



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK LASTİK PARÇALARININ HENDEK GERİ DOLGU
MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa YÜKSEK

**Danışman
Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ**

AKSARAY, 2013

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KABUL ve ONAY BELGESİ

.....'ın başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından
..... Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** tezi
olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Unvanı Adı Soyadı (Üniversite)

Üye : Unvanı Adı Soyadı (Üniversite)

Üye : Unvanı Adı Soyadı (Üniversite)

Üye : Unvanı Adı Soyadı (Üniversite) (Doktora İçin)

Üye : Unvanı Adı Soyadı (Üniversite) (Doktora İçin)

Tezin Savunulduğu Tarih :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun tarih ve
sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Unvan, Adı SOYADI

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Atık lastikler günümüz modern dünyasının en önemli çevre problemlerinden biridir. Artan gelir dağılımı aileden bireye doğru şahsi araç sahibi olma imkanını sağlarken, atık araç lastik sayısını da beraberinde arttırmaktadır. Atık lastiklerin geri dönüşüm sistemleri içinde kullanılarak çevreye en az zarar verecek bir biçimde değerlendirmek problemin büyüklüğünü azaltmak için seçilen yöntemlerden birisidir. İnşaat mühendisliği uygulamaları atık lastiklerin geri dönüşümü açısından çok önemli bir alanı kapsamaktadır.

Bu çalışmada laboratuvar koşullarında, hendek ortamına yerleştirilen bir esnek borunun geri dolgu malzemesi olarak kum-lastik parçası karışımı kullanılmıştır. Deneyler farklı rölatif sıklık derecelerinde ve iki yerleştirme koşulu altında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak atık lastik ve kum malzemesi katmanlı olarak birbirlerinden bağımsız bir biçimde geri dolgu ortamına yerleştirilmiştir. İkinci adımda ise, lastik parçaları ağırlıkça %5,%10 ve %15 karışım oranlarında kum ile karıştırılmış ve farklı sıklık dereceleri altında deneyler yürütülmüştür.

Sonuçta atık lastiklerin sahip oldukları reolojik özelliklerinin (sıcaklık, esneklik, durabilite vb) ortamın dolgu özelliklerine etkidiği saptanmış ve bu bakımdan granül atık lastik parçalı karışımların belli oranlar içeriğinde geri dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmaya başlamamda beni yüreklendiren en sıkıntılı aşamalarında destek olan, aynı ömrü adımladığım, hayat arkadaşım, sevgili eşim Hikmet Yüksek'e teşekkür ederim.

Onlarla ilgilenmem gereken zamanlarda, bu çalışmaya vakfettiğim zaman için suçluluk duygusu hissettiğim biricik kızım Berra ve oğlum Mehmet Berk'e teşekkür ederim. Her ikisinin de babalarını anlayışla karşılayacaklarına umut ediyorum.

Bunun yanında tez danışmanım Aksaray Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç.Dr. Niyazi Uğur Terzi'ye ve yalnızca bu tez aşamasında değil her zaman yardım ve kardeşliğini gördüğüm kadim dostum değerli kardeşim İnşaat Yük. Müh. Murat Şayan'a çok teşekkür etmek isterim.

Şefkat ve muhabbetini üzerimden hiç eksiltmeyen, ne zaman yüzüne baksam onun merhamet ve dua dolu bakışlarına şahit olduğum muhterem annem Rezzan Yüksek'e, hayatıma tecrübe tavsiye ve öğütleri ile ışık tutan, her ihtiyaç duyduğumda sırtımı Erciyes dağı gibi dayadığım, yorulduğumda gölgesine sığındığım sevgili babam Mehmet Yüksek'e çok teşekkür ederim.

Son olarak can beraber kardeşim, meslektaşım, yol arkadaşım, yanbaşımdaki en büyük dayanağım Ahmet Yüksek'e çok teşekkür ederim.

Mustafa YÜKSEK

AKSARAY, 2013

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK LASTİK PARÇALARININ HENDEK GERİ DOLGU MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa YÜKSEK

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

Dünya genelinde, Gelişmiş ve sanayileşmiş ülkelerin karşı karşıya kaldıkları en önemli sorunların başında atık lastik yönetimi gelmektedir. Ömrünü tamamlamış ve kontrolsüz biçimde çöp depo alanlarında biriken atık lastikler büyük çevre problemlerini beraberinde getirmektedir. Bu problemin çözümüne yönelik bulunan en geçerli ve sürdürülebilir yöntem atık lastiklerin geri dönüşüm süreçleri ile yeniden kullanılmasını sağlamaktır. Yapılan arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçları; atık lastik parçalarının sahip oldukları sürtünme özellikleri, dayanım nitelikleri ve hafiflikleri sebebi ile ister tek başlarına kullanılsın ister karışım halinde kompozit olarak kullanılsın yüksek kaliteli bir dolgu malzemesi olduklarını göstermiştir. Bu tez çalışmasında atık lastik parçaları ile belli oranlarda karıştırmış kumun hendek geri dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği kapsamlı bir laboratuvar deney çalışması ile incelenmiştir. Deney setinde düşey yüklemeler şişebilir membran yastıklar kullanılarak uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde, atık lastik parçalarının uygun karışım oranlarında geri dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği görülmüştür.

2013, 56 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Atık Lastik, Geri Dolgu Malzemesi, Esnek Boru

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SHREDDED TIRE AS TRENCH BACKFILL MATERIAL

Mustafa YÜKSEK

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Niyazi Uğur TERZİ

Developed and industrialized countries face a monumental problem in terms of the disposal of used tires leading to waste tire management becoming a serious global concern. Millions of waste tires are generated and stockpiled every year, often in an uncontrolled way causing a major environmental problem. One of the solutions to the problem can be found in the interest in sustainable development which includes the recycling of tire wastes. One possible application is to use shredded tires alone or mixed with soil as fills and backfills. Field and laboratory studies have confirmed that in the form of shreds tires exhibit very good frictional properties alone or mixed with soil by enhancing the strength of soil internally providing them with stability and inducing negligible differential settlement. In this thesis a comprehensive laboratory study was performed in order to evaluate a shredded tire-sand mixture as a backfill material in trench conditions. A steel frame test tank which replicated a classical trench section in field conditions was used in the laboratory studies. Vertical surcharge loads were applied using air pressure membranes from the top of the trench backfill. In the tests, different mixture proportions and densities of the tire-sand mixture were evaluated. The results of the test demonstrated that tire shredded mixed with sand can be effectively used as backfill material for buried pipe installations

2013, 56 Pages

Keywords: Waste Tire, Backfill Material, Flexible Pipe

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. ATIK LASTİĞİN GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ	3
2.1. Doğrudan Değerlendirme.....	3
2.2 Tekrar Kaplama	3
2.3. Termik Değerlendirme	3
2.4. Hammaddesel Değerlendirme	4
2.5. Malzeme Olarak Değerlendirme	4
2.6. Mekanik Parçalama Yöntemi	6
2.7. Nitrojenle Parçalama Yöntemi	6
3. PARÇALANMA ŞEKLİNE GÖRE ATIK LASTİK ÖZELLİKLERİ	8
3.1. Bütün ve Şerit Lastikler	8
3.2. Parça ve Kırıntı Lastikler	8
3.3. Granül ve Toz Lastik.....	9
4. ATIK LASTİKLERİN KULLANIM ALANLARI	11
4.1. Bütün Haldeki Atık Lastiklerin Kullanıldığı Alanlar	11
4.2. İri Parçalar Haline Getirilen Atık Lastiklerin Kullanıldığı Alanlar	11
4.3. Kırıntı ve Toz Haline Getirilen Atık Lastiklerin Kullanıldığı Alanlar	11
4.3.1. Otomotiv Endüstrisinde.....	11
4.3.2. Spor Alanları Yüzeylerinde	11
4.3.3. İnşaatlarda ve İnşaat Malzemesi Üretiminde	12
4.3.4. Asfalt ve Zemin Uygulamaları	13
4.3.5. Termoplastik Ürünler	13
5. GÖMÜLÜ BORULAR ve DAVRANIŞ BİÇİMLERİ	15
5.1 Rijit ve Esnek Boru Farklılıkları.....	17
5.2 Kemerlenme Etkisi	18
5.3 Esnek Boruların Göçme Biçimleri	21

5.4 Boru Duvarlarının Ezilmesi	21
5.5 Boru Duvarlarının Burkulması	22
5.6 Boru Kesitinin Aşırı Şekil Değişirmesi	23
5.7 Normal ve Kayma Şekil Değişimleri	24
5.8. Boyuna Doğrultudaki Gerilmeler	24
5.9. İlave Kesme Kuvveti Yükleri.....	25
5.10. Yorulma Çatlakları.....	26
6. DENEY DÜZENEĞİ ve DENEY ADIMLARI	27
6.1 Deney Kutusu	27
Yükleme Sistemi.....	29
7. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER ve ÖZELLİKLERİ	31
7.1 Şile Kumu	31
7.1.1 Şile Kumunun Mühendislik Özellikleri.....	32
7.2 Granül Lastik Parçalarının Mühendislik Özellikleri	33
7.3 HDPE Esnek Borunun Mühendislik Özellikleri	33
8. YÜRÜTÜLEN DENEYLER	35
8.1 Kum-Granül Lastik Parçalarının Homojen Karışımı.....	35
8.1.1 Deney No 1	35
8.1.2 Deney No 2	36
8.1.3 Deney No 3	37
8.1.4 Deney No 4	37
8.1.5 Deney No 5	38
8.1.6 Deney No 6	38
8.1.7 Deney No 7	39
8.1.8 Deney No 8	40
8.1.9 Deney No 9	40
8.2 Kum-Granül Lastik Parçalarının Katmanlı Olarak Yerleşimi.....	41
8.2.1 Deney No 1	41
8.2.2 Deney No 2	42
8.2.3 Deney No 3	43
8.2.4 Deney No 4	43
8.2.5 Deney No 5	44
8.2.6 Deney No 6	45
8.2.7 Deney No 7	45
8.2.8 Deney No 8	46

8.2.9 Deney No 9	47
8.2.10 Deney No 10	47
8.2.11 Deney No 11	48
8.2.12 Deney No 12	49
8.2.13 Deney No 13	49
8.2.14 Deney No 14	50
8.3. Lastik Granül Malzeme Tamamen Dolu	51
9. DENEYLERİN GENEL DEĞERLENDİRMESİ	52
10. SONUÇLAR	54
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Parçalama Şekline ve Boyutuna Göre Atık Lastiklerin Sınıflandırılması	5
Şekil 5.1. Gömülü Borularda Kullanılan Teknik Terimler	15
Şekil 5.2. Gömülü Esnek Boruların Yüklenme Biçimleri	16
Şekil 5.3. Rijit ve Esnek Boruların Karşılaştırılması	18
Şekil 5.4. Kemerlenme Durumlarının Oluşum Biçimleri	19
Şekil 5.5. Farklı Kemerlenme Durumlarındaki Gerilme Dağılımları	20
Şekil 5.6. Rijit ve Esnek Borularda Görülen Göçme Biçimleri	21
Şekil 5.7. Esnek Boruların Ezilme Biçimi	22
Şekil 5.8. Esnek Boruların Burkulma Biçimi	22
Şekil 5.9. Esnek Boruların Aşırı Deformasyon Biçimleri	23
Şekil 5.10. Borularda Görülebilen Boyuna Doğrultudaki Kırılma Türleri	25
Şekil 5.11. Yetersiz Yataklama Nedeni ile Oluşabilen Kırılma Biçimleri	25
Şekil 6.1. Deneyler Sırasında Kutu Duvarlarının Gösterdiği Ortalama Deplasmanlar ..	29
Şekil 7.1. Geri Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan Şile Silis Kumu	31
Şekil 7.2. Kum Malzemesinin Mikroskopik Fotoğrafları	31
Şekil 7.3. Kum Malzemesine İlişkin Elek Analizi	32
Şekil 7.4. Lastik Malzemesine İlişkin Elek Analizi	33
Şekil 8.1. Yük Deplasman Eğrisi	36
Şekil 8.2. Yük Deplasman Eğrisi	36
Şekil 8.3. Yük Deplasman Eğrisi	37
Şekil 8.4. Yük Deplasman Eğrisi	37
Şekil 8.5. Yük Deplasman eğrisi	38
Şekil 8.6. Yük Deplasman eğrisi	39
Şekil 8.7. Yük Deplasman eğrisi	39
Şekil 8.8. Yük Deplasman eğrisi	40
Şekil 8.9. Yük Deplasman eğrisi	41
Şekil 8.10. Yük Deplasman eğrisi	42
Şekil 8.11. Yük Deplasman eğrisi	42

Şekil 8.12. Yük Deplasman eğrisi	43
Şekil 8.13. Yük Deplasman eğrisi	44
Şekil 8.14. Yük Deplasman eğrisi	44
Şekil 8.15 Yük Deplasman eğrisi	45
Şekil 8.16. Yük Deplasman eğrisi	46
Şekil 8.17. Yük Deplasman eğrisi	46
Şekil 8.18. Yük Deplasman eğrisi	47
Şekil 8.19. Yük Deplasman eğrisi	48
Şekil 8.20. Yük Deplasman eğrisi	48
Şekil 8.21. Yük Deplasman eğrisi	49
Şekil 8.22. Yük Deplasman eğrisi	50
Şekil 8.23. Yük Deplasman eğrisi	50
Şekil 8.24. Yük Deplasman eğrisi	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Lastiğin Prolizi Sonucu Elde Edilen Ürünler	4
Çizelge 2.2. Atık Lastikten Elde Edilen Ürünlerin Dağılımı	5
Çizelge 2.3. Mekanik ve Nitrojenler Atık Lastik Parçalama Yöntemlerinin Karşılaştırılması	7
Çizelge 5.1. AWWA M.45 (1997)'in Önerdiği Şekil Değiştirme Sınır Değerleri Oranları	18
Çizelge 6.1. ASTM D 2321 ve AASHTO Sec 30'a göre En küçük Hendek Genişliği	28
Çizelge 7.1. Kum Malzemesinin İndeks Özellikleri	33
Çizelge 7.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan HDPE Boruların Özellikleri	34
Çizelge 9.1. Karışım oranları dikkate alınarak yapılan karşılaştırma	52
Çizelge 9.2. 200 kPa yük seviyesi için granül lastik	53

SİMGELER DİZİNİ

E	Boru malzemesinin Young Modülü
ν	Poisson Oranı
I	Atalet Momenti
A	Kesit Alanı
r	Yarıçapı
D	Boru Çapı
t	Et kalınlığı
h	Kıvrım yüksekliği
N	Boru duvarında oluşan normal kuvvet
P	Boru tacı üzerinde bulunun geri dolgu malzemesi yükü
M_s	Geri dolgu malzemesinin bir boyutlu Sıkışma Modülü
E_p	Boru Malzemesinin Young Modülü
A	Borunun kesit alanı
σ_{cr}	Kritik burkulma basıncı
Δy	Düşey yönde meydana gelen kısalma
ϵ_b	Boru çemberindeki deplasmanlardan doğan eğilme şekil değişimleri
ϵ_c	Dış basınç gerilmelerinden doğan basınç şekil değişimleri
ϵ_p	İç basınç (Vakum) gerilmelerinden doğan basınç şekil değişimleri
P_v	Düşey basınç
P_i	İç basınç

KISALTMALAR DİZİNİ

As	Arsenik Elementi
Cd	Kadmiyum Elementi
Cr	Krom Elementi
Pb	Kurşun Elementi
Zn	Çinko Elementi
Fe	Demir Elementi
SBR	Stiren-bütadien Kauçuğu
PBR-CBRP	Polibütadien Kauçuğu
HDPE	High Density Polyethylene
PVC	Polyvinyl Chloride

