

**ÇELİK VE KOMPOZİT BORULARIN ÇARPMA DAVRANIŞI
VE KORUYUCU YAPILARIN ETKİLERİ**

Onur GEZER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2012

ANKARA

Onur GEZER tarafından hazırlanan “ÇELİK VE KOMPOZİT BORULARIN ÇARPMA DAVRANIŞI VE KORUYUCU YAPILARIN ETKİLERİ” adlı tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Özgür ANIL

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Özgür ANIL

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Ezgi GÜNAY

.....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih:/...../2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Onur GEZER

ÇELİK VE KOMPOZİT BORULARIN ÇARPMA DAVRANIŞI VE KORUYUCU YAPILARIN ETKİLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Onur GEZER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2012

ÖZET

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılan bu çalışmanın amacı çelik ve kompozit borulara gelen darbe kuvvetlerine karşı, farklı şekillerdeki tabakalı koruyucu yapıların enerji sönümleme yeteneklerinin dinamik test düzeneği yardımı ile incelenmesidir.

Çalışma kapsamında farklı şekillerde tasarlanmış tabakalı koruyucu bariyer tipi yapıların darbe kuvvetlerine karşı etkinliğinin ve enerji sönümleme yeteneğinin araştırılması yapılmıştır. Çalışmada özellikle geogrid ve geotekstillerin kullanımının ve granüler malzemenin rölatif sıklığının tabakalı yapının performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, yapı mekaniği laboratuvarında hazırlanmış bulunan sabit ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiş deneylerden dinamik deformasyon ve ivme ölçümleri yapılmıştır. Sabit ağırlık düşümünden dolayı ortaya çıkan enerji, ölçülecek dinamik deformasyon ile ilişkilendirilerek, tabakalı yapının etkinliği belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.143
Anahtar Kelimeler : Boru sistemleri, koruma yapıları, kaya düşmesi, darbe
Sayfa Adedi : 91
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Özgür ANIL

**THE IMPACT BEHAVIOR OF STEEL AND COMPOSITE PIPES AND
EFFECTS OF PROTECTIVE STRUCTURES**

(M. Sc. Thesis)

Onur GEZER

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2012**

ABSTRACT

In this study, an experimental investigation carried out to estimate the energy dissipation efficiency of multi layered systems designed for impact loadings. The study focused on examining the effects of reinforcement, use of geotextiles and geogrids, and the relative density of granular materials on the performance of the structure. For this purpose, model scale experiments conducted in the drop weight impact test setup constructed in the structural mechanics laboratory. The measured dynamic strain and stresses compared to the drop weight energy to measure the efficiency. The results can be used as a guide for the design of barrier structures, which are aimed to serve as protection measures for dynamic loadings such as rockfall.

Science Code : 911.1.143

Key Words : Pipe systems, protective structures, rock fall, impact

Page Number: 91

Adviser : Asst. Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, hocam Sayın Doç. Dr. Özgür ANIL'a, örnek çalışmalarından yararlandığım Sayın Dr. Erkan KANTAR'a, laboratuvar çalışmalarında emeklerini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Mahmut Cem YILMAZ'a ve laboratuvar sorumlusu Sayın Uzm. Faruk OGÜN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen Şube Müdürüm Sayın Dr. Murat Ali Hatipoğlu'na ve Malzeme temininde yardımlarını esirgemeyen Ümran Çelik Boru Sanayi A.Ş.'den Mehmet BIYIK beye teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca, her zaman yanımda olan ve kendisine ayıramadığım zamanlardan dolayı bana katlanan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşim Kevser GEZER'e ve tezimin her aşamasında desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ALTYAPI TESİSLERİ VE BORU HATLARI.....	7
2.1. Genel.....	7
2.2. Kullanılan Boru Türleri ve Özellikleri.....	8
2.2.1. Beton borular.....	8
2.2.2. Asbestli çimento borular.....	9
2.2.3. Font döküm borular.....	9
2.2.4. Çelik borular.....	10
2.2.5. PVC borular.....	10
2.2.6. HDPE borular.....	11
2.3. Boruların kullanım alanları.....	11
2.3.1. Temiz su hatları.....	11
2.3.2. Kanalizasyon hatları.....	12
2.3.3. Drenaj hatları.....	12

Sayfa

2.3.4. Gaz hatları.....	13
3. GEOSENTETİKLER.....	14
3.1. Geosentetiklerin Genel Özellikleri ve Çeşitleri	14
3.1.1. Geonetler.....	15
3.1.2. Geomembranlar.....	15
3.1.3. Geosentetik kıl tabakaları.....	16
3.1.4. Geokompozitler.....	16
3.1.5. Geoborular	17
3.1.6. Geoköpükler	17
3.2. Geogridler.....	18
3.3. Geotekstiller.....	19
3.3.1. Geotekstillerin yapıları ve üretiminde kullanılan hammaddeler.....	20
3.3.2. Geotekstillerin Sınıflandırılması.....	21
3.3.3. Geotekstillerin Mekanik Özellikleri.....	25
3.3.4. Geotekstillerin İşlevleri.....	26
3.3.5 Geotekstillerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler...	32
4. DENEY VE ÖLÇÜM DÜZENEGİ.....	37
4.1.Ağırlık Düşürücü Deney Düzenegi.....	36
4.2.İvmeölçerler.....	41
4.2.1. Genel Bilgi.....	41
4.2.2. Piezoelektrik ivmeölçerler.....	44
4.2.3. Kapasitif ivmeölçerler.....	45
4.2.4. Deneylerde kullanılan ivmeölçer: Model 353B02.....	45

Sayfa

4.3. Kuvvet Algılayıcısı.....	48
4.3.1. Genel bilgi.....	48
4.3.2. Halka kuvvet algılayıcıları.....	48
4.3.3. Deneylerde kullanılan halka kuvvet algılayıcı: 201B03 Model ICP®.....	49
4.4. Veri Toplayıcı.....	51
4.4.1 Genel Bilgi.....	51
4.4.2 Deneylerde kullanılan veri toplayıcı: NI 9233-USB-9162.....	51
4.5 Ölçüm Aygıtları Bağlantı Kabloları.....	52
4.6 Optik Fotosel.....	53
5. DENEY SONUÇLARI	56
5.1. Çelik Boru Deney-1 (Direkt Çelik Boru).....	64
5.2.Çelik Boru Deney-2 (Geotekstil Tabakalı Zemin).....	67
5.3. Çelik Boru Deney-3 (Geogrid Tabakalı Zemin).....	69
5.4. Çelik Boru Deney-4 (Sadece Zemin).....	71
5.5. Kompozit Boru Deney-5 (Direkt Kompozit Boru).....	73
5.6. Kompozit Boru Deney-6 (Sadece Zemin)	75
5.7. Kompozit Boru Deney-7 (Geotekstil Tabakalı Zemin).....	74
5.8. Kompozit Boru Deney-8 (Geogrid Tabakalı Zemin).....	76
6. DEĞERLENDİRMELER.....	80
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
7.1. Sonuçlar.....	84
7.2. Öneriler.....	85

Sayfa

KAYNAKLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Geotekstilin fiziksel ve mekanik özellikleri	24
Çizelge 3.2. Geogridin fiziksel ve mekanik özellikleri	24
Çizelge 4.1. Kestamit malzemesinin temel özellikleri.....	39
Çizelge 4.2. Model 353B02 İvmeölçerin teknik özellikleri.....	47
Çizelge 4.3. 201B03 Model ICP halka kuvvet algılayıcısı teknik özellikleri.....	50
Çizelge 4.4. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı teknik özellikleri.....	52
Çizelge 5.1. Deney Elemanları.....	57
Çizelge 5.2. Kum malzemesinin özellikleri.....	58
Çizelge 5.3. Deney Sonuçları.....	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Farklı yöntemlerle üretilmiş geotekstillerin çekme deneyi sonuçları.....	24
Şekil 3.2. Ayırma işlevi, geotekstilsiz ve geotekstil uygulanmış zemin arasındaki fark.....	25
Şekil 3.3. Geotekstilin ayırma işlevinin kullanıldığı bazı alanlar.....	26
Şekil 3.4. Değişik bölgelerine geotekstil yerleştirilmiş sıkı kum numunelerinin üç eksenli deneyi sonuçları.....	28
Şekil 3.5. Geotekstilin güçlendirme işlevinin kullanıldığı bazı uygulamalar.....	29
Şekil 3.6. Geotekstilin kalınlığının belirlenmesinde kullanılan deney ekipmanı.....	32
Şekil 3.7. Geniş doğrultuda çekme dayanımı deneyi.....	33
Şekil 3.8. İkizkenar yamuk yırtılma deneyi.....	33
Şekil 3.9. Düz yırtılma deneyi.....	34
Şekil 3.10. Yarıılma deneyi.....	34
Şekil 4.1. Ağırlık düşürücü deney düzeneğinin tasarım şeması.....	37
Şekil 4.2. Piezo yapı.....	42
Şekil 4.3. Piezoelektrik algılayıcılarda piezo malzeme şekilleri.....	42
Şekil 4.4. Piezoelektrik algılayıcılar.....	44
Şekil 4.5. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekansa etkileri.....	46
Şekil 4.6. Halka kuvvet algılayıcısı montaj şekli.....	50
Şekil 4.7. 003A20 Model kablo iç yapısı.....	53
Şekil 5.1. Deney düzeneğinde kullanılan konteynırın geometrik boyutları.....	56
Şekil 5.2. Deney elemanlarının geometrik boyutları.....	56
Şekil 5.3. Kumun dane çapı dağılımı test sonucu	58

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Deney-1 İvme-zaman grafiği.....	65
Şekil 5.5. Deney-1 Deplasman-zaman grafiği.....	66
Şekil 5.6. Deney-1 Yük-deplasman grafiği.....	66
Şekil 5.7. Deney-2 İvme-zaman grafiği.....	67
Şekil 5.8. Deney-2 Deplasman-zaman grafiği.....	68
Şekil 5.9. Deney-2 Yük-deplasman grafiği.....	68
Şekil 5.10. Deney-3 İvme-zaman grafiği.....	69
Şekil 5.11. Deney-3 Deplasman-zaman grafiği.....	70
Şekil 5.12. Deney-3 Yük-deplasman grafiği.....	70
Şekil 5.13. Deney-4 İvme-zaman grafiği.....	71
Şekil 5.14. Deney-4 Deplasman-zaman grafiği.....	72
Şekil 5.15 Deney-4 Yük-deplasman grafiği.....	72
Şekil 5.16 Deney-5 İvme-zaman grafiği.....	73
Şekil 5.17. Deney-5 Deplasman-zaman grafiği.....	74
Şekil 5.18. Deney-5 Yük-deplasman grafiği.....	74
Şekil 5.19 Deney-6 İvme-zaman grafiği.....	75
Şekil 5.20 Deney-6 Deplasman-zaman grafiği.....	76
Şekil 5.21 Deney-6 Yük-deplasman grafiği.....	76
Şekil 5.22 Deney-7 İvme-zaman grafiği.....	77
Şekil 5.23 Deney-7 Deplasman-zaman grafiği.....	78
Şekil 5.24 Deney-7 Yük-deplasman grafiği.....	78
Şekil 5.25 Deney-8 İvme-zaman grafiği.....	79
Şekil 5.26 Deney-8 Deplasman-zaman grafiği.....	80
Şekil 5.27 Deney-8 Yük-deplasman grafiği.....	80

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. İvme değerleri	82
Şekil 6.2. Deplasman değerleri	83
Şekil 6.3. Enerji tüketim değerleri	84

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Geogridin fotoğrafı.....	17
Resim 3.2. Bazı geotekstillerin mikro fotoğrafları.....	17
Resim 4.1. Deney düzeneği	38
Resim 4.2. Çekiç.....	40
Resim 4.3. Model 353B02.....	45
Resim 4.4. Montaj yeri ve aparatı.....	47
Resim 4.5. 201B03 Model ICP kuvars halka kuvvet algılayıcısı.....	49
Resim 4.6. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı.....	51
Resim 4.7. 003A20 Model düşük gürültülü koaksiyal kablo.....	52
Resim 4.8. Optik fotoseller ve yerleşimi.....	54
Resim 5.1. Deneylerde kullanılan koruyucu katmanlar	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
G _s	Dane özgül ağırlığı
ρ _{min}	Kumun en sıkı durumdaki yoğunluğu
ρ _{max}	Kumun en gevşek durumdaki yoğunluğu
e _{min}	Kumun en sıkı durumdaki boşluk oranı
e _{max}	Kumun en gevşek durumdaki boşluk oranı
D ₁₀	Zemin örneğinin elekten %10'unun geçtiği dane çapı
D ₅₀	Zemin örneğinin elekten %50'sinin geçtiği dane çapı
C _c	Zeminin uniformluk katsayısı
C _u	Zeminin derecelenme katsayısı
SW	İyi derecelenmiş kum
D	Boru çapı
L	Efektif boru uzunluğu (m)

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Malzeme Tecrübeleri Kurumu)
IGS	International Geotextile Society (Uluslararası Geotekstil Kurumu)
TS	Türk Standardı
PVC	Polivinil Klorür
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

1.GİRİŞ

Boru hatları taşıma ve iletim amacıyla eski çağlardan beri kullanılan mühendislik yapılarıdır. İlk örnekleri su kanalları ve kanalizasyon hatları olan boru hatları günümüzde çok değişik alanlarda kullanılmaktadır. Güvenlik, çevre ve ekonomi kriterleri bakımından diğer yöntemlere göre daha avantajlı olmaları nedeniyle borular hala önemli bir taşıma aracıdır. Su hatları, kanalizasyon hatları, drenaj hatları, gaz hatları, ısı dağıtım hatları gibi modern bir şehir için vazgeçilmez olan yapıları oluştururlar. Güvenlik ve kapladıkları alandan tasarruf amacıyla elektrik, telefon, televizyon hatlarının da gömülü borularla iletimi yaygınlaşmaktadır. Otoyollardaki menfezler ve metro tünelleri, gömülü boruların ulaştırma alanındaki uygulamalarıdır. Ayrıca maden cevherleri, petrol ve gaz gibi önemli endüstriyel maddelerin de iletimi boru hatlarıyla sağlanabilmektedir.

Sanayi devriminden sonra dünyada genel olarak bir enerji kaynağı ihtiyacı doğmuştur. Günümüzde de yansımalarını gördüğümüz 1. ve 2. dünya savaşlarının da esas sebebini bu enerji kaynaklarına sahip olma isteği oluşturmaktadır. Bu kaynaklara sahip olmanın yanı sıra elde edilen enerji kaynağını işleyip kullanılabilir hale getirmek ve bu maddeleri gerekli noktalara ulaştırmak da belli bir teknolojik araştırmayı gerektirmektedir. Günümüzde Mavi Akım, Bakü-Tiflis-Ceyhan gibi boru hatları ülkemizi de yakından ilgilendiren büyük projelerdir. Gerek böyle büyük iletim hattı projeleri gerekse dağıtım hatları projeleri için statik ve dinamik etki kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada enerji (doğalgaz, petrol, vb.) ve ihtiyaç (su, kanalizasyon vb.) gereksinimlerini karşılamak için imalatı yapılan boruların teknik olarak emniyeti söz konusu olmaktadır.

Boruya etkileyen statik ve dinamik yükler zemin-yapı etkileşiminin bir fonksiyonudur ve her ikisinin rölatif rijitliğine bağlıdır. Statik yükler kalıcı yüklerdir. Malzemelerin kendi ağırlığı, teşkil edilen yapı üzerinde bulundurulmuş sabit üniteler, depolama alanlarında yapı üzerinde depolanan malzemelerin ağırlığı vb. yükler statik(kalıcı) yüklerdir. Dinamik yükler ise anlık ortaya çıkan, etkileyen ve belirli zaman aralıklarında devam eden yüklerdir. Kalıcı olmamalarına rağmen etkileri çok büyük

olabilmektedir. Dinamik yüklere örnek olarak; deprem yükleri, yorulma(fatigue) yükleri (makine titreşimleri vb.), binalara etkiyen rüzgâr yükleri sayılabilir.

Bu çalışmaya konu oluşturan çarpma etkisi ise iki farklı nesnenin çarpışması anında meydana gelen temasla oluşan dinamik etkiler sonucunda nesneler üzerinde ortaya çıkan yüksek gerilmelerin, malzemenin mekanik özellikleri üzerinde oluşturduğu değişimlerdir. Dinamik yüklerin davranışıyla benzerlik göstermekle birlikte hala birçok bilinmezlikler taşımaktadır. Bu bilinmezliklerin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmaktadır.

Çarpma etkilerini meydana getiren olaylar; betonarme yapılara otomobil, uçak vb. araç çarpması, petrol platformlarının ve köprülerin betonarme ayaklarına gemi çarpması, askeri tesisler içerisinde bulunan cephanelik vb. yerlerde patlayıcı maddelerin patlaması sonucu ortaya çıkan etkiler, nükleer santrallerde meydana gelen kazaların oluşturduğu veya bu santrallere yapılan saldırıların oluşturduğu çarpma etkileri, karayolları ve demiryollarında bulunan yapılara araç çarpması, yolların kenarlarında bulunan yamaçlardan yol üzerinde bulunan yapıların üzerine kaya düşmesi ve benzeri olarak düşünülebilir ve örneklemeler artırılabilir.

Ancak çarpma etkisinin en büyük risk oluşturduğu yapılar boru hatlarıdır. Çeşitli maddelerin taşınmasında kullanılan boru hatları arazi üzerinde çok uzun mesafeler kat etmektedir. Bu güzergâh boyunca çeşitli heyelan veya kaya düşmesi riskinin olduğu coğrafi bölgelerden geçmektedir. Dolayısıyla çarpışma olayı etkisinde kalabilecek risk altında olan en büyük mühendislik yapılarının başında gelmektedir. Bu nedenle bu konu üzerinde deneysel bir çalışma düzenlenmesi amaçlanmıştır.

Yapıyı meydana getiren elemanların çarpmaya karşı tepkisi, bir elemanın tasarımında göz önüne alınması gereken önemli özelliklerden biri olduğu düşünülmektedir. Bir elemanın çarpma direnci, birçok uygulamada servis ömrü boyunca kritik ölçülerde meydana gelebilmektedir.

Yapı elemanlarının çarpma etkisi altındaki davranışlarının araştırılması ve incelenebilmesi için araştırmacılar çeşitli çarpma test prosedürleri ve düzenekleri geliştirmişlerdir. Çarpma testi, malzemelerin enerji yutma kapasitelerini ve dayanıklılığını değerlendirmede kullanılmaktadır. Çarpma deneyi süresince yutulan enerji, malzemenin mukavemetinin ve tokluğunun göstergesi olan bir ölçü olarak kullanılabilir.

Çarpma deneyleri ile ilgili en temel teorik çalışma 1824 yılında demir üzerinde yapılan çalışmadır [1]. 1857 yılında Rodman silah yapımında kullanılan çeliklerin özelliklerini karakterize etmek amacıyla ağırlık düşürücü bir düzenek geliştirmiştir [2]. Fransız araştırmacı Charpy çarpma etkisi altındaki davranışı incelemek için bir test düzeneği geliştirmiş ve bu düzenek ile çentikli çelik numuneler üzerinde deneyler yapmıştır. Literatürde geliştirilen deney prosedürü ve test düzeneği "Charpy Testi ve Charpy Metodu" olarak isimlendirilmiş ve en yaygın olarak kullanılan çarpma testi haline gelmiştir.

Küresel ölçekte çarpma deneylerinin standartlaştırılması çalışmaları devam etmektedir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda deney metotları ve prosedür hakkında herhangi bir standart oluşturulamamıştır. Fakat ASTM E 23(American Society for Testing and Materials) standardında çarpma deneylerinde kullanılacak limitlerin belirlenmesinde ve kullanılan makinelerin performanslarının artırılmasında oldukça önemli gelişmeler kaydetmiştir [3].

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada boruların hiçbir koruyucu ara malzeme olmadan çarpışmaya maruz kalması, arada belirli kalınlıkta granüler bir zemin tabakasının olması ile geotekstil ve geogrid malzemeleri kullanılarak güçlendirilmiş zemin tabakalı olması durumlarının kendi aralarında karşılaştırılması yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 1. aşamada Çelik boru üzerine direkt çarpma, 2. aşamada çelik boru granüler malzeme içine yerleştirilmiş durumdaki çarpma, 3. aşamada Geotekstil tabakası zeminden 50 mm aşağıya yerleştirilmiş durumdaki çarpma ve 4. aşamada

Geogrid tabakası zeminden 50 mm aşağıya yerleştirilmiş durumdaki çarpma etkisi incelenmiştir. Daha sonra yukarıda bahsedilen tüm işlemler kompozit malzeme içinde gerçekleştirmiştir. Boru malzemesinin özelliği ve kullanılan zemin donatılarının çeşidi ve yerleştirme derinliği incelenen temel değişkenlerdir.

Deneylerde ölçüm aleti olarak piezoelektrik ivmeölçerlerden 2 adet kullanılmıştır. İvmeölçerler deney elemanı üzerine simetrik olarak yerleştirilmiş, çelik ve kompozit borularda yüklemenin uygulandığı noktanın sol ve sağ tarafında ivmelenmenin nasıl değişim gösterdiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Çekicinin düşme hızını belirlemek için düşme zamanı ölçülmüştür. Zaman ölçümünde 3 adet optik fotosel kullanılmış ve okunan zaman değerleri milisaniye hassasiyetinde olmuştur. Deneyler sırasında alınan zamana bağlı ivme ölçümleri kullanılarak deney elemanlarının hız ve deplasman davranışları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmıştır.

Konuyla İlgili Daha Önceki Çalışmalar

Yapılan literatür taramasında borular üzerindeki çarpışma etkilerinin incelendiği çok az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Boru sistemlerinin üzerinde çarpışma etkisiyle oluşan etkilerin azaltılması ve yapıların korunması için kullanılabilecek tabakalı koruyucu sistemlerin incelendiği bir çalışmaya ise rastlanmamıştır. Aşağıda çalışılan konu ile yakından ilgili olduğu düşünülen çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

İki borunun birbirine çarpışması analitik ve deneysel olarak Yang ve arkadaşları [4]. tarafından yürütülen çalışmada incelenmiştir. Deneyde mesnetli bir boruya diğer bir boru dönerek çarpıtılmıştır. Bu deneysel çalışmada incelenen değişkenler; borunun çarpışma noktası ve et kalınlığındaki değişimdir.

Birebir ölçekli sualtı borularının deneysel olarak çarpışma testi ise Palmer ve arkadaşları [5]. tarafından yürütülen çalışmada incelenmiştir. Çalışmada sualtı boru döşeme işlemi sırasında boruların birbiri üstüne düşme olayı deneysel olarak modellenmiş ve test edilmiştir.

Gaz taşımada kullanılan içsel basınçlı borulara uygulanan çarpışma ile ilgili deneysel çalışma Jones ve Birch [6]. tarafından yapılmıştır. Çalışmada uygulanan çarpışma yüklemesi etkisinde borularda meydana gelen deformasyon profili ile ilgili belirlemeler yapılmıştır.

Gömülü olarak yollarda bulunan borular üzerine yüklenen tekrarlı yüklemelerin modellendiği deneysel bir çalışma Tafreshi ve Khalaj [7]. tarafından yapılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler borunun gömülme derinliği, boru üzerindeki kum tabakasının relatif sıkılık değeri ve zemin yüzeyine uygulanan gerilmenin değeridir.

Cam elyafı kullanılarak üretilen sualtı borularının deneysel olarak incelenmesi ise Gning ve arkadaşları [8]. tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmada Ultrasonik ölçüm araçları kullanılarak çarpışma sonrasında oluşan hasar dağılımı incelenmiştir.

Shah [9]. tarafından yürütülen çalışmada su borularının çarpışma davranışı incelenmiştir. Bakır su borularına boş ve su ile dolu durumda çarpışma testi uygulanarak davranışları ve deformasyon dağılımları incelenmiştir. Deneysel çalışma ile elde edilen veriler kullanılarak LS-DYNA yazılımı ile sonlu eleman analizi de yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ile sonlu eleman analizi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Pierre ve arkadaşları [10]. tarafından yürütülen çalışmada kaya düşmesine karşı oluşturulabilecek koruma yapıları ile ilgili bir inceleme yapılmıştır. Tasarlanan enerji sönümleyici koruma yapısı betonarme bir döşemenin altında yerleştirilerek deneysel bir çalışma yapılmıştır.

Geliştirilen koruyucu yapı tünel yapıları gibi kaya düşmesi riski taşıyan yapılar için dizayn edilmiştir. Tasarlanan enerji sönümle mekanizmasının denemesi için sahada 1/3 geometrik ölçekli hazırlanan bir deney elemanı test edilmiştir. Deney sonuçları yorumlanarak geliştirilen koruyucu yapının performansı belirlenmiştir.

Bhatti ve Kishi [11]. tarafından yürütülen çalışmada birebir ölçekli bir kaya düşmesi koruyucu yapısının kirişi üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ve LS-DYNA yazılımı kullanılarak yapılan sonlu eleman çalışmaları yer almaktadır. Çalışma kapsamında koruyucu kum takabası ile birlikte betonarme kiriş elemanı farklı yükseklikten düşürülen ağırlık altında test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen veriler kullanılarak bir sonlu eleman analiz modeli geliştirilmiş ve deneysel sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

Özetlenen literatür çalışması ve yapılan incelemeler ışığında boru sistemlerini kaya düşmesi gibi çarpışma etkilerinden korumak için koruyucu sistemlerin performanslarını inceleyen bir çalışma yapılması planlanmıştır. Yürütülen tez çalışması kapsamında 3 farklı koruyucu katmanın 2 farklı boru türü için testleri gerçekleştirilmiş ve koruyucu tabaka olmadığı durum ile kıyaslanmıştır. Testlerde sabit ağırlık düşürme deney düzeneği kullanılmıştır. 5,25 kg'lık sabit ağırlık 500 mm yükseklikten düşürülerek deney elemanlarına sabit enerjili bir çarpışma uygulanarak deney elemanlarına uygulanan çarpışma yüklemesi ile deney elemanları üzerinden ivme ölçümleri alınmıştır.

Deney elemanlarının ivme-zaman, deplasman zaman, ve yük-deplasman grafikleri çizilerek çarpışma davranışları yorumlanmıştır. Koruyucu tabakaların performansları karşılaştırılmıştır.

