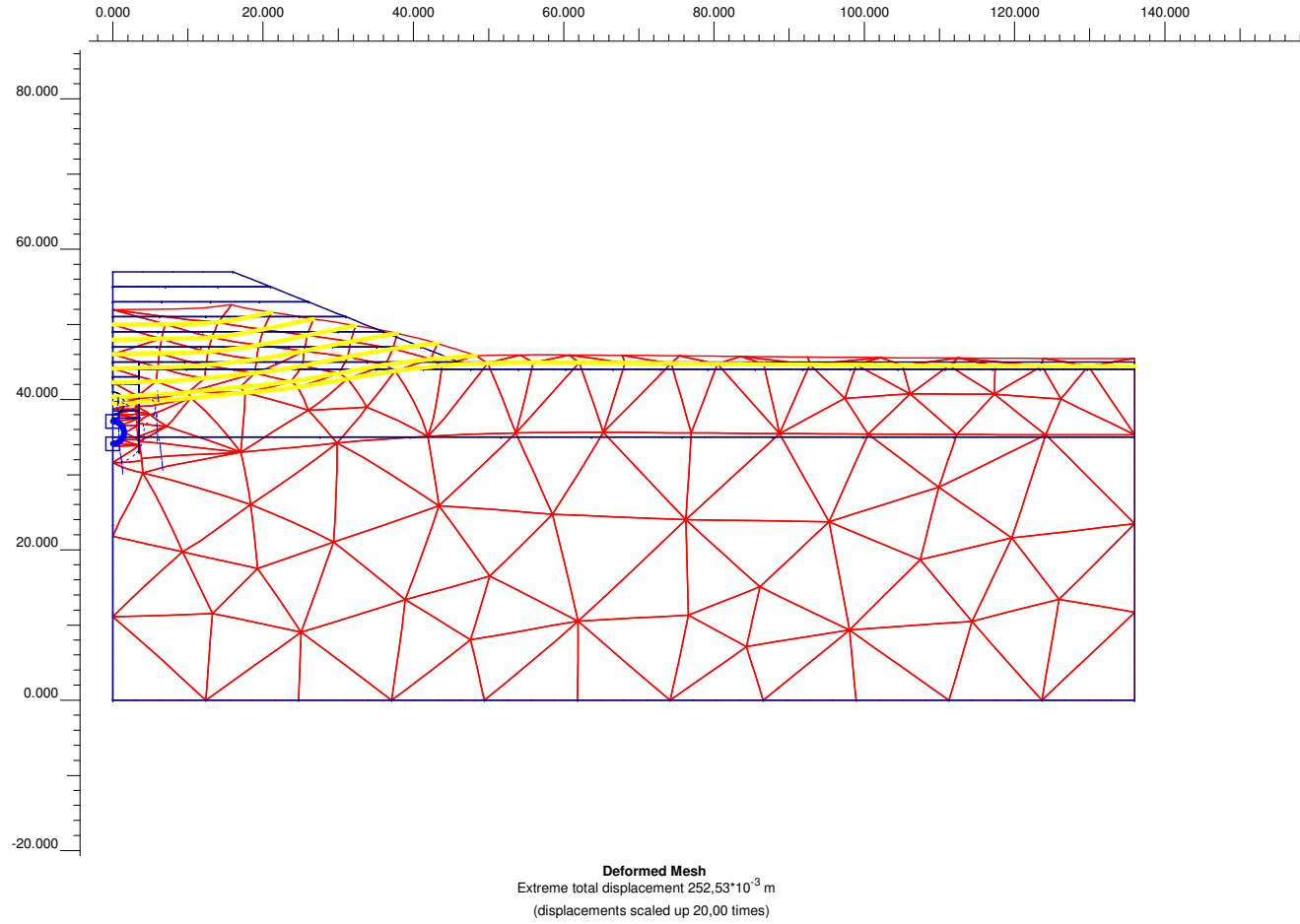
KAYNAKLAR

- [1] **Afatoğlu, H.A.**, 2004. Yumuşak Kil Zemine Oturan Kum Dolgunun Taşıma Gücü Güvenliğinin Geotekstiller ve Taş Kolonlarla Arttırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Aksoy, İ. M.**, 1993. Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **ASTM-D4833**, 1991. Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembrans and Related Products, *American Society of Testing Materials*.
- [4] **Babbitt, H.E., Donald, J.J. and Cleasby, J.L.**, 1962. Water Supply Engineering, McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York.
- [5] **Balkaya, M.**, 2002. Zemine Gömülü Boruların Mühendislik Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Baret, B., Ruckman A., Richardson G.**, 1998. Geotextile Reinforced Retaining Walls Using Granular Backfills, Geotechnical Fabrics Report.
- [7] **Chai, J., Bergado, D.T.**, 1993. Performance of Reinforced Embankment on Muar Clay Deposit, Soils and Foundation.
- [8] **Das, B.M.**, 1999. Principles of Foundation Engineering Fifth Edition, PWS Pub. Pacific Grove, California, U.S.A.
- [9] **Das, B.M.**, 2001. Principles of Geotechnical Engineering Fifth Edition, PWS Pub. Pacific Grove, California, U.S.A.
- [10] **Değirmenci, G.**, 1997. Zemine Gömülü Borulara Etkiyen Güçler, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Ece, E.**, 1998. Zemin-Boru Etkileşimi ve Gömülü Rijit Borular Üzerindeki Toprak Yükleri İle İlgili Karşılaştırmalı Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Fernando, N.S.M. and Carter, J.P.**, 1998. Elastic Analysis of Buried Pipes Under Surface Patch Loadings, *ASCE*, **124**, 720-728.