1. GİRİŞ

Çevre açısından oldukça dayanıklı yüksek molekül yapıları polimerlerden ibaret doğal ve sentetik kauçuklardan üretilen ürünler, kullanılmalarının ardından faydalı ömürlerini tamamlamalarıyla, çevrede zor ortadan kalkacak atıklar oluşturmaktadır. Ülke ekonomilerini sürükleyen başlıca sektörlerden biri olan otomotiv endüstrisinde kauçukların yaklaşık %85'nin tüketildiği araç lastiği ve otomotiv yan sanayi de bu sektörün içinde yer almaktadır. Bisiklet lastiklerinden dev kazı makinelerinin lastiklerine kadar değişen pek çok lastiğin yapımında kauçuk kullanılır. Kauçuğun kullanılmadığı pek az sanayi dalı vardır. Kauçuklar doğal kauçuklar ve sentetik kauçuklar olmak üzere iki guruba ayrılırlar. Sentetik kauçuklar çok çeşitli yapılarda olmakla birlikte bunların büyük çoğunluğunu stiren-bütadien kauçuğu (SBR) ve polibütadien kauçuğu (PBR-CBR) oluşturur. Kauçuklar yüksek esneklik, yüksek dayanım, düşük deformasyon ve yayılma, iyi dinamik özellikleri, kolay işlenme, iyi yırtılma ve aşınma dayanımı, polar sıvılara dayanıklılık gibi özelliklere sahiptirler. Otomobil lastiklerinde kullanılan kauçuk bükülebilir, esnek, dayanıklı ve aşınmaya karşı dirençlidir. Havaalanı, terminal binaları ve otellerdeki yer kaplamalarında, yürüyen merdivenlerde ve taşıyıcı bantlarda kauçuğu uzun ömürlü kılan, aşınmaya karşı direnç özelliğidir. O kadar çok otomobil lastiği üretilmektedir ki, eskimiş lastiklerin ne olacağı konusu tam bir sorun haline gelmiştir. Eski lastikler, enerji elde etmek için yakılabilir yâda kauçuklarını geri kazanmak için kimyasal işlemlerden geçirilebilir; ama lastiğin içinde yer alan çelik ve öteki malzemeler bu tür yöntemleri zorlaştırmakta ve pahalılaştırmaktadır.

Türkiye’de her yılda ortalama 30 milyon lastik ömrünü tüketmektedir. Hurda lastiklerin yığıldığı ve atıldığı yerlerde önemli iki çevre zararı söz konusu olmaktadır. Bunlar; bu yığınlarda meydana gelen şiddetli yangınlar ve diğeri ise bu yığınlar da rahatça çoğalma fırsatı bulan böcekler nedeniyle toplum için oldukça tehdit edici hastalıkların yayılma ihtimalidir. Yığınlarda üreyen böceklerden kaynaklanan hastalıklar, özellikle yağmurlardan sonra görülmektedir. Ohio’da, çocuklarda meydana gelen rahatsızlıkların % 80 nedeninin yakında bulunan hurda lastik yığınları olduğu görülmüştür (Y.T.Ü. 2004). Lastik atıkları diğer atıklardan ayrı olarak depolandığı zaman, tehlikeler daha belirgin hale gelir. Bütün lastikler arasında yangın başlamasına neden olabilecek yeterli oksijen bulunur. ABD Winchester/Virginia’da meydana gelen bir yığın yangını yaklaşık 9 ay sürmüştür. Lastiklerin yanmasıyla atmosfere tonlarca zararlı bileşikler

yayılmaktadır. Siyah bir bulut gibi atmosfere yayılan bu maddeler içinde; karbon siyahı, uçucu organik, yarı uçucu organikler, çok halkalı hidrokarbonlar, yağlar, kükürt oksitleri, azot oksitleri, nitrosaminler, karbon oksitleri, uçucu partiküller ve As, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe ve benzeri gibi metaller bulunabilmektedir. Yangınlar ile atmosfere yayılan bu kirleticiler yakın çevredeki toprak ve suların kirlenmesine sebep olarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Yangın sonrasında kalıntıların toprağı kirletme potansiyeli söz konusudur. Yangını söndürmek maksadıyla sıkılan sular yangında piroliz meydana gelmesine ve toprağı sızarak ayrı bir probleme neden olabilecek birçok hidrokarbonların oluşmasına da neden olabilmektedir. Draper (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, lastik tozunu 10 gün gibi uzun bir süre aynı suyla temasta tutarak oluşan sızıntının suda yaşayan mikroorganizmalara ve böcek-kurtçuk boyutundaki canlılara zarar verdiğini ifade etmişlerdir. Bu araştırmacılar her km’de araç lastiğinden 90 mg lastik partikülünün yol tozuna karıştığını belirtmişlerdir. Kullanılmış lastiklerin geri kazanılması yöntemleri günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Kullanılmış lastiklerin geri kazanılması bütün halden toz hale kadar, çeşitli boyutlar için yapılmaktadır. Kullanılmış lastiklerin asfalt yapımında kullanılmasına yönelik bir çalışmada, yılda 80 bin ton lastiğin ekonomiye kazandırılacağı ve asfalt yolların daha iyi tutuş sağlayacağı için trafik kazalarını azaltacağı görüşü belirtilmiştir. Bu çalışmaya göre, lastiğin kauçuk ve telleri makineyle birbirinden ayrılarak, kauçuk asfalt yol yapımında ve çim sahalarda, kord bezi ise mobilya sektöründe döşeme ve yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Lastiğin içindeki çelik tel de eritilerek değerlendirilmektedir. Atık lastiklerin ısı değerleri 28,000 kJ/kg ile 35,000 kJ/kg arasında değişmektedir. Uygun şartlarda, atık lastiklerin yakılması mümkün olup, ısı enerjisi elde edilmesi gereken uygulamalarda kullanılabilir. Yığma yapıların kullanılmış oto lastiği ile depreme dayanıklı hale getirilmesine ilişkin bir çalışma yapılmıştır. Dünya Bankası’nın düşük gelirli insanların teknoloji gerektiren servislerden faydalanabilmesi amacıyla her yıl düzenlediğı “Development Marketplace” yarışmasında, 2003 yılı için desteklenmeyi hak eden projeler arasında yer alan bu çalışmada, kullanılmış lastiklerin yapısal güçlendirme malzemesi olarak kullanılması gündeme gelmiştir. Kırıntı ve toz haldeki lastiklerin otomobil endüstrisinde kullanım alanları çok daha geniş olup, kayışlar, oto fren balatasında bağlayıcı, oto tamponları, araba kaportasında sızdırmazlık contaları, araç içi paspaslar, contalar, darbe emiciler, teker arkasında çamur/su sıçramasını önleyen lastik perdeler olarak sıralanabilir. Sönümlemeyi arttırmak için balata malzemesi olarak kullanılan lastik tozu hurda lastiklerden elde edilebilir.

2. ATIK LASTİĞİN GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ

2.1. Doğrudan Değerlendirme

Birçok lastikler tam olarak aşınmadan atılmaktadır. Bunlar bir lastik deposunda toplanıp kullanılmış lastik piyasasında tekrar satışa sunulabilir. Kullanılmış ve tekrar satılabilecek lastiklerin ayrılması, depolama sahasına giden lastik oranını %5-10 arasında azaltmaktadır. Lastiklerin tekrar kullanılmasının diğer basit metotları oyun yeri salıncağı ve iskelelerde gemi tamponu yapımı için kullanılmasıdır. Amerika’da bu konuda yapılan bir çalışma da lastiklerin resif olarak kullanılmasıdır. Lastik resifler, balık habitatları için bir ortam yaratır, gelgit ve fırtına olaylarının su altı alanına çevrimini sağlayarak doğal ortamına dönmesini sağlarlar (Adhikari 2000).

2.2 Tekrar Kaplama

Tekrar kaplanmış lastikler yeni lastiklerle aynı güvenlik ve performans standartlarına sahiptir. Lastiklerin tekrar kaplanması, depolama sahalarındaki kullanım alanının artması yanında daha birçok avantajı vardır. Yeni lastik üretimi için kullanılan yağ korunur ve hem satıcı hem de üretici için ekonomik faydalar sağlar. Bu lastikler yeni lastiklerle karşılaştırıldığında aynı mesafe yolu teklif ederken, maliyet olarak da %50 daha ucuzdur. Sonuç olarak, eğer kullanılmış lastikler tekrar kaplanırsa, lastik yığınlarının yanma riskinin elimine edilmesine yardımcı olur

2.3. Termik Değerlendirme

Lastiğin 25.000 kJ/kg enerji değeri vardır ve bu kaliteli bir kömüre eşdeğerdir. Sonuç olarak, atık lastiklerin termik değerlendirilmesi depolamaya oranla daha fazla tercih edilir. Bazı işletmelerdeki yakma ünitelerinde lastikler bütün olarak veya parçalanmış olarak yakılırlar. Lastiklerin yakıt dönüşümünün ekonomikliği, lastiğin tekrar rafine edilmesinden önce yakma tesisine karıştırılmasına bağlıdır. Lastikleri bütün olarak yakan işletmeler parçalanmış şekilde yakan işletmelere göre daha ekonomiktir. Çünkü daha fazla lastik doldurabilir veya maliyet azaltılabilir. Diğer bir ekonomik ayırım ise yakma tesisinin lastiği çelik telle birlikte veya bu teller giderilmiş şekilde kabulüne bağlıdır. Parçalama işlemindeki akım, daha küçük parçalar ve yakıt dönüşüm için tel ve kablolardan ayırmak için ızgaradan geçirilmiş ve ayrılmış üniform parçalar elde etmektir.

Avrupa, Kanada, Japonya ve Amerika'daki birçok işletmede bütün veya parçalanmış lastikler çimento ocaklarında yakıt olarak kullanılmaktadır. Çimento üretimi için 1450°C sıcaklık gereklidir. Aynı zamanda çimento ocakları coğrafik koşullarından dolayı da kullanım için uygundur. Çünkü hem ocaklar hem de lastik istifleri, merkezi yerleşimden uzaktır (Ertaş 1997). Elektrik üretiminde kullanma, eski lastiklerin değerlendirilmesi için diğer bir olasılıktır. Almanya'daki bir tesiste yılda yaklaşık olarak 50.000 ton lastik yakılıyor ve merkezi ısınma civardaki konut ve endüstri için elektrik üretiliyor. Lastikler 1300°C'de yakılır ve yanma prosesi sonucu olarak cüruf, çinko içeriği fazla olan toz ve kireçtaşı oluşur. Bunlara da geri kazanım ve tekrar kullanma için ilave işlemler uygulanır (Yeşilata 2007).

2.4. Hammaddesel Değerlendirme

Piroliz, eski lastiklerin yakıtı çevrimi için kullanılan metotlardan biridir. Teknik olarak, piroliz ısı ile organik kimyasal bağların kırılması prosesidir. Lastikler Çizelge 1.'de görüldüğü gibi, piroliz sonucu karbon siyahı, gaz, çelik ve yağa dönüşür ve daha sonra bunlar eritilir. Farklı miktarlardaki piroliz ve eritme için farklı bir proses tanımlanır. Sıcaklık arttığında, daha fazla gaz üretilir. Sıcaklık azaldığında, yağ geri kazanılan ilk yakıt olur. Hurda Lastik Yönetim Konseyi'ne göre (Scrap Tire Management Council) ortalama bir lastik 4 litre yağ, 3 kg. karbon siyahı, 1.5 kg gaz ve 1 kg. çelik ve kül üretir. Elde edilen yağ ve gaz düşük kaliteli yakıt olarak satılır (Ertaş 1997).

Çizelge 2.1. Lastiğin Prolizi Sonucu Elde Edilen Ürünler (Sugözü 2009)

Ürün	Miktar %
Solventler	3
Ağır yağlar	1
Orta yağlar	2
Hafif yağlar	20
Çelik	12
Piroliz prosesi için yakıt	12
Fazla gaz	13
Kurum	37

2.5. Malzeme Olarak Değerlendirme

Atık lastiğin geri kazanımı; atık lastiğin parçalanarak, çelik, fiber ve diğer kirleticilerden ayrılmasıdır. Bir otomobil atık lastiğinin ağırlığı 9,1 kg'dır. Atık lastiğin yaklaşık olarak %35'i doğal ve %65' i sentetik olan geri kazanılabilir kauçuktan

meydana gelmektedir. Bir kamyon lastiği 18,2 kg ağırlığında olup, bu ağırlığın %60 ile %70'i geri kazanılabilir kauçuk içermektedir. Atık lastiklerden kazanılabilecek temel ürünlerin yüzdesel değerleri Çizelge 2.'de verilmektedir.

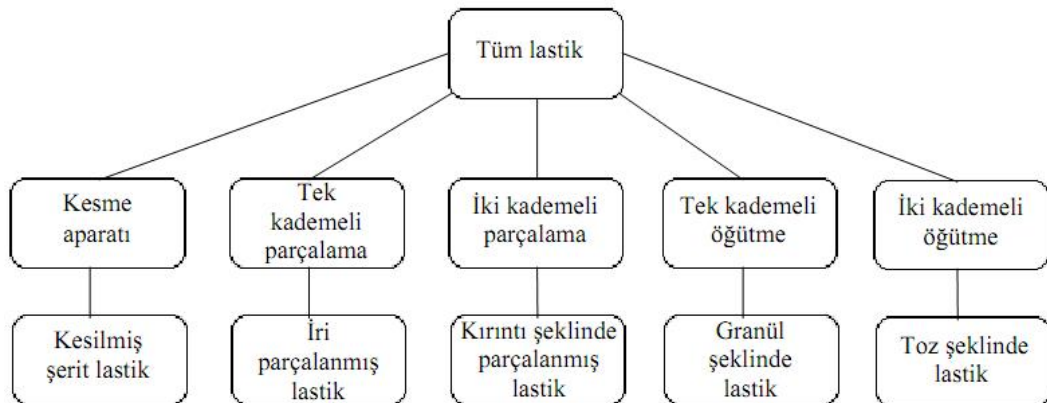
Çizelge 2.2. Atık Lastikten Elde Edilen Ürünlerin Dağılımı (Sugözü 2009)

Ürün	Kamyon lastiği (%)	Endüstriyel araç lastikleri (%)	Otomobil lastiği (%)
Kırıntı kauçuk	70	78	70
Çelik	27	15	15
Elyaf ve diğer katkıları	3	7	15

Atık lastiğin yeniden değerlendirilmesi için, atık lastiğin boyutlarını küçültecek olan endüstriyel işlemlerin yapılması gerekmektedir. Boyut küçültme işlemi, belirlenen amaç doğrultusunda, iki aşamadan oluşmaktadır:

- * Kauçuk kısım içerisindeki elyaf ve çeliğin ayrıştırılması,
- * Kauçuk parçaların pazarda satılabilir boyutlara indirgenmesi

Farklı boyutlara indirgenmiş atık lastiklerin teknik özelliklerinde bazı değişimler söz konusudur (Ertaş 1997). Atık bir lastiğin yararlı bir başka endüstriyel ürün olarak kullanılabilmesi için; boyutlarının küçültülmesi gereklidir. İşlem şekline ve boyutuna göre; tüm bir lastikten, beş farklı boyutta atık lastik eldesi mümkün olup, bu duruma yönelik şema Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Parçalama Şekline ve Boyutuna Göre Atık Lastiklerin Sınıflandırılması

Atık lastiklerin boyutlarının küçültülmesinde kullanılan yöntemleri; kullanılan makine ve makine gruplarının çalışma teknolojileri açısından, mekanik parçalama yöntemi ve nitrojenle parçalama yöntemi olarak iki temel başlıkta incelemek mümkündür (Erdem 2005).