2. ALTYAPI TESİSLERİ VE BORU HATLARI

2.1. Genel

Altyapı, insan ve şehir hayatının devamlılığı için ihtiyaç duyulan bütün yapılara verilen tanımdır. Bir ülkenin özellikle ekonomik büyüme ve kalkınması açısından önemli olduğu kabul edilen temel hizmetlerden biri altyapı hizmetleridir. Günümüzde altyapıların son derece önemli işlevleri olduğu aşikardır. Son zamanlarda dünyanın gündeminde yer alan Nabucco Projesi çok büyük bir doğalgaz boru hattı taşımacılığı projesi olup çok önemli sosyo-ekonomik içeriklere sahiptir. HAZUS97'nin tanımına göre altyapı tarifine giren elemanlar, ulaşım ve hizmet sistemleri başlıkları altında iki grupta toplanmıştır. Ulaşım sistemine; karayolu ulaşım sistemi, demiryolu ulaşım sistemi, hafif raylı ulaşım sistemi, otobüs ulaşım sistemi, iskele ve liman yapıları, feribot ulaşım sistemi ve hava limanları dahildir. Hizmet sistemlerinde ise içmesuyu, atıksu, doğalgaz, enerji, elektrik ve telekomünikasyon sistemleri yer almaktadır [12].

Hizmet sistemi içerisinde yer alan kanalizasyon hatları, drenaj kanalları, su kanalları, gaz hatları, telefon ve elektrik hatları, menfezler, petrol boru hatları, metro tünelleri, ısı dağıtım hatları, atıksu arıtma tesisleri ve deşarj hatları pek çok amaç için kullanılırlar [13].

Bunlardan altyapı sistemleri içinde yer alan boru hatları; petrol, doğalgaz, su ve atıksu gibi insan hayatında önemli yer tutan malzemelerin iletiminde temel rol oynayan ve ihtiyaçların kaynağından kullanılacakları yere olan iletimi için gerekli olan yapılardır. Altyapılar yerleşim yerlerinde sağlıklı bir yaşamın sürdürülebilmesi için gereklidirler. Örneğin yerleşime içmesuyu sistemleri ile verilen sular kullanıldıktan sonra atıksu olarak kanalizasyon sistemleri ile uzaklaştırılırlar. Yağışla gelen sular ise yağmursuyu olarak farklı kanallarda toplanması gerekmektedir. Arıtılan atıksular göl, deniz, dere gibi alıcı ortamlara verilir. Bütün bu hizmetler boru hatları ile yapılabilir. Boru hatları, kullanım alanlarının genişliği düşünüldüğünde bir yerleşim bölgesinin can damarını oluşturmaktadır.

Ulaşılması zor alanlara su iletiminin kolay olması taşıdıkları suya tat, koku ve renk vermemeleri nedeniyle tercih edilirler [14,15]. Bu sistemlerin herhangi bir nedenden dolayı hasar görmemesi ve oluşan hasarın veya arızanın acilen giderilmesi gerekmektedir. Arazide teknik sebeplerden ötürü zemine gömülemeyen ve her türlü dış etkiye maruz olan boru hatları mevcuttur. Bu hatlar projelendirilirken statik ve dinamik etkilerin dikkate alındığı ancak kaya düşmesi ve heyelan gibi impact etkilerin ihmal edildiği tespit edilmiştir.

2.2. Kullanılan Boru Türleri ve Özellikleri

Borular yapıldıkları malzemenin deformasyon direncine göre rijit ve fleksibl olmak üzere ikiye ayrılırlar ve yük hesapları da bu iki boru çeşidi için farklıdır. Yapısal hasar oluşmadan en az % 2 deforme olabilen borular fleksibl, bu kritere uymayanlar rijit olarak tanımlanır. Asbestli çimento borular, camlaştırılmış kil borular, beton borular rijit; çelik borular, PVC borular ve yüksek yoğunluklu polietilen borular (HDPE) fleksibl borulara örnek verilebilir.

Boru malzemesini seçerken fiziksel ve kimyasal aşınmaya karşı direnç, basınca dayanıklılık, sağlamlık, imal edildiği yerden inşaat alanına taşıma ve öngörülen konuma yerleştirme kolaylığı ile teknik bakımdan yeterlilik ve maliyet gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2.1. 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 [16].

2.2.2. Asbestli çimento borular

Asbestli çimento borular, pürüzlülüğü az, korozyona karşı dayanıklı ve uzun ömürlü borulardır. İşlenmesi kolay, ağırlıkları az ve dona karşı dayanıklıdır. Çarpma ve darbelere karşı hassastır ve düşük eğilme mukavemetleri vardır. 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. Asbest maddesinin sağlık açısından zararlı olmasından dolayı kullanımı azalmaktadır [17].

2.2.3. Font döküm borular

Font döküm borular çelik borularla karşılaştırıldıklarında korozyona, toprak ve trafik yüklerine karşı daha dayanıklıdırlar. Ancak kırılgan, darbelere daha dayanıksız ve daha ağırdırlar. Font döküm borular geliştirilerek düktil döküm boru adı altında üreilmeye 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 kırılgan 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 [18].

2.2.4. Çelik borular

Çelik borular değişik şekillerde çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Boru çapı ve et kalınlığı boruya etkiyecek olan iç ve dış basınca göre belirlenir. Hafif olmaları nakliye kolaylığı sağlar. 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 dayanıksızdırlar. Ancak korozyonu azaltmak amacıyla paslanmaz çelikten de borular üretilmektedir, bu da maliyeti arttırmaktadır. Heyelan bölgeleri için kullanıma elverişlidirler [18].

2.2.5. PVC boru

Polivinil klorür (PVC) amorf plastiklerin basında 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. PVC boruların 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. Yüzeylerinin pürüzsüz olması, hafif olmaları, korozyona karşı dayanıklı olmaları, kolay montaj edilmeleri, esnek olmaları ve sızdırmazlıkları sundukları avantajlardır. Plastik borular arasında en çok kullanılan PVC borular, biyolojik çürümeye karşı mukavimlerdir ancak 5 °C nin altında kırılgan olmaktadır. PE borular düşük ısılarda da iyi performans gösterir ancak

ayrışan ve çürüten zeminlere döşenmemelidir. Plastik boruların dezavantajları yüksek sıcaklıklarda ve zamanla mukavemetlerinin azalmasıdır.

2.2.6. HDPE boru

Yüksek yoğunluklu polietilen boru diye adlandırılan HDPE borular, PVC borulara kıyasla yüksek yoğunlukları sebebiyle daha ağır ve mukavemetlidirler. Kimyasal dirençleri yüksektir, korozyondan etkilenmezler, çürümezler, aşınmazlar. Ek yerleri iyi yapıştırıldığında 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 ısılarından etkilenmez, ancak harici alevle teması halinde yanıcıdır.

2.3. Boruların Kullanım Alanları

2.3.1. Temiz su hatları

Temiz su hatları toplumlar için büyük önem taşımaktadır. Valflar, tesisatlar, pompalar, borular ve diğer elemanlardan oluşmaktadır. Temiz su hatları taşıma hattı ve dağıtım hattı olmak üzere iki ana sisteme ayrılabiliriz. 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.

2.3.2. 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 akısını engellemeyecek şekilde iç cidarı pürüzsüz olacak şekilde seçilmelidir.

2.3.3. 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.

2.3.4. 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.

3. GEOSENTETİKLER

Zemin ıslah yöntemlerinden biri olan donatılı zemin uygulamasının (Geosentetikler ile güçlendirme) 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 [19, 20, 21].

3.1. Geosentetiklerin Genel Özellikleri ve Çeşitleri

Geosentetik kelimesi anlam itibarıyla geo ve sentetik kelimelerinin birleşmesinden oluşmuştur. Geo yer, arazi anlamına; sentetik ise insan yapımı anlamına gelmektedir. Geosentetik kelime anlamı itibarıyla 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 [22, 23].

- Geonetler
- Geomembranlar
- Geosentetik kil tabakaları(GCL)
- Geokompozitler
- Geoborular

- Geoköpekler
- Geotekstiller
- Geogridler

3.1.1. 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 arttırılmış 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 12 mm uzunluğunda 8 mm genişliğinde baklavalardan oluşmaktadır, kalınlıkları ise 5 mm ile 7 mm arasında değişmektedir. Kullanım alanları; istinat duvarlarının arkasında suyun drenajını sağlamak, otoyol altlarında pis suyun drenajını sağlamak gibi sıralanabilecek birçok drenaj uygulamalarıdır [22, 23].

3.1.2. 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 4,6 m ile 9,5 m arasında, kalınlıkları ise 0,75 mm ile 3 mm 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 [22-24].

3.1.3. Geosentetik kil tabakaları

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 5 m arasında, uzunlukları ise 30 ile 60 m arasında değişmektedir. Sıkıştırılmış kil tabakalarına uygulanan geomembranlar gibi geosentetik kil tabakaları da genel olarak sıvı iletimini engellemek için hidrolik bariyer görevini görmektedir [22, 24].

3.1.4. Geokompozitler

Geokompozitler; birbirinden farklı özelliklere sahip değişik elemanların özel problemlere çözüm getirebilmek amacıyla birlikte kullanılması şeklinde tanımlanabilir. Genelde birlikte kullanılan geokompozitler aşağıda verilmiştir [22].

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

3.1.5. Geoborular

Su, gaz, yağ gibi sıvıların taşınması için kullanılan rijit olarak tanımlanan boru hatları genellikle çelik ve betondan üretilmektedir. Yüğü tamamıyla kendisi taşıyan bu rijit borular yerine esnek olarak tanımlayabileceğimiz yüğü 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. [22, 23].

3.1.6. 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 geliştirme 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 [22, 25].

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 kullanılabilmektedir. Çok yumuşak zeminler üzerinde oturma problemlerini azaltması nedeniyle tercih edilmekte olup bu malzeme günümüzde bir geosentetik malzeme olarak kabul edilmektedir [26].

Tez kapsamında geogrid ve geotekstil kullanıldığından; daha geniş olarak, alt başlık şeklinde geogridler ve geotekstiller ile ilgili bilgi verilecektir.

3.2. 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 mm ile 6 mm arasında değişmektedir. Stabilize yollarda agregaların altına, demiryollarında kırmataşların ve dolguların altına, yumuşak zeminlerde şev stabilitesini artırmada diğer geosentetiklerin arasına serilmek suretiyle birçok uygulama alanı vardır [22,27].



Resim 3.1. Geogridin Fotoğrafi

3.3. 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 [23, 28].

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 [29].

3.3.1. 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 yada 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 ısıt işlemler uygulanarak dayanımları arttırılır. Elde edilen fiberler bükülerek iplikler elde edilmektedir.

Polimerlerin üretiminde plastik sanayi önemli rol oynamaktadır. Plastikler genel olarak termoplastikler ve termosetingerler olarak üretilebilmektedir. Termoplastikler ısıtılıp soğutulduklarında özelliklerini kaybetmeyen, termosetingerler 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. [30] Geotekstil üretiminde tercih edilen polimer türleri yüzdeler olarak aşağıda verilmiştir [22].

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

3.3.2. 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.

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. Buyüzden; yük taşıma kapasitesinin arttırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [23].

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 m ile 5 m arasında değişmektedir [22].

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 0,1 mm olan yuvarlak kesitli, birlikte haddelenmiş, soğutulmuş, ısıtılmış işlem uygulanmış ipliklerden oluşmaktadır. Suyun içinden akısına az direnç gösteren tül veya elek tipi geotekstil yapımında kullanılmaktadır. Genelde filtreleme amaçlı bazen de güçlendirme için kullanılmaktadır.

- Çok iplikli tip (Woven multifilament): Çok ince, belirli uzunluğa sahip iplikler yığınınından oluşur. Kumaş olarak tanımlanır.
- Şeritli tip (Woven fabric): Eğrilmemiş yassı çok uzun polimer filmlerden çekilmiş şeritlerden üretilmektedir. 5 mm den daha az genişliğe sahip şeritli tip örgülü geotekstil suya karşı düşük geçirgenliğe sahiptir.
- Kesikli film tipi (Woven slit film): Fiber kalitesi mekaniksel liflendirmeye elde edilmiştir.

Örgüsüz Geotekstiller

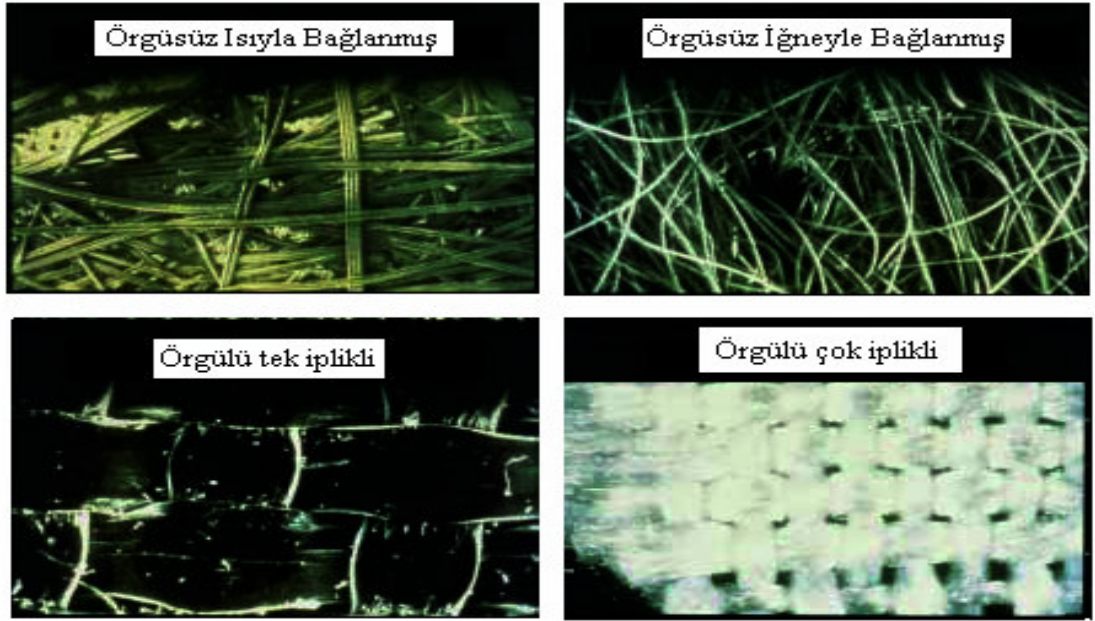
Örgüsüz geotekstiller; mekanik, kimyasal veya fiziksel yöntemlerle birbirine tutturulmuş, tek yönlü yada gelişigüzel dizilmiş elyaflardan imal edilmiş tabaka, ağ veya keçe olarak tanımlanabilir. Fiberler birbirlerine örme ya da dokuma yoluyla değil de bağlanma ve karşılıklı kilitlenme yoluyla birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Örgüsüz geotekstillerin üretim safhaları değişik şekillerde yapılabilmektedir. Kuru işleme tabi tutma, sulu işleme tabi tutma, sonsuz elyafli işleme tabi tutma, taraklama gibi aşamalarla üretilmektedir. Bu üretim şekillerinin çoğunda dokuları güçlendirmek için kimyasal, ısı ya da mekanik işleminden 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 m ile 6 m arasında değişmektedir [22, 30].

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

- Kesilmiş fiberden yapılmış: 20 mm ile 150 mm 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.

Resim 3.2’de örgüsüz ve örgülü bazı geotekstil çeşitlerinin mikro fotoğrafları verilmektedir.



Resim 3.2. Bazı Geotekstillerin Mikro Fotoğrafları

Deneyimizde koruyucu tabaka olarak kullanmış olduğumuz geotekstil ve geogrid malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.1. Geotekstilin fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler	Değer
Birim alana düşen kütle (g/ m^2)	150,0
Kalınlık- 2 kN/m^2 'nin altında (mm)	0,8
Kalınlık – 200 kN/m^2 nin altında (mm)	0,4
Mekanik Özellikler	Değer
Enerji emme durumu (kJ/ m^2)	4,5
Çekme dayanımı (kN/m)	10,3
Uzama(%)	52,0
% 5 'lik dayanım (kN/m)	4,5
Patlama dayanımı –CBR (N)	1575,0
Patlama dayanımı –düşen koni (N)	27,0
Yırtılma dayanımı (N)	385,0
Tutunma dayanımı (N)	900,0
Elastik eksenel rijitlik (EA) (kN/m)	10,3

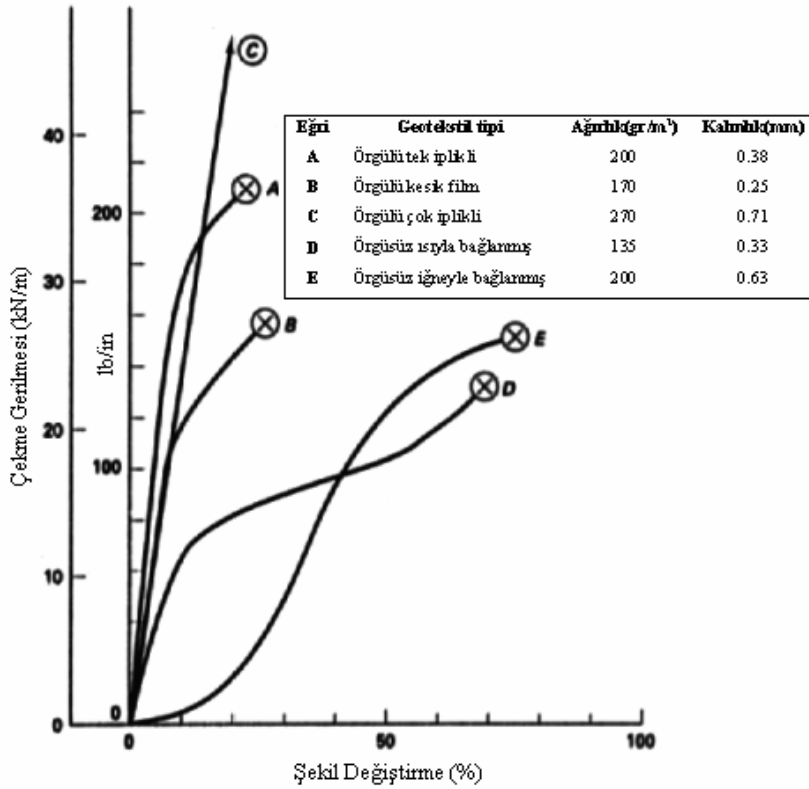
Çizelge 3.2. Geogridin fiziksel ve mekanik özellikleri

Geometrik Özellikler	Eksenel	Çaprazlama	Genel
Rib yüksekliği (mm)	40,0	40,0	-
Orta-rib derinliği (mm)	-	1,8	-
Orta-rib genişliği (mm)	-	1,1	-
Düğüm kalınlığı (mm)	-	-	3,1
Rib şekli	-	-	Dikdörtgensel
Açıklık şekli	-	-	Üçgensel
Mekanik Özellikler			
Bağlantı noktası tesiri (%)	-	-	90,0
Açıklık dayanımı (500 N.mm de N.mm/deg)	-	-	390,0
İzotropik sertlik oranı	-	-	>0,75
Elastik eksenel rijitlik (EA) (kN/m)	-	-	455,0
Mukavemet			
Kimyasal degradasyon dayanımı	-	-	%96,0
Bozunma dayanımı	-	-	%98,0
Oksitlenme dayanımı	-	-	%90,0
Yükleme hasar dayanımı	-	-	>%87,0

3.3.3. 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 [21, 22].

Geotekstillerin üretiminde genellikle aynı tip polimerler kullanılmasına rağmen üretim teknikleri ve fiberlerin birbirine bağlanma şekilleri geotekstilin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Şekil 3.1’de ki grafikte de görüldüğü üzere farklı geotekstil tiplerinin şekil değiştirmeye karşılık çekme gerilmesi grafiğinde değişik sonuçlar elde edilmiştir. (Numuneler 100x200 mm boyutundadır.)



Şekil 3.1. Farklı Yöntemlerle Üretilmiş Geotekstillerin Çekme Deneyi Sonuçları[14]

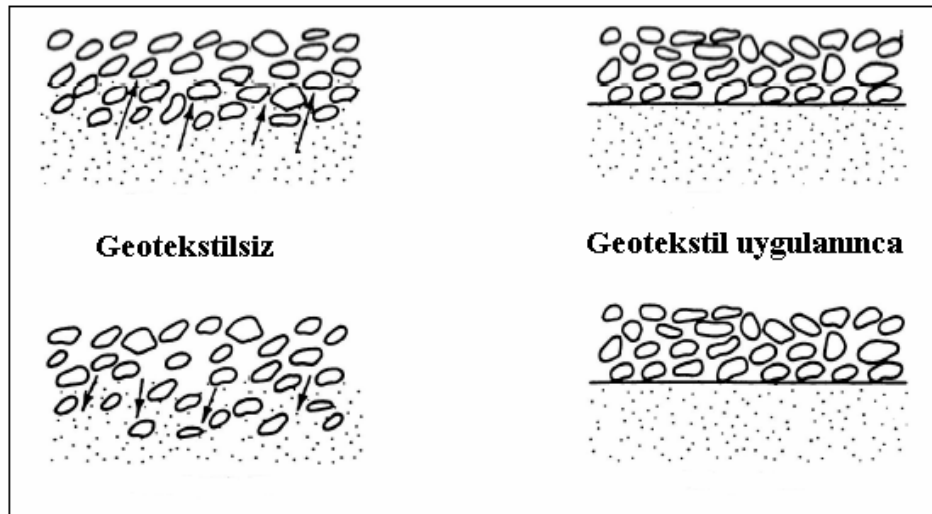
Grafikten de anlaşılacağı gibi A, B ve C küçük şekil değiştirmeler meydana getirirken daha büyük çekme gerilmelerine dayanım göstermektedir. D ve E'nin ise şekil değiştirmeleri büyük mertebede meydana gelirken çekme dayanımları daha düşük seviyede olmaktadır. En yüksek çekme gerilmesi dayanımına örgülü 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 darbelere karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

3.3.4. Geotekstillerin işlevleri

Ayırma

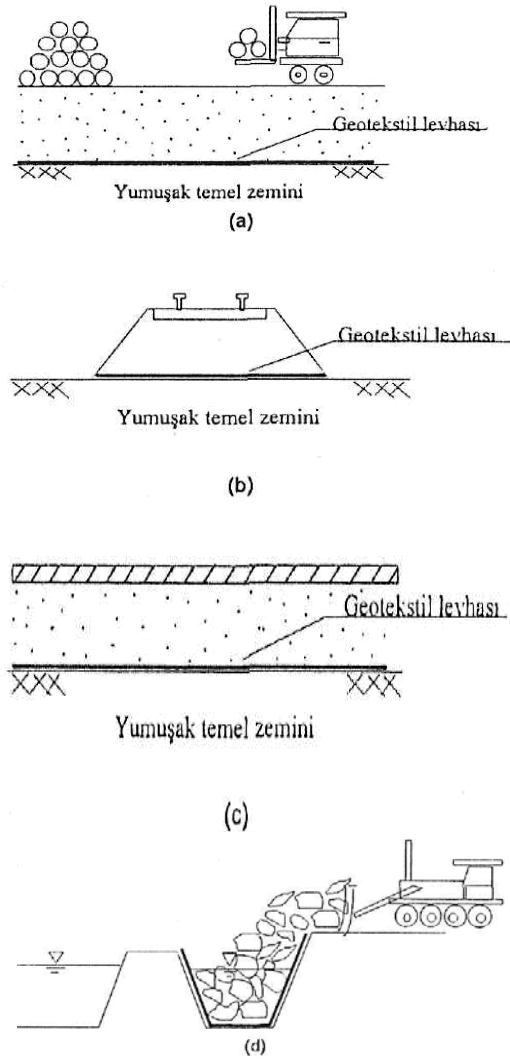
Geotekstiller değişik dane boyutundaki zeminlerin birbirlerine karışmasını önleyerek zeminin taşıma kapasitesini süreklilik, esneklik, deforme olabilme, düşük permeabilite ve yüksek çekme dayanımı sayesinde arttırmış olur. Sekil 3.2'de geotekstilin ayırma işlevi gösterilmiştir. Sonuç olarak kullanılan malzemeden zarar edilmemiş olur ve yüksek performans sağlanır [31].



Şekil 3.2. Geotekstilsiz ve Geotekstil Uygulanmış Zemin Arasındaki Fark [14]

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.

Sekil 3.3.'te geotekstilin ayırıcı olarak kullanıldığı bazı alanlar görülmektedir. Geotekstilin; Şekil 3.3 (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 [31].

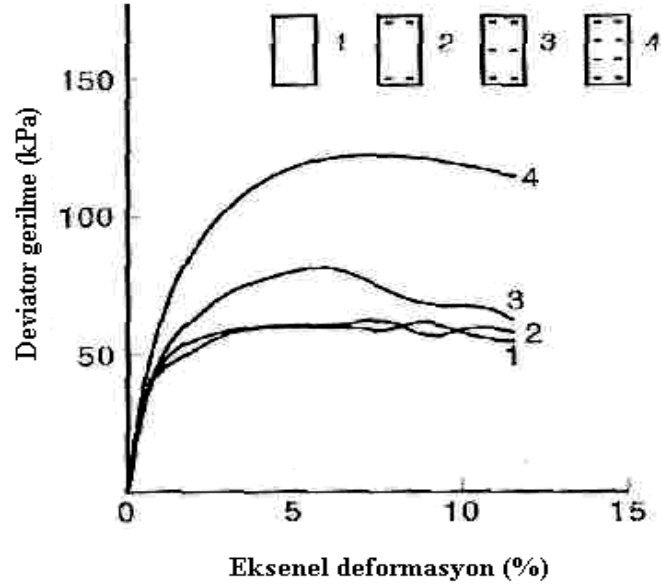


Şekil 3.3. Geotekstilin Ayırma İşlevinin Kullanıldığı Bazı Alanlar [23].

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 3.4 'de 21 kPa ve 210 kPa olmak üzere iki farklı çevre basıncı verilerek gerçekleştirilen üç eksenli deneyi sonuçlarını görmekteyiz.