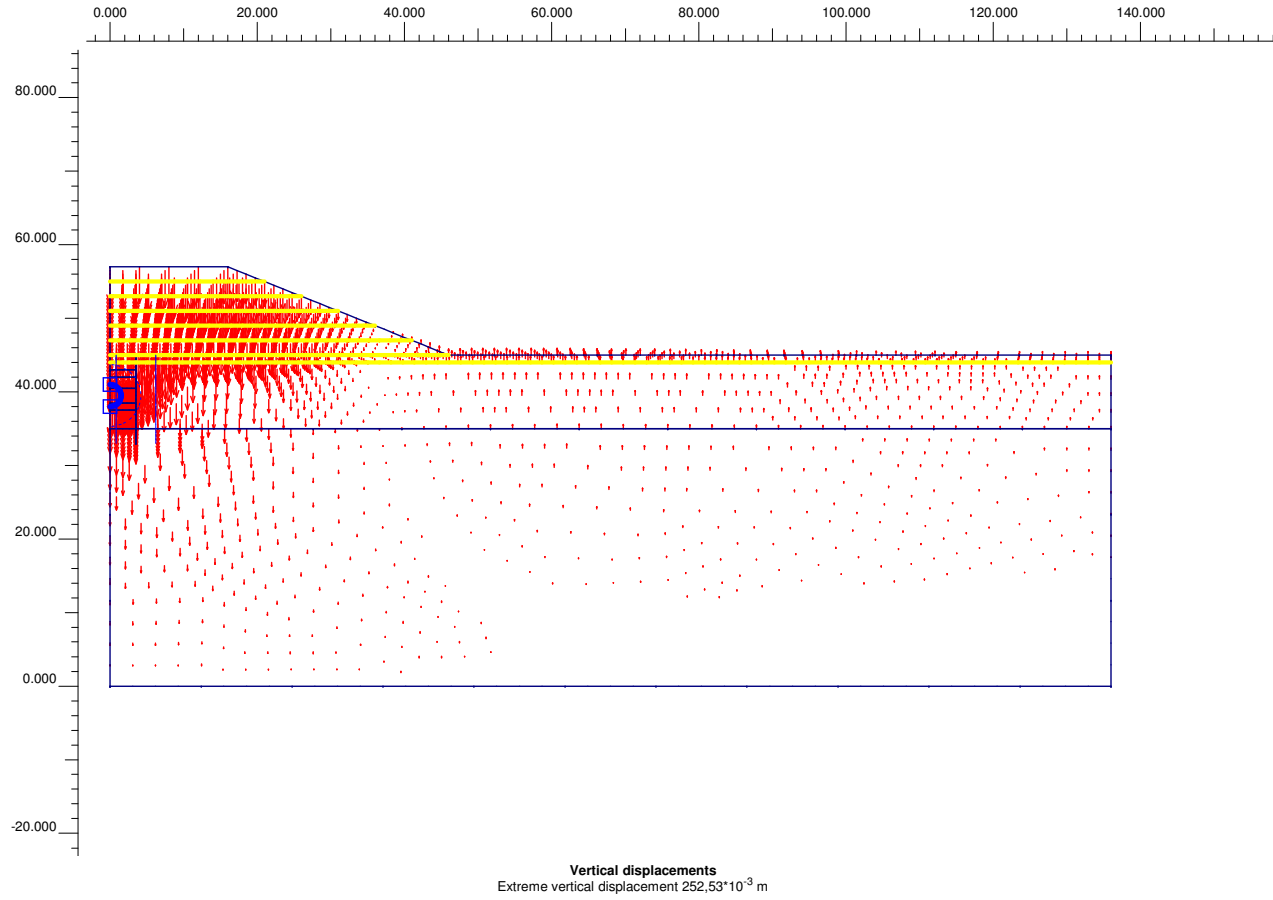
- [13] **Gerard, P.T.M.**, 1995. Geosynthetics In Civil Engineering, A.A. Balkema, Rotterdam.
- [14] **Güler E.**, 1987. Şev Stabilizasyonunda Yeni Bir Malzeme: Geotekstil, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Ulusal Kongresi, İstanbul.
- [15] **Holtz, R.D.**, 2001. Geosynthetics For Soil Reinforcement, J. Buchanan Lecture.
- [16] **Horvath, J. S.**, 1995. “Geofoam Geosynthetic”, Horvath Engineering, P.C., Scarsdale, N.Y., USA, 217.
- [17] **Jewell, R.A.**, 1996. Soil Reinforcement With Geotextile, Construction Industry Research and Information Association, London.
- [18] **John, N.W.M.**, 1987. Geotextiles, Blackie Son Ltd, Glasgow, London.
- [19] **Koerner, R.M.**, 1990. Designing With Geosynthetics, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- [20] **Leonards, G.A.**, 1962. Foundation Engineering, McGraw-Hill, New York.
- [21] **Moser, A.P.**, 1990. Buried Pipe Design, McGraw-Hill, New York.
- [22] **Muslu, Y.**, 1998. Çözümlü Problemlerle Su Temini ve Çevre Sağlığı, Su Vakfı, İstanbul.
- [23] **Ortigao, J.A. and Sayao F.J.**, 2004. Handbook Of Slope Stabilisation, Springer, New York.
- [24] **Özener, A.**, 2001. Geotekstil Donatılı Şevlerin ve İstinat Yapılarının Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] **Sarıkaya, H.Z. ve Koyuncu, I.**, 1999. Evaluation of Kocaeli Earthquake on Water and Wastewater Systems, ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake, İstanbul.
- [26] **Secugrid Manual.**, 2001. Reinforcement with Geosynthetics, Examples of Applications and Design, BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Luebbecke.
- [27] **Shukla, S.K.**, 2002. Geosynthetics and Their Applications, Thomas Telford, London.