2.6. Mekanik Parçalama Yöntemi

Atık lastiklerin parçalanarak boyutlarının küçültülmesi işlemi tamamen mekanik prensiplere göre yapılmaktadır. Atık lastikler, birinci aşamada genellikle 5cm boyutunda parçalanır. Bu işlemle, atık lastiğin hacmi azaltılır ve böylece depolama hacminin yanında, taşıma maliyetleri de düşürülmüş olur. Bu işlemin en büyük faydası, ufaltılmış lastiklerin standart yükleyiciler ile yüklenebilmesi kolaylığı sağlamasıdır. Ön parçalama işleminde kullanılan makinelerin büyük çoğunluğu, düşük devirlerde karşılıklı olarak dönen iki milden oluşmaktadır. Bu tip sistemlerde, millerde oluşan yüksek tork yardımıyla her türlü atık lastik kolaylıkla parçalanabilmektedir. Atık lastik içerisindeki çelik teller, parçalayıcı ve öğütücü makinelerdeki yırtılma ve aşınmanın %70'ni oluşturduğu için, atık lastikleri parçalama işlemi başlamadan önce, çelik tel kısımlarının ayrıştırılması gereklidir (Yeşilata 2007). Atık lastikler ön parçalayıcıda 5 cm boyutunda kesildikten sonra, çapı 10 mm'den daha küçük olan granül haline getirilmektedir. Granül oluştuktan sonra, manyetik bir sistem kullanılarak atık lastiğin içerisindeki çelik teller, sallama ve rüzgâr elekleri yardımıyla da elyaflar ayıklanmaktadır. Bazı uygulamalarda kullanılmak üzere; tane çapı daha küçük olan lastikler elde etmek için, ardışık öğütme işlemi de uygulanabilmektedir.

2.7. Nitrojenle Parçalama Yöntemi

Nitrojenle parçalama yönteminde, atık lastiği parçalama işlemi düşük sıcaklıklarda yapılmaktadır. Gevrek yani kırılgan hale getirilen lastik, daha sonra mekanik olarak parçalanmaktadır. Nitrojenle parçalama yöntemiyle lastik geri kazanımı işleminde, lastik veya lastik parçacıkları 80°C'nin altında soğutulmakta ve lastiğe cam gibi kırılganlık özelliği verilmektedir. Soğutma işlemi uygulandıktan sonra, lastiği ezerek veya kırarak lastik boyutu küçültme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu tür boyut küçültme işleminde ortam sıcaklığında yapılan boyut küçültme işlemine kıyasla, daha az enerjiye ve daha az makineye gerek duyulmaktadır. Nitrojenle parçalama işleminin bir diğer avantajı da, atık lastik içerisindeki çelik ve elyaf kısmının ayrılmasının

kolaylığı ve bunun sonucunda da daha temiz bir ürünün elde edilebilmesidir. Ancak sıvı azot fiyatının yüksek olması, bu sistemin zayıf yanlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. 5 cm'lik lastik parçalar; donma tüneline sürekli olarak -120°C ve daha düşük sıcaklığa düşürüldükten sonra, yüksek devirde çalışan çekiçli öğütme kısmına dökülürler. Çekiçli öğütme işleminde, parçacıklar geniş bir boyutta olup, elyaf ve çelikten ayrılmışlardır. Malzeme daha sonra kurutulmakta ve belirli parçacık boyutlarında sınıflandırılmaktadır. Atık lastiklerin çok ince ve temiz olmasının istenmesi durumunda, nitrojenle lastik parçalama yöntemi, daha ekonomik olmaktadır. Atık lastik geri kazanım işlemlerindeki temel parametrelerin nitrojenle parçalama ve mekanik yöntemler açısından karşılaştırılması Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 2.3. Mekanik ve Nitrojenler ile Parçalama Yöntemlerinin karşılaştırılması

Parametre	Mekanik Parçalama Yöntemi	Nitrojenle Parçalama Yöntemi
Çalışma sıcaklığı	Çevre sıcaklığı veya daha yüksek (maksimum sıcaklık 120 °C)	- 80 °C veya daha düşük (minimum sıcaklık -100 °C)
Boyut küçütme prensibi	Kesme, yırtma, makaslama	Gevrek lastik parçalarını kırmak
Parçacık şekilleri	Süngersi ve kaba	Düz ve pürüzsüz
Parçacık boyutu dağılımı	Parçacık boyutunda dar bir dağılım, öğütme aşamasına göre sınırlı boyut küçültümü	Sadece tek bir işlemle, parçacık boyutunda geniş bir dağılım eldesi (0.2 mm ile 10 mm arasında)
Bakım maliyeti	Yüksek	Düşük
Elektrik tüketimi	Yüksek	Düşük
Sıvı azot tüketimi	Yok	Bir kilogram lastik için 0.5–1 kg sıvı azot

3. PARÇALANMA ŞEKLİNE GÖRE ATIK LASTİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Bütün ve Şerit Lastikler

Bir otomobil atık lastiğinin ağırlığı 9,1 kg'dır. Atık lastiğin yaklaşık olarak 5,4 kg ile 5,9 kg ağırlıklar arasında değişen kısmının, %35'i doğal ve %65' sentetik olan geri kazanılabilir kauçuktan meydana gelmektedir. Çelik kuşaklı radyal lastikler, lastik piyasasına en çok kullanılan lastik tipidir. Bir kamyon lastiği 18,2 kg ağırlığında olup, bu ağırlığın %60 ile %70'i geri kazanılabilir kauçuk içermektedir. Kamyon lastiklerinin büyük çoğunluğu, çelik kuşaklı radyal lastikler olmasına rağmen, halen naylon veya polyester kuşak malzemesi içeren çapraz katmanlı tipte olan bir takım kamyon lastikleri de bulunmaktadır (Ünlü 2006). Atık lastiklerden elde edilen şerit lastikler, lastik kesme makinelerinden elde edilmektedir. Bu kesme makinelerinde, atık lastikler yanak ve sırt kısmı olarak iki farklı duruma dönüştürülür.

3.2. Parça ve Kırıntı Lastikler

Çoğunlukla, lastiklerin parçalanması veya kırıntı haline getirilmesi birinci ve ikincil parçalama işlemleri gerektirmektedir. Bir lastik parçalama makinesi, salınım veya ileri geri hareket eden kesme ağızlarıyla makaslama hareketi yapabilmekte ve böylece kesme işlemini etkili bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Makinenin modeline ve bıçak ağzına bağlı olarak, birincil parçalama işleminde lastik parçalarını, 300–460 mm uzunluğunda ve 100–230 mm genişliğinde boyutlara getirilebilmektedir. Atık lastik boyutlarını, 76 mm ile 13 mm arası boyutlarda değişen kırıntı lastik boyutuna getirmek için; birincil ve ikincil parçalama işlemi olarak adlandırılan iki aşama gerektirmektedir. İkincil parçalama işleminde, birincil parçalama işlemine göre daha eşit boyutta olan ince lastik taneleri elde edilmektedir. Parçalanmış atık lastiklerin yüzeyleri genellikle düzgün olmasına rağmen, şekil olarak düzensiz kaba parçalardan oluşmaktadır. Bu durumdaki atık lastik parçacıklarının içerisinde, keskin çelik tel parçacıkları bulunmaktadır. Kaba olarak parçalanmış lastik parçalarının uzunlukları, 25 mm'den büyük 460 mm'den küçük olmaktadır. Genellikle, çoğunluğunun boyları 100 ile 200 mm arasında değişmektedir. Parçalanmış lastiğin gevşek birim ağırlığı, parça boyutuna ve şekline bağlı olarak 390 kg/m³ ile 535 kg/ m³ arasında değişmektedir. Sıkışık birim ağırlığı ise, 650 kg/ m³ ile 840 kg/ m³ arasındadır (Guogiang vd. 2004).

Kırıntı lastikler, ısı yalıtım performanslarının iyi olması nedeniyle, dolgu malzemesi olarak altyapı uygulamalarında kullanılmakta ve tabii zemin malzemesine kıyasla, daha düşük donma derinliklerinin oluşmasına katkı sağlayabilmektedir. Parça ve kırıntı lastikler normal çevre koşullarında reaktif değildirler. Parça ve kırıntı lastiklerin temel kimyasal bileşeni, doğal ve sentetik kauçuklardır. Ancak ek bileşen olarak karbon siyahı, sülfür polimer, yağ, parafin pigment, bez, boncuk veya kuşak malzemeleri içermektedir (Guogiang vd. 2004).

3.3. Granül ve Toz Lastik

Granül kauçuğun tane boyutları 0.85 mm ile 9.5 mm arasında değişmektedir. Bunun yanında, boyut küçültme makine ve uygulamada kullanılacağı yerlere göre, tane büyüklükleri 0.15 mm ile 19 mm arasında da olabilmektedir. Granül lastik üretimi, granül makinesi veya öğütme değirmeni makineleriyle yapılmaktadır. Granül makinesi, düzgün şekilli ve küçük yüzey alanına sahip küp şeklinde parçacıklar üretmektedir. Manyetik ayırıcılar kullanılarak, çelik teller granül lastik içerisinde toplanmaktadır. Ayrıca granül lastik parçaları içerisindeki cam fiberler veya normal fiberler, hava püskürten ayırıcılar yardımıyla çıkarılmaktadır. Granül lastik parçaları, çift çevrimli manyetik ayırmaya maruz bırakıldıktan sonra, çeşitli boyutlarda sınıflandırılmış olarak torbalar içerisinde belirli ağırlıklarda piyasaya sunulmaktadır (Yeşilata, 2004).

Toz lastiklerin tane boyutları ise, 0,075 mm ile 4,75mm arasında değişmektedir. Soğuk asfalt içerisine karıştırılan toz kauçuğun tane boyutları genellikle 0,15 mm ile 0,6 mm arasında olmaktadır. Sıcak karışım asfaltında kullanılan toz lastiklerin boyutları ise, genellikle 4.75 mm'den daha küçük olmaktadır. Toz lastiğin yoğunluğu, elyaf, çelik tel ve diğer maddeleri içermemesi durumunda yaklaşık olarak 1150 kg/m³kadar olmaktadır. Atık lastikleri granül ve toz lastiğe çeviren üç yöntem bulunmaktadır; Bunlardan krank mili işlemi çok kullanılan ve yaygın bir yöntemdir. Krank mili yönteminde, yüzeyi dişli ve dönen çelik tamburlar arasından atık lastik geçirilerek parçalanmakta ve böylece lastik boyutu küçültülmektedir. Bu işlemle, düzensiz şekle ve geniş yüzey alanına sahip parçalanmış lastik taneleri elde edilmektedir. Elde edilen lastik tanelerinin boyutları, 0,5 mm ile 5 mm ile arasında olup, bu boyutlarda elde edilen lastiğe genellikle granül-toz lastik adı verilmektedir (Küçükgül, 2004).

İkinci işlem, bir kısmı sabit ve bir kısmı da dönen bir mil üzerine monte edilmiş çelik plakaların (sabit ve hareketli plakalar arasındaki mesafe oldukça küçük) lastiğe

arpması ve sabit plaka ile hareketli plaka arasında lastiği sıkıştırıp makaslaması esasına dayanmaktadır. Lastik bu şekilde makaslanarak, 0,5 mm ile 9,5 mm arasında granül-toz lastik parçaları elde edilebilmektedir (Kgl, 2004). nc işlemde ise mikro değirmerler kullanılarak, 0,075 mm ile 0,5 mm boyutları arasında, çok ince toz lastikler üretilmektedir. Bazı uygulamalarda, lastik boyutunun küçültülmesi işleminde nitrojenle parçalama yöntemi de kullanılmaktadır. Bu yöntemde, daha önce bahsedildiği üzere, lastik tanelerini daha gevrek duruma getirip kolay kırılmalarını sağlamak için, sıvı azot kullanılmakta ve bu işlemlle lastiğin sıcaklığı -87°C'ye kadar indirilmektedir. Bu teknik bazen son öğütme işleminde de kullanılmaktadır (Lagrega, 2004).

4. ATIK LASTİKLERİN KULLANIM ALANLARI

4.1. Bütün Haldeki Atık Lastiklerin Kullanıldığı Alanlar

Oyun parkları, motorlu spor alanları, deniz kıyısında gemi yanaşma noktaları, toprak erozyonu önlemede, zeminin su oymasına karşı köprü ayaklarının kaplanması, araç park alanları, deniz kıyısında dalga kırıcı olarak, su ortamlarında canlı yaşamının gelişmesi için bentik alanda, şev stabilizasyonunda, yol stabilizasyonunda kullanılırlar.

4.2. İri Parçalar Haline Getirilen Atık Lastiklerin Kullanıldığı Alanlar

Çöp depo yerinde sızıntı suyu toplama tabakası teşkili, çimento fabrikalarında yakıt olarak, elektrik üretimi maksatlı termik santrallerde yakıt olarak, ısı, buhar ihtiyacı için kağıt vb. endüstriyel sektörlerin kazanlarında yakma olarak kullanılırlar.

4.3. Kırıntı ve Toz Haline Getirilen Atık Lastiklerin Kullanıldığı Alanlar

4.3.1. Otomotiv Endüstrisinde

Büyük miktarlardaki yeniden işlenmiş lastik kauçuk, yeni araçların imalatında kullanılır. Lastik parçalarından elde edilen granül lastik tozu; fren pedalları ve astarları, kayışlar, oto fren balatasında bağlayıcı, oto tamponları, araba kaportasında sızdırmazlık contaları, araç içi paspaslar, contalar, darbe emiciler, teker arkasında çamur/su sıçramasını önleyen lastik perdeler, araç lastikleri ve iç lastikler, esnek boru, altlıklar, akü kaplamaları, kapı yüzleri, emniyet kemeri muhafazaları, içecek ya da madeni para tutacakları, kapı dayanakları, depolama bölmeleri ve müzik sistemlerinin birçok parçalarında diğer materyaller ile karıştırılarak kullanılırlar. (Ünlü, 2006).

4.3.2. Spor Alanları Yüzeylerinde

Çok çeşitli elastomer ve polimer ile granül kauçuğunu karıştırmadaki son gelişmeler, yeni jenerasyon tüm hava koşullarına dayanıklı spor yüzeyleri üretmektedir. Bu yüzeylerin etki absorpsiyonu ve esnekliklerine bağlı olarak sakatlanmaların sertliğini azaltmada büyük katkısı vardır. Bu yüzeyler kolayca yerleştirilir ve bakımı ucuzdur. Değişik tipteki spor sahalarında sentetik çim, atletizm parkuru, golf ilk vuruş alanları, kreş oyun alanları, çim bowling alanları, tekne içinde kaymayı önleyici yüzey, okul spor alanları, yüzme havuzu çevresi ve bahçe içi yollar, tenis ve basketbol sahaları, yürüyüş

parkurları için gittikçe artarak doğal çimin yerini almaktadır. Bu uygulamaların birçoğu üç tabakada yapılır. Granül; sentetik, çim benzeri otlar için taban oluşturmada kullanılır. Granül prefabrike ped ya da altlık vb. olarak yerleştirilebilir. Masraflı bakım olmadan doğal çimle benzer şok absorbsiyon ve elastikiyet sağlayan bir tamponlama tabakası oluşturur. Ahşap jimnastik döşemeler, geri dönüşümlü lastiklerden yapılan materyal ile değiştirilmektedir. Yerleştirilmesi kolay ve bakımı ucuz olan bu materyaller okullarda ve ticari arenalarda kullanılır. Materyal, kazalarda çekilen acıların şiddetini azaltan daha esnek bir yüzey sunar.