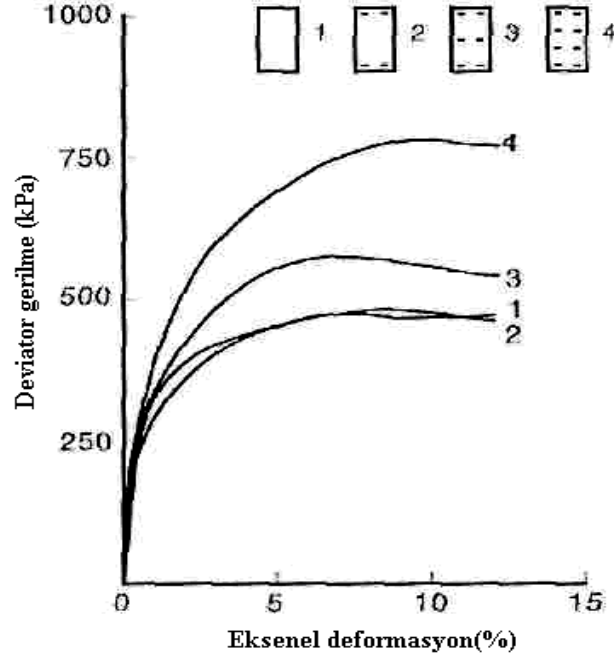
Geotekstil uygulanan sistemde güçlendirme işlevi; üzerine gelen noktasal yükleri geniş bir alana yaymak, oluşan gerilmelere direnerek zemin kütlesinin dayanımını arttırmak olarak ta tanımlanabilir. Zeminler gerilme direncine sahip olmadıklarından geotekstiller bu özellikleri ile gerilme direncini ve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



(a)

Şekil 3.4. Değişik Bölgelerine Geotekstil Yerleştirilmiş Sıkı Kum Numunelerinin Üç Eksenli Deneyi Sonuçları [14].

a) Sıkı kum, 21 kPa çevre basıncı b) Sıkı kum, 210 kPa çevre basıncı

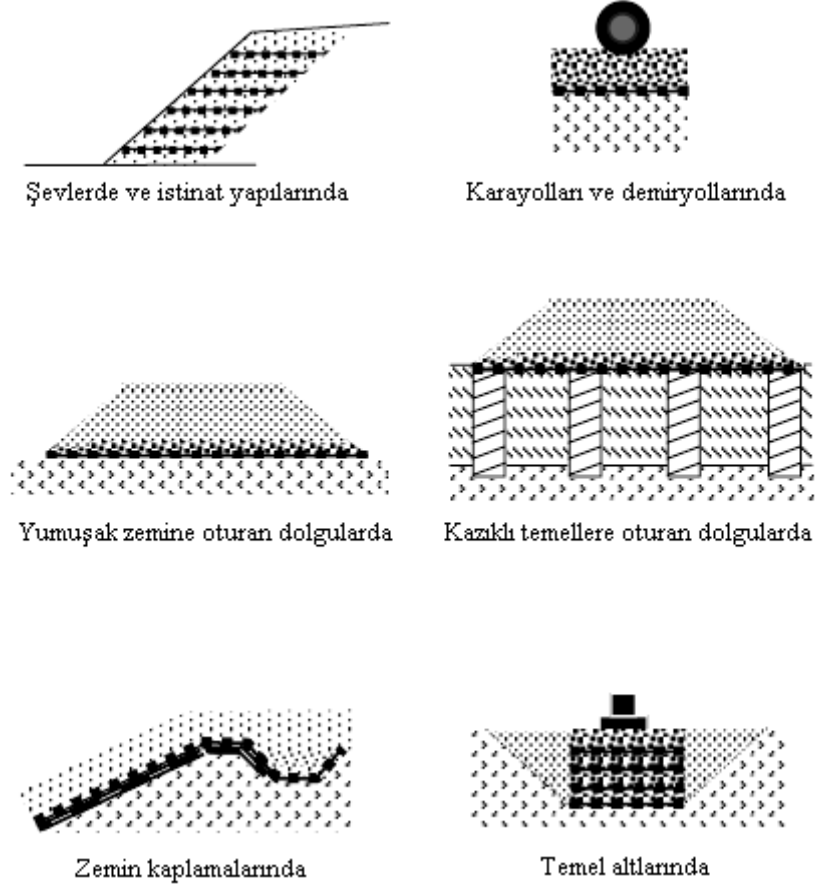


(b)

Şekil 3.4. (Devam) Değişik Bölgelerine Geotekstil Yerleştirilmiş Sıkı Kum Numunelerinin Üç Eksenli Deneyi Sonuçları [14].

a) Sıkı kum, 21 kPa çevre basıncı b) Sıkı kum, 210 kPa çevre basıncı

Şekil 3.4. incelendiğinde; 1 numaralı eğri geotekstil yerleştirilmeden numunenin kayma mukavemetini, 2 numaralı eğri alt ve üstüne geotekstil yerleştirilmiş numunenin kayma mukavemetini göstermektedir. Grafikten de anlaşılabileceği üzere alta ve üste geotekstil serilmesi numunenin kendi basına 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 [22].



Şekil 3.5. Geotekstilin Güçlendirme İşlevinin Kullanıldığı Bazı Uygulamalar [24].

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 ardı 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 oluşturmaya 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 [33].

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 kullanılabilecek özellikleri taşıması gereklidir [34, 35].

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

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 arasında yerleştirilen geotekstilin de temas ettiği malzemelerin birisini korumasına da ara yüzey koruması adı verilmektedir.

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.

3.3.5. Geotekstillerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

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

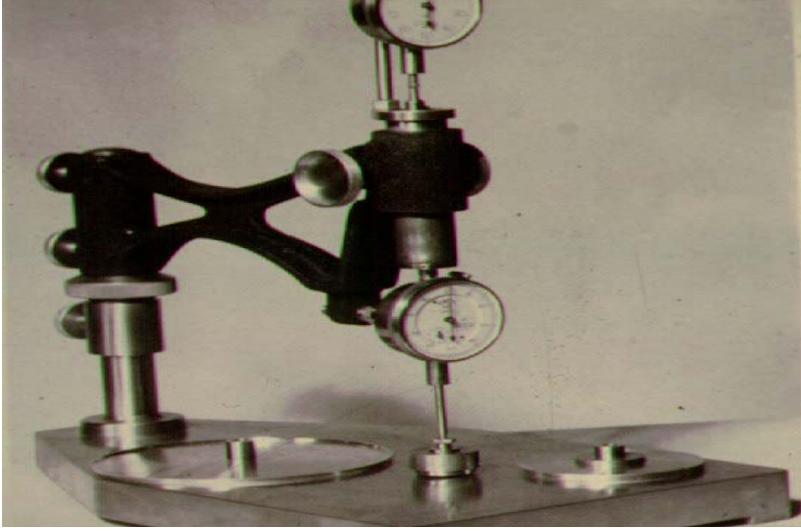
- Fiziksel özellikler
- Mekanik özellikler
- Hidrolik özellikler
- Dayanıklılık özellikleri

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)

Sekil 3.6'da geotekstilin kalınlığının belirlenmesi için kullanılan deney ekipmanı verilmiştir.

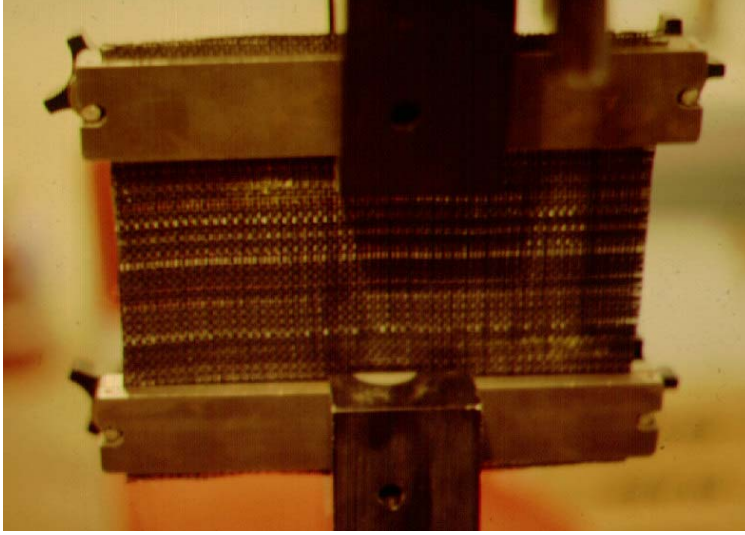


Şekil 3.6.Geotekstilin Kalınlığının Belirlenmesinde Kullanılan Deney Ekipmanı [24].

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
- Yarıлма dayanımı (ASTM D3786)
- Yırılma deneyleri
 - İkizkenar yamuk yırılma deneyi (ASTM D2263-ASTM D4533)
 - Düz yırılma deneyi (ASTM D751)
 - Elmendorf yırılma deneyi (ASTM D1424)
- Darbe deneyleri (ASTM A370-ASTM D256)
- Delme deneyleri (ASTM D3787)
- Sürtünme davranışı

Sekil 3.7’de geniş doğrultuda çekme dayanımı deneyi, Sekil 3.8’de ikizkenar yamuk yırtılma deneyi, Sekil 3.9’da düz yırtılma deneyi, Sekil 3.10’da ise yarılma deneyi verilmektedir.



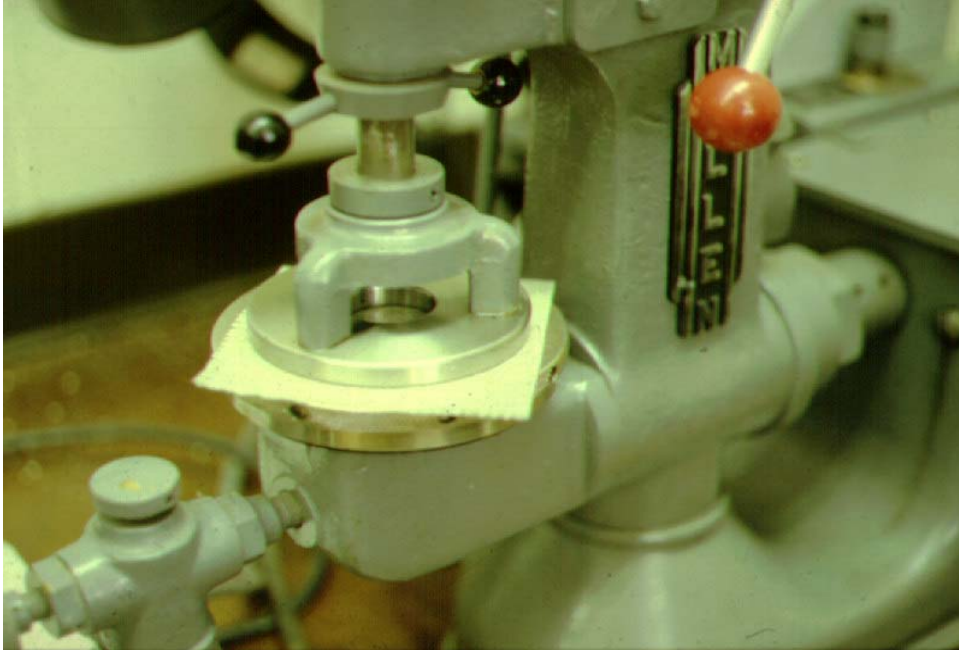
Şekil 3.7. Geniş Doğrultuda Çekme Dayanımı Deneyi



Şekil 3.8. İkizkenar Yamuk Yırtılma Deneyi



Şekil 3.9. Düz Yırtılma Deneyi



Şekil 3.10.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
- Asınma deneyi (ASTM D1175)
- Uzun süreli akış (Tıkanma) deneyi
- Hidrolik eğim (Tıkanma) deneyi

4. DENEY VE ÖLÇÜM DÜZENEGİ

Literatür çalışması sonucu deney düzeneği ve deneylerde kullanılacak ölçüm araçları belirlenmiştir. Deney ve ölçüm düzeneği; yapılması planlanan deney koşullarına göre tasarlanmıştır. Çünkü çarpma testlerinde kullanılacak deney düzenekleri için henüz bir standart oluşmamakla birlikte bu deneyimizde deformasyonları en iyi modelleyebilen deney düzeneği olarak ağırlık düşürücü deney düzeneği kullanılmıştır.

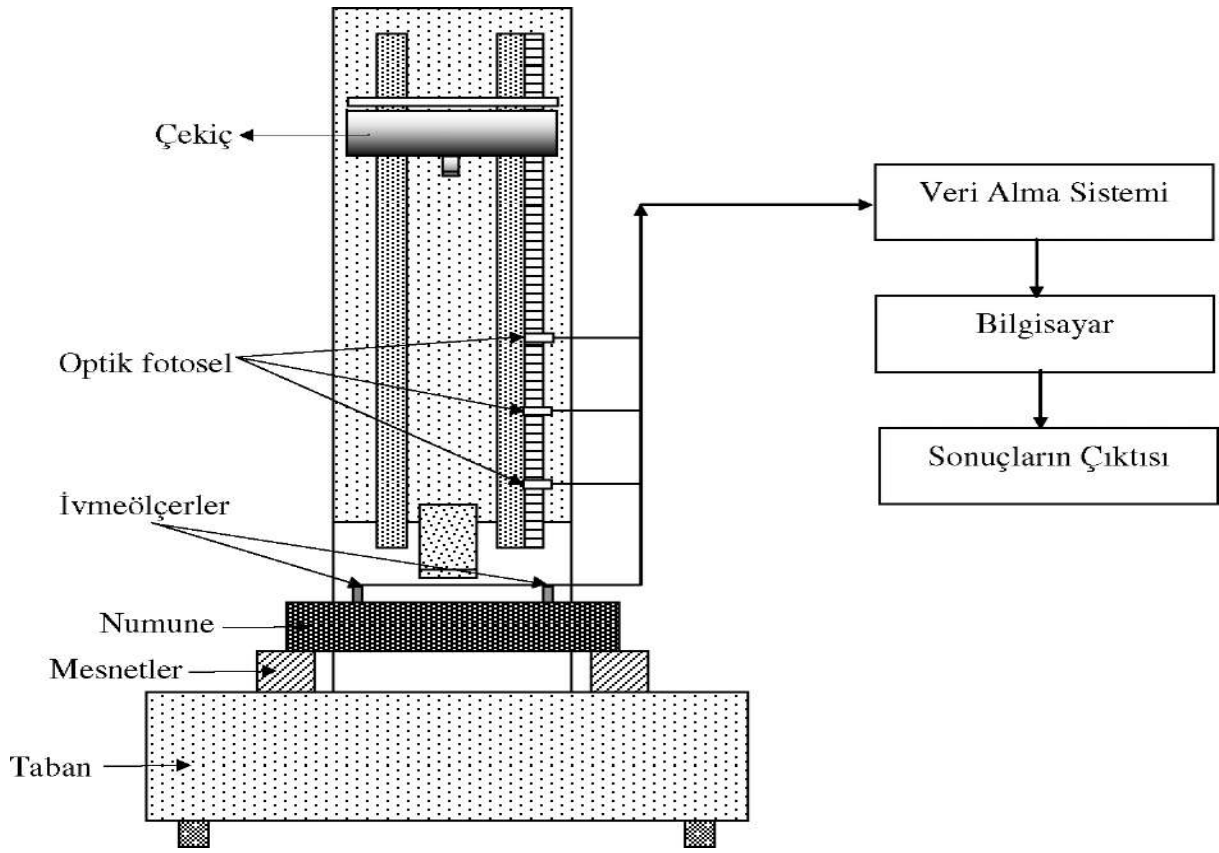
4.1. Ağırlık Düşürücü Deney Düzeneği

Çalışmada kullanılacak olan deney düzeneği serbest ağırlık düşürücü olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.1). Deneylerde kullanılacak eleman boyutlarına ve elemanlarda kullanılan malzeme cinslerine göre deney düzeneğinin boyutları belirlenmiştir.

Ağırlık düşürücü deney düzeneğinde, potansiyel enerjinin çarpma anında kinetik enerjiye dönüşmesi yaklaşımı uygulamada kullanılan temel yaklaşımdır. Buradaki enerji dönüşümü eleman üzerinde çok hızlı bir şekilde gerçekleşen gerilme yığılmasına neden olmaktadır.

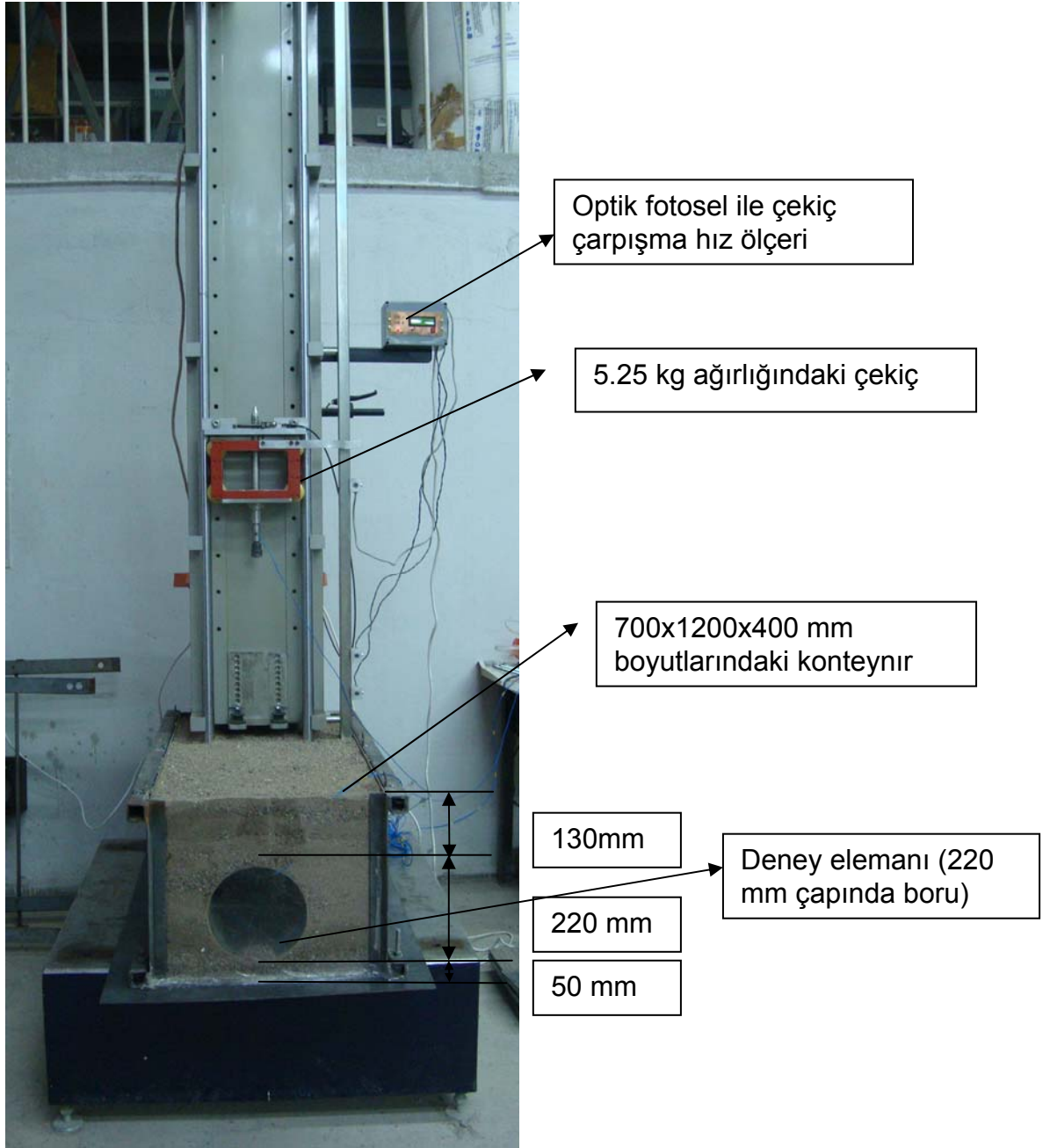
Aşağıda sıralananlar göz ardı edilmemek kaydıyla ağırlık düşürücü bir test düzeneği darbe etkisinin gözlenmesi için kullanılabilir;

- Çekiç ve numune arasındaki etkileşim yükü numunenin içsel etkilerinden dolayı etken eğilme yükü değildir.
- İçsel kuvvetlerin tam olarak ortaya çıkarılması ile numune boyunca meydana gelen ivme dağılımı belirlenebilir.
- Numune boyunca bazı yaklaşımlar yapılarak içsel kuvvetlerin elde edilmesinde matematiksel formülasyonlar geliştirilebilir.
- Enerjinin korunumu kanununa göre düşme sırasında kaybedilen enerji deney numunesi tarafından kazanılan enerjiye eşittir [36].



Şekil 4.1. Ağırlık düşürücü deney düzeneğinin tasarım şeması [37].

Deneyleerde kullanılan deney düzeneği tasarlanırken ilk önceliğimiz laboratuvarımızda bu deney düzeneği ile çok çeşitli deneyler yapılabilmesi ve ihtiyaçlara cevap verebilir olması göz önüne alınmıştır. Deney düzeneği ve deneylerde kullanılacak ölçüm araçları literatür araştırması sonucu belirlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmaların sonuçları kaya düşmesini en iyi modelleyebilen çarpma deney düzeneğinin ağırlık düşürücü deney düzeneği olduğunu göstermiştir. Tasarlanan deney düzeneği, farklı yükseklikler ve farklı ağırlıklar seçme imkânı sağlamaktadır (Resim 4.1). Borumuzun yerleştirileceği 700x1200x400 ebatlarındaki çelik kalıbımız 1000x1000x70 mm ebatlarında kare şeklinde çelik levhadan yapılmış bir kaide üzerine yerleştirilmiştir. Çelik levhanın kalın seçilmesinin sebebi ise deney elemanına çekicinin çarpması anında ortaya çıkan hareketin sönümlenmesi ve çarpma noktasının ekzantrisitesinin kaymamasıdır. Böylelikle deney düzeneğinin yaklaşık 500 kg ağırlığındaki tabanı sönümleyici görevi görmektedir.



Resim 4.1. Deney düzeneği

Deney düzeneğinde bulunan çekiç olarak adlandırılan düşen kütle farklı deneyler yapabilmek için ağırlığı arttırılabilir şekilde tasarlanmıştır (Resim 4.2). Çekiç alüminyum malzemeden yapılmıştır. Çekicinin kendi kütlesi 5,250 kg'dır. Çekiç kütlesini değiştirmek için iç kısmına ağırlık takılmasını sağlayan ve çarpma anında eklenen ağırlıkların hareket etmesini engelleyen vidalama sistemi yerleştirilmiştir.

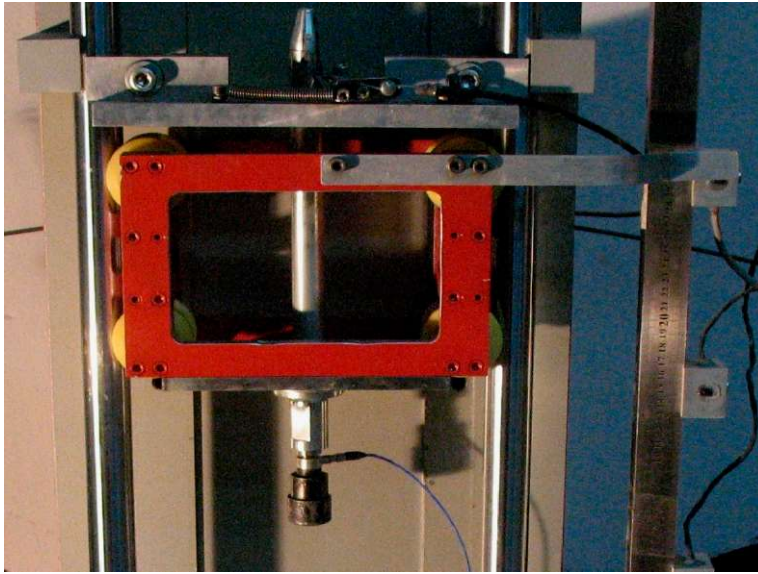
Çekicinin sürtünmesini en aza indirebilmek için yatakların sürtünen yüzeyleri azaltılmış ve dört köşesinde bulunan iç yüzeyleri yuvarlatılmış kestamit malzemesinden yapılmış tekerleklerle yatağına oturtulmuştur.

Kestamit, polyamit grubundan bir malzemedir, döküm yoluyla imal edilir, sıkı bir dokuya ve sertliğe sahiptir. Dişli yapımında özellikle büyük çapta dişlilerde tercih edilir. Dişlilerin yataklanmasını düzgün yapılması koşulu ile uzun süreli dayanım elde edilir. Bir diğer üstünlüğü de aşınma mukavemetinin çok yüksek olmasıdır. Metallerle sürtünerek çalışma durumunda dahi çok yüksek aşınma mukavemetine sahiptir. Özellikle darbelere, yüke, yorulmalara karşı yüksek dirençlidir. Isı dayanımı yüksek, sürtünme katsayısı düşüktür. Kestamit malzemesinin temel özellikleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kestamit malzemesinin temel özellikleri

Sembolü	PA 6
Yoğunluk(g/cm)	1,12-1,14
Kopma Mukavemeti(MPa)	39-78
Kopma Uzaması	30-300
Eğilme Mukavemeti(MPa)	49-127
Basma Mukavemeti(MPa)	58-107
Darbe Mukavemeti(MPa)	0,29-1,47
Sertlik Shore(D)	M80-85, R115-120, D85-90
Sürtünme Katsayısı	0,15-0,42
Havadan Aldığı Nem(%)	2,5-3
Sudaki Doygunluk(%)	8,5-10
Max. Çalışma Sıcaklığı(°C) Uzun-Kısa Süre	90-150

Çekicin ucu değiştirilebilir olarak yapılmıştır. Bunun nedeni düşme noktasında bölgesel çarpmanın boyutlarını ve etkilerini değiştirebilmektir. Çekicin düşürme mekanizması mekanik olarak imal edilmiştir. Böylelikle deney yapılacak yüksekliğe çekiç ve tutma mekanizması birlikte pratik ve hızlı bir şekilde çıkması sağlanmıştır.



Resim 4.2. Çekiç

Çekicin aynı eksende kalarak serbest düşme yapması için iki tarafında millerle kızaklanmıştır. Mil boyu 2500 mm olup deney yüksekliğini belirlemektedir. Çekicin oturduğu miller 30 mm çapında kromdan yapılmıştır. Sürtünmeyi en aza indirmek için yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde özel olarak taşlanmıştır. Miller, deney düzeneğinin kulesine belirli noktalardan sabitlenmiştir. Ayrıca üst kısmı özel olarak dizayn edilmiş olup yüksekliği arttırmaya imkân vermektedir. Kızaklar arası mesafe 200 mm dir. Kızak bağlantı kulesi 300x300 mm kesitindedir. Çekiç düşme yüksekliğini ayarlayabilmek için üst tespit çenesi kayar şekilde tasarlanmıştır. Kızak milleriyle paralel olarak yataklanmış bir profil kızak bağlantı kulesine monte edilmiştir. Bu profil üzerine optik fotoseller yerleştirilerek çekicin harekete başladığı andan çarpma anına kadar geçen sürenin ölçülmesi sağlanmıştır. Ölçümlerin alındığı ve işlendiği elektronik aksam da bağlantı kulesi üzerine okumalar görülecek şekilde yerleştirilmiştir.

4.2. İvmeölçerler

4.2.1. Genel bilgi

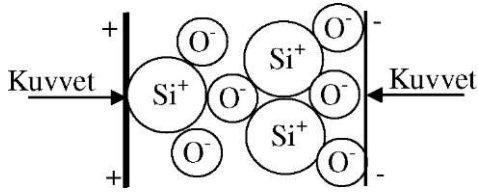
İvmeölçerler, genel amaçlı mutlak hareket ölçümlerinde, şok ve titreşim ölçümlerinde kullanılırlar. Bir yapının ya da bir makinenin ömrü, çalışma sırasında maruz kaldığı ivmenin şiddeti ile orantılıdır. Bir yapının çeşitli noktalarındaki titreşimin genliği ve fazı, bir modal analiz yapılabilmesine izin vermektedir. Yapılacak olan bu analiz sonucunda dinamik olarak çalışacak parçaların çalışma modları belirlenerek tüm sistemin dinamik karakteri ortaya konabilmektedir.