- [28] **Spangler, M.G.**, 1948. Underground Conduits-An Appraisal of Modern Research, *ASCE*, **113**, 316-374.
- [29] **Spangler, M.G.**, 1966. Soil Engineering, International Textbook Company, Scranton.
- [30] **Trautmann, C.H. and O'Rourke, T.D.**, 1985. Lateral Force Displacement Response of Buried Pipe, *ASCE*, **111**, 1077-1092.
- [31] **Türkmen, S.**, **1978**. Gömülü Borulara Etkiyen Yükler, *İller Bankası Dergisi Ocak Sayısı*, 18-30.
- [32] **Wasti, Y.**, 1992 Geotekstillerin Kullanımı ve Seçim Esasları, Vateks A.Ş. Teknik Yayınları.
- [33] **Yetimoğlu, T.**, 1991. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstilller, *Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği Türk Komitesi Bülteni*, İstanbul.
- [34] **Yılmaz, H. R., Eskişar, T., Aklık, P.**, 2005. Geofam Malzemesinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanım Alanları ve Önemi Üzerine Bir İnceleme, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, **123**, 14-19.
- [35] **Zanten, R.V.V.**, 1986. Geotextiles and Geomembranes In Civil Engineering, J. Wiley, New York.
- [36] <http://analiz.infotron.com.tr/faq.php>
- [37] http://www.cpm-group.com/tech_pipeline-design.htm
- [38] http://www.dogusanboru.com/index_products.html
- [39] <http://www.imo.org.tr/Yayinlar/tmh/tmh430/MSNalcakan.pdf>
- [40] <http://www.istanbulteknik.com/2002/index.html>
- [41] <http://www.ocpa.com/manual/index.htm>