Bir başka yararı ise iç mekân müsabakalarını seyirciler için zor hale getirebilen sesin azaltılmasıdır. Soyunma odaları gibi umumi alanlarda dökülen sıvılar tarafından lekelenmez ya da zarar görmez.

4.3.3. İnşaatlarda ve İnşaat Malzemesi Üretiminde

Kiremit ve çatı altı kaplama gibi çatı kaplama materyalleri geleneksel olarak üretimlerinde geri dönüşümlü kauçuk kullanılır. Yeni teknolojiler geri dönüşümlü elastomer ve polimerlerin çeşitliliği olduğu kadar granül ve saf materyalleri içeren karışımlar dizisini kullanır. Ürünler hava, neme dayanıklıdır ve güneşten gelen ultraviyole ışınlarının yol açtığı ters etkilerden zarar görmez. Yer karoları, halı altlıklarını üretmek için geri dönüşümlü kauçuk kullanılmaktadır. Esnek, su geçirmez, ses işlemlerini sınırlandırdığı ve solvent, asit, yağ vb. dayanıklı oldukları için birçok ticari ve endüstriyel alan, sağlık ve araştırma tesisleri, spor ve kongre merkezleri bu döşemelerden kullanmaktadır. Düşük bakım maliyeti ve uzun ömre sahiplerdir. Yeni kullanım alanları hava alanları ve tren istasyonları olduğu kadar yaya ve oturma alanlarını da içerir. Taşınması kolay, biyolojik bozulmaya uğramaz, nem ve küfe dayanıklı olan bu borular yeniden değişmeye gerek olmadan yıllarca yerinde kalabilir. Yeni kaplama materyalleri lastik granüllerinden geliştirilmektedir. Yerleştirilmesi kolay, patinaja dayanıklı, esnek ve kolayca bakım yapılabilen bu materyaller patikalar, havuz alanları ve bahçe yollarında kullanılır. Birçok renk, yumuşaklık/sertlik derecesi ve beton, renkli taş ya da kalıplı taban kaplama malzemelerine ucuz bir alternatiftir. Birçoğu ön yerleştirme olmadan doğrudan toprağa yerleştirilir. Tutkallar ve izolasyon sıvıları, teneke içi reçine kaplaması, halı tabanı, genel ekstüzyon ürünleri, genel döküm kalıp ürünleri, baraj, depo, havuz, atık bertaraf sahası ve çatı sızdırmazları ve örtüleri, paspaslar, bina zemin kaplamaları, contalar, hastane, endüstri ve banyo zeminleri, kümes hayvanı altlıkları, kaymayı önleyici yüzey malzemesi, inşaat boyası, bağlantı

noktası briketi, zemin yükseltme, çatı kiremitleri, vibrasyon gidericiler, çatı ve duvarlarda su izolasyon maddesi olarak kullanılırlar (Korkmaz, 2005).

4.3.4. Asfalt ve Zemin Uygulamaları

Demiryolu kavşakları, karayollarında kullanılmakta olan tabela destekleri ve güvenlik bariyerleri Granül lastikten yapıldığından araç hasarını azaltır. Köprüler ve karayollarındaki genleşme bağlantıları da önemli bir yeni kullanım alanlarıdır. Demiryolu ray bağlantıları, karayolu inşası ve tamiri, asfalt yol çatlakları kapama malzemesi, karayollarında lastik katkılı asfalt, toprak iyileştirici ve zemin örtüsü, at yarış pisti malzemesi, toprakaltı drenajı, trafikte araç ve insan geçiş barikatları gibi yerlerde sıkça kullanılırlar. Yeni materyal buluşları titreme, toz ve sesi azaltan bir dizi yol kaplama materyali üretmektedir. Bu yeni yüzeyler gittikçe artarak tarihi alan ve abidelerin çevresinde ve giriş yollarında kullanılmaktadır. Sesten gelen titreşimi %20'ye kadar ve araçlardan gelen titreşimi ise % 15'e kadar azaltabilmektedir. Birçok ses bariyeri kullanılmış lastikten imal edilir. Tasarımların çoğunluğunda parça lastiklerden istifade edilir. Başarılı ses absorberleri oldukları ve anayollar ve yüksek hızdaki tren rayları boyunca sesi büyük ölçüde azalttığı kanıtlanmıştır. Geri dönüşümlü kauçuk granülleri ile ilgili son araştırma ve gelişmeler hem tren hem de tramvay raylarında kullanılan çeşitli yeni ürünlerin çıkmasına yol açmıştır. Test sonuçları yoğun nüfuslu şehir merkezlerinde ve yüksek hızda geçen tren rotaları boyunca sesin % 40'a kadar azaltıldığı, titreşimin ise % 30'a kadar sınırlandırılabilirdiğini göstermiştir. Drenaj asfaltı olarak da bilinen asfalt karışım, su ve püskürtmeyi azaltıp yüzeydeki yağmur suyunun çekilmesini sağlayan çok yüksek boşluk içeriğine sahiptir. Lastikler ıslak yollarda yüksek hızda kızıklamayı önleyerek kaplı yüzeyle temasını sürdürür. Işık yansımalarını ve titreşimi azaltır (Korkmaz, 2005).

4.3.5. Termoplastik Ürünler

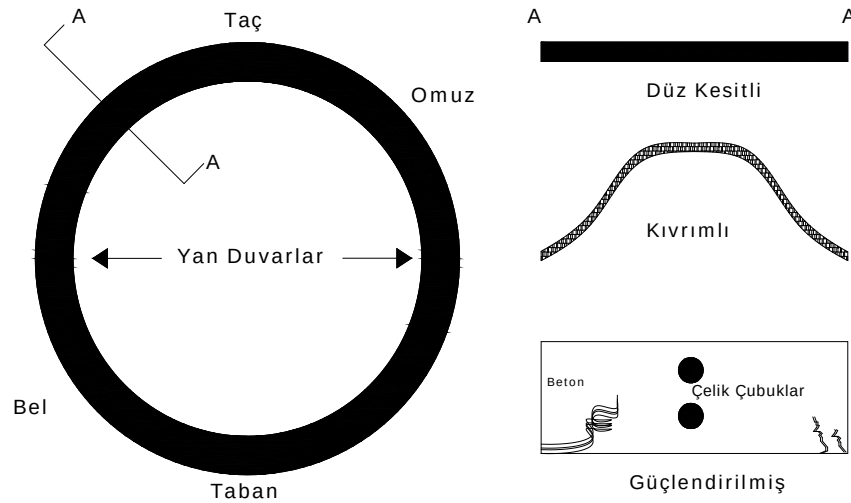
Termoplastik ve kauçuğun karıştırılmalarındaki son araştırmalar yeni materyallerin geliştirilmesine yol açmıştır (Gönüllü, 2004). Otomotiv ürünleri, inşaat, evsel ürünler dahil olmak üzere geniş yelpazede endüstriyel, ticari ve tüketici sektörlerindeki geniş çaptaki ürünler için kullanılabilir. Hem kauçuğun hem de plastiğin kalitesini paylaşırlar, kalıptan geçirilebilirler ve enjeksiyon ile elde edilebilirler (Ünlü, 2006). Siyaha ek olarak pek çok renge sahiptirler. Oto parçaları, radyo-tv parçaları, kablo yalıtkanı, halı

kayma önleyicileri, boru biçimli çekme malzeme, esnek lastik uygulamaları, dökümle şekillendirilmiş inşa ürünleri, izolasyonlar, yarı havalı tekerler, içi dolu endüstriyel tekerler, tepsiler, bidonlar ve kutular gibi alanlarda kullanılırlar. Alt taban tekerlekleri ve lastikleri, bavullar, bagaj arabaları, çim biçme arabaları, çöp sepetleri, tekerlekli el arabaları, ofis ekipmanlarını kapsayan geniş yelpazedeki ticari ve tüketici ürünleri, seçilmiş polimer ve elastomerler ile karıştırılmış geri dönüşümlü kamyon ve araba lastik granüllerinden imal edilirler. Lastiklerin ortalama kullanım süresi bileşimindeki maddeye göre değişmektedir.

5. GÖMÜLÜ BORULAR ve DAVRANIŞ BİÇİMLERİ

Bu çalışmada, lastik parçaları ile oluşturulmuş geri dolgu malzemesi içerisindeki HDPE gömülü esnek bir borunun, düşey yük altındaki şekil değişimi davranışı incelenmiştir. Bu amaçla uniform dağılımda Şile kumu, lastik parçaları ve 110 mm yarıçapında ve 10 mm et kalınlığında HDPE esnek boru kullanılmıştır. Geri dolgu malzemesinin boru davranışına etkisi, borunun şekil değişimi biçimleri ve büyüklükleri değerlendirilerek tanımlanmaya çalışılmıştır. Boru içerisine yerleştirilen LVDT deplasman ölçerler ile saptanan şekil değişimleri farklı dolgu ortamlarında tekrarlanan deney sonuçları ile karşılaştırılarak optimum lastik karışım oranına ulaşılmaya çalışılmıştır. Deneylerin ölçüm ve değerlendirmedeki temel dayanak noktası boru çemberindeki biçim değişimi büyüklüğü ve deformasyon karakteristiğidir. Bu bakımdan esnek boru davranışının ve özelliklerinin bilinmesinin önemlidir. Gömülü boruların çeşitleri davranış biçimleri ve kırılma özellikleri bu bölümde kısaca özetlenmiştir.

En basit ve yaygın üretim biçimiyle, çembersel bir borunun geometrisi Şekil 5.1’ de görülmektedir.



Şekil 5.1. Gömülü Borularda Kullanılan Teknik Terimler (Bashir, 2000)

Boru kesitinde, taç ile yan duvarlar arasında kalan kısma, omuz, taban ile yan duvarlar arasında kalan kısma ise, bel denilebilir. Boru duvarları Şekil ’de görüldüğü gibi düz kesitli, kıvrımlı veya kompozit biçimlerde üretilebilir. En genel değerlendirmede bir boruda beş temel mühendislik özelliği bulunur. Bunlar;

E = Boru malzemesinin Young Modülü

ν = Poisson Oranı

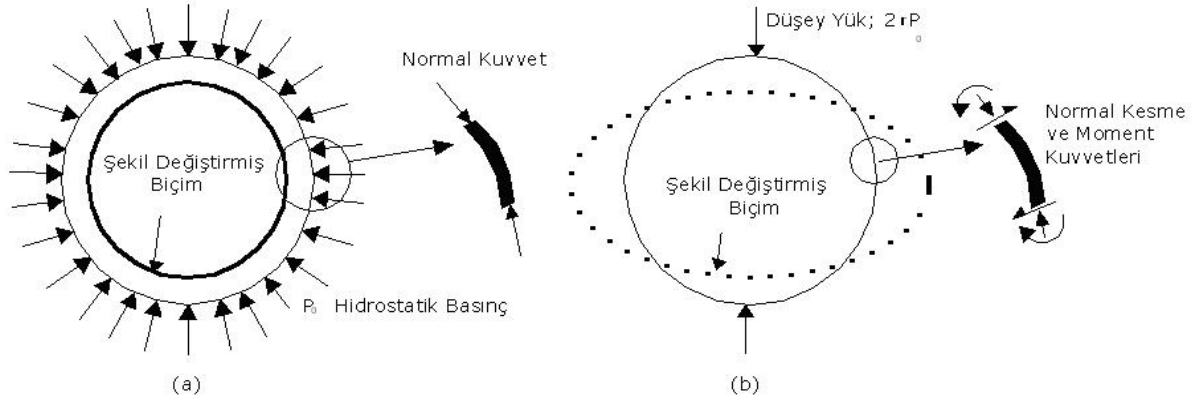
I = Atalet Momenti

A = Kesit Alanı

r = Yarıçapı

D = Boru Çapı

Bu beş temel özelliğin belirlediği borunun eğilme rijitliği (EI/D^2) ve borunun çembersel rijitliği (EI/D^3) yüklemeler altında boru davranışını belirleyen özelliklerdir. Örneğin boru “ t ” et kalınlığında düzgün kesitli ise birim uzunluk için alanı $A = t$ ve atalet moment $I = t^3/12$ olacaktır. Eğer et kalınlığı t , 1 cm den daha küçük olursa, atalet moment çok küçülecek ve boru dayanımı büyük oranda kaybolacaktır. Bu tür durumlar için küçük et kalınlıklarında yüksek atalet momentleri sağlayabilmek amacıyla kıvrımlı duvar kesitleri kullanılmaktadır. “ h ” kıvrım yüksekliğindeki bir duvar kesiti aynı et kalınlığındaki düz duvar kesitine oranla $(h/t)^2$ kadar daha büyük bir eğilme rijitliğine sahip olabilecektir. Borular sahip oldukları eğilme ve çembersel rijitlikler etkisinde farklı biçimlerde deformasyon sergilerler. Uygulamalarda en çok karşılaşılan iki yükleme biçimi Şekil 5.2.’de görülmektedir.



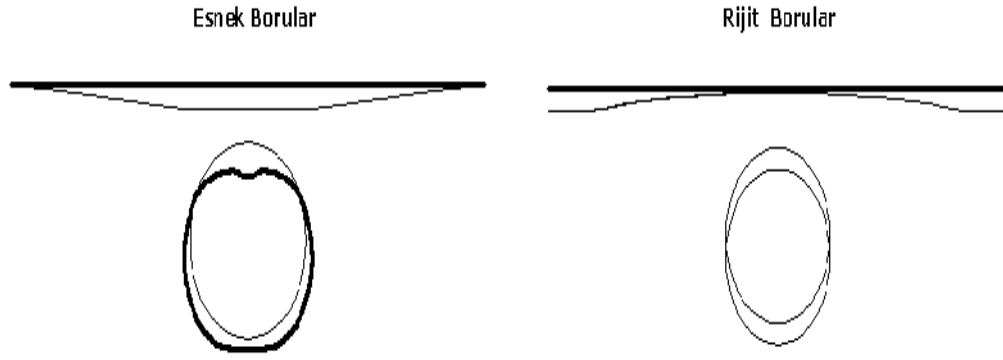
Şekil 5.2. Gömülü Esnek Boruların Yükleme Biçimleri (Laidlaw, 1999)

Şekil 5.2.’de gösteriminde hidrostatik dış basınç etkisinde kalan bir esnek borunun çembersel şekil değiştirme biçimi görülmektedir. Genellikle iç veya dış basınçla (vakum) taşınabilen akışkanlarda kullanılan bu yöntemde, boru duvar kesitinde yalnızca çembersel normal gerilmeler görülür. Bu bakımdan borunun çembersel rijitliği şekil

değişiminin belirlenmesinde etkili olur. Yükleme, tekil bir yük olarak esnek borunun tacından yüklendiği durumda; boru kesitinde ortaya çıkan şekil değişimi Şekil b de görülmektedir. Boru duvarları elipsoit bir şekilde deformasyon gösterirken, duvar kesitlerinde normal kuvvetler, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri oluşur. Bu iki yükleme, şekil değiştirme biçimleri ve rijitlik faktörleri karşılaştırıldığında, hidrostatik yükleme etkisinde kalan bir borunun, tekil yükleme etkisinde kalan boruya göre daha yüksek bir performans ve dayanıma sahip olacağı anlaşılabılır. Hidrostatik yükleme etkisi ile şekil değiştirebilen bir boruda oluşan normal gerilmeler bütün duvar kesiti tarafından karşılanırken, tekil yük etkisinde kalan boruda çekme gerilmeleri sadece yan duvarlarda, basınç gerilmeleri ise yalnızca taç ve taban noktalarında ortaya çıkar. Tekil yüklemeler altında boru kesitinde oluşan en büyük eğilme momentleri yan duvarlarda görülürken, burulmalar omuzlardan başlar. Diğer taraftan denetimsiz yataklamalar nedeniyle, boruların bel kısımlarında da beklenmedik aşırı gerilmelerin doğması olasıdır.