Sismik ivmeölçerler ile yer, bina, köprü üzerinde deprem, inşaat, madencilik çalışmaları, büyük nakliye vasıtaların yol açtığı titreşimler ölçülebilir. Yüksek frekanslı ivmeölçerler ile çarpma testleri, çok yüksek devirli motorların testleri yapılabilir. İvmeölçerler ölçme tekniğine göre de farklı sınıflara ayrılırlar. Bunlar:

- Piezoelektrik İvme ölçerler,
- Kapasitif İvme ölçerler.

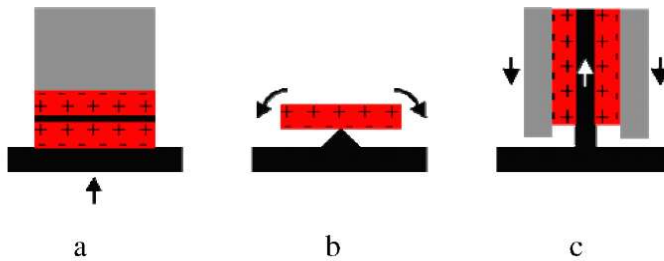
Piezo kelimesi Yunanca sıkmak anlamına gelmektedir. Piezoelektrik elemanlar bir dış kuvvet altında kaldıkları zaman, karşılıklı yüzeyleri üzerinde bir elektrik yükü oluşur [37].

Şekil 4.2.'de gösterilen büyük daireler silikon atomlarını, küçükler ise oksijen atomlarını belirtmektedir. Doğal ya da işlenmiş kuvarz kristali en hassas ve kararlı piezoelektrik malzemelerden biridir. Doğal malzemelerin yanı sıra yüksek teknolojilerle üretilen polikristalin ve piezoseramik gibi malzemeler de yüksek elektrik alana maruz bırakıldıklarında piezoelektrik özellik kazanmaları sağlanabilmektedir. Bu kristaller çok yüksek değerde yük çıkışı üretirler. Bu özellikleri sayesinde de özellikle düşük genlikli sinyallerin ölçülmesinde kullanılırlar



Şekil 4.2. Piezo yapı

Şekil 4.3.'de gözüktüğü gibi piezoelektrik algılayıcılarda farklı boyut ve şekillerde piezoelektrik malzemeler kullanılabilir. Şekil 4.3.a'da basma kuvvetini temel alan tasarım, yüksek bir rijitlik göstermektedir. Bu özelliği sayesinde yüksek frekanslı basınç ve kuvvet ölçümlerinde kullanılmaktadır. Olumsuz bir özelliği sıcaklık değişimlerine gösterdiği hassasiyettir. Şekil 4.3.b'de basit bir tasarım olan eğilmeli tasarım, düşük frekans aralığı ve düşük darbe dayanımı nedeni ile dar bir kullanım sahasına sahiptir. Şekil 4.3.c'de kayma gerilmesi tasarımı geniş frekans aralığı, düşük eksen kaçıklığı hassasiyeti, ısı değişimlerinden az etkilenmesi gibi olumlu özellikleri sayesinde ivmeölçerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [37].



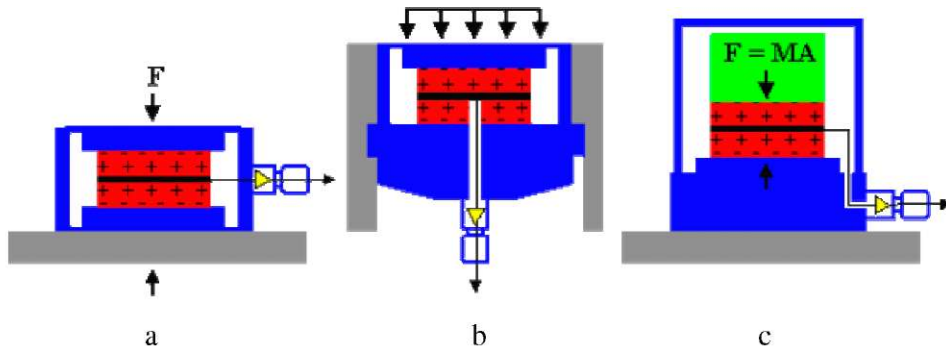
Şekil 4.3. Piezoelektrik algılayıcılarda piezo malzeme şekilleri
a.Basınç b. Eğilme c. Kayma

$104 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ gibi birçok metale yakın bir sertlik derecesine sahip olan piezoelektrik malzemeler, çok küçük bir yer değişimi altında bile büyük bir çıkış verirler. Bir diğer deyişle piezoelektrik malzemeler fiziksel olarak kalıcı bir değişime uğramazlar. Bu sebeple piezoelektrik algılayıcılar çok sağlam bir kılıfta korunur ve geniş bir genlik aralığında mükemmel bir doğrusallık gösterirler. Doğru seçilmiş bir sinyal koşullama sistemi ile birlikte kullanıldığında, bu tip algılayıcılar 120 dB gibi çok geniş bir genlik aralığına sahip olmaktadır. Uygulama açısından bu özellik,

aynı piezoelektrik ivmeölçer ile 0,0001 g'den 100 g'e kadar geniş bir aralıkta ölçüm yapılabilir anlamına gelmektedir.

Piezoelektrik malzemelerden bahsederken üzerinde önemle durulması gereken diğer bir nokta da bunların sadece dinamik ya da diğer bir değişle değişen durumları ölçebildiğidir. Piezoelektrik algılayıcılar, yerçekimi ivmesi, barometrik basınç, ağırlık kuvveti gibi statik, yani zamanla değişmeyen büyüklükleri ölçemezler. Bu sabit olaylar ilk anda bir çıkış doğururlar. Fakat bu sinyal, piezoelektrik malzemenin ve algılayıcının bağlı olduğu elektronik devrenin zaman sabitine bağlı olarak, zamanla yok olacaktır. Bu zaman sabiti, cihazın üzerindeki kapasitans ve direncin oluşturduğu, birinci dereceden yüksek frekans geçiren filtreden kaynaklanmaktadır. Bu filtre cihazın ölçebileceği en düşük frekansı belirlemektedir. Kuvvet, basınç ve ivme algılayıcılarında piezoelektrik malzeme kullanılmaktadır.

Kuvvet, basınç ve ivme algılayıcılarının yapıları Şekil 4.4.'de görülmektedir. Bu şekil üzerinde gösterilen gri renkli kısımlar test edilen cismi, mavi renkli kısımlar algılayıcı muhafazasını, kırmızı kısımlar piezoelektrik malzemeyi, siyah kısımlar şekil değişimi gösteren kristalin üzerinde oluşan yükün toplandığı elektrodları ve sarı renkli kısım da elektrik yükü şeklindeki sinyalin voltaj sinyaline çevrildiği mikrodevreyi belirtmektedir. İvmeölçerde ayrıca yeşil renkle gösterilen sismik kütle vardır. Görüldüğü gibi, bu üç tip algılayıcının iç yapıları birbirinden çok farklı değildir. Hareket ölçen ivmeölçerlerdeki kristallerin üzerine oturan sismik kütle, algılayıcının üzerine takıldığı cismin hareketini izlemek zorundadır. Kristallerin üzerine etkiyen kuvvet Newton'un İkinci Hareket Kanunu uyarınca, $F=m \times a$ eşitliğinden hesaplanır. Kuvvet ve basınç algılayıcıları neredeyse aynı özellikleri taşırlar. Aralarındaki temel fark basınç algılayıcılarının basıncı toplamak için bir diyafram kullanmasıdır.



Şekil 4.4. Piezoelektrik algılayıcılar

a. Kuvvet b. Basınç c. İvme algılayıcıları

4.2.2. Piezoelektrik ivmeölçerler

Piezoelektrik ivmeölçerler çok düşük frekanslı sismik uygulamalardan, çok yüksek frekansta doğrusal çalışma aralığı gerektiren çarpma testlerine kadar birçok ölçme uygulamasında kullanılan, küçük boyutlu, yüksek sıcaklık aralığında çalışabilen, endüstriyel standartlarda kılıf içinde yapılandırılmış transdüserlerdir. Kuvars ya da seramik kristaller bir kuvvet altında kaldığında picocoulomb seviyesinde elektrik yükü üretirler. Bu elektrik yükünün kristal üzerindeki değişimi yer çekimi ivmesinin değişimi ile doğru orantılıdır. İvmeölçerlerdeki sismik kütlenin ivme altında maruz kaldığı atalet kuvveti piezoelektrik kristale etkir ve ivme ile doğru orantılı bir elektrik sinyali çıkışı verir. Mikro elektronik devreye sahip piezoelektrik ivmeölçerlerin içinde sinyali taşınabilir voltaj sinyaline çeviren bir sinyal koşullayıcı devre vardır. Bu tip algılayıcılar gürültüden minimum etkilenirler. Üzerinde çevirici mikro elektronik devre olmayan algılayıcılar harici bir çevirici ile kullanılırlar. Bu tip algılayıcılar yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılmak için idealdirler.

4.2.3. Kapasitif ivmeölçerler

Kapasitif ivmeölçerler düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimleri, statik ivmeleri ölçmede kullanılırlar. Karşılıklı yerleştirilmiş kapasitör şeklinde çalışan iki plaka arasındaki kapasitansın değişmesi prensibi ile ölçüm yaparlar. Bu plakalar arasındaki mesafe ve dolayısı ile kapasitans ivme altında değişir ve ivme ile doğrusal bir sinyal doğururlar. Bu tip algılayıcılar özel bir sinyal koşullama gerektirmezler. 12VDC ya da 24 VDC ile beslenmek sureti ile çalışırlar. Özellikle robotik, otomotiv sürüş kalite testleri, bina dinamiği ölçümü gibi yerlerde kullanılırlar

4.2.4. Deneylerde kullanılan ivmeölçer: Model 353B02

Deneylerimiz için piezoelektrik ivmeölçerleri tercih edildi. PCB Group firmasına ait piezoelektrik ICP tipi ivmeölçerlerden 2 adet Model 353B02 kullanıldı. (Resim 4.3.).

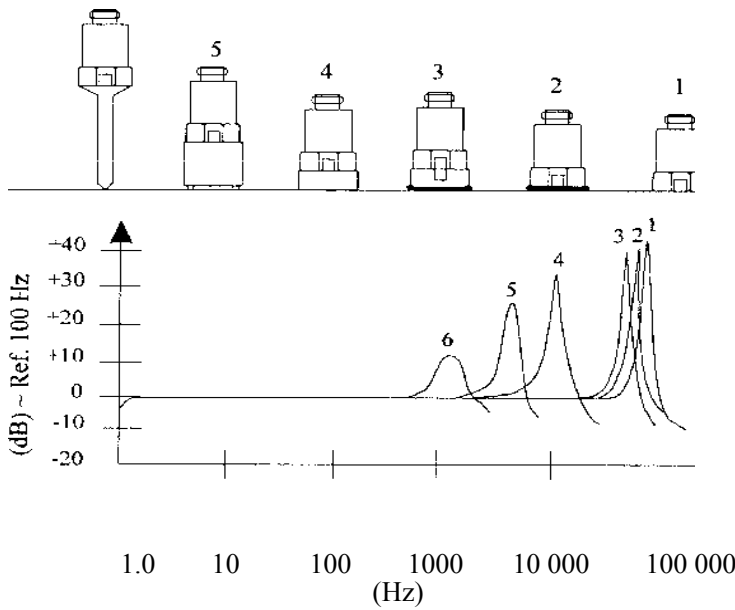


Resim 4.3. Model 353B02

ICP tipi ivmeölçerlerin üstünlükleri;

- Uygun tip ve uzunlukta kabloya bakmaksızın sabit voltaj hassasiyeti,
- Düşük empedanslı çıkış sinyali, oldukça uzun kablolarda bile çevre etkilerine rağmen sinyal kalitesini kaybetmeme,
- Düşük gürültü aralığı, veri toplama donanımları, kaydedici, sinyal çözümleme, standart okuyucu ile voltaj-çıkış sinyali uyumu olarak sayılabilir.

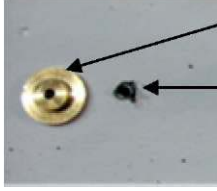
Bu tip ivmeölçerlerle ölçümleri almak için montaj şekilleri vardır. Bu montaj şekillerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Montaj yapılan yerin karakteristik özellikleri, pürüzsüzlük, sıcaklık değişim büyüklüğü, erişilebilirlik ve taşınabilirlik son derece önem teşkil etmektedir. Firmanın kendi laboratuvarlarında yaptığı testlerle montaj şeklinin hassasiyetleri yüksek frekans altında test edilip grafik halinde Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekansa etkileri

1. Vida ile 2. Yapıştırıcı ile 3. Montaj pedi ile 4. Düz mıknatıs ile
5. Çift taraflı mıknatıs ile 6. El çubuğu ile (Manual)

Çarpma anında yüksek frekanslar oluştuğu için ayrıca çelik üzerine tutturabilmek için vida ile montaj şekli tercih edilmiştir. Optimum bağlama düzenlemeleri önemli ölçüde ölçümün doğruluk payını arttırmaktadır. En iyi performans için, özellikle yüksek frekanslarda, ivmeölçerin tabanı ve test edilecek nesnenin yüzeylerinin temiz, düz, pürüzsüz, çiziksiz olmasına dikkat edilmelidir. Vidalı montaj için çelik üzerine delik açılmış ve bu deliklere çelik dübel yardımı ile vidalar yerleştirilmiştir. İvmeölçerlerin ölçüm değerlerini hassas bir şekilde okuyabilmesi için iletkenliği iyi olan pirinç malzemeden montaj aparatı yapılmış ve bu aparat ile ivmeölçerler çelik numune üzerine monte edilmiştir.(Resim 4.4)



Resim 4.4. Montaj yeri ve aparatı

Kullandığımız ivmeölçerlerin teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Model 353B02 ivmeölçerin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Hassasiyet($\pm 5\%$)	2,04 mV/(m/s ²)
Ölçüm Aralığı	$\pm 2453 \text{ m/s}^2$
Frekans Aralığı ($\pm 5\%$)	1-7000 Hz
Frekans Aralığı ($\pm 10\%$)	0,7-10 000 Hz
Frekans Aralığı ($\pm 3 \text{ dB}$)	0,35-18 000 Hz
Rezonans Frekansı	>38 kHz
Genişbant Hassasiyeti(1-10 000 Hz)	0,05 m/s ²
Düzensizlik	<1 %
Çaprazlama Hassasiyeti	<5 %
Aşırı Yük Sınırı	98 100 m/s ²
Çalışma Sıcaklığı	-54 ile +121 °C
Uyarma Voltajı	18-30 VDC
Sabit Akım Uyarma	2-20 mA
Çıkış Empedansı	<100 ohms
Çıkış Öngerilim Voltajı	8-12 VDC
Boşaltım Zamanı	0,5-2,0 s
Hazır Hale Gelme Zamanı	< 5 s
Algılama Elemanı	Quartz
Elektrik Bağlantısı	10-32 Koaksiyal Jak
Elektrik Bağlantı Yeri	Ust
Ağırlık	10 gr

4.3. Kuvvet Algılayıcısı

4.3.1. Genel bilgi

Kuvarz kuvvet algılayıcıları, sıkışma, çekme gerilmeleri, darbe, tepki ve etki kuvvetlerini ölçen sağlam, uzun ömürlü, dinamik hissedici elemanlardır. Kullanım alanlarının başında, darbe kuvvetlerinin izlenmesi, çarpma testleri, baskı kuvvetlerinin izlenmesi, kuvvet kontrollü zorlanmış titreşimlerin izlenmesi, mekanik empedans, talaşlı imalat, düşürme testleri, titreşim uyaranları, nüfuz etme(penetrasyon) testleri, mukavemet testleri, kopma noktası testleri, tüm soğuk ve sıcak plastik şekil verme işlemleri, kaynak işlemleri ve test işlemleri gelmektedir. Kuvvet algılayıcılarını seçerken test edilen ortamın özellikleri mutlaka göz önünde tutulmalıdır [37].

Kuvarz kuvvet algılayıcılarının bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çelik ile kıyaslanabilecek kadar yüksek rijitlik,
- Yüksek voltaj-düşük empedanslı çıkış(ICP tip algılayıcılar için)
- Hızlı yüksek frekans cevabı
- Küçük boyutlarda büyük kuvvet sinyallerini algılama özelliği
- Büyük statik yükler üzerindeki küçük kuvvet dalgalanmalarını ölçme yeteneği
- Rijid yapısı sayesinde dayanıklı ve uzun ömürlüdür
- Çok iyi doğrusalılık, sabitlik ve tekrarlanabilirlik
- Statik etkilere gösterdiği etki sayesinde statik kalibrasyon yapılabilir ve sabit ısı şartları altında statik ölçümler yapılabilir.

4.3.2. Halka kuvvet algılayıcıları

Halka kuvvet algılayıcıları dinamik basınç ölçümleri için tasarlanmışlardır. Bu tip kuvvet algılayıcıları, soğuk şekil verme, talaşlı imalat işlemleri sırasında ortaya çıkan dinamik basma, çekme gerilme ölçmeleri için uygundur. Çeliğe yakın rijitliğe sahiptirler. Hava sızdırmazlık sağlayan kaynak sayesinde elverişsiz ortamlarda güvenle kullanılabilirler. Statik kalibrasyon ve kısa süreli statik ölçme özellikleri vardır. Yüksek doğrusalılık ve tekrar edilebilirlik özellikleri oldukça iyidir. Presleme

izlenmesinde, kuvvet kontrollü zorlanmış titreşimlerin olduğu yerlerde, mekanik empedans testlerinde de kullanılmaktadırlar.

4.3.3. Deneylerde kullanılan halka kuvvet algılayıcı: 201B03 Model ICP®

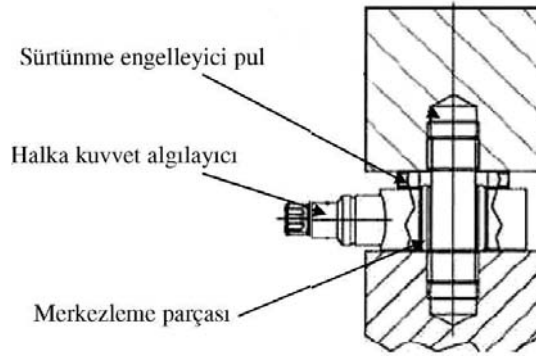
Deneylerimizde PCB Group firmasının üretimi olan kuvars halka kuvvet algılayıcılarından 201B03 Model ICP türü kullanıldı. (Resim 4.5).



Resim 4.5. 201B03 Model ICP kuvars halka kuvvet algılayıcısı

Bu tip algılayıcıların kullanımında en önemli adım algılayıcının montajıdır. Montaj yapılırken yapılan hatalar ölçümleri tamamen yanlış alınmasına sebep olur. Halka kuvvet algılayıcıların montajı Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi algılayıcı, iki yapı arasına özel bir vida ile monte edilmiştir. Bu vida berilyum-bakır karışımı özel bir malzemeden yapılmış olup ön yükleme yapılmasına imkân vermekte, kalibrasyonu düzgün bir şekilde sağlanmakta ve algılayıcıdan okunan ölçme değerleri lineer olmaktadır. Algılayıcıyı merkezlemek için vida ile halka arasına plastik bir parça yerleştirilir. Kuvvetin geldiği taraf ile algılayıcı arasına sürtünmeyi engelleyici pul konmuştur.

Laboratuvarımızda mevcut olan halka kuvvet algılayıcısı, yapılan pilot deneylerde kullandığımız çekiç kütlesi ile çarpma anında oluşan kuvvetin maksimum değerinin, algılayıcının maksimum ölçme değerini aştığı görülmüştür. Fakat kuvvetteki değişim değerlerini görmek için deneylerde kullanılmıştır. Kullandığımız halka kuvvet algılayıcının teknik özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Halka kuvvet algılayıcısı montaj şekli

Çizelge 4.3. 201B03 Model ICP halka kuvvet algılayıcısı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Hassasiyet($\pm 15\%$)	2248 mV/kN
Ölçüm Aralığı(Basınç Kuvveti)	2,224 kN
Maksimum Statik Kuvvet(Basınç Kuvveti)	13,34 kN
Genişbant Çözünürlüğü(1-10 000 Hz)	0,04448 N-rms
Düşük Frekansa Yanıtı(-5%)	0,0003 Hz
En Üst Frekans Sınırı	90 kHz
Düzensizlik	<1% FS
Çalışma Sıcaklığı	-54 ile +121 °C
Sıcaklık Hassasiyet Katsayısı	<0,054 °C
Boşaltma Zaman Sabiti(Oda Sıcaklığı)	>2000 saniye
Uyarma Voltajı	20 ile 30 VDC
Uyarma Akım Sabiti	2 ile 20 mA
Çıkış Empedansı	<100 ohms
Çıkış Öngerilim Voltajı	8 ile 14 VDC
Önyükleme	0,89 kN
Dış Gövde	Paslanmaz Çelik
Elektrik Bağlantısı	10-32 Koaksiyel Jak

4.4. Veri Toplayıcı

4.4.1 Genel Bilgi

Veri toplayıcıları, deneylerde kullanılan ölçüm aygıtlarından elde edilen ölçümleri toplayıp bilgisayar ortamında değerlendirilmesi için bilgisayar datalarına çeviren aygıtlardır. Veri toplayıcıları, çok çeşitlidir. Yapılacak çalışmalara göre özel olarak dizayn edilenlerinden standart olarak üretilenlere kadar birçok çeşidi vardır

4.4.2. Deneylerde kullanılan veri toplayıcı: NI 9233-USB-9162

Deneylerde kullanılacak olan veri toplayıcı seçilirken kuvvetin etki şekline ve kullanılan ölçme aygıtlarının türü dikkate alınmıştır. Bu şartlar dikkate alınarak National Instruments firmasının ürettiği NI 9233-USB-9162 modeli kullanılmıştır (Resim 4.6). Bu veri toplayıcı, dört kanallı dinamik sinyal yakalayıcısı olup, yüksek doğrulukta ölçüm alabilen IEPE algılayıcılarından yapılmıştır. Kullanılan veri toplayıcı aygıt iki modülden oluşmaktadır. Birinci modül veri toplayıcısıdır. Bu modüle ölçüm aygıtları bağlanmaktadır. İkinci bölüm ise sinyal taşıyıcı modülüdür.



Resim 4.6. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı

Bu modül de birinci modülden gelen sinyalleri bilgisayara aktarmaktadır. Her iki modül birbirinden bağımsızdır. Veri toplayıcıdan bilgisayar ortamına aktarılan veriler veri toplayıcı için yazılmış olan bilgisayar programı yardımıyla almak

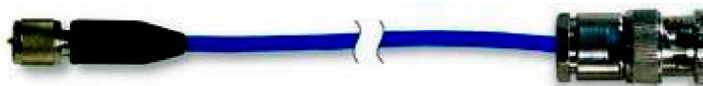
istediğimiz veri türüne çevrilerek kaydedilir. Ayrıca bu program yardımıyla deney düzeneğine bağladığımız ölçüm aygıtlarının kalibrasyon ayarları yapılmaktadır. Çizelge 4.4'de veri toplayıcısının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Kanal Sayısı	4 Adet Analog Giriş
Çözünürlük	24-bit
Dinamik Aralık	102 dB
Minimum Data Oranı	2 kS/s
Maksimum Data Oranı	50 kS/s
Frekans	12,8 MHz
Hassasiyet	± 100 ppm max.
Giriş Akımı	AC
Minimum AC Voltajı	5 V
Maksimum AC Voltajı	5,8 V
IEPE Minimum Uyarma Akımı	2.0 mA
Giriş Voltajı Aralığı	± 5 V
Bilgisayar Bağlantısı	HI-Speed USB 2.0

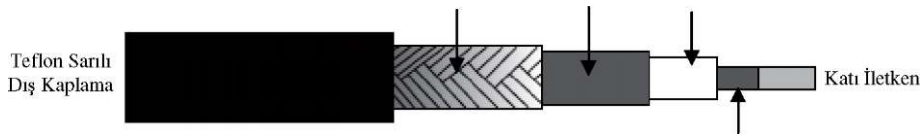
4.5. Ölçüm Aygıtları Bağlantı Kabloları

Ölçüm aygıtlarından alınan ölçme değerlerinin değer kaybına uğramadan deney alanından veri toplayıcısına iletilmesi için özel kablolar tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneylerimizde PCB Group firmasının imal ettiği 003A20 Model numaralı kablo kullanılmıştır (Resim 4.7). Bu kablo düşük gürültülü koaksiyal kablodur.



Resim 4.7. 003A20 Model düşük gürültülü koaksiyal kablo

Bu tip kablolar yüksek sıcaklıklarda kullanılan algılayıcılarda, yüksek empedanslı sinyallerde, ICP algılayıcılarda ve düşük empedanslı voltaj sinyallerinin iletilmesinde kullanılmaktadır. Kablo çapı 2 mm olup çalışma sıcaklık aralığı -90 ile 260 °C'dir. Kablo empedansı 50 ohm dur. Kablo uzunluğu 6 m dir. Şekil 4.7'de kablonun iç yapısı görülmektedir.



Şekil 4.7. 003A20 Model kablo iç yapısı

4.6 Optik Fotosel

Fotoseller, dokunmasız bir şekilde hareketleri algılama olanağı sağlar. Optik fotoseller yüksek performansları ve gittikçe küçülen tasarımları ile kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. Büyük indüktif ve kapasitif fotosellerde, fotosel ile hedef cisim arasındaki en uzun mesafe 60-100 mm dolaylarındadır. Fakat optik fotosellerin en küçük boyutlarda olanları dahi birkaç metrelik alanı kontrol edebilmektedir. Bu fotoseller üç farklı algılama ilkesine göre sınıflandırılabilir:

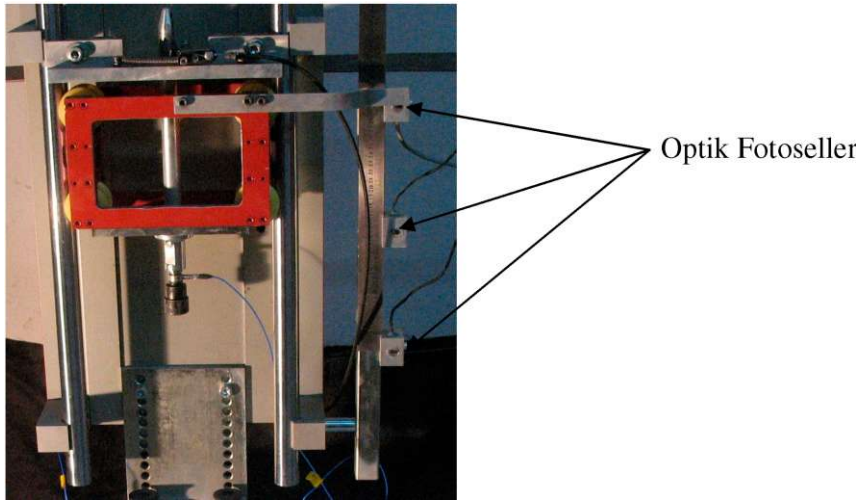
- Karşılıklı fotoseller
- Yansıtıcı fotoseller,
- Cisimden yansımali fotoseller

Deney düzeneğinde kullandığımız fotoseller cisimden yansımali fotosellerdir.