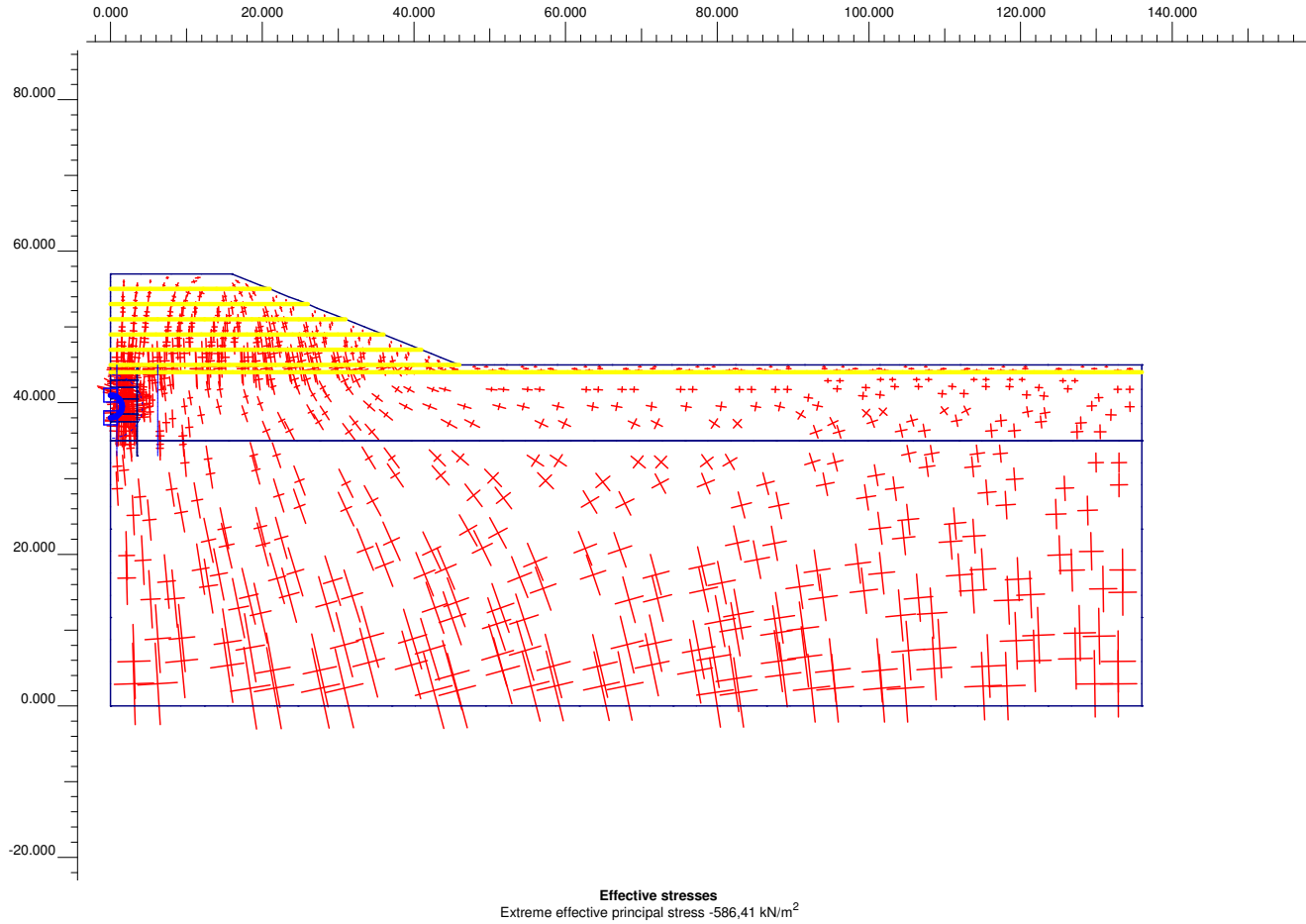
EK A



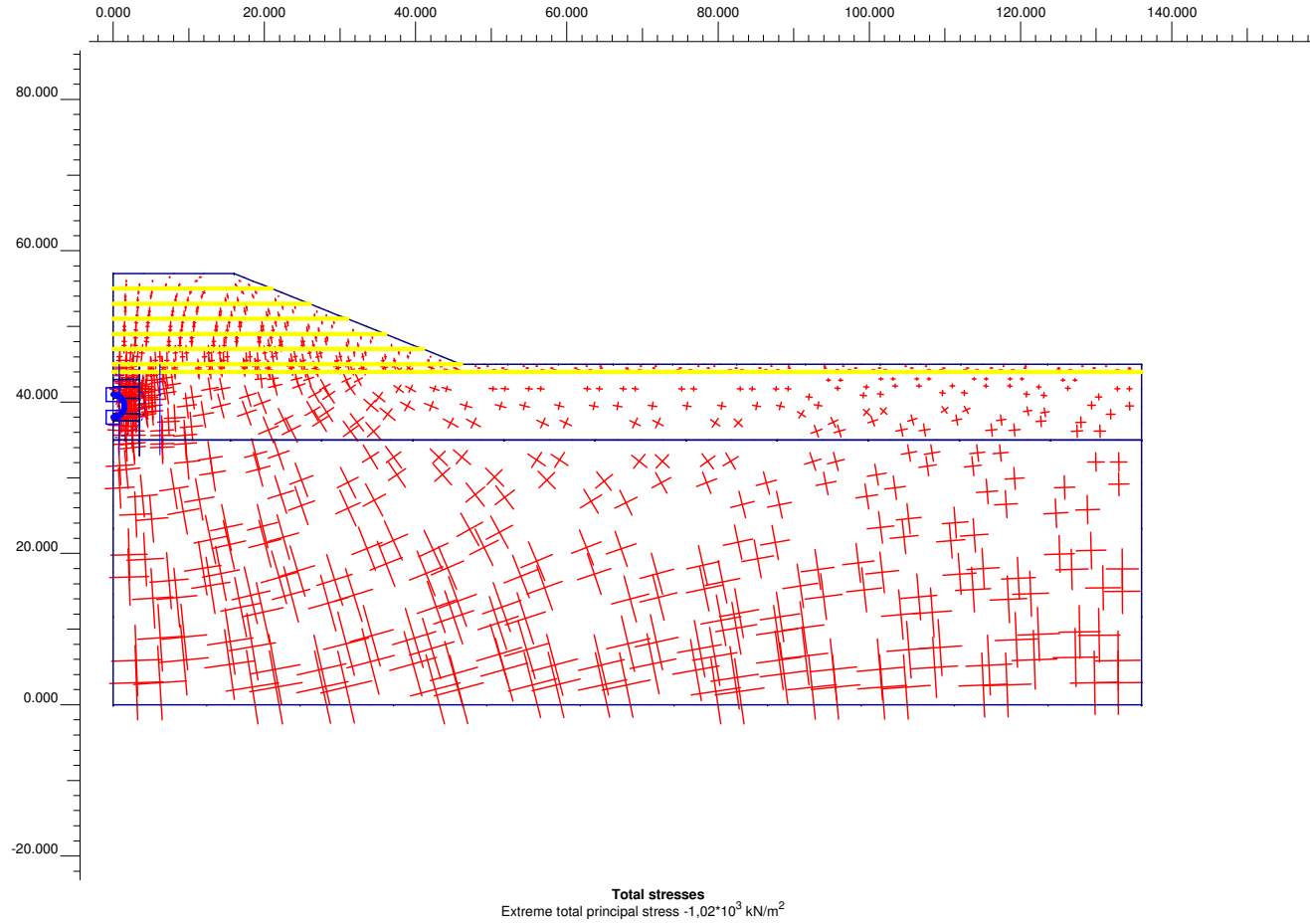
Şekil A1.1: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Deformasyondan Sonra Sonlu Eleman Ağı



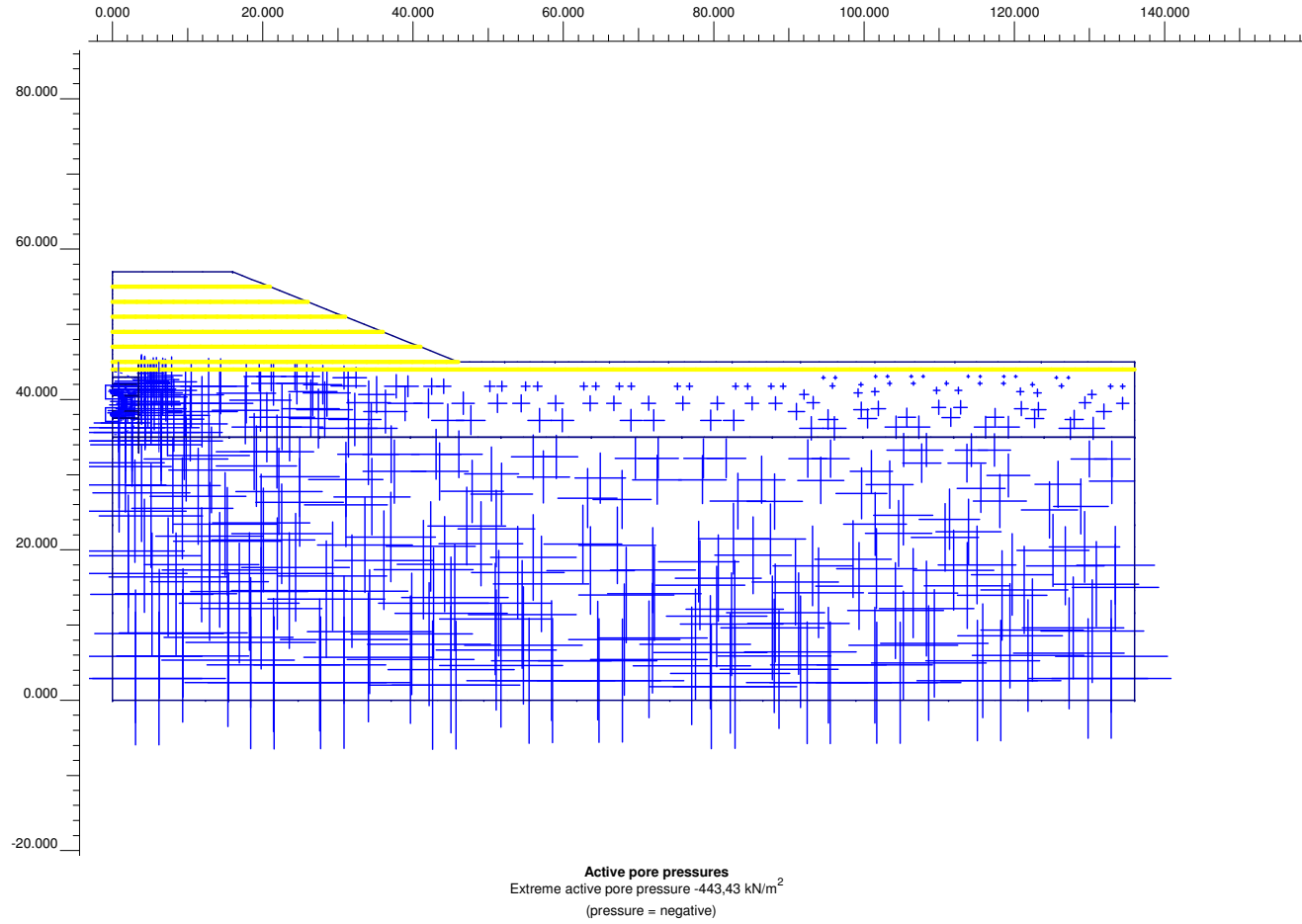
Şekil A1.2: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Düşey Deplasmanlar