5.1 Rijit ve Esnek Boru Farklılıkları

Üretim teknikleri, kullanım amaçları ve gerilme şekil değiştirme davranışları bakımından gömülü borular rijit ve esnek borular olarak ikiye ayrılırlar. Rijit ve esnek boruların yük altında davranışı Şekil 5.3’de görüldüğü gibi birbirlerinden oldukça farklıdır. Rijit borular yükü boru tacından boru tabanındaki yataklama seviyesine aktararak yük taşıırken, esnek borular geri dolgunun pasif etkisinden yararlanarak yükü yan duvarlarından geri dolgu malzemesine iletirler. Bununla birlikte geri dolgu ve doğal zeminin birbirlerinden bağımsız göreceli hareketleri nedeniyle esnek borularda oturmalar boru tacının üzerinde oluşur. Rijit borularda ise oturmalar genellikle hendek kenarlarında görülür.



Şekil 5.3. Rijit ve Esnek Boruların Karşılaştırılması (Bashir, 2000)

Esnek ve rijit borular aşırı yüklemeler ardından kırılma biçimleri ile de birbirlerinden ayrılırlar. Şekli 4’de sıkı ve gevşek geri dolgu ortamlarında esnek ve rijit boruların aşırı şekil değişimleri gösterilmiştir. Sıkı zeminlerde rijit borular ezilme türü kırılmalar gösterirken, esnek borular burkulmaktadır. Geri dolgu malzemesinin gevşek yerleştirildiği durumlarda ise, esnek borular % 7’yi aşan aşırı şekil değiştirmeleri gösterirler. Gevşek geri dolgu ortamlardaki rijit borular ise çatlama türü kırılma biçimleri ile dayanımlarını kaybederler. Boruların şekil değişimi limitleri için, AWWA M.45 (1997) Amerikan Su İşleri Dairesi’nin önerdiği deformasyon sınır değerleri Çizelge 5.1’ de görülebilir.

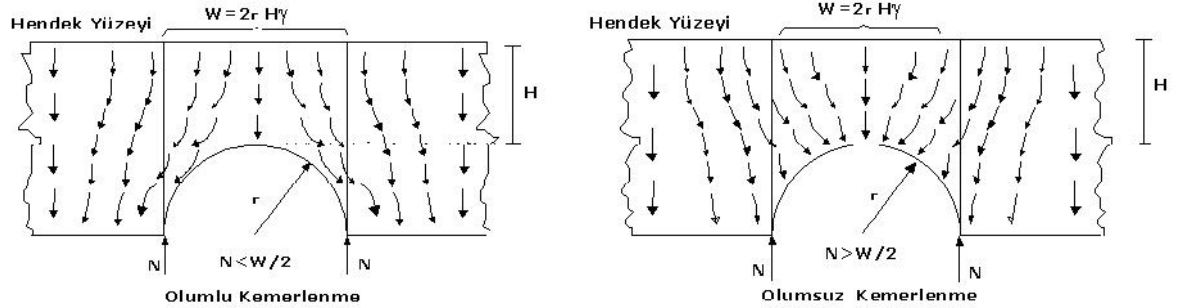
Çizelge 5.1.AWWA M.45 (1997)’in Önerdiği Şekil Değiştirme Sınır Değerleri Oranları

Boru Sınıfı	Şekil Değiştirme Yüzdesi (%)
Rijit	0.1 % (Boru Çapı)
Yarı Rijit	< 3.0 % (Boru Çapı)
Esnek	> 3.0 % (Boru Çapı)

5.2 Kemerlenme Etkisi

Hendek ortamındaki bir gömülü boru göz önüne alındığında, üç farklı malzemenin boru-zemin davranışını belirlediği görülebilir. Bunlar gömülü esnek boru, kullanılan geri dolgu malzemesi ve doğal zemin ortamıdır. Bu üç malzemenin de birbirlerinden farklı mühendislik özelliklerde ve farklı rijitliklere sahip bulunmaları nedeniyle yüklemeler altında farklı şekil değişimleri sergilerler. Özellikle boru üzerindeki geri dolgu malzemesi ile boru yan duvarları üzerindeki malzeme arasındaki göreceli hareketler başlangıçta hendek ortamında bulunmayan yeni kayma gerilmelerinin

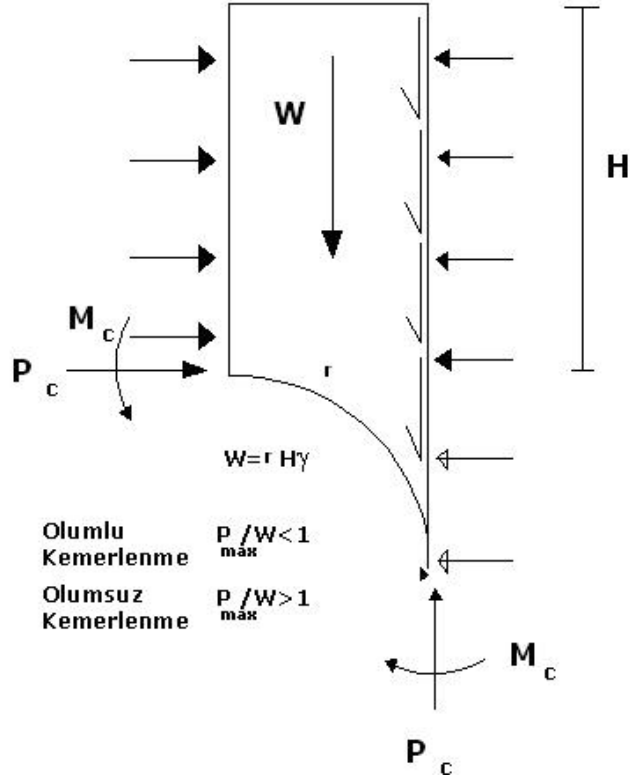
doğmasına neden olur. Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi, boru tacı üzerinde oluşan kemerlenme etkisinin niteliği ve etki derecesi açısından, oluşan yeni kayma gerilmelerinin büyüklüğü ve yönü önemlidir.



N = Boru duvarlarında oluşan normal kuvvet

Şekil 5.4. Kemerlenme Durumlarının Oluşum Biçimleri (Bashir, 2000)

Hendek ortamlarındaki bir gömülü boruda kemerlenme mekanizması oturmalar göz önüne alındığında Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi iki değişik biçimde olabilir. Bunlar, Olumlu Kemerlenme (Pozitif Projeksiyon) ve Olumsuz Kemerlenme (Negatif Projeksiyon) durumlarıdır. Olumlu kemerlenme durumunda yan yüzeyler boru üstündeki dolgudan daha az oturma göstermekle boru tacı düzlemindeki yükü hafifletir. Olumsuz kemerlenmede ise bu olayın tam tersi ortaya çıkar ve boru tacı düzlemindeki yük normalden daha büyük değerlerde oluşur.



Şekil 5.5. Farklı Kemerlenme Durumlarındaki Gerilme Dağılışı (Masada 1996)

Kemerlenme etkisinin büyüklüğü ve yük seviyesindeki azaltma veya artırma oranının belirlenmesi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. AASTHO tarafından önerilen ve tasarımda en fazla kullanılan Düşey Kemerlenme Faktörü (DKF) bağıntısı, en yaygın kabul gören yaklaşımdır.

$$N = P r \text{ (DKE)} \quad (5.1)$$

N ; Boru duvarında oluşan normal kuvvet

P ; Boru tacı üzerinde bulunan geri dolgu malzemesi yükü

r ; Boru yarıçapı

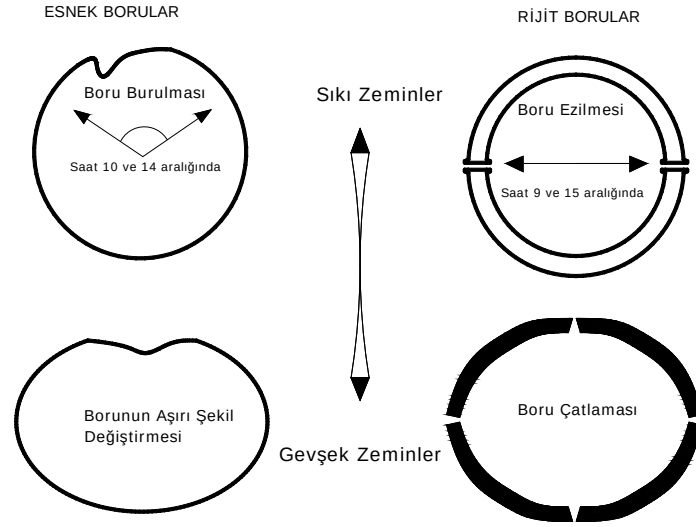
$$DKF = 0.76 - 0.71 \left(\frac{S_H - 1.17}{S_H + 2.92} \right), \text{ eşitlikte yer alan;} \quad (5.2)$$

$$S_H = \frac{M_s r}{E_p A} \text{ olup;} \quad (5.3)$$

M_s ; Geri dolgu malzemesinin bir boyutlu Sıkışma Modülü

E_p ; Boru Malzemesinin Young Modülü

A ; Borunun kesit alanıdır.



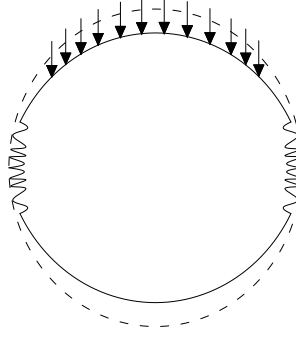
Şekil 5.6. Rijit ve Esnek Borularda Görülen Göçme Biçimleri (Wang, 2002)

5.3 Esnek Boruların Göçme Biçimleri

Gömülü borular için göçme tanımı, “kendisinden beklenen hizmet amacını ve kalitesini gösteremez hale gelmesi” olarak yapılabilir. Gömülü borularda çok farklı şekillerde göçmeler ortaya çıkabilir. Özellikle plastik borularda göçme kriterleri ve performans sınırları, borudaki açısall gerilmelere, şekil değiştirmelere, burulma ve burkulmalara bağlıdır. Esnek borularda uygulamada en çok görülen sekiz temel göçme şekli bulunmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmaktadır.

5.4 Boru Duvarlarının Ezilmesi

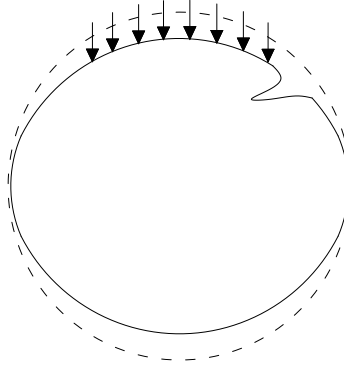
Boru yan duvarların ezilmesi türündeki bu göçme mekanizması, genellikle yüksek çembersel rijitlikte olan borularda görülmektedir. Borunun yerleştirilme derinliği ve geri dolgu malzemesinin sıkılığı arttıkça yüksek ve tekrarlı gerilmeler altında bu türden bir göçme mekanizmalarının oluşma olasılığı artmaktadır. Boru tacından etkiyen düşey yüklerin boru duvarları tarafından taşınamaması durumunda Şekil 5.7.’deki ezilme biçiminde göçmeler ortaya çıkar (Moser, 2001).



Şekil 5.7. Esnek Boruların Ezilme Biçimi

5.5 Boru Duvarlarının Burkulması

Şekil 5.8. 'da görülen türde ortaya çıkan göçme mekanizması, genellikle düşük rijitliğe sahip borularda görülmektedir. Özellikle basınçlı borularda yüksek iç basınçlarda burkulma tipi göçmelerin ortaya çıkma olasılığı artmaktadır. Kinenow ve Prevost, (1989) borularda burkulma türü göçmelerin oluşmaması için gerekli en küçük boru rijitliği ve kritik burkulma basıncını hesaplayan bir eşitlik türetmişlerdir.



Şekil 5.8. Esnek Boruların Burkulma Biçimi

$$P_{cr} = \frac{E t^3}{4(1-\nu^2) D^3} \quad (5.4)$$

Eşitlikte,

P_{cr} ; Kritik burkulma basıncı

E ; Boru Malzemesinin Young Modülü

D ; Boru Malzemesinin ortalama dış çapı

ν ; Boru Malzemesinin Poisson oranı

t ; Boru et kalınlığı

Bu eşitliğin yanı sıra, sıklıkla kullanılmayan ancak standartlarda yer alan Meyerhof ve Baike (1963)'ün kritik burulma basıncını belirlemeye yönelik bir çalışmaları da bulunmaktadır.

$$P_{cr} = 2\sqrt{\frac{E'}{1-n}\left(\frac{EI}{D^3}\right)} \quad (5.5)$$

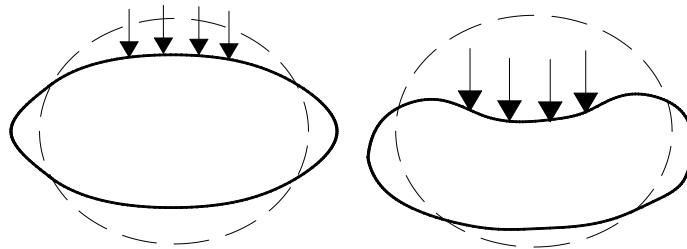
Burada;

E' ; Zeminin Young Modülü

I ; Borunun atalet momenti büyüklükleridir.

5.6 Boru Kesitinin Aşırı Şekil Değiştirmesi

Termoplastik ve plastik borular yük altında kırılma ve çatlama göstermeksizin büyük deformasyonlara dayanabilirler. Örneğin polietilen borulara göre daha gevrek davranış gösteren PVC borular bile % 30 şekil değişimleri altında servis kalitelerini devam ettirebilirler (McGraft, 2005). Borularda deformasyon sınırları kullanım bölgeleri, yerleştirilme amaçları, ilettikleri akışkan özellikleri ve debi limitlerine göre değişmektedir. ASTM D 3034 standartlarına göre esnek borularda en fazla deformasyon yüzdesi % 7.5 olarak kabul edilmiştir. Şehir için dağıtım hatlarında ise bu değerin en fazla % 5 olarak tutulmasını önermektedir (Suleiman, 2002).



Şekil 5.9 Esnek Boruların Aşırı Deformasyon Biçimleri (Suleiman 2002)

Şekil 5.9.'da aşırı deformasyonlar sonucunda borularda oluşabilecek geometrik bozulmalar görülmektedir. Boruda görülebilen aşırı deformasyonlar, geometrik uygunluğu bozması yanında enkesit alanının daralması nedeniyle debi miktarının

düşmesi sonucunu ortaya çıkarabilir.