Cisimden yansımali fotosellerin önemli avantajları şunlardır:

- Monte edilecek sadece bir fotosel vardır.
- Yanlış ayarlama ve yansıtıcı kirlenmesi yoktur.
- Şeffaf cisimler karşılıklı ve yansıtıcı fotosellerden daha iyi algılanabilir.

Kullandığımız fotoseller, deneylerde düşen ağırlığın harekete başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen süreyi ölçebilmek için kullanılmaktadır. Çekiç üzerine monte edilen bir parça yardımıyla çekiç fotoselin önünden geçtiği anda fotoseli harekete geçirir ve elektronik bir devreye bağlı olan fotosel ölçüm alınmasını sağlar. Üç adet optik fotosel deney düzeneği üzerine yerleştirilen özel bir kızak üzerine monte edilmiş ve istenilen yüksekliklere ayarlanarak kullanım imkanı sağlanmıştır (Resim 4.8).

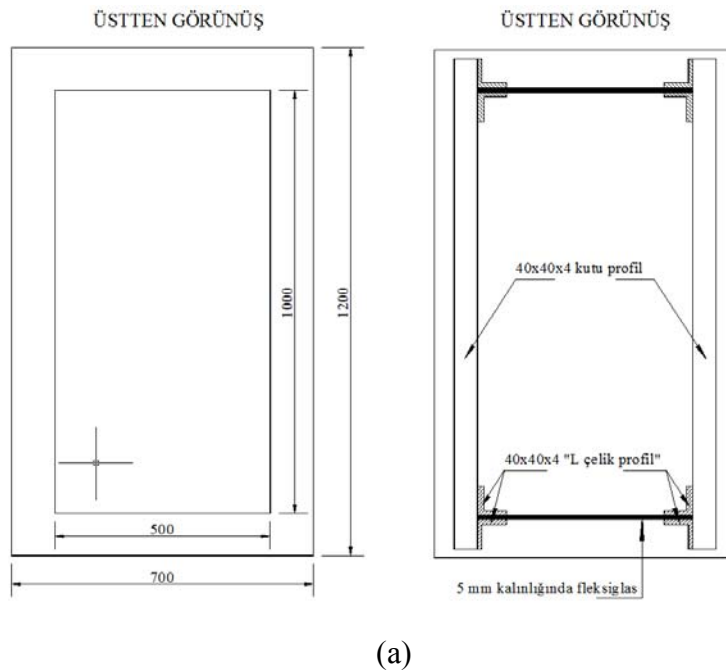


Resim 4.8. Optik fotoseller ve yerleşimi

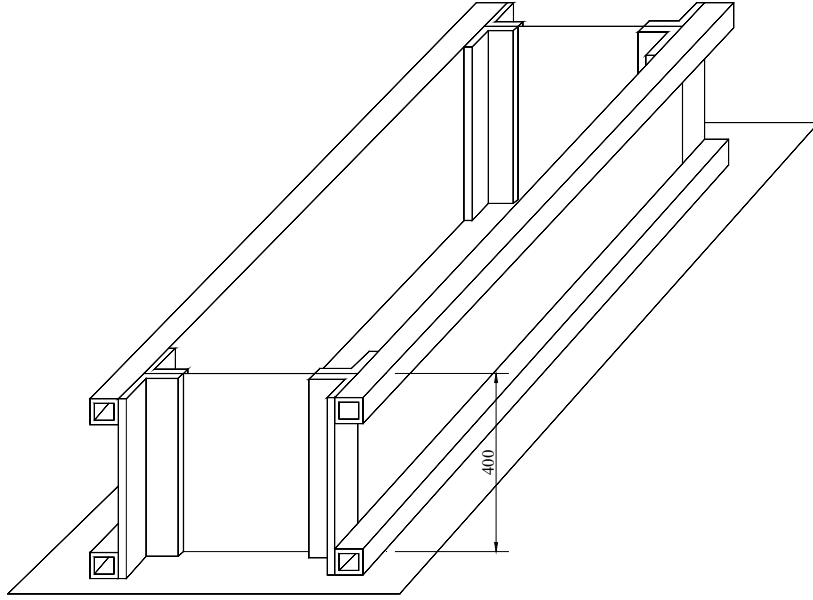
Üç adet fotoselden en üstte bulunan fotosel çekicin harekete geçtiği anda zaman ölçüm devresini açmaktadır. Ortada bulunan fotosel önünden çekiç geçtiği anda ilk zaman ölçümünü alır. En altta bulunan fotosel ise çekicin harekete başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen toplam zamanı ölçer. Böylelikle çekicin zamana bağlı hız değişimi belirlenmiş olmaktadır.

5. DENEY SONUÇLARI

Çalışma kapsamında boru üzerine kaya düşmesini modellemek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılmıştır. Boru sistemleri üzerine kaya düşmesinin etkilerini modellemek ve koruyucu tabakalı yapıların performanslarını karşılaştırmak için bir konteynır imal edilmiştir. Boru sistemi ve üzerine koruyucu tabaka olarak yerleştirilecek olan 0-7 mm gradasyona sahip kum malzemesinin yerleştirilerek testlerin gerçekleştirilebilmesi için bu konteynır kullanılmıştır. Üretilen konteynır çarpışma yüklemesinin uygulanacağı deney düzeneğine yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma için üretilen konteynır ve deney elemanı olarak kullanılan borunun geometrik özellikleri ile boyutları sırasıyla Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de verilmiştir.

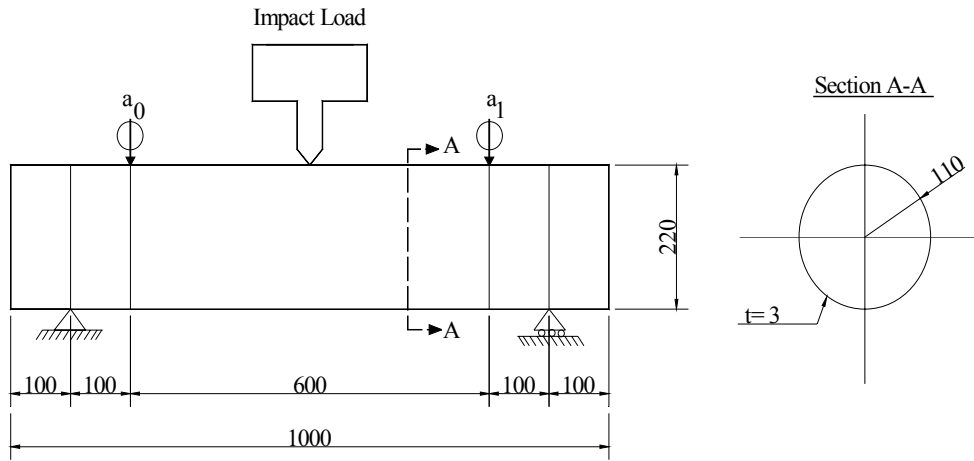


Şekil 5.1. Deney düzeneğinde kullanılan konteynırın geometrik boyutları
a) Üstten görünüş b) İzoparametrik görünüş



(b)

Şekil 5.1. (Devam) Deney düzeneğinde kullanılan konteynırın geometrik boyutları
a) Üstten görünüş b) İzoparametrik görünüş



Bütün ölçüler mm'dir.

Şekil 5.2. Deney elemanlarının geometrik boyutları

Çalışma kapsamında incelenen değişkenler borunun imal edildiği malzeme ve koruyucu tabaka olarak kullanılan malzemenin kombinasyonu olarak düşünülmüştür.

Deneysel çalışma kapsamında sadece çelikten ve dış kısmı bitüm, iç kısmı ise beton tabakası ile kaplı çelik kompozit boru olmak üzere 2 tip boru türü test edilmiştir. Deneyler için kullanılan boruların boyları 1000 mm ve çapları 220 mm'dir. Çelik boru 3 mm et kalınlığına sahiptir. Kompozit borunun et kalınlığı 5 mm olup, 3 mm kalınlığındaki çelik borunun dış yüzeyinde 1 mm kalınlığında bitüm, iç kısmında ise 1 mm kalınlığında beton kaplama mevcuttur. Borunun üst kısmında kullanılacak olan koruyucu tabaka olarak ise birbirinden üç farklı türde koruyucu tabaka türü belirlenerek kıyaslanmıştır. Çalışmada kıyaslanmak için seçilen koruyucu tabakalar 0-7 mm kum zemin tabakası, geogrid takviyeli kum tabakası ve geotekstil takviyeli kum tabakasıdır. Deneysel çalışmada koruyucu tabakasız 2 referans ve koruyucu tabakalı 6 olmak üzere toplam 8 deney elemanı test edilmiştir. Deneysel çalışmada yer alan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Deney elemanları

Deney No.	Boru Tipi	Açıklama
1	Çelik	Koruyucu tabakasız çelik boru
2	Çelik	Geotekstil tabakalı zemin (50 mm)
3	Çelik	Geogrid tabakalı zemin (50 mm)
4	Çelik	Sadece zemin koruyucu tabakalı
5	Kompozit	Koruyucu tabakasız kompozit boru
6	Kompozit	Geotekstil tabakalı zemin (50 mm)
7	Kompozit	Geogrid tabakalı zemin (50 mm)
8	Kompozit	Sadece zemin koruyucu tabakalı

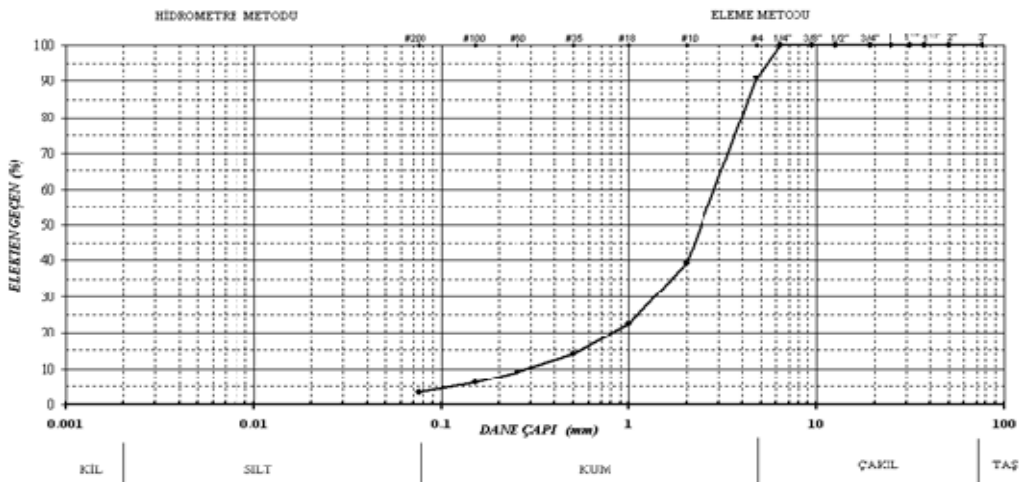
Deneylerde kullanılan iyi derecelenmiş kum (SW) özgül ağırlığı, maksimum ve minimum yoğunluk değerleri ve dane çapı dağılımı yapılan deneylerde belirlenerek karakterize edilmiştir. Kum malzemesinin özellikleri Çizelge 5.2.'de verilmektedir.

Çizelge 5.2 Kum malzemesinin özellikleri

G_s	ρ_{min} (Mg/m ³)	ρ_{max} (Mg/m ³)	e_{min}	e_{max}	D_{10}	D_{50}	C_c	C_u	Oran %
2,71	1,49	1,88	0,44	0,81	0,12	0,6	1,0	7,5	4,9

Yukarıdaki tabloda belirtilen kum malzemesinin özelliklerinden G_s dane özgül ağırlığını, ρ_{min} ve ρ_{max} kumun en gevşek ve en sıkı durumdaki yoğunluğunu, e_{min} ve e_{max} kumun en sıkı ve en gevşek durumdaki boşluk oranını, D_{10} ve D_{50} zemin örneğinin elekten %10'unun ve %50'sinin geçtiği dane çapını, C_c ve C_u zeminin uniformluk ve derecelenme katsayısıdır.

%55 rölatif sıkılıkta hazırlanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deneyleri sonucunda kullanılan kumun içsel sürtünme açısı 41.6° olarak belirlenmiştir. Bu içsel sürtünme açısı 95 ile 500 kPa arasında değişen normal gerilme değerleri arasında elde edilmiştir. Kuma ait dane çapı dağılımı Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Kumun dane çapı dağılımı test sonucu

Tüm deneyler kuru kum numunesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla her deney öncesi kullanılacak zemin malzemesi etüvde kurutulmuştur. Özellikleri belirlenen kum boru deney elemanları üzerinde 130 mm kalınlığında yerleştirilerek koruyucu bir tabaka oluşturulmuştur. Koruyucu kum katmanı kullanılarak hazırlanan deneylerden seçilen bir görünüş Resim 5.1-a 'da verilmiştir.



(a)

Resim 5.1. Deneylerde kullanılan koruyucu katmanl

- a) 130 mm kalınlığındaki kum katmanlı koruyucu tabaka
- b) Kum ve 50 mm derinlikte geotekstil tabakalı koruyucu yapı
- c) Kum ve 50 mm derinlikte geogrid tabakalı koruyucu yapı



(b)



(c)

Resim 5.1. (Devam) Deneylerde kullanılan koruyucu katmanlar

- a) 130 mm kalınlığındaki kum katmanlı koruyucu tabaka
- b) Kum ve 50 mm derinlikte geotekstil tabakalı koruyucu yapı
- c) Kum ve 50 mm derinlikte geogrid tabakalı koruyucu yapı

Çalışmada koruyucu tabaka olarak kullanılan diğer malzemeler ise Tenser International firması tarafından üretilen Geotekstil ve Geogrid malzemeleridir. Malzemelerin üretici firma tarafından verilen özellikleri Ek-1’de sunulmuştur. Geogrid ve Geotekstil malzemeleri deneylerde test düzeneğine yerleştirilen konteynırın üst yüzeyinden 50 mm aşağıda boru eksenine paralel şekilde tek katman

olarak yerleştirilerek koruyucu katman olarak kullanılmıştır. Geogrid ve Geotekstil yerleştirilmesi sırasında alınmış görüşlerden bir örnek Resim 5.1-b ve Resim 5.1-c'de sunulmuştur. Deneyler sonrasında alınan ölçümler kullanılarak oluşturulan ivme-zaman, deplasman-zaman, yük-deplasman grafikleri ve hesaplanan enerji tüketim kapasiteleri yorumlanarak koruyucu katmanların performansları karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır.

Deneylerde 5,25 kg ağırlığındaki çekiç 500 mm yükseklikten düşürülerek testler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde çekiç ağırlığı, çekiç düşürme yüksekliği ve çekiç uç profili sabit tutulmuştur. Deneylerde çekiç üzerinden uygulanan çarpışma yüklemesi 40 kN kapasiteli dinamik bir yük hücresi ve boru üzerinden iki noktadan ivme değerleri ± 560 g kapasiteli piezoelektrik ivme ölçerler ile zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Borulara ivme ölçerler Şekil 5.2'de gösterildiği gibi simetrik olacak şekilde özel olarak üretilen aparatlar kullanılarak yerleştirilmiştir. Deney elemanlarından alınan yükleme ve ivme değerleri dinamik bir veri toplama sistemi ile bilgisayar ortamındaki özel bir yazılıma aktararak değerlendirilmiş ve deneylerin yapılması ve sensörlerin kalibrasyonu için de bu özel yazılım kullanılmıştır. Ölçülen değerler kullanılarak ivme-zaman, deplasman-zaman ve yük-deplasman grafikleri çizilmiş ve yük-deplasman grafikleri kullanılarak enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmıştır.

Deneylerde test edilen koruyucu tabakaların boru sistemlerinin çarpışma davranışı üzerindeki etkilerini ve performansa katkılarını incelemek ve karşılaştırmak için alınan ölçümler kullanılarak çizilen ivme-zaman, deplasman zaman, yük-deplasman grafikleri ve hesaplanan enerji tüketim kapasiteleri kullanılmıştır. Deney elemanları üzerinden alınan 2 adet ivme ölçümünden büyük olan ivme değeri kullanılarak ivme-zaman grafikleri çizilmiştir. Ancak ivme ölçerler deney elemanlarına simetrik olacak şekilde yerleştirildiği için iki ivme ölçerden elde edilen değerler birbirine oldukça yakın ölçülmüştür. Deplasman değerleri boru üzerinden ölçülen ivme değerlerinin integrali alınarak hesaplanmıştır. Bu nedenle deplasman değerinin ivme ölçerlerin bağlandığı noktaya ait olduğu unutulmamalıdır. Deney elemanlarının enerji tüketim

kapasiteleri yük-deplasman grafiklerinin altında kalan alan kullanılarak hesaplanmıştır. Yük-deplasman grafikleri ise aynı zaman aralığında ölçülen ivme değerlerinin integrali alınarak hesaplanan deplasman ve yük değerlerinin bir grafikte birleştirilmesiyle çizilmiştir.

Deneyler sonucunda ölçülen maksimum ivme değerleri, bu ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri ve yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanın hesaplanması sonucunda elde edilen enerji değerleri tüm deney elemanları için Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deney Sonuçları

Deney No.	Maksimum İvme (g)	Oran	Maksimum Dep. (mm)	Oran	Enerji (J)	Oran
1	556,76	1,00	19,317	1,00	406,70	1,00
2	14,28	38,99	12,478	1,55	79,54	5,11
3	25,52	21,82	13,380	1,44	87,08	4,67
4	58,78	9,47	14,578	1,33	82,86	4,91
5	319,41	1,00	20,093	1,00	479,21	1,00
6	16,17	19,75	13,903	1,45	64,41	7,44
7	23,34	13,69	14,056	1,43	104,61	4,58
8	39,88	8,01	15,231	1,32	96,64	4,96

5.1. Deney 1 : Koruyucu yapı olmadan çelik boru

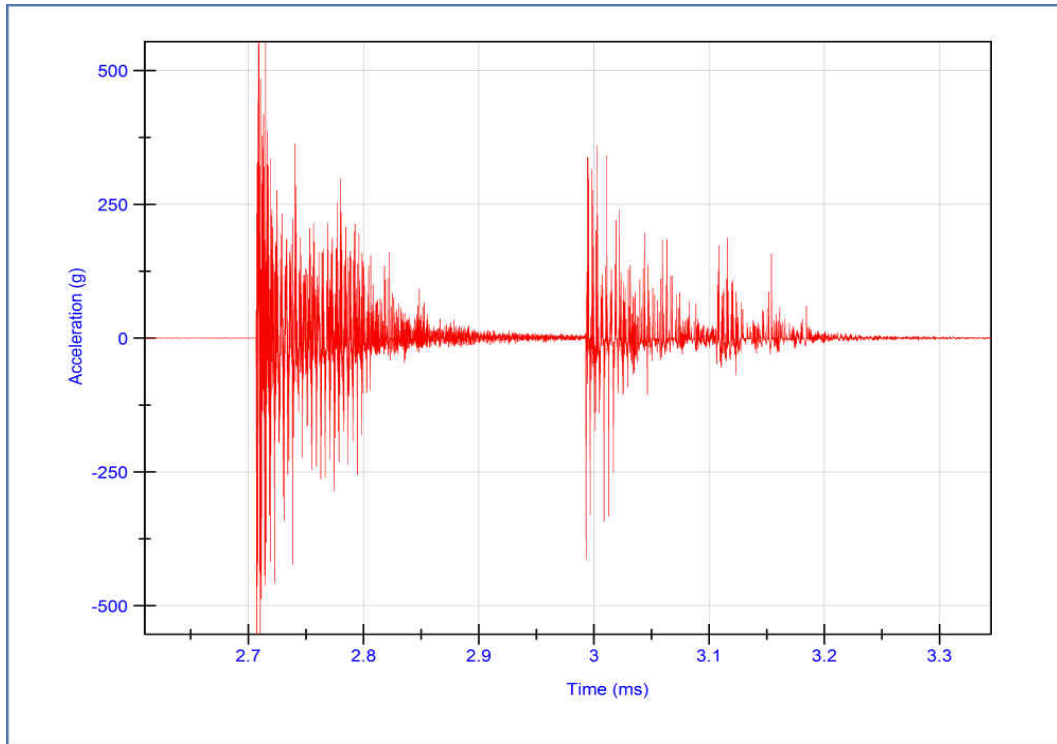
Deney 1’de çelik boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile hiç bir koruyucu tabaka olmadan çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu tabaka olmaması nedeniyle 1. deneyde 556,76 g gibi büyük ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 19,317 mm’dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 406,70 J olarak hesaplanmıştır.

Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.4’de, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5.5’de ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.6’da verilmiştir.

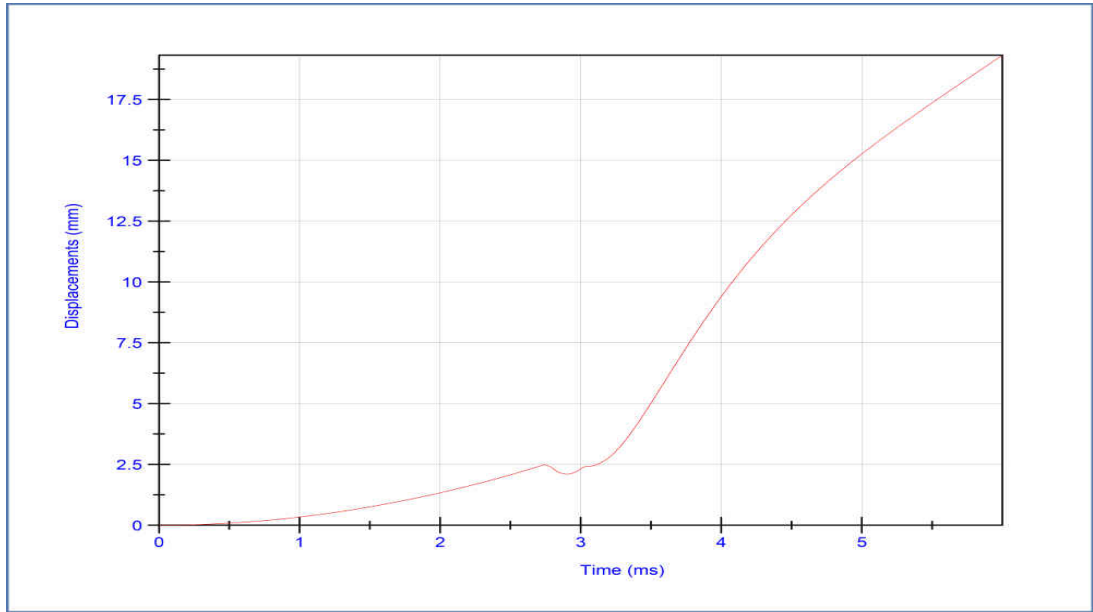
Deneyi yapılan çarpma testi çok kısa bir zaman aralığında gerçekleşmektedir. İki temas eden cisim arasında gerilme transferi çok kısa bir sürede gerçekleşmekte ve gerilme şiddeti çok kısa bir zamanda değişime uğramaktadır. Deneylerden elde edilen grafikler incelendiğinde sıçrama hareketi ve sönümlenme çok net görülmektedir. Çekicin çelik boru üzerine düşmesi ile bir sıçrama etkisi kazandırılmaktadır. İlk çarpışma anında ivme pozitif yönde bir artış göstermekte, çekicin numuneye olan etkisi bitip yük (çekiç etkisi) numune üzerinden kalktığı anda tekrar ters yönde (negatif) bir ivmelenme söz konusu olmakta ve numune önceki durumuna gelecek şekilde bir ivmelenme göstermektedir. Çekicin numuneye aktardığı enerjinin azalmasıyla birlikte ivme değerleri de azalarak sönümlenmektedir.

İvmeölçerin çok hassas olması çekicin geriye doğru sıçrayıp tekrar numune üzerine düştüğü her andaki ivme değişimlerinin kaydedilmesini sağlamıştır. Hiçbir koruyucu yapı olmadan direkt çelik boruya çarpma yüklemesi etkitirilmesi durumunda çekicin ilk düşüden sonra yapmış olduğu ardıl düşüler (rebound) sebebiyle deplasman değeri ilk düşü sırasında pozitif yönde bir artış gösterirken çekicin ikinci düşüyü gerçekleştirmesi için yukarı yükselmesi sırasında malzememiz negatif yönde bir deplasman gerçekleştirmekte ve akabinde ikinci düşünün sonunda deplasman değeri lineer bir artış göstermektedir. (Bknz. Şekil 5.5)

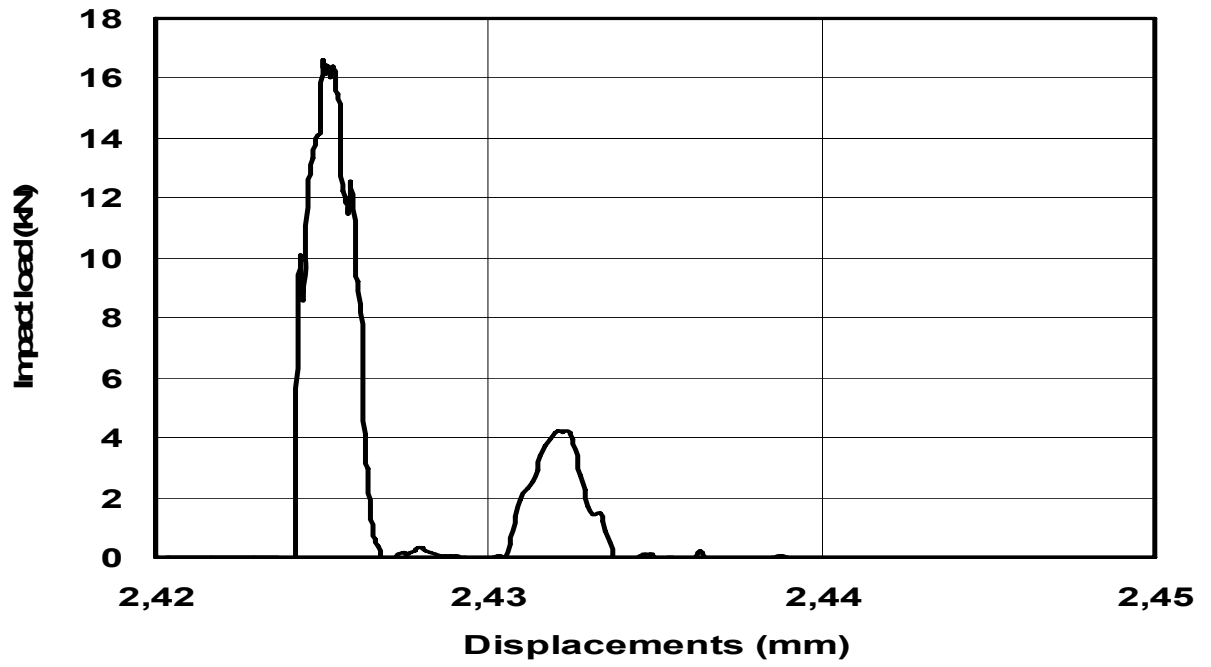
İvme ölçerlerden alınan ölçümler kullanılarak her test eleman için deplasman-zaman grafikleri çizilmiştir. Deplasman-zaman grafikleri ve tez çalışmasında yer alan diğer tüm grafiklerin çizilmesinde National Instruments firmasının bir yazılımı olan DIAdem 10.1 yazılımı kullanılmıştır. Bu özel yazılımın kullanılmasındaki temel neden deneylerde alınan ölçüm sayısının çok fazla olması nedeniyle Excell gibi standart grafik çizim yazılımlarının sınırlarının aşılması sonucunda kullanılamaz duruma gelmeleridir. DIAdem yazılımı içerisinde yer alan analiz menüsü kullanarak ivme değerlerinin iki kere integrali alınarak deplasman değerlerine geçiş yapılmıştır. İntegral alma işleminde nümerik integral yöntemleri içerisinde yer alan yamuk kuralından yararlanılmıştır. Grafiğin altındaki kalan alan ardışık iki nokta arası lineer kabul edilerek bir yamuğa benzeştirilerek altında kalan alanın hesaplanması ile bulunmuştur. Bu yaklaşımın yapılan deneyler için son derece uygun olduğu düşünülmektedir. Çünkü veri sayısı çok fazla olup ardışık iki veri noktası arasındaki mesafe son derece kısadır. Hesaplanan deplasman değerleri zamana karşı çizilerek grafik halinde getirilmiştir.