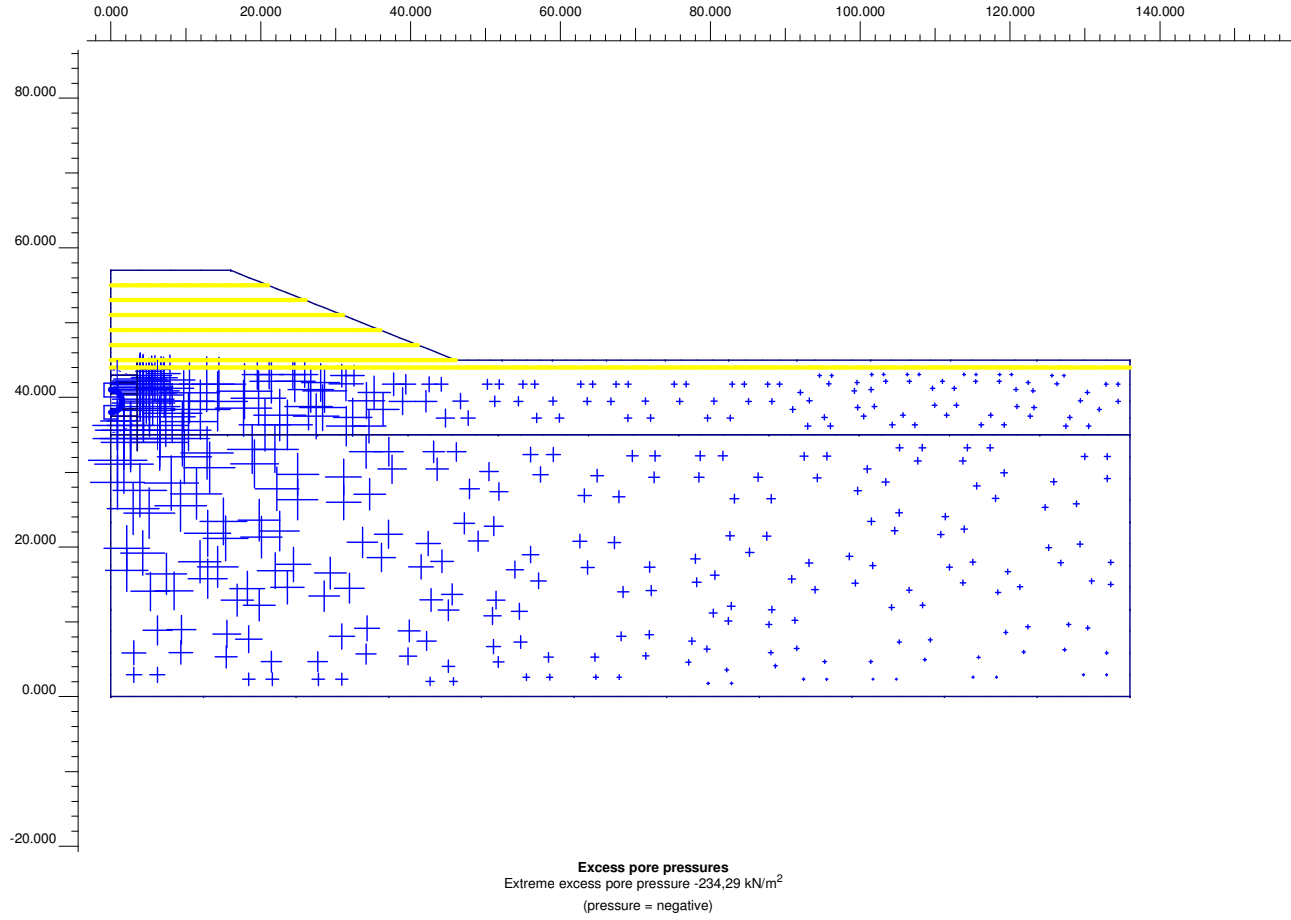
Şekil A1.3: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Efektif Gerilmeler