5.7 Normal ve Kayma Şekil Değişimleri

Derin hendek koşullarında yerleştirilmiş ve gevrek davranış gösteren borularda şekil değişimleri, boru duraylılığını belirleyen etmenlerden biridir. Moser (2001) borularda şekil değişimlerini aşağıdaki eşitliklerde tanımlamaktadır.

$$\varepsilon_b = 6 \left(\frac{t}{D} \right) \left(\frac{\Delta y}{D} \right) \quad (5.6)$$

$$\varepsilon_c = \left(\frac{P_v D}{2tE} \right) \quad (5.7)$$

$$\varepsilon_p = \left(\frac{P_i D}{2tE} \right) \quad (5.8)$$

Burada;

Δy = Düşey yönde meydana gelen kısalma

D = Boru dış çapı

ε_b = Boru çemberindeki deplasmanlardan doğan eğilme şekil değişimleri

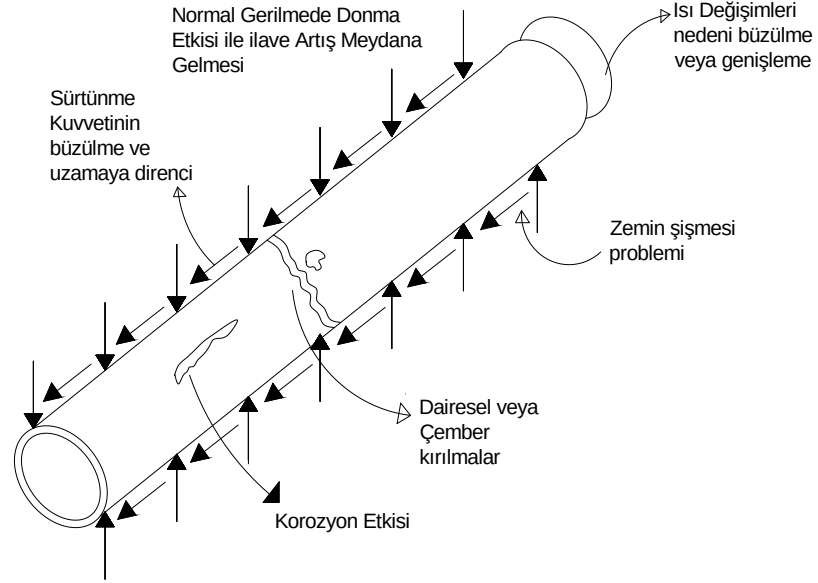
ε_c = Dış basınç (düşey yükleme) gerilmelerinden doğan basınç şekil değişimleri

ε_p = İç basınç (Vakum) gerilmelerinden doğan basınç şekil değişimleri

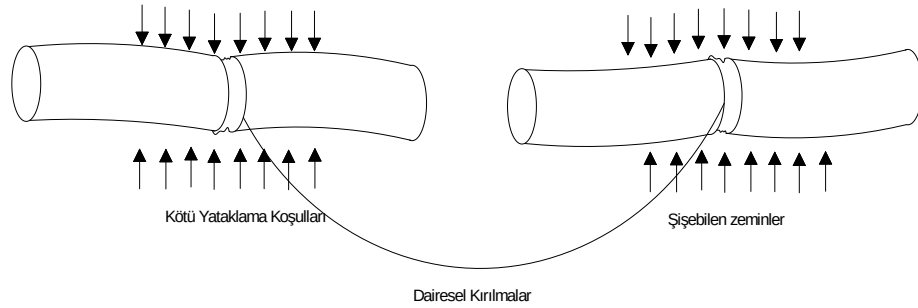
P_v = Düşey basınç ve P_i = İç basınçdır.

5.8. Boyuna Doğrultudaki Gerilmeler

Gömülü boruların yük altındaki performansları, boylamsal duraylılıklarına da bağlıdır. Özellikle termoplastik borularda boyuna doğrultuda oluşabilecek kırılma ve göçme örneklerinden birkaçı Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de görülmektedir.



Şekil 5.10. Borularda Görülebilen Boyuna Doğrultudaki Kırılma Türleri (Rajani Zhan, Kuraoka, 1995)



Şekil 5.11. Yetersiz Yataklama Nedeni ile Oluşabilen Kırılma Biçimleri (Rajani Zhan, Kuraoka, 1995)

5.9. İlave Kesme Kuvveti Yükleri

Boru hatları boyunca farklı zemin koşulları ile karşılaşılması çok doğaldır. Farklı zemin koşullarında borunun aynı performansını sağlayabilmesi için sürdürülebilir bir kalite kontrol mekanizmasının sağlanması ön koşuldur. Bununla beraber önceden kestirimi zor ek kesme kuvvetlerinin boru göçmelerine neden olması da söz konusu olabilir. Örneğin hendek tabanında ani göçmelerin meydana gelerek yataklama seviyesinin

kaybedilmesi, hendek ortamında oluşabilecek sızıntı etkisi ile erozyon oluşabilmesi veya bitkisel hareketlerin hendek ortamını bozabilmesi durumları söylenebilir (Moser 2001).

5.10. Yorulma Çatlakları

Gömülü boruların uzun dönemli servis sürelerinde, tasarım yüklerinin çok altındaki yüklerde bile göçmeler görülebilir. Göçme mekanizması tekrarlı yüklemeler etkisi ile yorulma çatlakları biçiminde başlar ve süregelen düşük ve tekrarlı gerilmeler altında gelişir (Moser,1990).

6. DENEY DÜZENEĞİ ve DENEY ADIMLARI

Ölçüm sistemlerindeki gelişen teknolojik yenilikler laboratuvar koşullarında, arazi ortamlarını gerçeğe çok yakın olarak modellemeyi olanaklı kılmaktadır. Akademik yayınlar içerisinde gömülü boruların davranışını anlamaya yönelik yürütülmüş olan deneysel çalışmalara bakıldığında, büyük deney tankları, hendek ortamındaki davranışlarını araştırmak için deney kutuları, çembersel şekil değişimlerini saptamak için basınç hücreleri ve çok amaçlı santrifüj deney sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Bu deney sistemlerinden hangi türü kullanılırsa kullanılsın, bir deney düzeneğinin tasarımında şu temel adımların izlenmesi gerekmektedir.

İncelenecek amaca uygun bir deney kutusu türünün seçilmesi

Seçilen deney kutusu boyutlarının standartlara uygun boyutlarda belirlenmesi

Deney kutusunun sınır koşulları ve yük altında göstereceği şekil değişimi sınırlarının belirlenmesi

Yükleme türünün, yükleme yöntemin ve yükleme sınırlarının belirlenmesi

-Deney kutusunda kullanılacak uygun zemin ve boru malzemesinin seçilmesi

-İncelenecek şekil ve biçim değişimleri için amaca uygun ölçüm aygıtlarının seçilmesi ve deney sistemine doğru biçimde konuşlandırılması

-Veri toplama, filitreleme ve ara yüzey bağlantılarının dış etkilerden en az derecede etkilenecek kalitede seçilmesi ve bağlantılarının uygun yapılması

-Verileri yorumlanabilir değerler haline getirecek uygun bir yazılım dilinin seçilmesi ve programının yazılması.

Bu adımlar göz önünde tutularak tasarlanan bir deney kutusu ASÜ laboratuvarlarına getirilmiştir. Tasarım aşamasından, kurulum sürecine kadar yapılan çalışmalar aşağıda verilmektedir.

6.1 Deney Kutusu

Deney kutusunun tasarım adımı, ayrıntılı bir kaynak taraması yapılmış ve daha önceki çalışmalarda kullanılan deney kutuları değerlendirilmiştir. Kutularının birbirlerine göre olumlu ve eksik yönleri belirlenmiş, kutunun ön tasarımında bu bilgilerden yararlanılmıştır.

Kutu boyutlarının belirlenmesi sürecinde, kullanılacak HDPE borular için Çizelge 5’de görülen ASTM D 2321 ve ASTHO Sec 30 standartlarının önerdiği hendek genişlikleri temel alınmıştır.



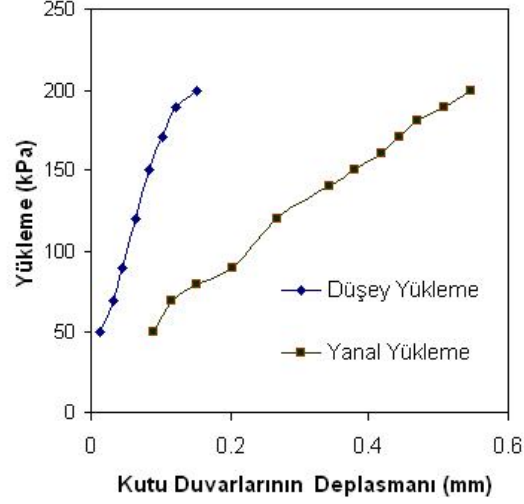
Deney Düzenek Resmi

Çizelge 6.1. ASTM D 2321 ve AASTHO Sec 30’a göre En küçük Hendek Genişliği

Boru Dış Çapı (mm)	AASTHO Sec 30 (mm)	ASTM D 2321 (mm)
120	480	530
177	570	580
233	650	640
287	740	690
356	840	760

Yapılan değerlendirmeler çerçevesinde, 110 mm yarıçaplı HDPE boru için 700 mm genişliğin uygun olduğu görülmüştür. Deney kutusunun Ko koşullarında bir özellikte bulunması deneyin doğru sonuçlar vermesi açısından öneme sahiptir. Bu bakımdan

düşey yüklemeler altında kutu yan duvarlarının mümkün olan en düşük sehim aralığında deplasman yapmasına izin verilmelidir. Şekil 12’de görüldüğü gibi, deneyler sırasında alınan yanal deplasman ölçüm okumaları ile yan duvarların 1mm’den daha az esnediği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.1. Deneyler Sırasında Kutu Duvarlarının Gösterdiği Ortalama Deplasmanlar

Yükleme Sistemi

Arazi ortamında

- Trafik yükleri
- Çevrimsel yükler
- Noktasal tekil yükler
- Geri dolgu yükleri
- Sismik yükler
- Yanal yüklemeler (şev kaymaları)
- Hidrostatik yükler (Su altı yerleşimlerinde)
- İç basınç yükleri (vakum veya basınç türü)

gibi bir çok yük türü veya birleşimi boruya etkiyebilir. Kaynaklar incelendiğinde yükleme biçimleri için bir dizi farklı yöntemin uygulandığı görülmektedir. Örneğin laboratuvar deneylerinin ilk öncüleri sayılan Utah State ve Ohio üniversitelerinde dolgu yüklerini modellemek için deney kutuları üzerinden çok sayıda hidrolik plaka ayakları etkilmiştir. Ancak, yapılan üç boyutlu sonlu elamanlar analizlerinde bu tür bir

uygulamanın geri dolgu içerisinde çok karmaşık kayma gerilmeleri oluşturduğunu ve arazi ortamlarındaki gerilme dağılımlarını yansıtamadığı anlaşılmıştır.

Laboratuar deneylerinde kullanılan bir başka yöntem ilk kez, Hoeg (1968) tarafından kullanılan şişebilen lastik torbalar kullanılmasıdır. İlerleyen yıllarda sertleştirilmiş kükürtle güçlendirilen doğal kauçuk esaslı membran yastıklar laboratuar deneylerinde sıkça kullanılmıştır. DiFrancesco (1994), Rogers (1996), Brachman (1999), gibi araştırmacıların tasarladıkları deney düzenekleri, bu uygulamalara ilişkin birkaç örnektir. Bunun yanında, Goube (1981), Zanzinger (1995) , Rogers (1996), Gartung (1998) gibi araştırmacılar da şişebilen membran yastıklara hava yerine su basınçları uygulamışlardır.

Yürütülen çalışmalarda denetim kolaylığı nedeniyle hava basıncı ile çalışan membranlar kullanılmıştır. Bu amaçla sanayide, hidrofor sistemleri, su botu üreticileri, paraşüt bezi imalatçıları, çadır kumaşçıları ve geotekstil malzemeleri üreten firmalarla iletişim kurulmuştur. Öncelikli olarak çadır, bot, paraşüt bezi üreten şirketlerden alınan örnekler üzerinde deneyler yapılmış, ancak çelik liflerle güçlendirilmiş bu tür malzemelerin hacim artışı sağlamadığı ve lifli yapılarının eşdeğer basıç dağılımı engellediği (hidrolik ayaklar gibi) görülmüş ve bu malzemelerin kullanılmasından vazgeçilmiştir.

Bunun üzerine kaynaklarda yer aldığı gibi kükürtle sertleştirilen kauçuk malzemelerden üretilen membranlar üzerinde durulmuştur. Kauçuk ithal eden şirketlerden, doğal kauçuk (Polysopren) temin edilerek, sıcak plastik kalıp atölyelerinde sertleştirilmiştir. 22 mm kalınlığında 500x700 mm boyutlarında preslenen membran kumaşlar, özel yapıştırıcılarla kenarlarından katlanarak yapıştırılmış şişebilir düzgün yüzeyli yastıklar haline getirilmiştir.

7. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER ve ÖZELLİKLERİ

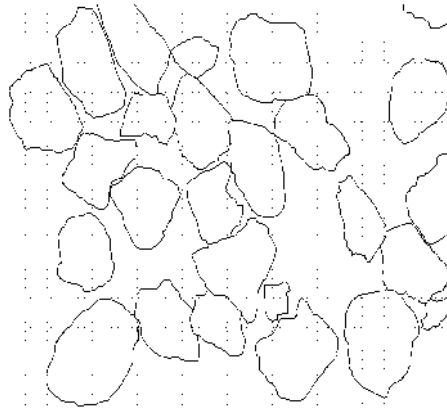
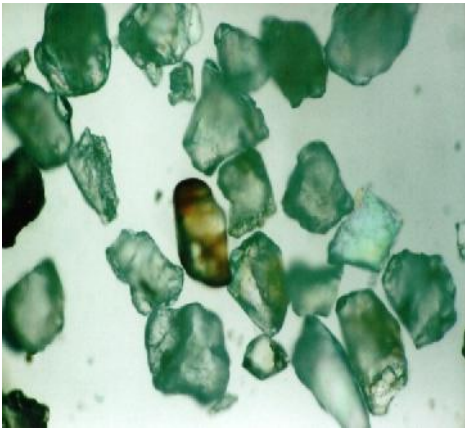
7.1 Şile Kumu

Gömülü boruların yük altındaki davranışlarında, boru özellikleri kadar zemin (geri dolgu) malzemesinin de etkisi bulunmaktadır. Bu bakımdan zemin değişkenlerinin iyi bilinmesi ve ayrıntılı laboratuvar ve arazi deneyleri ile mühendislik özelliklerinin saptanması tasarımcılar açısından önemlidir. Deneylerde, daha önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılmış olan ve aşağıdaki bu nedenle mühendislik özellikleri detaylı olarak bilinen Şile Silis Kumu kullanılmıştır.



Şekil 7.1. Geri Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan Şile Silis Kumu

Kumun, yoğunluklu ışık altında mikroskopik fotoğrafları çekilerek dane şekilleri değerlendirilmiştir. Şekil 7.1.'de görüldüğü gibi Şile kumunun köşegenli bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7.2. Kum Malzemesinin Mikroskopik Fotoğrafları

7.1.1 Şile Kumunun Mühendislik Özellikleri

Deneyssel çalışmalarda kullanılacak olan kum malzemesi Şile yöresinden temin edilmiştir. Malzeme örnekleri üzerinde yapılan elek analizi deneylerinin sonucu Şekil 7.2.'de görülmektedir.