Şekil 5.4. Deney-1 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.5. Deney-1 Deplasman-zaman grafiği

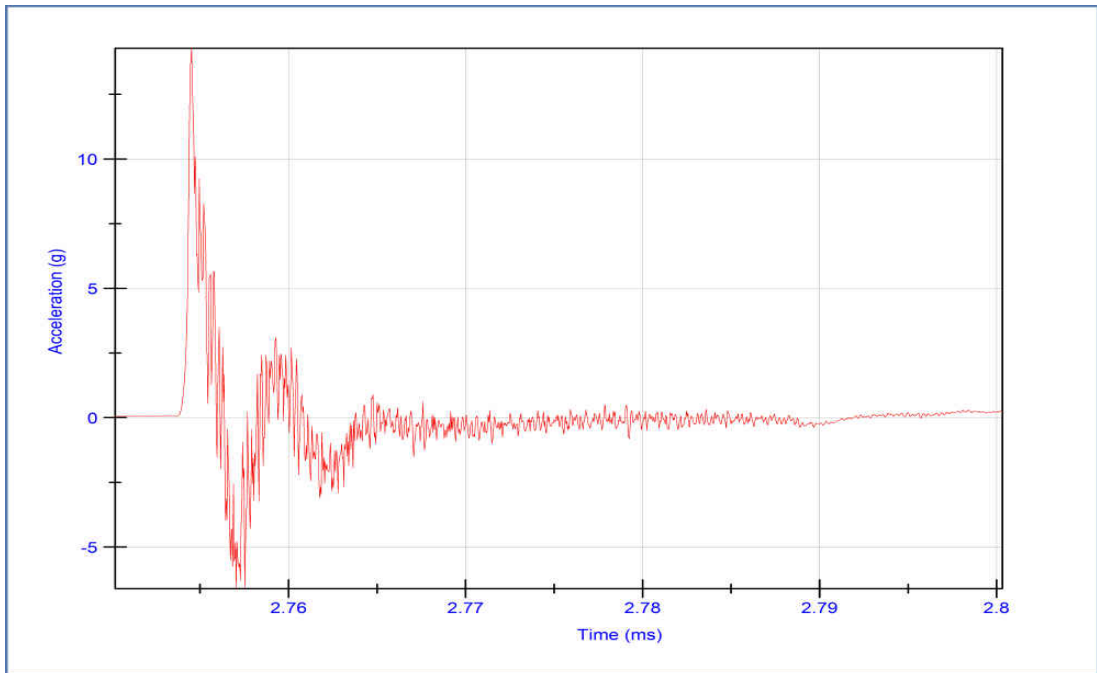


Şekil 5.6. Deney-1 Yük-deplasman grafiği

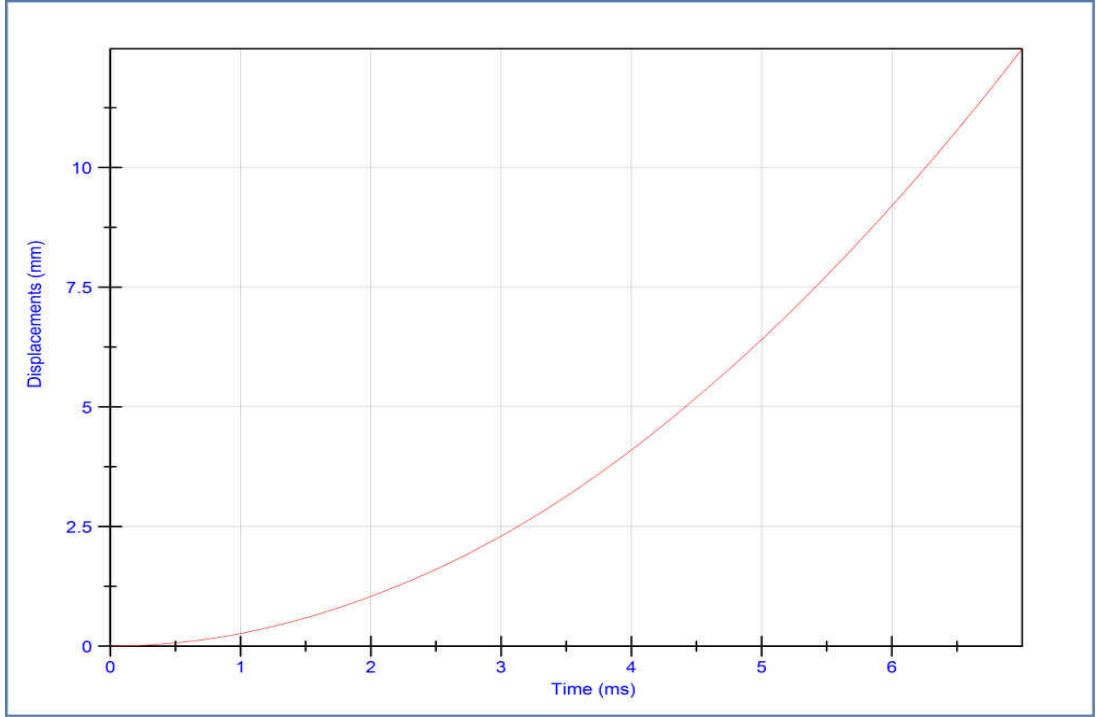
5.2. Deney 2: Geotekstil tabakalı zemin koruyucu yapısı ile çelik boru

2. deneyde çelik boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile 50 mm derinliğe yerleştirilen geotekstil tabakalı koruyucu yapı olması durumunda çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu tabaka olması nedeniyle ivme değerlerinde önemli oranda bir düşüş olmuş, deneyde 14,28 g gibi 1. deneye göre oldukça düşük bir ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 12,478 mm'dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 79,54 J olarak hesaplanmıştır.

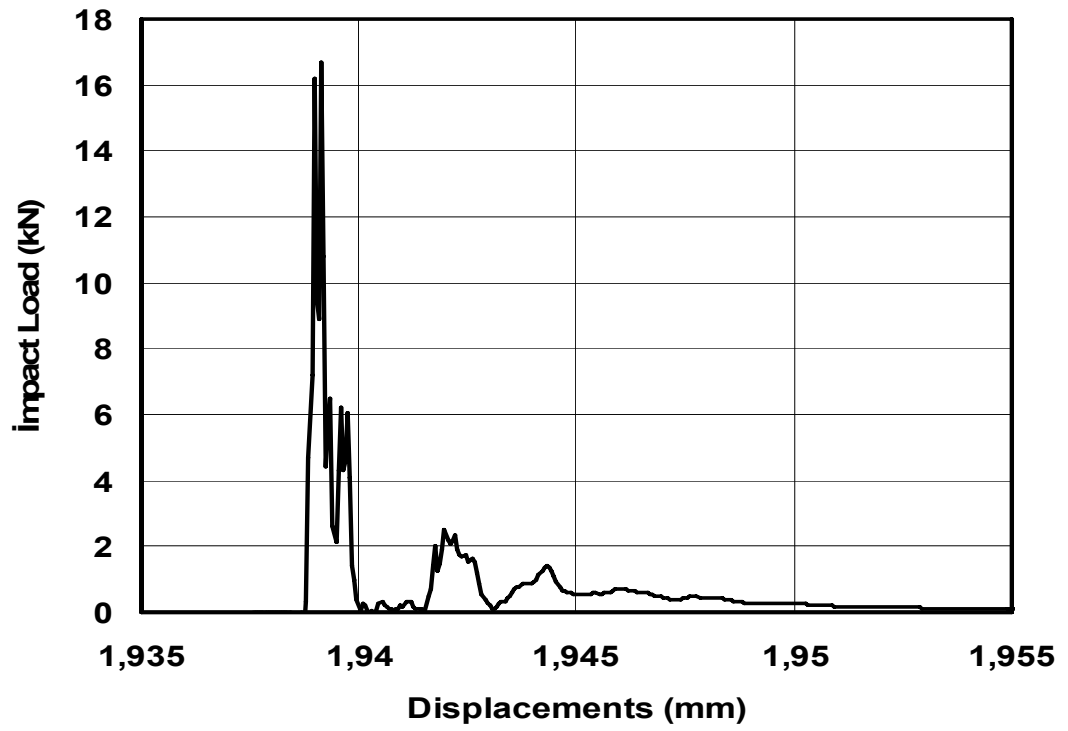
Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.7'de, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5.8'de ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.7. Deney-2 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.8. Deney-2 Deplasman-zaman grafiği

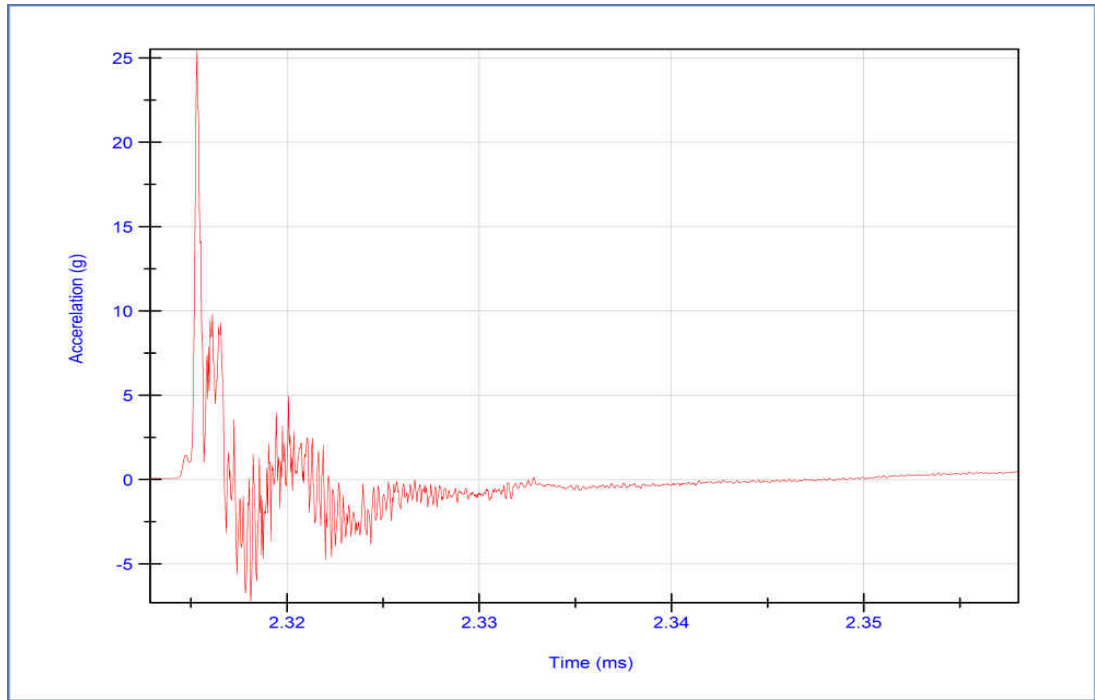


Şekil 5.9. Deney-2 Yük-deplasman grafiği

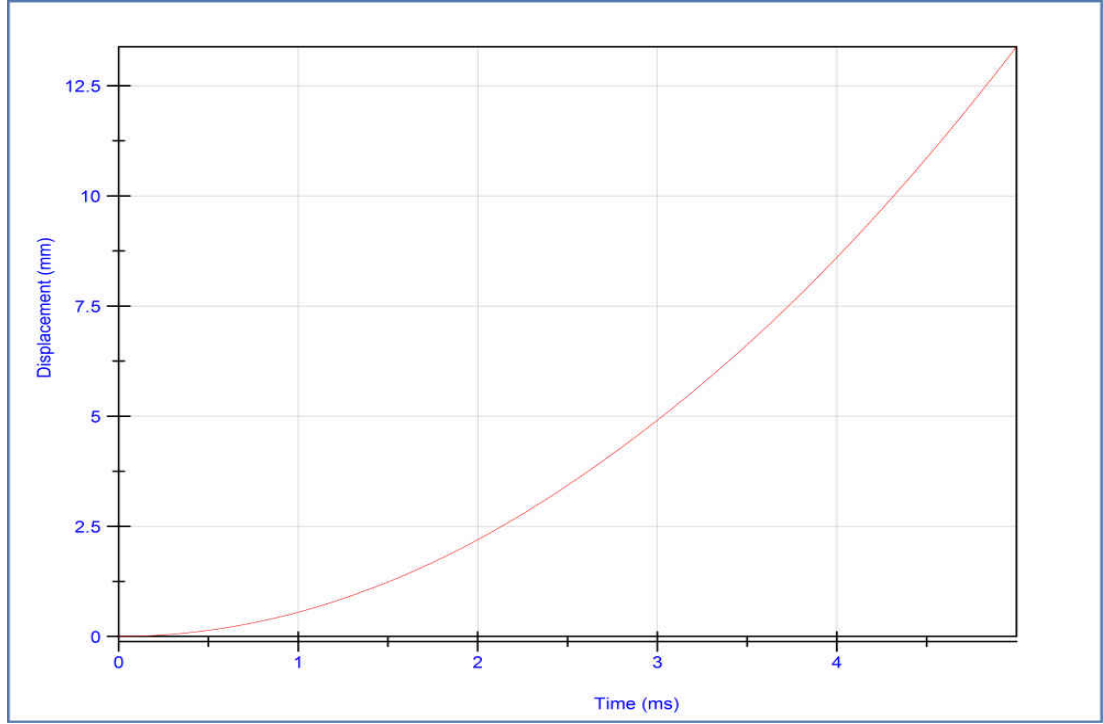
5.3. Deney 3: Geogrid tabakalı zemin koruyucu yapısı ile çelik boru

3. deneyde çelik boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile 50 mm derinliğe yerleştirilen geogrid tabakalı koruyucu yapı olması durumunda çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu tabaka olması nedeniyle ivme değerlerinde önemli oranda bir düşüş olmuş, deneyde 25,52 g gibi 1. deneye göre oldukça düşük bir ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 13,380 mm'dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 87,08 J olarak hesaplanmıştır.

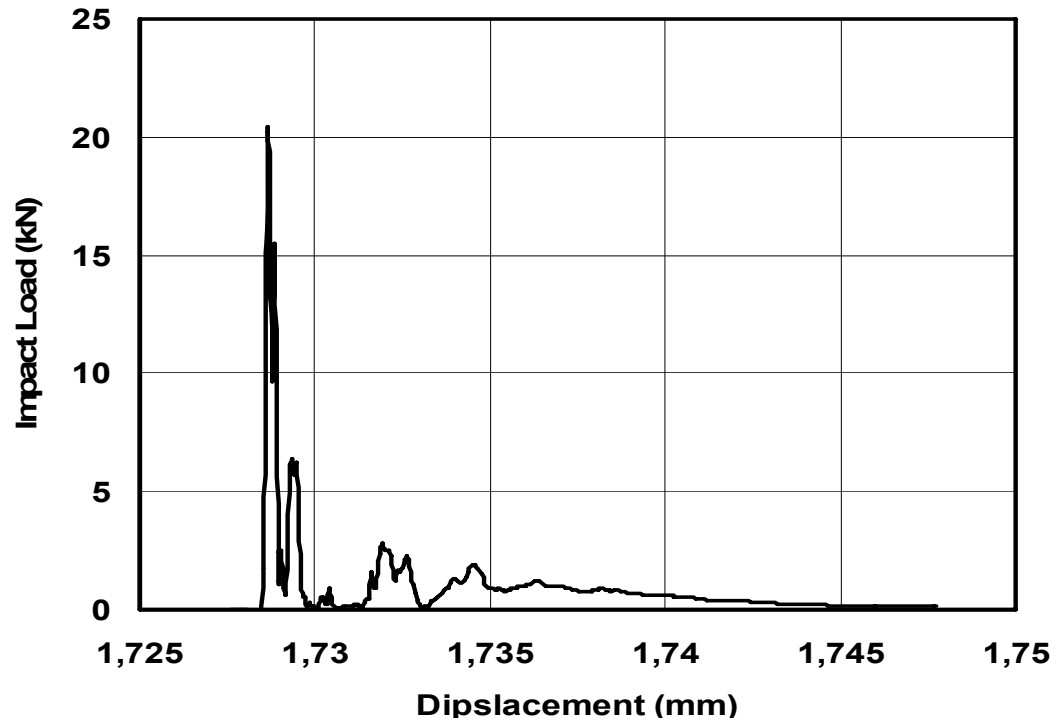
Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.10'da, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5.11'de ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.10. Deney-3 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.11. Deney-3 Deplasman-zaman grafiği

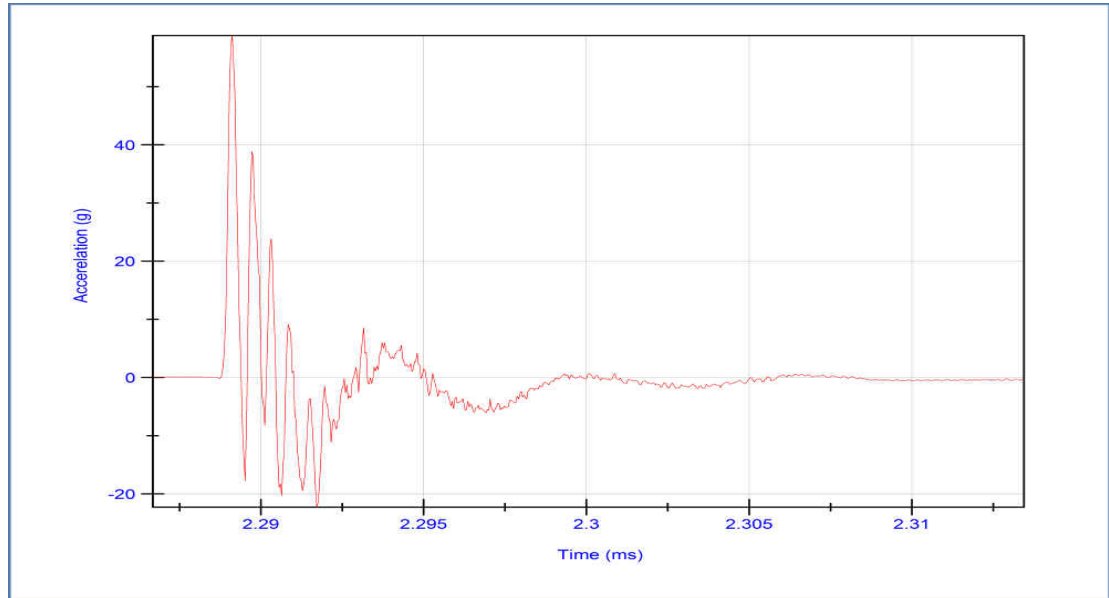


Şekil 5.12. Deney-3 Yük-deplasman grafiği

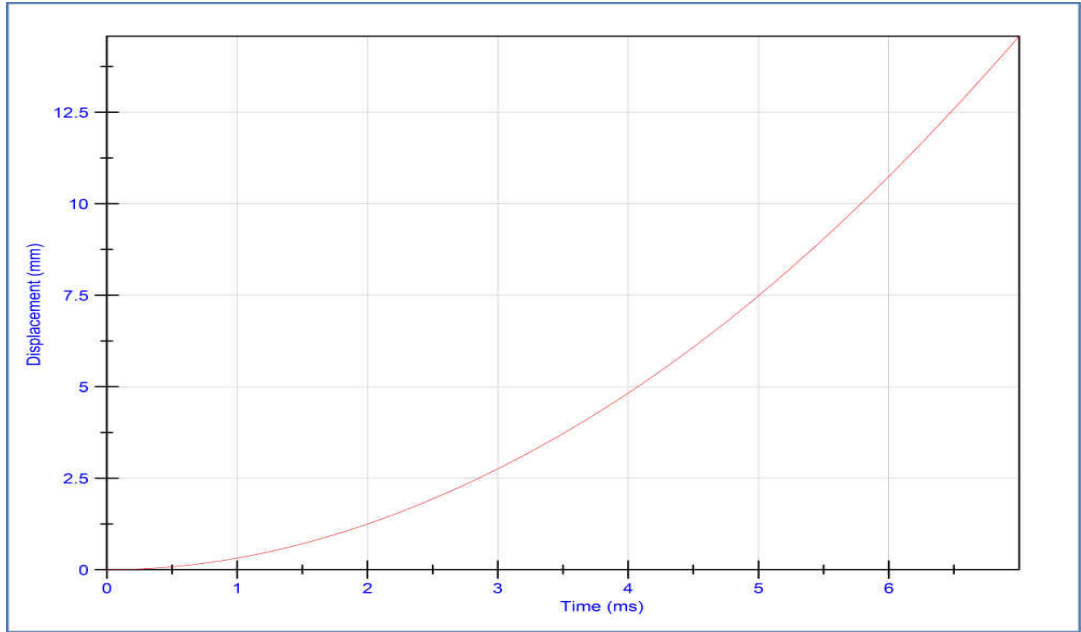
5.4. Deney 4: Sadece zemin koruyucu yapısı ile çelik boru

4. deneyde çelik boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile 130 mm kalınlığında kum zemin tabakalı koruyucu yapı olması durumunda çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu kum tabaka olması nedeniyle ivme değerlerinde önemli oranda bir düşüş olmasına rağmen 2 ve 3. deney kadar azalım meydana gelmemiştir. Deneyde 58,78 g gibi 1. deneye göre oldukça düşük bir ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 14,578 mm'dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 82,86 J olarak hesaplanmıştır.

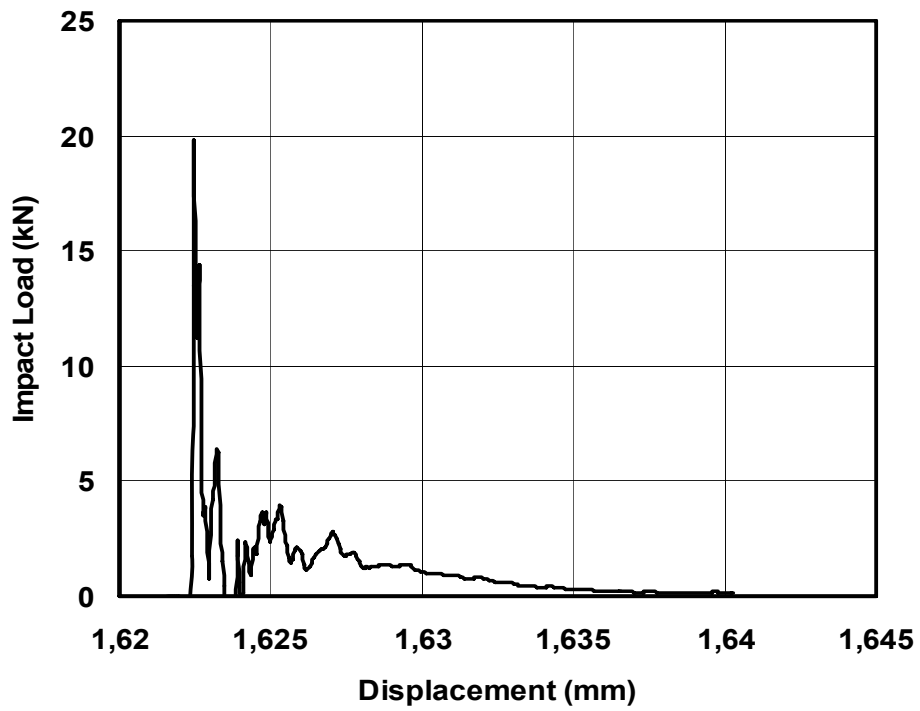
Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.13'de, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5.14'de ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.13. Deney-4 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.14. Deney-4 Deplasman-zaman grafiği

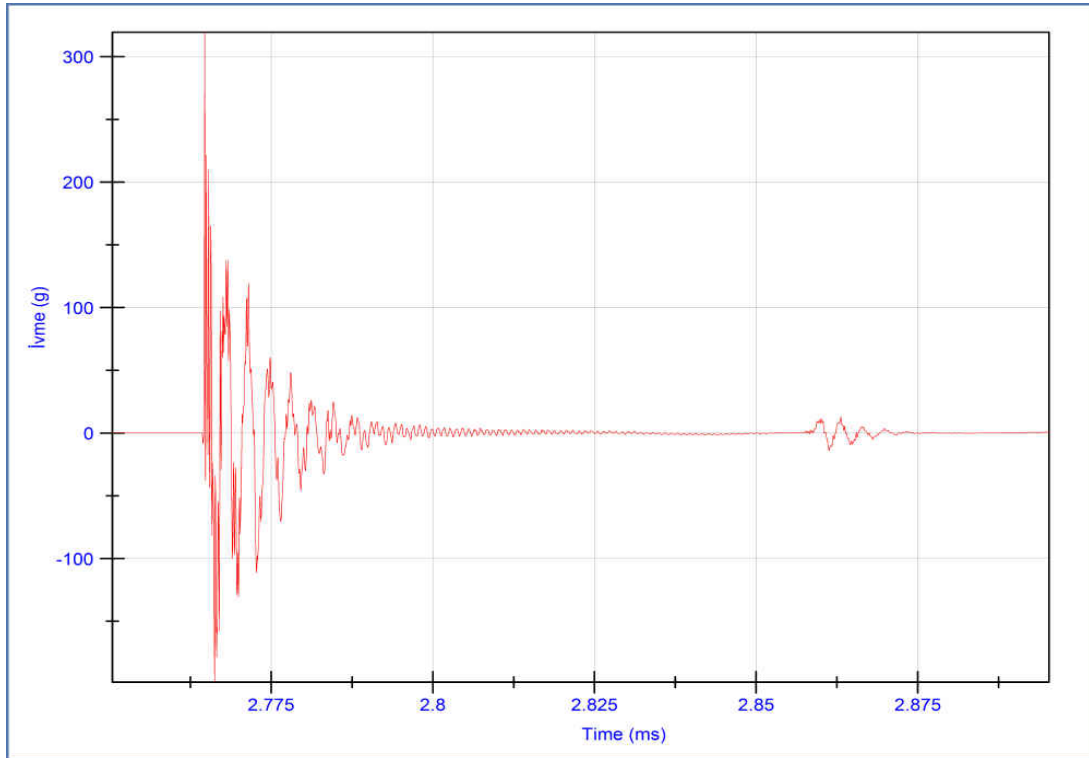


Şekil 5.15. Deney-4 Yük-deplasman grafiği

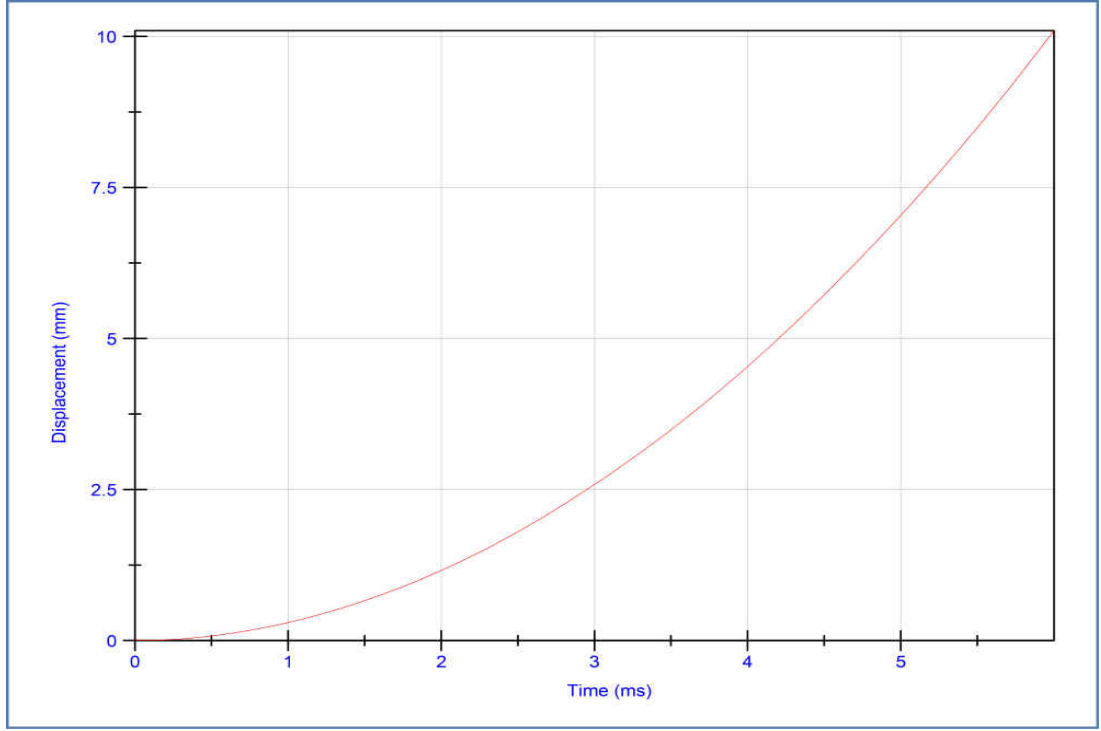
5.5. Deney 5 : Koruyucu yapı olmadan kompozit boru

5. deneyde kompozit boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile hiç bir koruyucu tabaka olmadan çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu tabaka olmaması nedeniyle 5. deneyde 319,41 g gibi büyük ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 20,093 mm'dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 479,21 J olarak hesaplanmıştır.