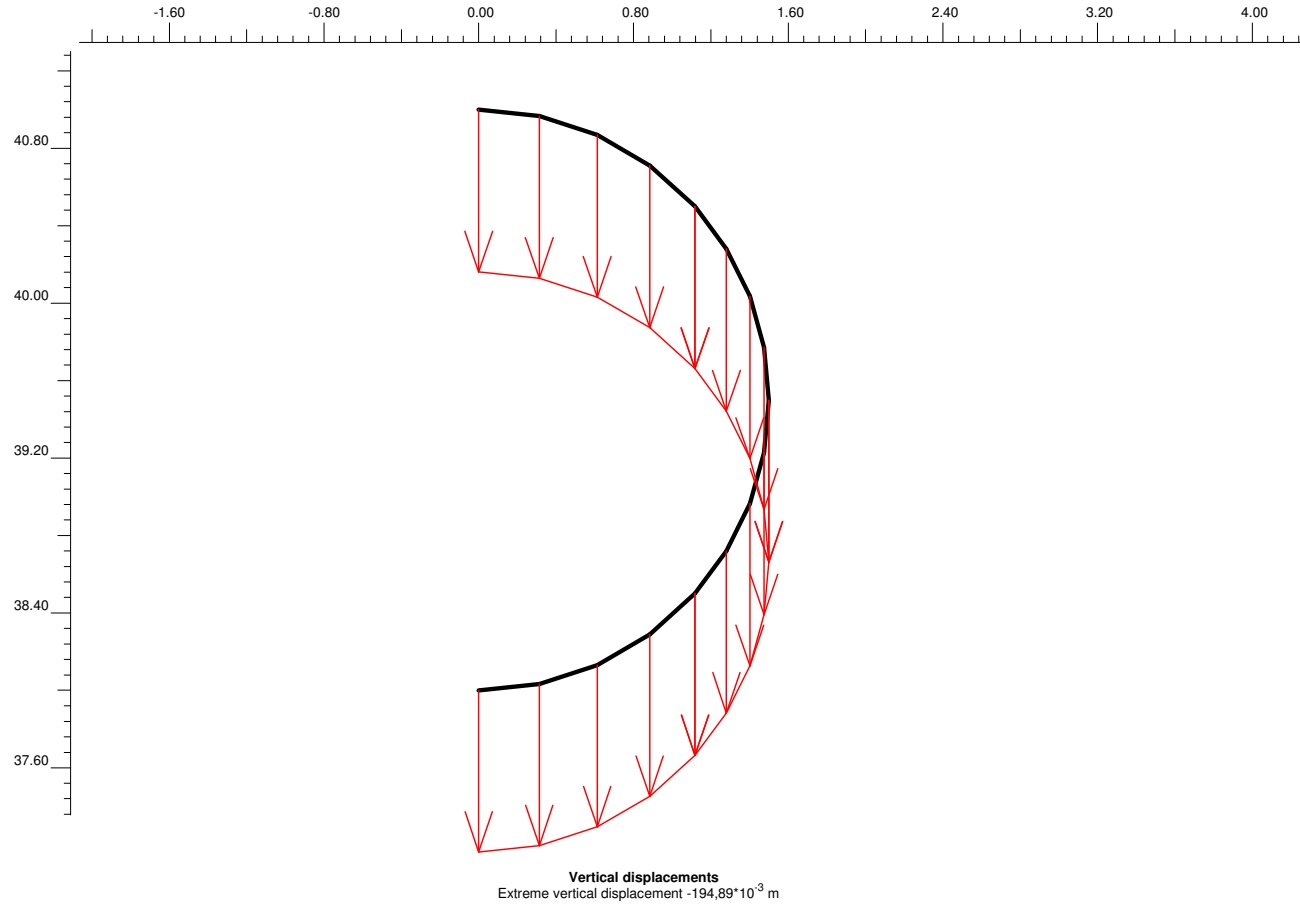
Şekil A1.4: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Toplam Gerilmeler



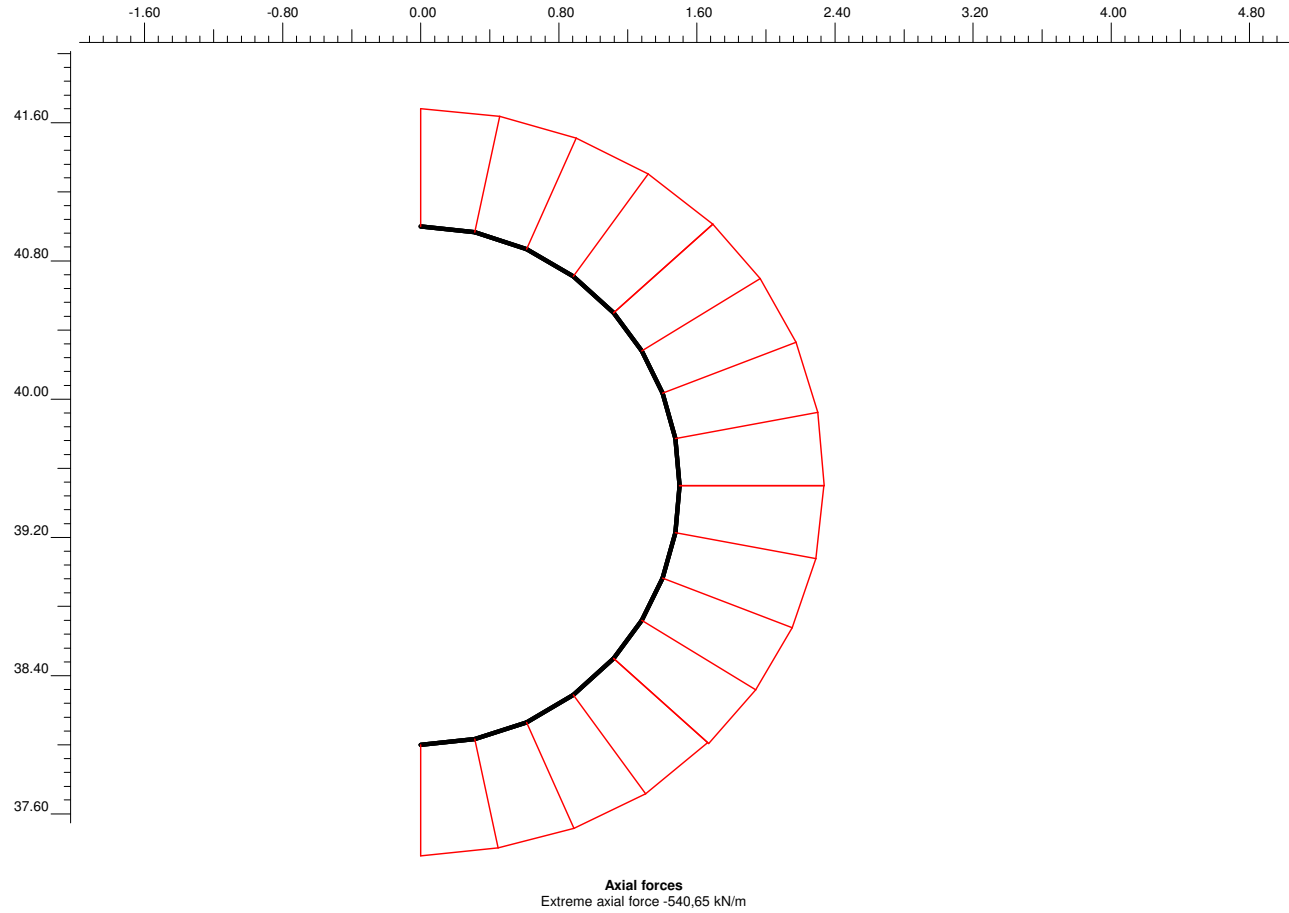
Şekil A1.5: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Aktif Boşluk Suyu Basınçları