Şekil 7.3. Kum Malzemesine İlişkin Elek Analizi

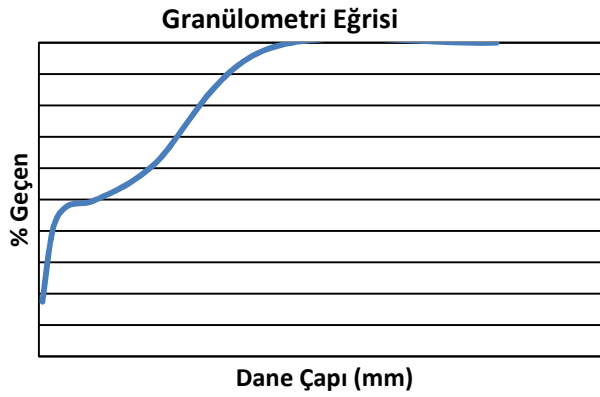
Analiz sonuçlarından görüleceği gibi, kum zemin USC Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırmasına göre; kötü derecelendirilmiş kum (SP) .Kullanılan zeminlerin en büyük ve en küçük boşluk oranı değerlerini belirleyebilmek için Adalier (1992) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. İç çapı 152 mm ve derinliği 117 mm olan, 2123 cm³ hacmindeki Proktor kabı içerisine etüvde kurutulmuş olan örnekler 10 tabaka halinde yerleştirilmiştir. Kabın çevresine yanlardan çekiçle vurularak her bir tabakanın en büyük sıkışma yüzdesine ulaşması sağlanmış ve en küçük boşluk oranı elde edilmiştir. En büyük boşluk oranının belirlenmesinde ise, örneklerin aynı Proktor kabı içerisine ASTM standartlarında boyutları verilen bir huni yardımı ile küçük bir yükseklikten dökülmesi sonucu elde edilmiştir. Zeminlerin en küçük ve en büyük boşluk oranı değerleri Çizelge 7,1.'de görülmektedir.

Çizelge 7.1. Kum Malzemesinin İndeks Özellikleri

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sembolü	SP
Özgül Ağırlık, G_s	2,65
En Büyük Boşluk Oranı, e_{max}	0,87
En Küçük Boşluk Oranı, e_{min}	0,52

7.2 Granül Lastik Parçalarının Mühendislik Özellikleri

Granül lastik parçalarının en gevşek ve en sıkı yerleştirme koşulları altında minimum ve maksimum içsel sürtünme açılarının 19 ila 26 derece arasında olduğu bilinmektedir. Bunun yanında yapılan boşluk oranı deneylerine göre en büyük ve en küçük Relatif Sıkılık değerlerinin 1,2 ve 0,56 olduğu bulunmuştur. Özgül kütlelerinin 1,15 ve yapılan plaka yükleme deneyleri sonucunda en büyük ve en küçük Elastisite Modülleri 770 kPa ve 1250 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.4. Lastik Malzemesine İlişkin Elek Analizi

7.3 HDPE Esnek Borunun Mühendislik Özellikleri

1970’li yıllardan sonra kullanımı hızla yaygınlaşan HDPE türü esnek boruların diğer rijit ve esnek boru türlerine göre en belirgin üstünlükleri; Uzun süre korunabilen dayanım özellikleri, iç ve dış yüklere kırılma ve çatlama olmaksızın dayanım gösterebilmesi, diğer hammaddelere göre HDPE’nin yoğunluk ve ağırlığın oldukça düşük olması ve bu nedenle, inşa alanına taşınma, yerleştirme kolaylığı bulunması, pürüzsüz bir yüzeyi bulunması nedeniyle aşınma problemi olmaması, organik zemin ortamlarında veya farklı PH zemin ortamlarında kimyasal bozunuma uğramaması, su tutmayan ve geçirimsiz bir mikrodokuya sahip olması, kemirgenler tarafından zedelenememesi, kolaylıkla uygulanan sıcaklık veya mekanik bağlama yöntemleri ile

eklemeler yapılabilmesi, istenilen renklerde üretilebilmesi nedeniyle boyamaya gerek duyulmaması, farklı amaçlar için üretim sürecinde polietilen malzemenin kimyasal yapısı veya soğrulma süreci ile oynanabilmesi (Allison, 2004) olarak sıralanabilir.

Bu üstünlükleri nedeniyle HDPE boruların çok uzun sürelerde servis yeteneğini sürdürebilme olanağı vardır. Günümüzde 100 yıllık servis ömrü garanti edilebilen HDPE boruların üretimi yapılabilmektedir. İncelemelerde kullanılan HDPE borunun mühendislik özellikleri Çizelge 7.2.'de özetlenmektedir

Çizelge 7.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan HDPE Boruların Özellikleri

Boru Çapı	200 mm
E	900 MPa
EA	6372 kN/m
EI	0,126 kNm ² /m
d	0,012 mm
υ	0,40-0,45

8. YÜRÜTÜLEN DENEYLER

Deneyler iki farklı geri dolgu yerleştirme biçiminde yürütülmüştür. Birinci adım deneylerde kum-granül lastik parçaları farklı oranlarda karıştırılarak homojen bir dolgu malzemesi olarak hendek ortamına yerleştirilmiştir. Bu kapsamda yürütülen çalışmalarda amaç en uygun lastik karışımını bulmaya odaklanmıştır. İkinci adım deneylerde ise, granül lastik ve kum malzemesi birbirileri ile karıştırılmadan katmanlı bir şekilde deney kutusu içerisine yerleştirilmiştir. Granül lastik parçalarının tabanda kumun ise boru tacının üzerinde yer aldığı geri dolgu yerleşim biçimlerinde, granül parçaların sahip olduğu esneme özelliğinin boru davranışına olan etkisi değerlendirilmiştir.

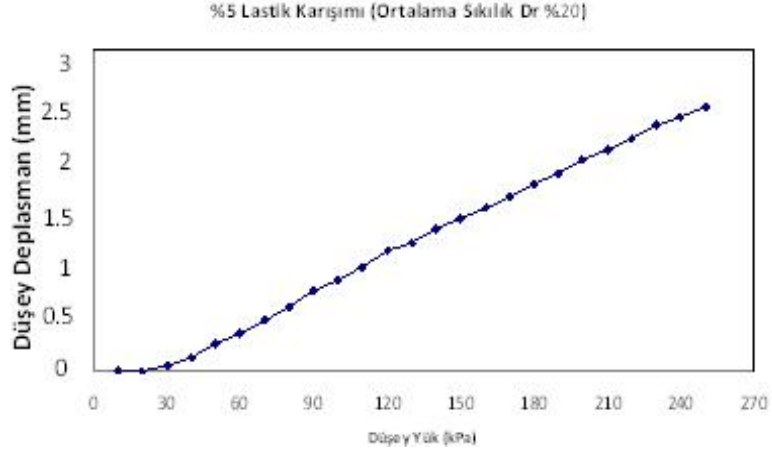
8.1 Kum-Granül Lastik Parçalarının Homojen Karışımı

Bu deney adımlarında ağırlıkça %5 %7 ve %10 lastik karışımı hendek ortamına yerleştirilmiş boru davranışı değerlendirilmiştir. Karışım yüzdeleri yanında kompozit geri dolgu malzemesinin yerleştirme sıklık derecesi de göz önünde tutulmuştur. Bu kapsamda dokuz deney yapılmıştır.

8.1.1 Deney No 1

Bu deneyde toplamda 320 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Hendek ortamına yerleştirilen borunun çapı 20cm, uzunluğu 50cm, et kalınlığı ise 1 cm dir. Borunun toplam hacmi $15707,96\text{cm}^3$ olarak ölçülmüştür. Karışım malzemesinin %20 sıklıkta yerleştirilmesi durumu için toplam kapladığı hacim 206332cm^3 olarak ölçülmüştür. Yerleştirilen malzeme karışımının ağırlık ve hacmi ortalama birim hacim ağırlığı ile birlikte değerlendirildiğinde malzemenin; en büyük boşluk oranı $e_{\max}= 0,72$, en küçük boşluk oranı $e_{\min}= 0,48$ ve Deney No 1 boşluk oranı 0,66 bulunmuştur. Geri dolgunun göreceli sıklığı ise yaklaşık %20 olarak saptanmıştır.

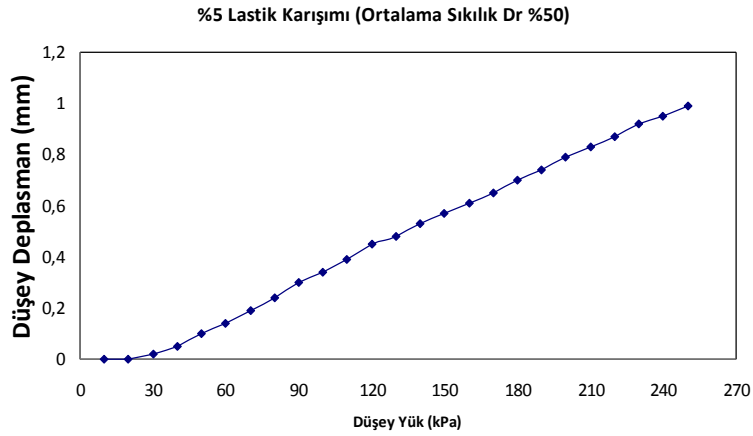
Deneyde hendek yüzeyinden 2.5 bar yani 250 kPa seviyesine kadar basınç etkitilmiştir. Bu basınç değeri ise toplamda 9276 kg yüke tekabül etmektedir. Her bir yükleme adımı 10'ar kPa'lık artış adımlarında yapılmış. Her yükleme adımında 5'er dakika beklenerek uygulanan yükün bütün hendek ortamında sönmelenmesi beklenmiştir. 25 adımın sonunda %20 sıklık ve %5 lastik karışımı için nihai boru düşey deplasmanı 2,85 mm olarak elde edilmiştir. 1. No'lu deneyin yük deplasman eğrisi Şekil 8.1.'de görülmektedir.



Şekil 8.1. Yük Deplasman Eğrisi

8.1.2 Deney No 2

Deneyde toplam 325 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür. Karışım malzemesini hacmi 202692cm³ tür. Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,701$, $e_{min}=0,569$, $e=0,606$, ve ortalama yaklaşık sıkılık değeri $Dr=\%50$ olarak saptanmıştır.

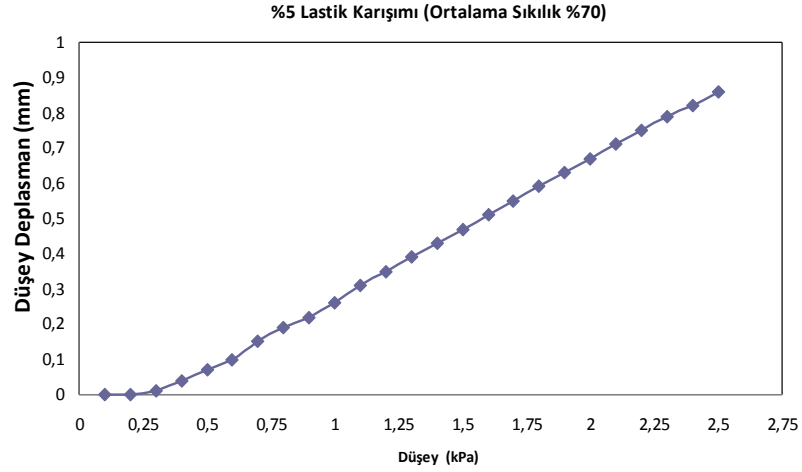


Şekil 8.2. Yük Deplasman Eğrisi

Ağırlıkça % 5 lastik karışımında, ortalama %50 sıkılık dereceli geri dolgu ortamında ve 250 kPa düşey yük altında 200 mm çaplı HDPE boru 1 mm deplasman göstermiştir.

8.1.3 Deney No 3

Bu deneyde toplam 330 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20 cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür ve karışım malzemesini hacmi 199052 cm³ olarak ölçülmüştür. Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,701$, $e_{min}=0,469$, $e=0,553$, $D_r=\%70$

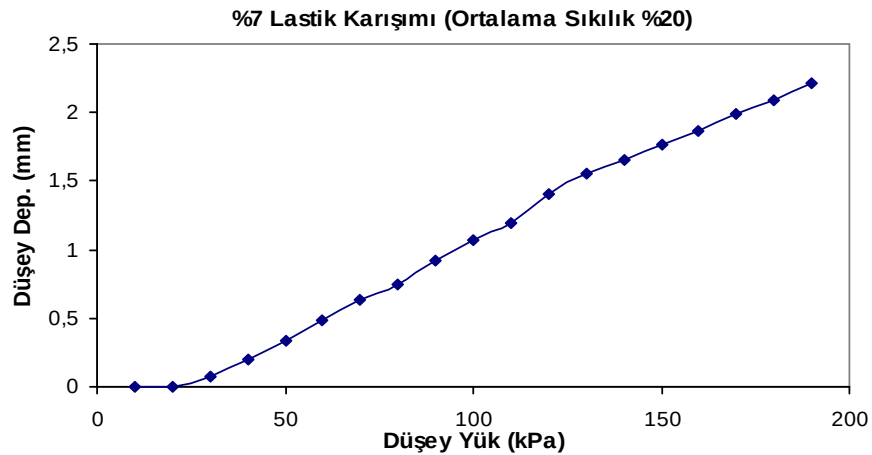


Şekil 8.3. Yük Deplasman Eğrisi

Ağırlıkça % 5 lastik karışımında, ortalama %70 sıkılık dereceli geri dolgu ortamında ve 250 kPa düşey yük altında 200 mm çaplı HDPE boru 0,85 mm deplasman göstermiştir.

8.1.4 Deney No 4

Deneyde toplam 300 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20 cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür. Karışım malzemesini hacmi 195412 cm³ tür Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,68$, $e_{min}=0,53$, $e=0,46$, $D_r=\%20$

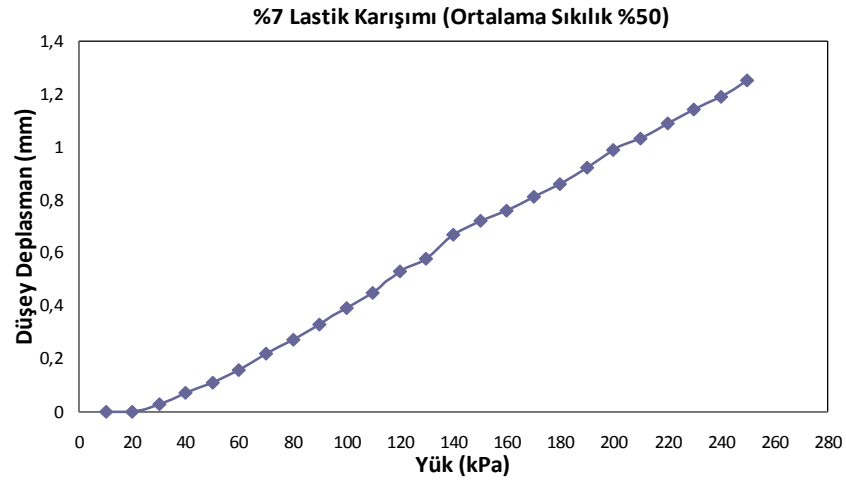


Şekil 8.4. Yük Deplasman Eğrisi

4. deneyde görüldüğü gibi yükleme 200 kPa seviyesine kadar gerçekleştirilebilmiştir. En gevşek yerleştirme (%20 Sıkılık) ortamında ve ağırlıkça %7 lastik karışımında 2,2 mm düşey deplasman meydana gelmiştir.

8.1.5 Deney No 5

Deneyde toplam 318,4 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20 cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür. Karışım malzemesini hacmi 202692 cm³ tür. Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,68$, $e_{min}=0,53$, $e=0,62$, $D_r=\%50$ olarak saptanmıştır.