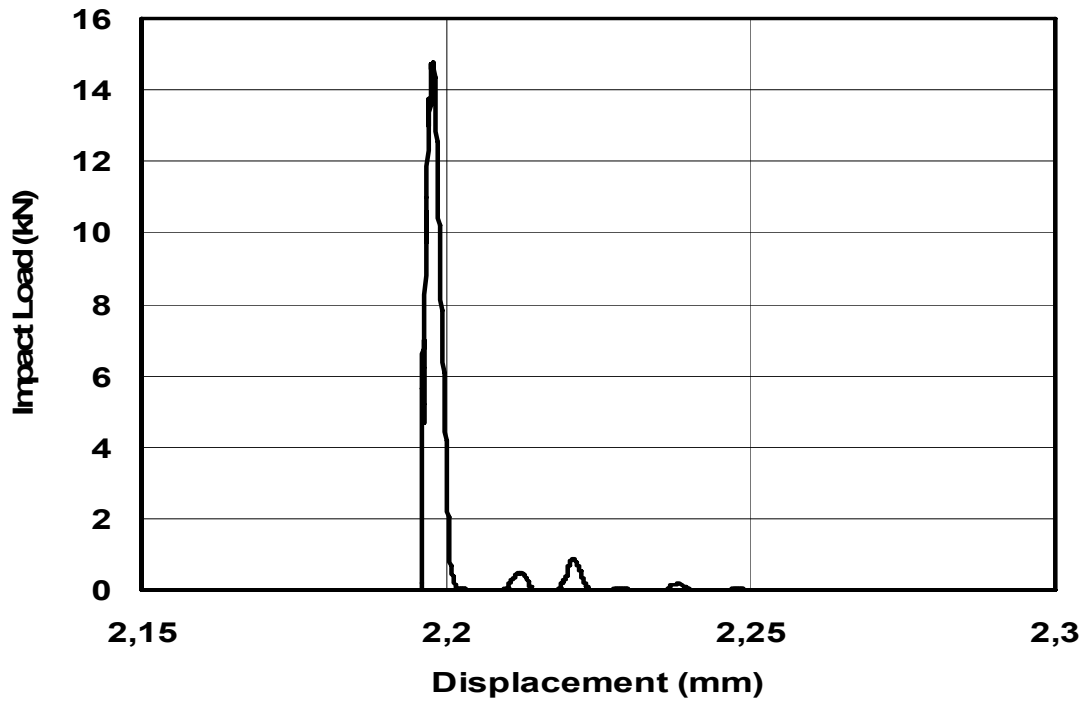
Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.16'da, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5.17'de ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.16. Deney-5 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.17. Deney-5 Deplasman-zaman grafiği

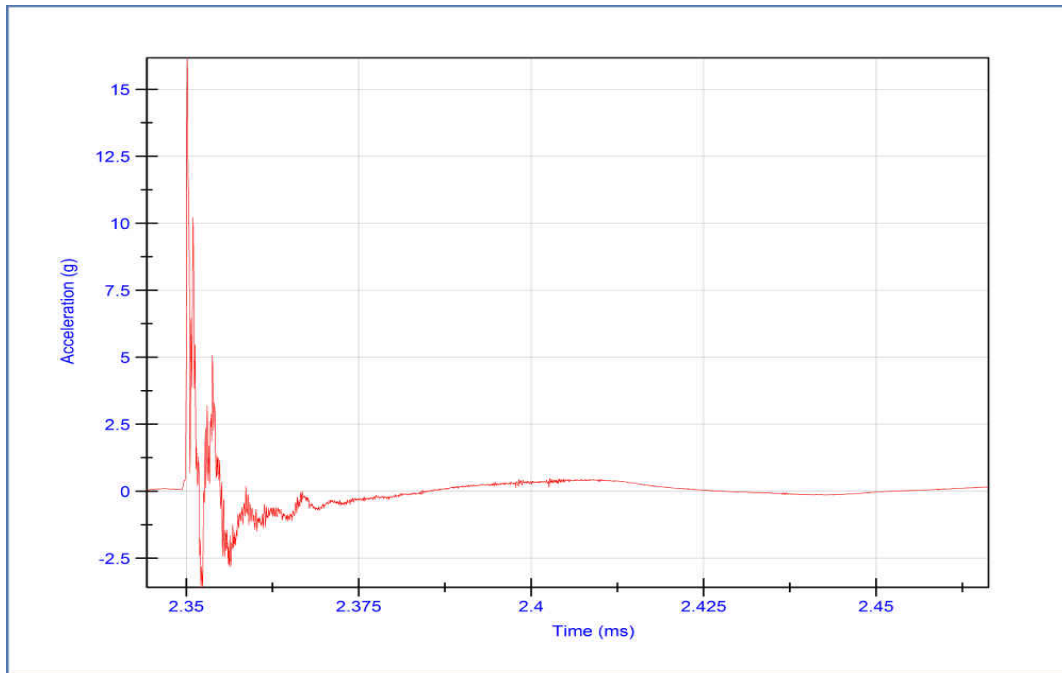


Şekil 5.18. Deney-5 Yük-deplasman grafiği

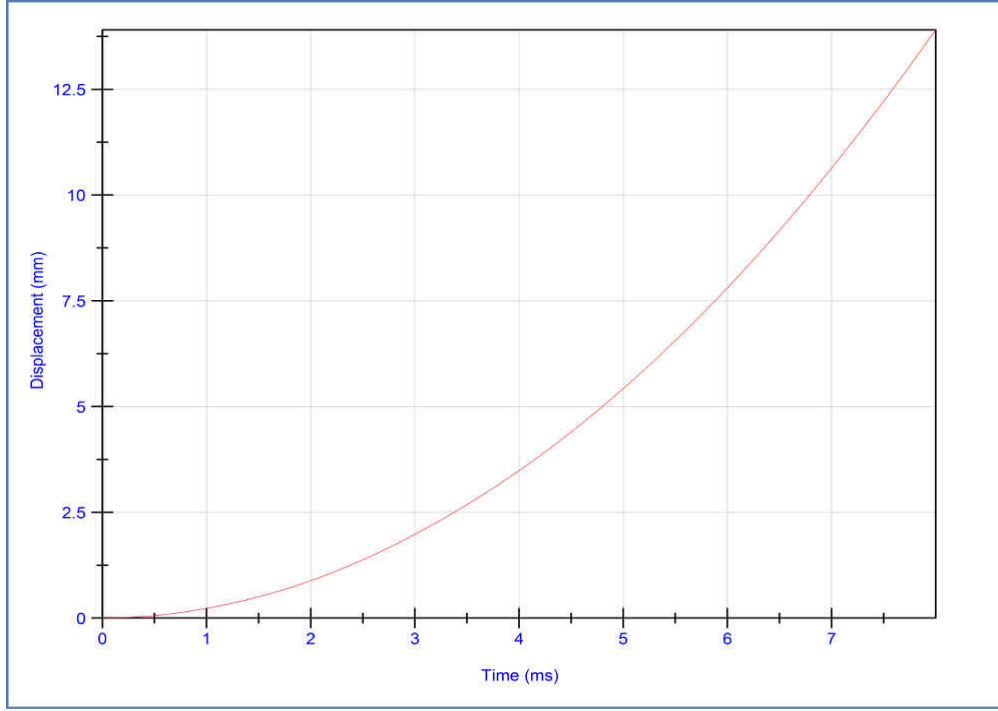
5.6. Deney 6: Geotekstil tabakalı zemin koruyucu yapısı ile kompozit boru

6. deneyde kompozit boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile 50 mm derinliğe yerleştirilen geotekstil tabakalı koruyucu yapı olması durumunda çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu tabaka olması nedeniyle ivme değerlerinde önemli oranda bir düşüş olmuş, deneyde 16,17 g gibi 5. deneye göre oldukça düşük bir ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 13,903 mm'dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 64,41 J olarak hesaplanmıştır.

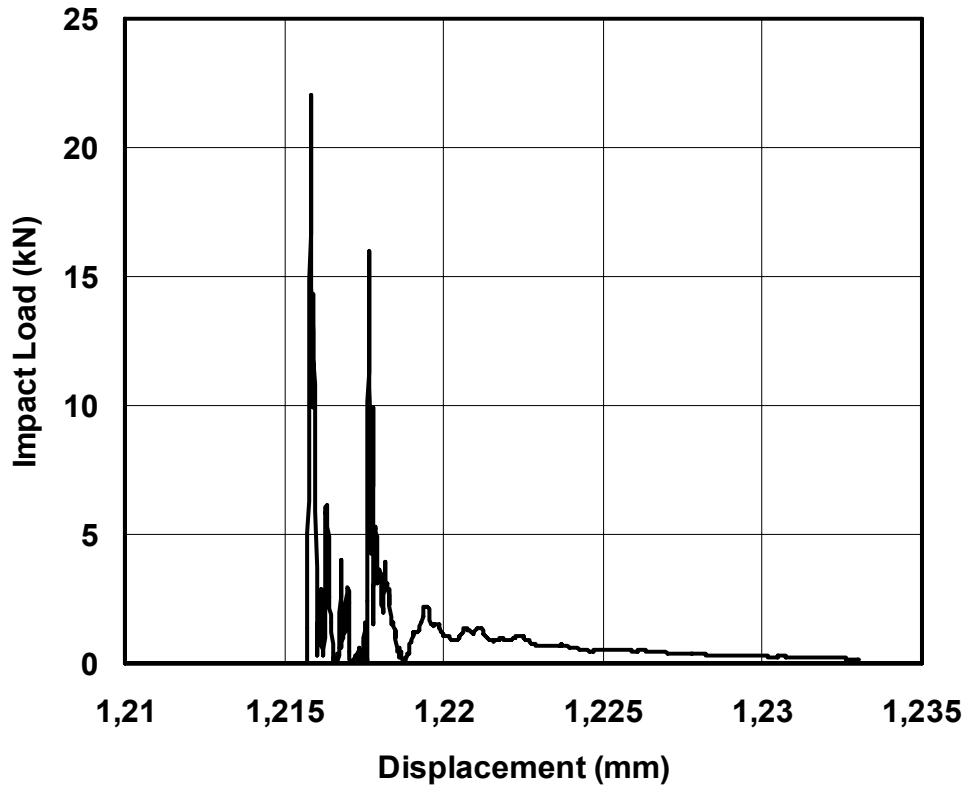
Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.19'da, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5. 20'de ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.19. Deney-6 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.20. Deney-6 Deplasman-zaman grafiği

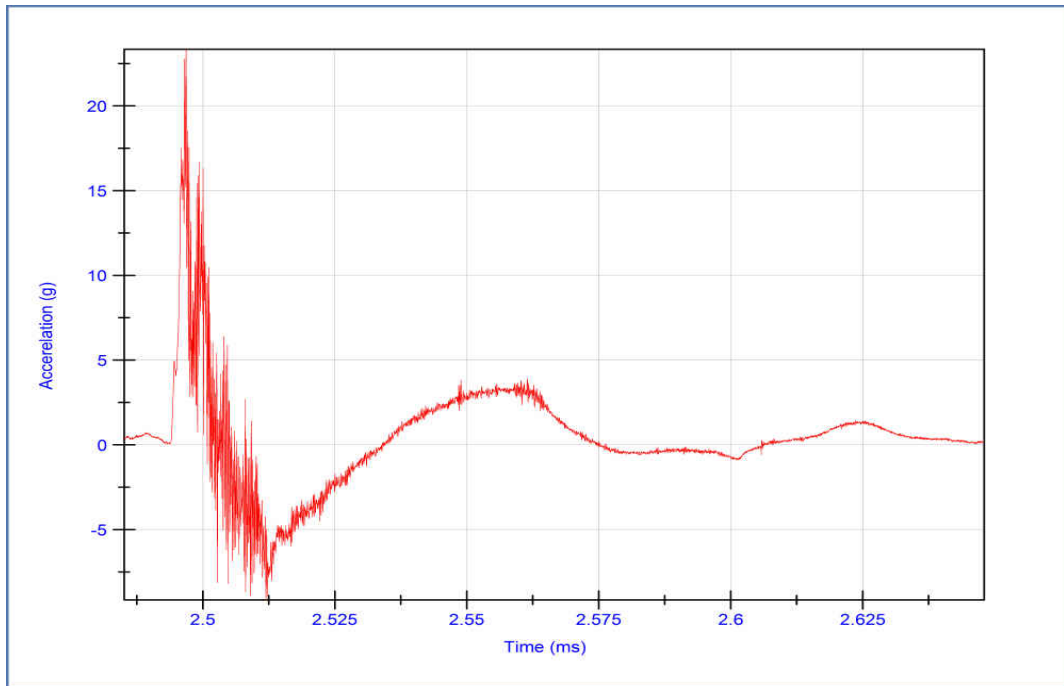


Şekil 5.21. Deney-6 Yük-deplasman grafiği

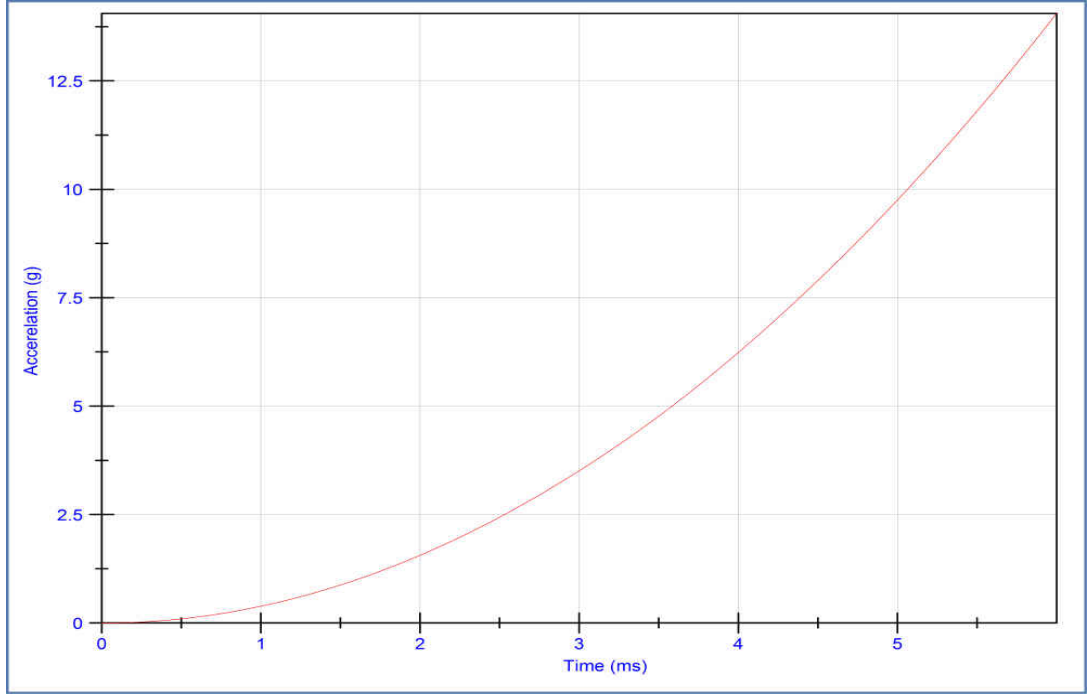
5.7. Deney 7: Geogrid tabakalı zemin koruyucu yapısı ile kompozit boru

7. deneyde kompozit boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile 50 mm derinliğe yerleştirilen geogrid tabakalı koruyucu yapı olması durumunda çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu tabaka olması nedeniyle ivme değerlerinde önemli oranda bir düşüş olmuş, deneyde 23,34 g gibi 5. deneye göre oldukça düşük bir ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 14,056 mm'dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 104,61 J olarak hesaplanmıştır.

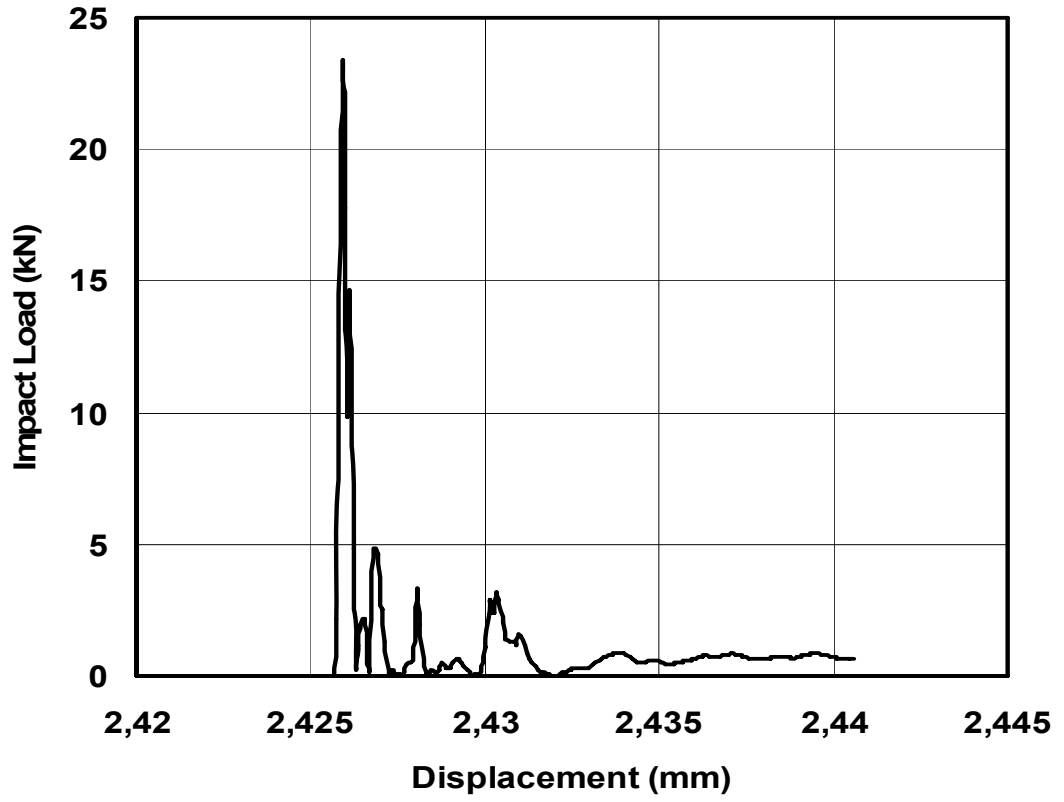
Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.22'de, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5.23'da ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5.22. Deney-7 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.23. Deney-7 Deplasman-zaman grafiği

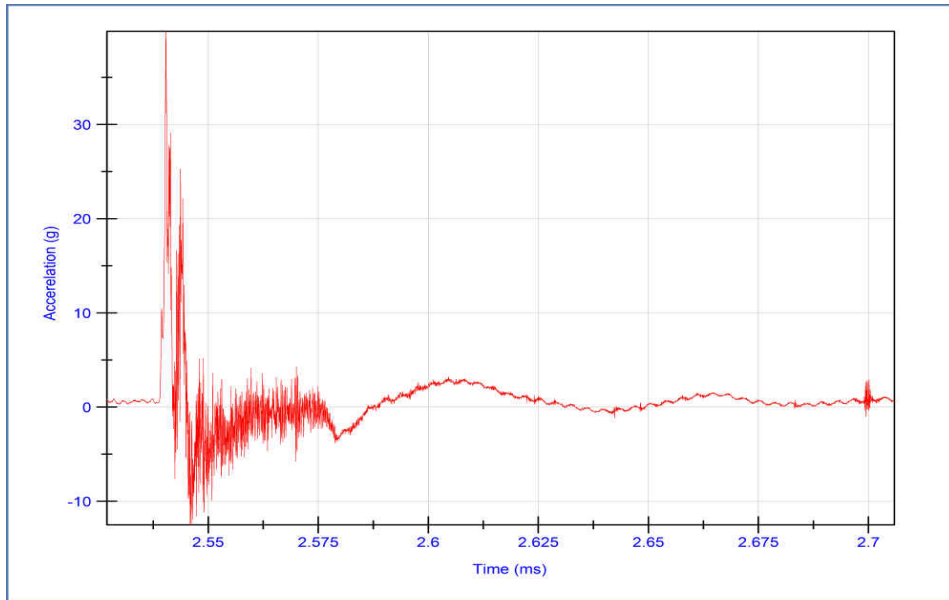


Şekil 5.24. Deney-7 Yük-deplasman grafiği

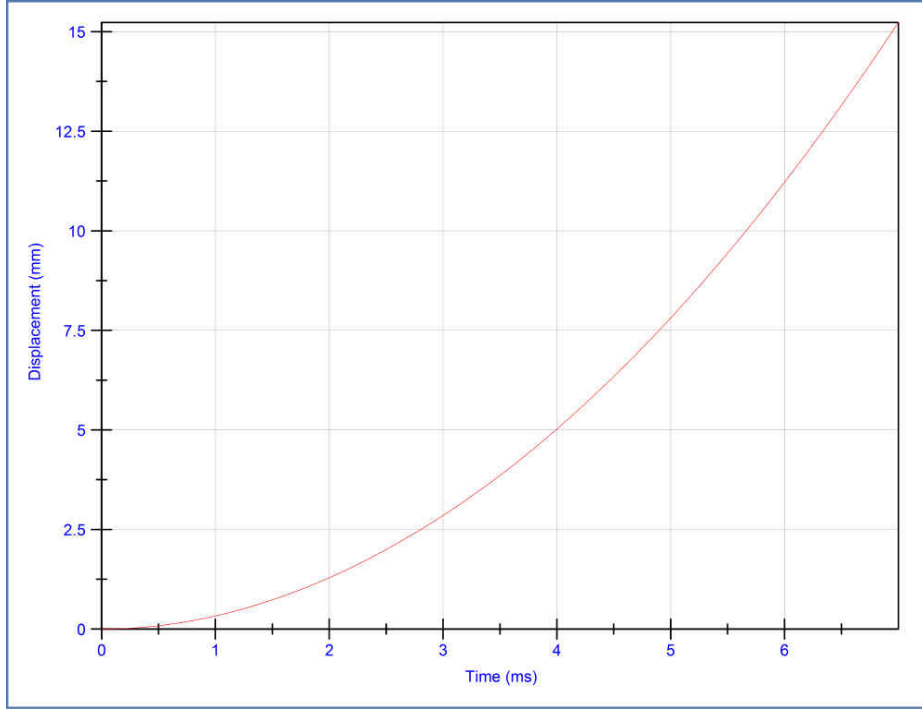
5.8. Deney 8: Sadece zemin koruyucu yapısı ile kompozit boru

8. deneyde kompozit boru 500 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık ile 130 mm kalınlığında kum zemin tabakalı koruyucu yapı olması durumunda çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Koruyucu tabaka olması nedeniyle ivme değerlerinde önemli oranda bir düşüş olmasına rağmen 6 ve 7. deney kadar azalım meydana gelmemiştir. Deneyde 39,88 g gibi 5. deneye göre oldukça düşük bir ivme değeri ölçülmüştür. Maksimum ivme değeri kullanılarak hesaplanan deplasman değeri 15,231 mm'dir. Deney elemanı tarafından yutulan enerji 96,64 J olarak hesaplanmıştır.