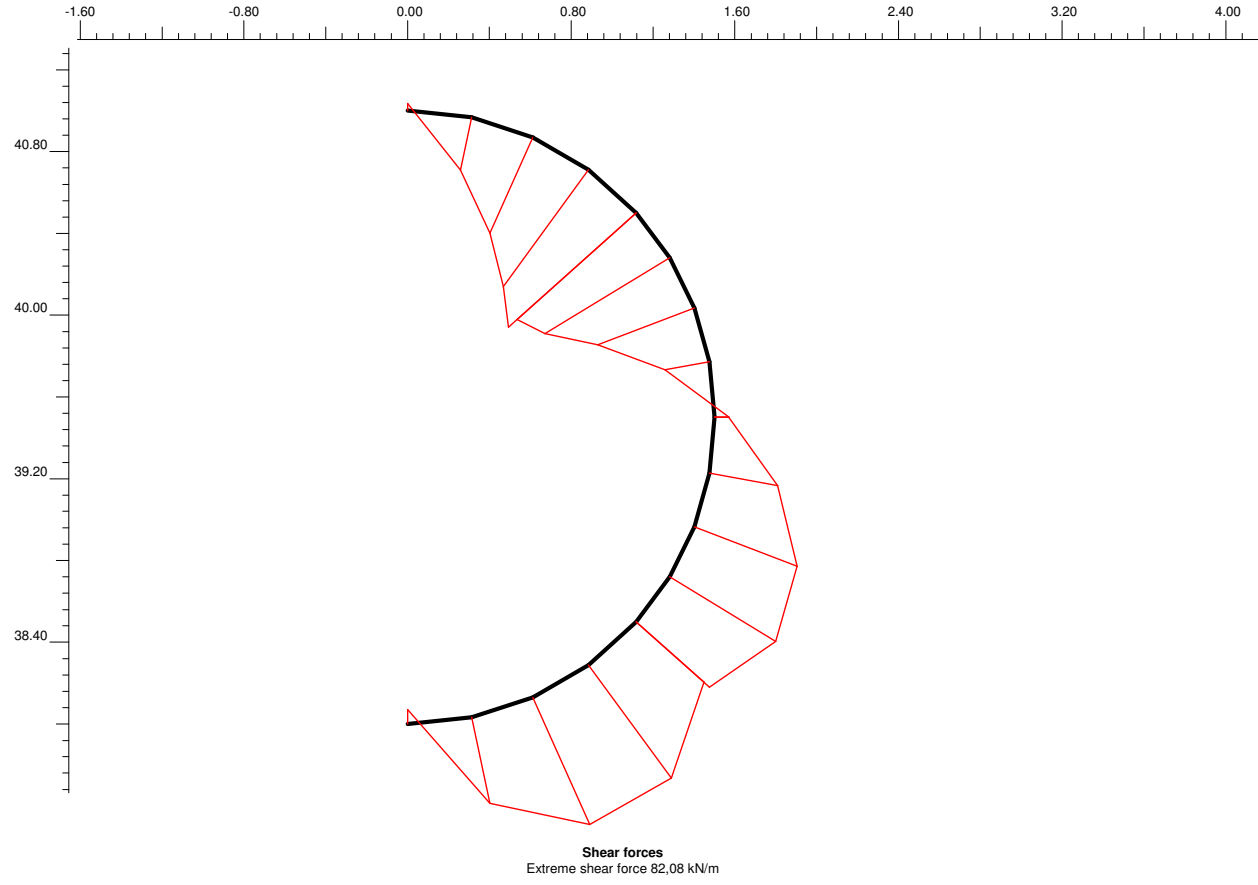
Şekil A1.6: 7m Genişlikte Hendek Sistemin Analiz Sonuçları, Artık Boşluk Suyu Basıncı



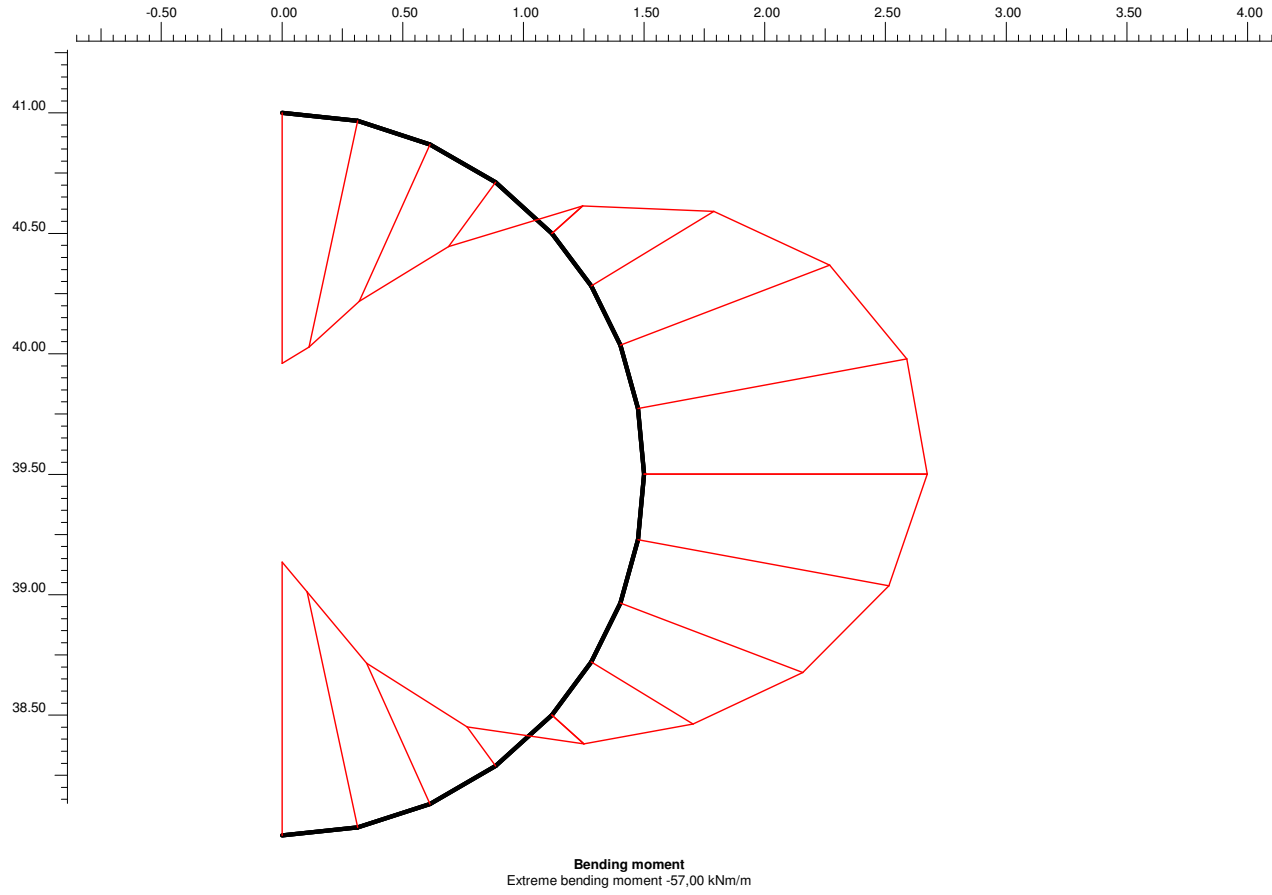
Şekil A1.7: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Düşey Deplasmanlar



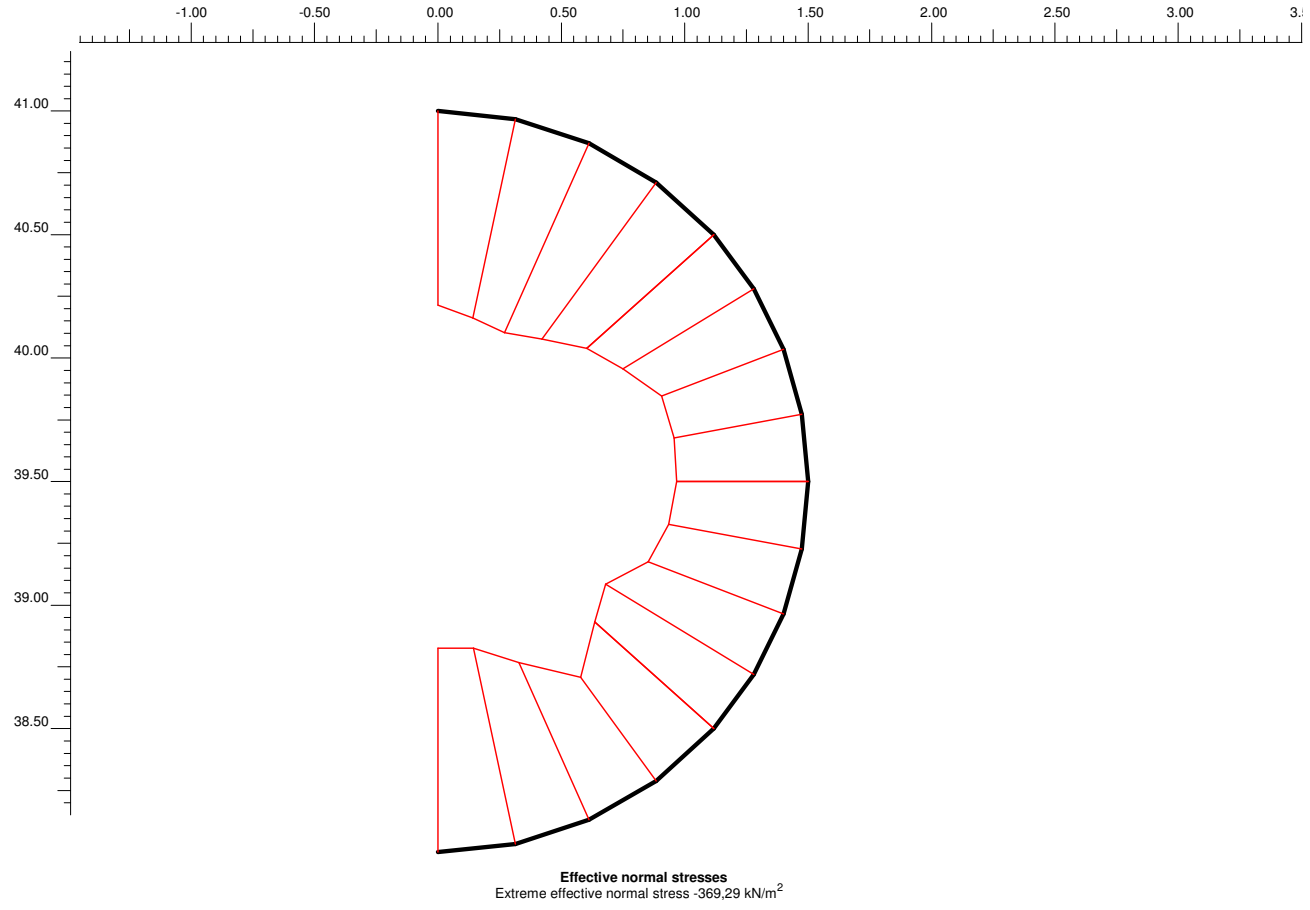
Şekil A1.8: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Eksenel Kuvvetler



Şekil A1.9: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Kesme Kuvveti



Şekil A1.10: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Eğilme Momenti



Şekil A1.11: 7m Genişlikte Hendek Borunun Analiz Sonuçları, Efektif Normal Gerilmeler

ÖZGEÇMİŞ

05 Kasım 1980 yılında İstanbul'da doğdu. Ortaöğrenimini Değirmendere Atatürk Ortaokulu'nda, Lise öğrenimini İzmit Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 2004 yılında bölümünden mezun olduktan sonra aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.