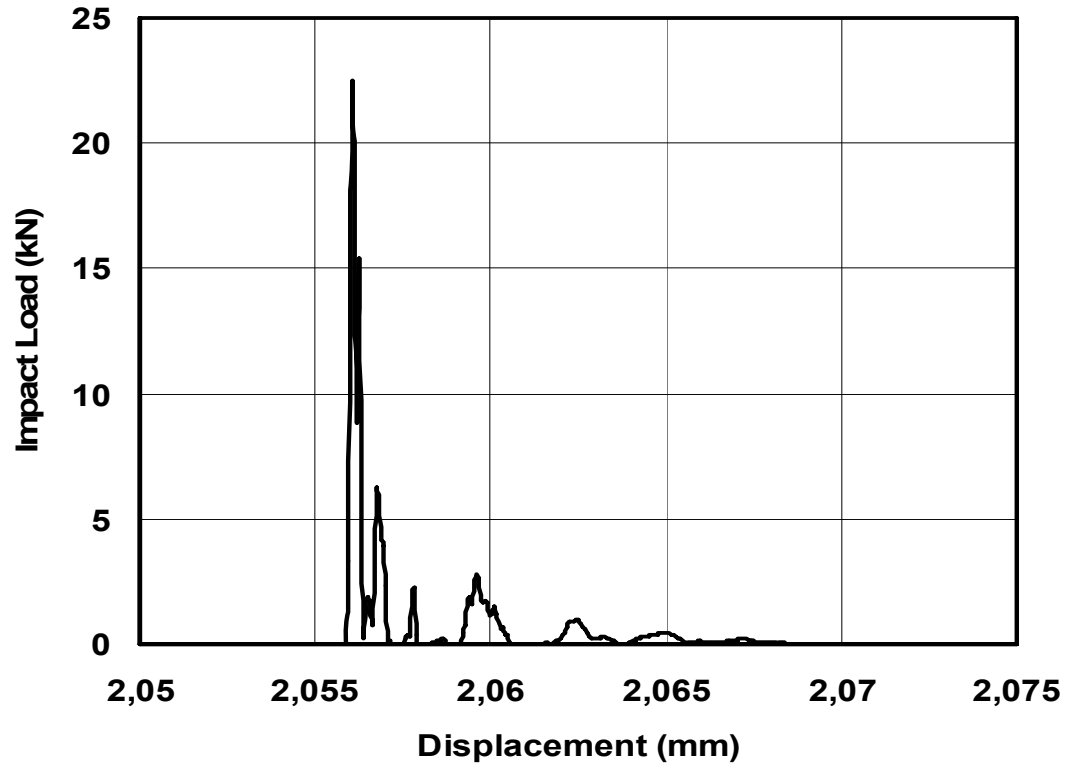
Maksimum ivmenin ölçüldüğü ivme-zaman değişimi Şekil 5.25'da, bu ivme değerinin integrali alınarak hesaplanan ve çizilen deplasman-zaman grafiği Şekil 5.26'da ve deneyin yük-deplasman grafiği ise Şekil 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.25. Deney-8 İvme-zaman grafiği



Şekil 5.26. Deney-8 Deplasman-zaman grafiği



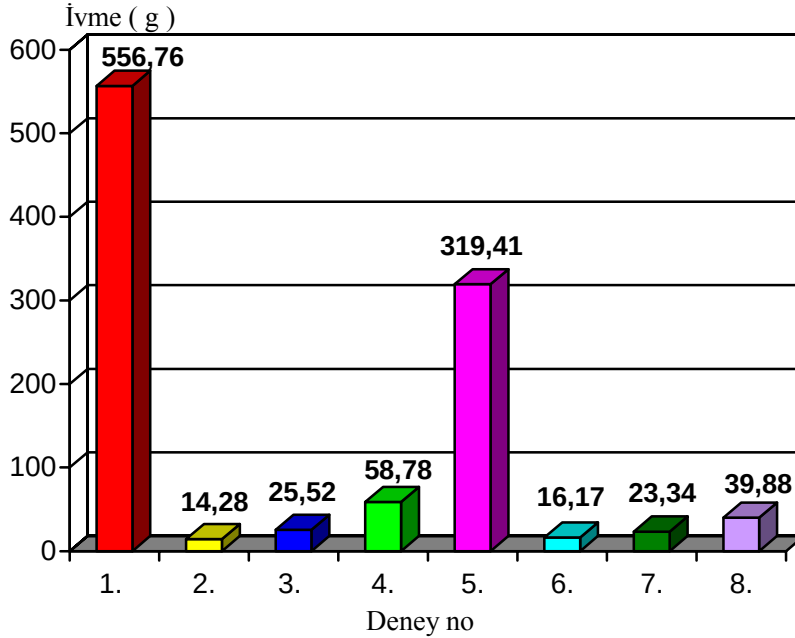
Şekil 5.27. Deney-8 Yük-deplasman grafiği

6. DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde deney elemanlarının testlerinden elde edilen maksimum ivme değerleri, aynı noktaya ait maksimum deplasmanlar ve borular tarafından tüketilen enerji miktarları incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde hiçbir koruyucu tabaka olmadan çelik boru üzerinde gerçekleştirilen referans deneyinde deneysel programda ölçülen en büyük ivme değerinin 556,76 g olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen bu değer boruların kaya düşmesi gibi etkilere koruyucu tabakalar olmadan direkt maruz kalmasının son derece olumsuz sonuçlar doğurabileceğini göstermiştir. Bu ivme değerinde hesaplanan maksimum deplasman değeri 19,32 mm olup, bu değer maksimum ivmenin ölçüldüğü nokta için geçerlidir. Çarpışma yüklemesinin uygulandığı borunun orta noktası için bu değer daha büyük olacağı ve bu boyutdaki bir deformasyonun boru bağlantı noktalarına veya boruya zarar verme ihtimalinin yüksek olduğu gözardı edilmemelidir. 1000 mm uzunluğundaki bir boruda yaklaşık olarak 20 mm deplasman meydana gelmesi $20/1000=1/50$ oranında bir deformasyonun oluşacağını göstermekte olup, bu değer oldukça yüksektir. Deney elemanı-1 için enerji tüketim kapasitesi 406,7 Joule olarak hesaplanmıştır. Deneysel programda hiçbir koruyucu tabaka olmadan test edilen bir diğer referans numune Deney elemanı-5'dir. Kompozit borudan üretilen Deney elemanı-5'de 319,41 g ivme değeri ölçülmüştür. Bu değer Deney elemanı-1'den sonra deneysel çalışmada ölçülen en yüksek ikinci ivme olup, 74% daha küçüktür. Deney elemanı-5'de maksimum ivme için hesaplanan deplasman değeri 20,09 mm olup, bu değer de oldukça yüksektir. Deney elemanı-5 için enerji tüketim kapasitesi 479,21 Joule olarak hesaplanmıştır.

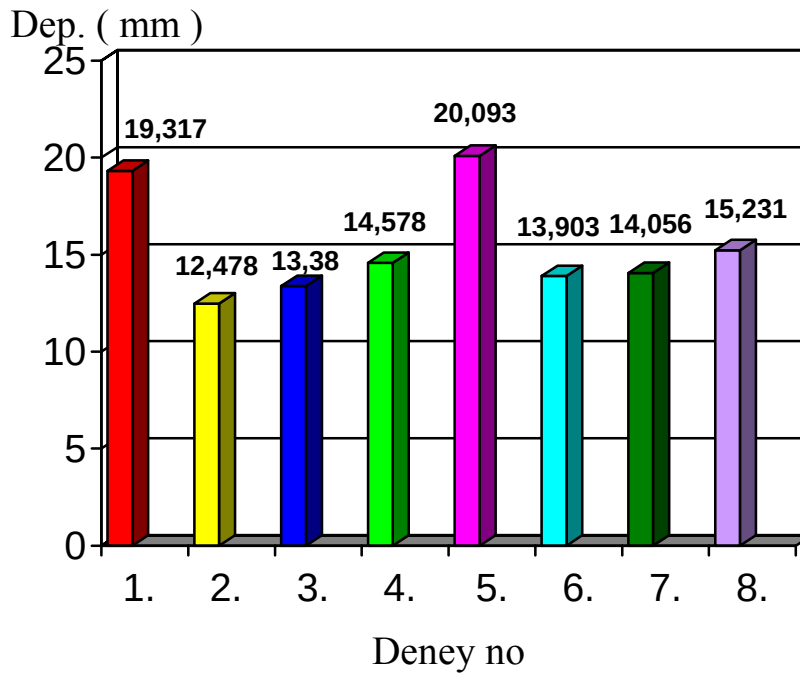
Koruyucu tabakalı deneyler ilk olarak çelik borudan üretilmiş seri için gerçekleştirilmiştir. Deney elemanı-2'de geotekstil tabakalı kum katmanı, Deney elemanı-3'de geogrid tabakalı kum katmanı, Deney elemanı 4'de ise sadece kum katmanının kullanıldığı koruyucu tabakalar test edilmiştir.

Deney elemanı-2’de maksimum ivme değeri 14,28 g, Deney elemanı-3’de 25,52 g ve Deney elemanı-4’de ise 58,78 g olarak ölçülmüştür. Deney Elemanı-4’de ölçülen maksimum ivme Deney elemanı-3’den 2,3 kat Deney elemanı-2’den 4,1 kat daha büyüktür. Geotekstil ve geogrid kullanılan koruyucu yapılarda ivme değerlerindeki bu azalım kullanılan malzemelerin önemli oranda etkili olduğunu göstermiştir. Geotekstil kullanılan Deney elemanı-2’nin maksimum ivme değeri geogrid kullanılan Deney elemanı-3’e göre 1,8 kat daha küçüktür. Koruyucu katmanlı yapılar içerisinde çarpışma sonucunda ölçülen maksimum ivme değerindeki en büyük azalım geotekstil tabakalı kum katmanlı Deney elemanı-2’de elde edilmiştir. Koruyucu tabaka kullanılan deney elemanlarında ölçülen maksimum ivme değeri referans Deney elemanı-1’den ortalama 23,4 kat daha düşüktür. Bu değer çok yüksek olması koruyucu katmanların boru sistemini korumada çok büyük oranda etkili olduğunun önemli bir göstergesidir.



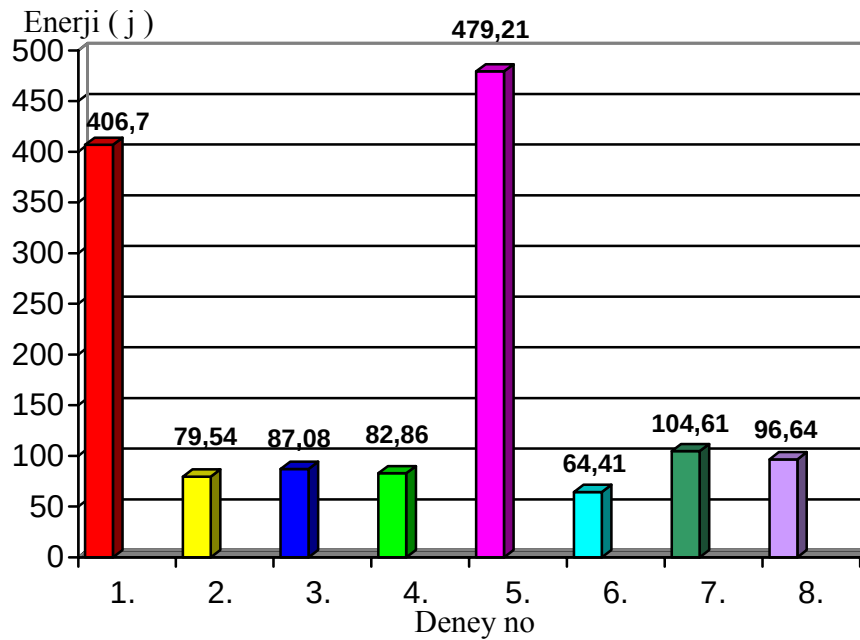
Şekil 6.1. İvme değerleri

Koruyucu katman kullanılan deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasmanlar birbirlerine yakın sayılabilecek değerlerde 12,5 mm – 14,6 mm arasında değişim göstermiştir. En düşük deplasman değeri ivmenin de en düşük ölçüldüğü geotekstil takviyeli kum katmanlı Deney elemanı-2’de en büyük deplasman ise sadece kum katmanlı koruyucu yapılı Deney elemanı-4’de hesaplanmıştır. Koruyucu katmanlı deney elemanları için hesaplanan maksimum deplasman değeri ortalama olarak referans Deney elemanı-1’e göre 40% daha düşük elde edilmiştir. Koruyucu katmanlar boru sisteminin maksimum ivme değerinde önemli oranda bir azalma sağladığı gibi deplasman değerleri içinde büyük oranda bir azalım sağlamıştır.



Şekil 6.2. Deplasman değerleri

Koruyucu katman kullanılan deney elemanları için hesaplanan enerji tüketim kapasiteleri birbirine yakın değerlerde hesaplanmıştır. Koruyucu katmanlı deney elemanları için borular tarafından tüketilen ortalama enerji tüketim kapasitesi değeri 83,16 Joule olarak elde edilmiş olup, bu değer referans Deney elemanı-1'den 4,9 kat daha düşüktür. Enerji tüketim kapasiteleri arasındaki bu büyük fark koruyucu tabakalar tarafından tüketilmiş olup, koruyucu katmanların enerji sönmlemede çok büyük oranda etkili oldukları görülmüştür. Enerji sönmleme olarak da en başarılı performansı geotekstil takviyeli kum katmanı sergilemiştir.



Şekil 6.3. Enerji tüketim değerleri

Deneyisel çalışma kapsamında ikinci seri olarak kompozit boru sistemlerinin koruyucu katmanlı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney elemanı-6 geotekstil takviyeli kum katmanı, Deney elemanı-7 geogrid takviyeli kum katmanı ve Deney elemanı-8 ise sadece kum katmanlı koruyucu yapı ile korunan deney elemanlarıdır. Deney elemanı-6'da 16,17 g, Deney elemanı-7'de 23,34 g ve Deney elemanı-8'de 39,88 g maksimum ivme değerleri ölçülmüştür. (Bknz. Şekil 6.1.)

Kum katmanlı deney elemanında geotekstil takviyeli kum katmanına göre 2,5 kat, geogrid takviyeli kum katmana göre ise 1,7 kat daha fazla ivme değeri ölçülmüştür. Bu sonuçlar geotekstil ve geogrid takviyesinin ivme değerlerini azaltmakta oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Koruyucu katmanlı deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerleri koruyucu katmansız referans Deney elemanı-5'e göre ortalama 13,8 kat daha azdır. Kompozit borular için de koruyucu katmanların ivme değerlerini azaltmada son derece başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Geotekstil takviye tabakalı Deney elemanı-6'da ölçülen maksimum ivme değeri geogrid takviye tabakalı Deney elemanı-7'den 44% daha düşük ölçülmüştür. Koruyucu katmanlı deney elemanları içinde ivme değerlerini azaltmada en başarılı davranışı geotekstil takviyeli kum katmanlı Deney elemanı-6 sergilemiştir. Koruyucu katmanlı deney elemanlarında maksimum ivmenin ölçüldüğü nokta için hesaplanan deplasman değerleri 13,90 mm – 15,23 mm arasında değişim göstermiştir. (Bknz Şekil 6.2.) En düşük değer geotekstil takviyeli kum katmanlı Deney elemanı-6, en büyük deplasman değeri ise sadece kum katmanlı Deney elemanı-8 için hesaplanmıştır. Koruyucu katmanlı deney elemanları için hesaplanan ortalama deplasman değeri referans Deney elemanı-5'den 40% daha azdır. Koruyucu katmanlar kompozit boruların ivme değerlerini azaltmakta gösterdiği başarılı davranışı deplasman değerlerini de sınırlandırarak devam ettirmiştir. Kompozit boru deney serisi için koruyucu yapı deney elemanları tarafından tüketilen enerji değerleri geotekstil takviyeli deney elemanı için 64,41 Joule, geogrid takviyeli deney elemanında 104,61 Joule ve sadece kum tabakalı deney elemanında ise 96,64 Joule olarak hesaplanmıştır.(Bknz Şekil 6.3.) Koruyucu yapı deney elemanları için borular tarafından tüketilen enerji değerleri koruyucu yapı olmayan referans Deney elemanı-5'den ortalama 5,7 kat daha düşük elde edilmiştir. Aradaki bu büyük fark koruyucu katmanlar tarafından sönmölen enerji olup, katmanların enerji sönmölemede son derece etkili olduklarını göstermiştir. Enerji sönmölemede en başarılı davranışı geotekstil takviye tabakalı kum katmanlı Deney elemanı-6 sergilemiştir. Kompozit borular için yapılan koruyucu katmanlı deneyler içerisinde ivme ve deplasman değerini azaltmakta ve enerji sönmöle değerini artırmakta en başarılı performansı geotekstil takviyeli kum katmanı göstermiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada seçilen 3 farklı koruyucu tabaka ile çarpışma etkilerine karşı korunan boru sistemleri ile koruma uygulanmayan boruların davranışı incelenerek karşılaştırılmış ve koruma sistemlerinin çarpışma davranışı üzerindeki etkileri ile performansları incelenmiştir. Çalışma kapsamında çelik ve kompozit olmak üzere 2 tip malzemeden üretilen borular üzerinde serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak çarpışma testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen koruyucu tabakalar sadece 0-7 mm kum katmanı, geotekstil takviyeli kum katmanı ve geogrid takviyeli kum katmanıdır. Deney elemanlarından alınan ölçümler kullanılarak çizilen ivme-zaman, deplasman-zaman, yük-deplasman grafikleri ve hesaplanan enerji tüketimi değerleri kullanılarak koruyucu katmanların performansları hakkında yorumlar yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Koruyucu tabakalar ile korunmayan boruların incelendiği referans testleri ve koruyucu katmanların kullanıldığı test sonuçları karşılaştırıldığında boruların kaya düşmesi gibi ani dinamik yüklemelerden son derece olumsuz etkilendiği, ölçülen ivme, deplasman ve tüketilen enerji değerlerinin çok büyük değerlere ulaşmasından görülmüştür. Koruyucu tabakalar ivme, deplasman ve enerji tüketimi değerlerini önemli oranlarda azaltarak boru sistemlerinin çarpışma davranışını iyileştirmiştir.
- Deneysel çalışma kapsamında incelenen koruyucu tabakaların üçüde boruların çarpışma davranışını olumlu yönde etkilemiş ve iyileştirmiştir. Ancak en başarılı performansı geotekstil takviyeli kum katmanlı koruyucu tabaka sergilemiştir. Her iki türde malzemeden üretilen hem çelik hem de kompozit boruda ivme ve deplasman değerlerini en büyük oranda azaltan enerji sönümleme değerini ise en büyük oranda artırarak en başarılı performansı sergileyen deney elemanları geotekstil takviyeli deney elemanlarıdır.

- Geogrid takviye tabakalı kum katmanlı deney elemanları da başarılı performans sergileyerek sadece kum katmanlı deney elemanlarına göre daha başarılı çarpışma davranışı sergilemişlerdir.
- Koruyucu katmanların çarpışma davranışı için önemli performans belirtisi olan enerji sönümle kapasitesi incelendiğinde en başarılı performansı geotekstil takviye tabakalı kum katmanlı deney elemanları sergilemiştir. Katmanların enerji sönümle kapasitesi koruyucu katman kullanılmayan referans deney elemanları ile kıyaslanarak belirlenmiştir. Referans elemanı ile koruyucu katmanlı deney elemanları enerji tüketim kapasiteleri arasındaki fark koruyucu katman tarafından sönümlenmiştir.

7.2. Öneriler

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ışığında ileriye yönelik olarak başka çalışmalarda yapılabilecek incelemeler bulunmaktadır. Yürütülen tez çalışmasında serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçları kullanılarak doğrulanmış bir bilgisayar modeli oluşturularak sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılımlar ile genelleştirilebilecek sonuçlar elde edilebilmesi için verilerin sayısı artırılabilir. Özellikle çarpışma gibi zamana bağlı dinamik analizleri yapabilecek LS-DYNA, ABAQUS, ANSYS- Auto DYNA gibi akademik amaçlı kullanılabilecek yazılımlar ile deneylerin bilgisayar simülasyonunun yapılabileceği düşünülmektedir. Elde edilen deneysel veriler ile doğrulanmış bir bilgisayar modeli ile deneyi yapılmamış durumların analiz edilmesi yapılabilecektir.

Bu çalışma kapsamında değişken olarak sadece boru malzemesi türü ve koruyucu yapı türü seçilmiştir. Örneğin kum katmanı içerisindeki geogrid ve geotekstil tabakasının derinliği, adedi incelenmesi gerekli olan başka değişkenlerdir. Ayrıca geofoam gibi başka malzemelerde incelenebilecek malzemeler içersindedir. Bu konularda deneysel çalışmaların yapılarak veri elde edilmesi çok yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Tredgold, T., "Strength of cast iron",: 245-268(1824).
2. White, A.E. ,Clark, C.L., "Bibliography of impact testing", ***Department of Engineering Research, University of Michigan***, 4-14 (1925).
3. Siewert, T. A., Manahan, M. P., McCowan, M. P., Holt, J. M., Marsh, F. J., Ruth, E. A., "The history and importance of impact testing", ***Pendulum Impact Testing: A Century of Progress ASTM STP1380***, West Conshohocken PA, 315 (1999).
4. Yang, J.L., Lu, G.Y., Yu, T.X., Reid, S.R., “Experimental study and numerical simulation of pipe-on-pipe impact”, ***International Journal of Impact Engineering*** 1259–1268 (2009).
5. Palmer, A., Touhey, M., Holder,S., Anderson,M., Booth, S., “Full-scale impact tests on pipelines”, ***International Journal of Impact Engineering***, 1267–1283 (2006).
6. Jones, N., R.S. Birch, “Low-velocity impact of pressurised pipelines”, ***International Journal of Impact Engineering***, 207–219 (2010).
7. MoghaddasTafreshi,S.N., Khalaj,O., “Analysis of repeated-load laboratory tests on buried plastic pipes in sand”, ***Soil Dynamics and Earthquake Engineering*** , 1–15 (2011).
8. Gning, P.B., Tarfaoui, M., Collombet, F., Riou,L., Davies, P., “Damage development in thick composite tubes under impact loading and influence on implosion pressure: experimental observations”, ***Composites: Part B*** 36 306–318 (2005)
9. Shah, Q.H., “Experimental and numerical study on the orthogonal and oblique impact on water filled pipes”, ***International Journal of Impact Engineering***,1-9 (2011).
10. Mougine, J.P., Perrotin,P., Mommessin, M., Tonnelo, J., Agbossou,A., “Rock fall impact on reinforced concrete slab: an experimental approach”, ***International Journal of Impact Engineering***,169–183 (2005).
11. Bhatti, A.Q., Kishi,N., “Impact response of RC rock-shed girder with sand cushion under falling load”, ***Nuclear Engineering and Design***,2626–2632 (2010).
12. Jamieason,G., Milheizler J., "***The Use of GIS in Loss Estimation and Risk Assessment***", 466 (1997).

13. Vaslestad, J., "Load Reduction on Buried Rigid Pipes", *10th European Conference on SMFE*, Florence, 771-774 (1991).
14. Spangler, M.G., "Underground Conduit An appraisal of Modern Research", *ASCE*, 113, 316-374 (1948).
15. Moser, A.P., "Buried Pipe Design", *Mc Graw Hill*, New York, (1990).
16. Babbitt, H.E., Donald, J.J. and Cleasby, J.L., "Water Supply Engineering", *McGraw-Hill Book Comp. Inc.*, New York. (1962).
17. İnternet: Doğusan Boru "products"
http://www.dogusanboru.com/index_products.html (2011)
18. Balkaya, M., "Zemine Gömülü Boruların Mühendislik Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.55-59 (2002)
19. Baret, B., Ruckman A., Richardson G., "Geotextile Reinforced Retaining Walls Using Granular Backfills", *Geotechnical Fabrics Report*. 42-65(1998).
20. Chai, J., Bergado, D.T., "Performance of Reinforced Embankment on Muar Clay Deposit", *Soils and Foundation*.56 (1993).
21. Holtz, R.D., "Geosynthetics For Soil Reinforcement", *J. Buchanan Lecture*.40 (2001).
22. Koerner, R.M., "Designing With Geosynthetics", *Englewood Cliffs, Prentice Hall*.32-43 (1990).
23. Zanten, R.V.V., "Geotextiles and Geomembranes In Civil Engineering", J.Wiley, New York.72 (1986).
24. Shukla, S.K., "Geosynthetics and Their Applications", *Thomas Telford*, London. 41 (2002).
25. Horvath, J. S., "Geofoam Geosynthetic", Horvath Engineering, *P.C., Scarsdale*, N.Y., USA, 217 (1995).
26. Yılmaz, H. R., Eskisar, T., Aklık, P., Geofoam Malzemesinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanım Alanları ve Önemi Üzerine Bir İnceleme, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 123, 14-19 (2005).
27. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi "Genel Bilgi"
<http://www.istanbulteknik.com/2002/index.html> (2011)

28. ASTM-D4833, "Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembrans and Related Products", *American Society of Testing Materials*, 125 (1991).
29. Wasti, Y., "Geotekstillerin Kullanımı ve Seçim Esasları", *Vateks A.S. Teknik Yayınları*, 28-41 (1992).
30. Özener, A., "Geotekstil Donatılı Sevlerin ve İstinat Yapılarının Tasarımı", *Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 47-68 (2001).
31. Jewell, R.A., "Soil Reinforcement With Geotextile", *Construction Industry Research and Information Association*, London, 32 (1996).
32. Secugrid M., "Reinforcement with Geosynthetics, Examples of Applications and Design, *BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG*, Luebbecke, (2001).
33. John, N.W.M., "*Geotextiles*", *Blackie Son Ltd*, Glasgow, London, 52 (1987).
34. Gerard, P.T.M., "*Geosynthetics In Civil Engineering*", *A.A. Balkema*, Rotterdam, 65 (1995).
35. Güler E., "Şev Stabilizasyonunda Yeni Bir Malzeme": *Geotekstil, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Ulusal Kongresi*, İstanbul, (1987).
36. Banthia, N. P., "Impact resistance of concrete", PhD Thesis, *The University of British Columbia Department of Civil Engineering*, 40-94, 184-195 (1987).
37. Kantar, E., "CFRP ile güçlendirilmiş beton kirişlerin çarpma davranışının deneysel olarak incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara , 6-48 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GEZER, Onur
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 06.11.1981 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 417 83 00
 Faks : 0 (312) 417 13 78
 e-mail : onr_gzr@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi	2005
Lise	Amasya Anadolu Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	ERS İnşaat ve Sanayi A.Ş	İnşaat Mühendisi
2007-2009	Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş.	Proje Mühendisi
2009-	DSİ Genel Müdürlüğü	Planlama Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Doğa yürüyüşü, Yüzme, Tenis