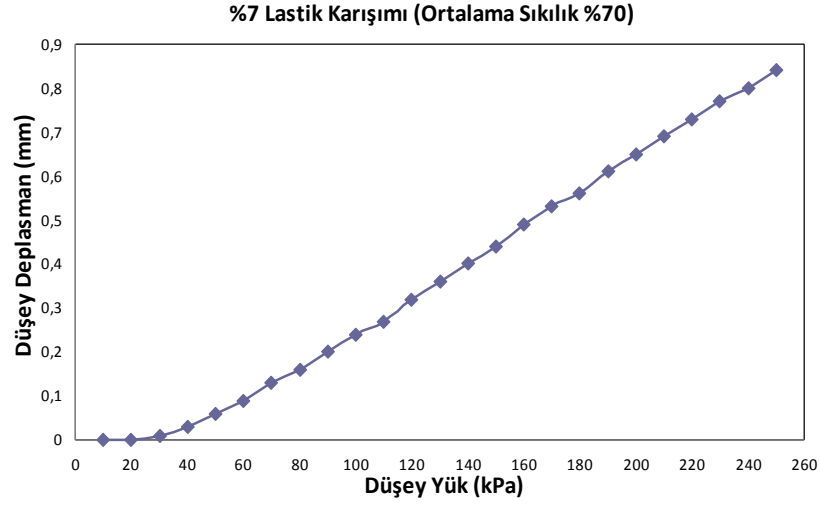


Şekil 8.5. Yük Deplasman eğrisi

5. deneyde görüldüğü gibi yükleme 250 kPa seviyesine kadar gerçekleştirilebilmiştir. Orta sıkı yerleştirme (%50 Sıkılık) ortamında ve ağırlıkça %7 lastik karışımında 1,25 mm düşey deplasman meydana gelmiştir.

8.1.6 Deney No 6

Deneyde toplam 320 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20 cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür. Karışım malzemesini hacmi 199052 cm³ tür. Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,68$, $e_{min}=0,53$, $e=0,58$, $D_r=\%72$

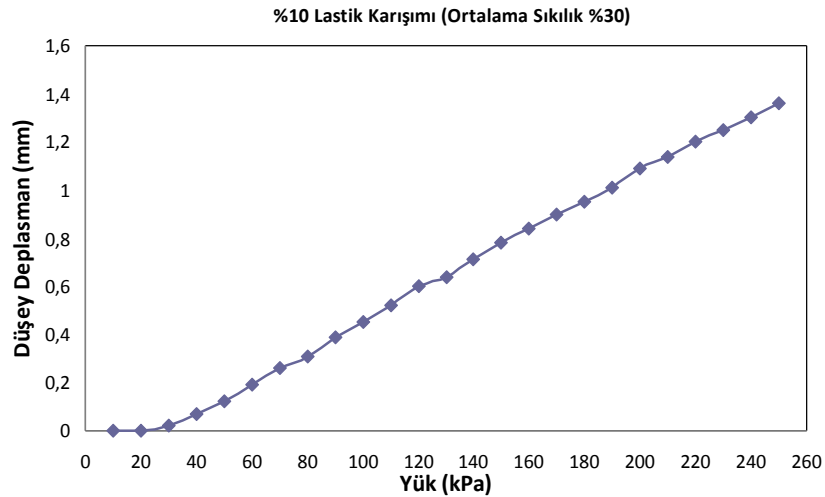


Şekil 8.6. Yük Deplasman eğrisi

6. deneyde görüldüğü gibi %7 lastik karışımı geri dolgu ortamına 250 kPa seviyesine kadar düşey yükleme gerçekleştirilmiştir. Sıkı zemin ortamına yerleştirilen HDPE boru 250 kPa düşey yük altında 0,84 mm deplasman meydana gelmiştir.

8.1.7 Deney No 7

Deneyde toplam 300 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20 cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür. Karışım malzemesini hacmi 206332 cm³ tür. Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,772$ $e_{min}=0,5$, $e=0,72$, $D_r=\%30$

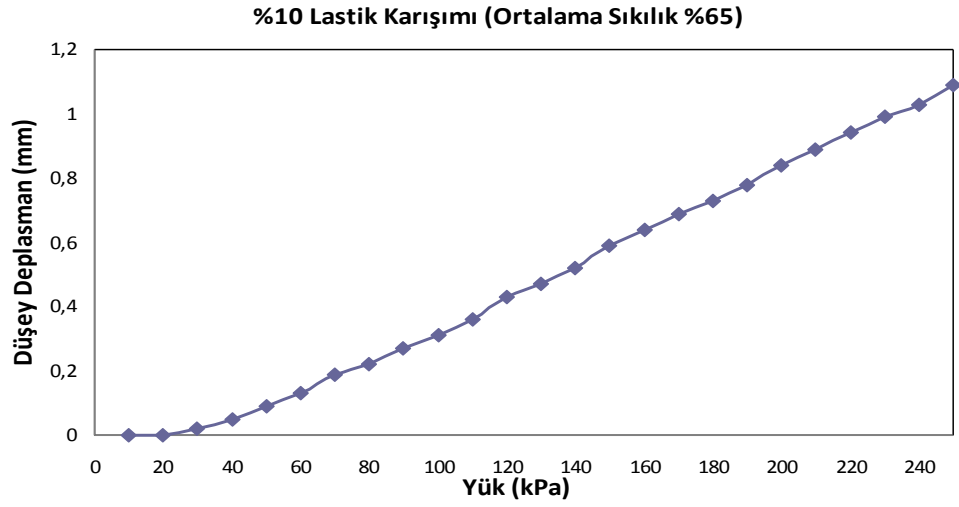


Şekil 8.7. Yük Deplasman eğrisi

7. deneyde görüldüğü gibi ağırlıkça %10 lastik karışımlı geri dolgu ortamına 250 kPa seviyesine kadar düşey yükleme gerçekleştirilmiştir. %10 karışımın gevşek yerleştirme durumu için, 250 kPa düşey yük altında HDPE boru 1,36mm deplasman meydana gelmiştir.

8.1.8 Deney No 8

Deneyde toplam 330 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20 cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür Karışım malzemesini hacmi 213612 cm³ tür. Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,772$ $e_{min}=0,53$, $e=0,62$, $Dr=\%65$.

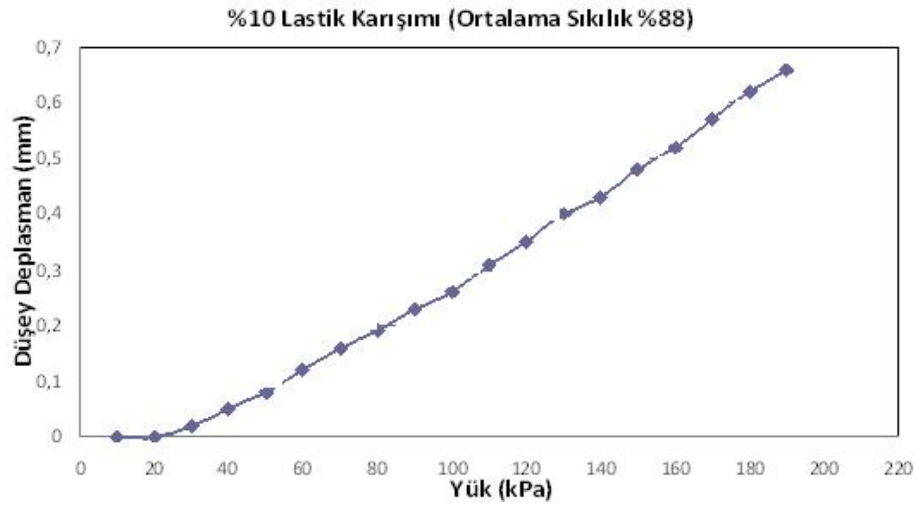


Şekil 8.8. Yük Deplasman eğrisi

8. deneyde görüldüğü gibi ağırlıkça %10 lastik karışımlı geri dolgu ortamına 250 kPa seviyesine kadar düşey yükleme gerçekleştirilmiştir. %10 karışımın orta sıkı yerleştirme durumu için, 250 kPa düşey yük altında HDPE boru 1,1 mm deplasman meydana gelmiştir.

8.1.9 Deney No 9

Deneyde toplam 330 kg karışım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan borunun çapı 20 cm, uzunluğu 50 cm, hacmi 15707,96 cm³ tür. Karışım malzemesini hacmi 206332 cm³ tür. Karışım malzemesinde; $e_{max}=0,772$ $e_{min}=0,53$, $e=0,56$ $Dr=\%86,13$



Şekil 8.9. Yük Deplasman eğrisi

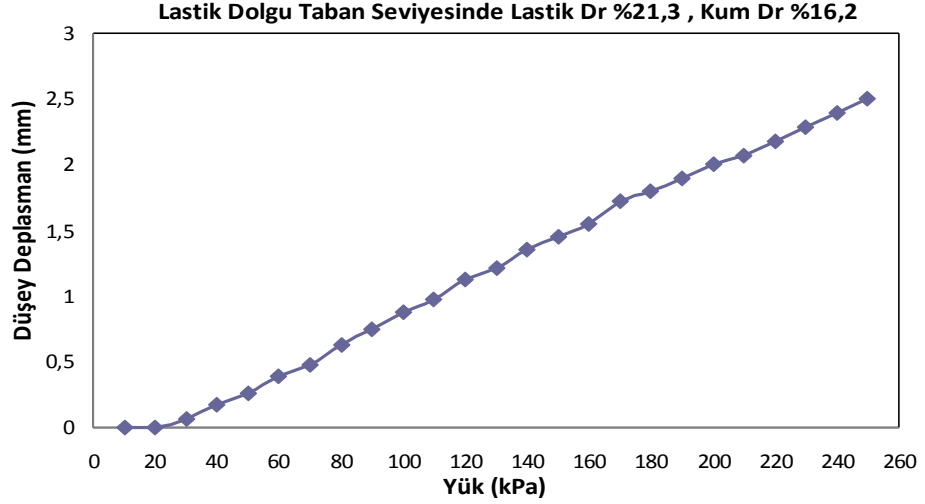
9. deneyde görüldüğü gibi ağırlıkça %10 lastik karışımı geri dolgu ortamına 200 kPa seviyesine kadar düşey yükleme gerçekleştirilmiştir. %10 karışımın çok sıkı yerleştirme durumu için, 200 kPa düşey yük altında HDPE boru 0,7 mm deplasman meydana gelmiştir.

8.2 Kum-Granül Lastik Parçalarının Katmanlı Olarak Yerleşimi

Deneylerin ikinci aşamasında, lastik granül parçaları ile kum geri dolgu malzemesi tabakalı olarak yerleştirilmiştir. Esnek boruların davranışında yataklama ve omuz bölgesi arasındaki dolgu özelliklerinin boru davranışına olan etkisinin belirleyici olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan granül lastik parçalarının geri dolgu ortamında tabana, kum malzemesinin ise hendek yüzüne yerleştirme durumları değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan deneyler aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

8.2.1 Deney No 1

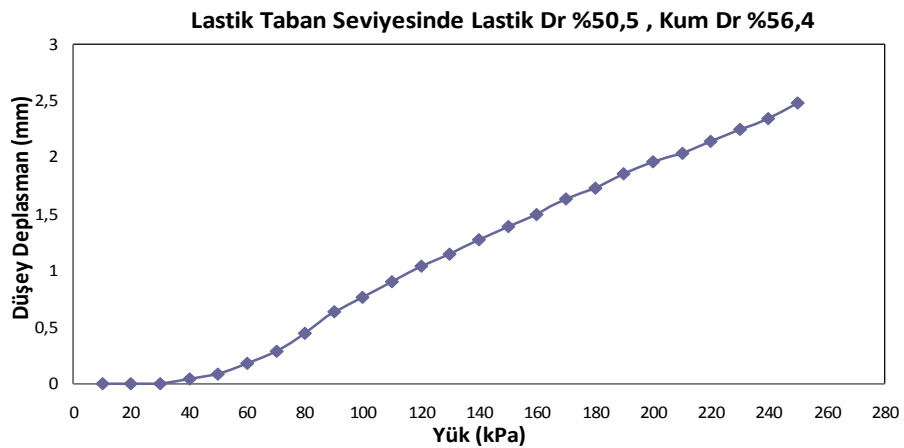
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun en gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine 180° yataklama açısı ile yerleştirilmiştir. En gevşek yerleştirme biçimi ile lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıklıkları sırası ile %20 ve %25 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 2,5mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.10. Yük Deplasman eğrisi

8.2.2 Deney No 2

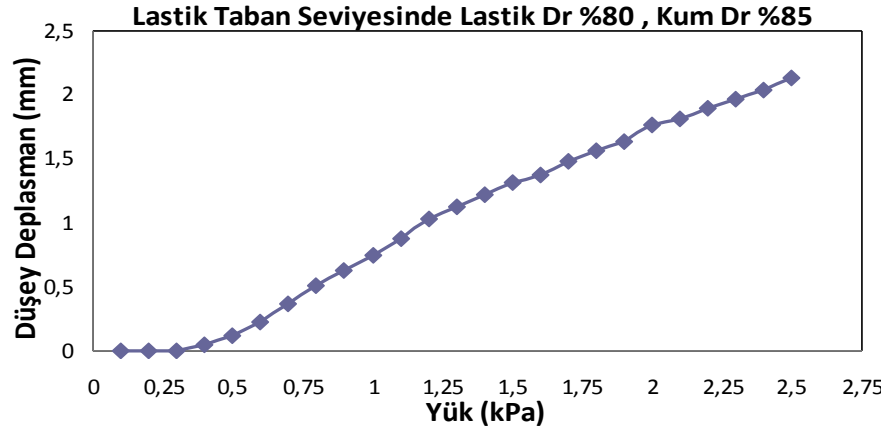
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun en orta sıkı yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine 180° yataklama açısı ile yerleştirilmiştir. Orta sıkı yerleştirme biçimi ile lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %50 ve %55 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 2,5mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.11. Yük Deplasman eğrisi

8.2.3 Deney No 3

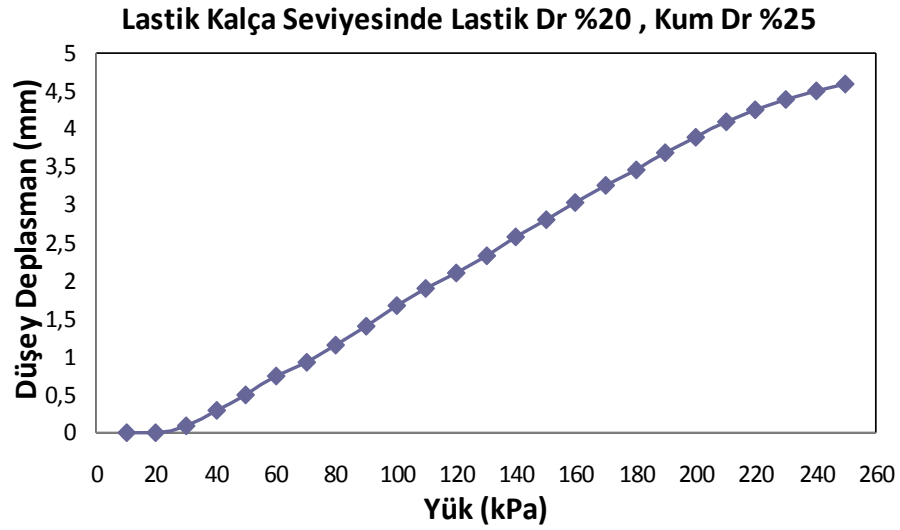
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun en sıkı yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine 180° yataklama açısı ile yerleştirilmiştir. Sıkı yerleştirme biçimi ile lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %80 ve %85 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 2,1 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.12. Yük Deplasman eğrisi

8.2.4 Deney No 4

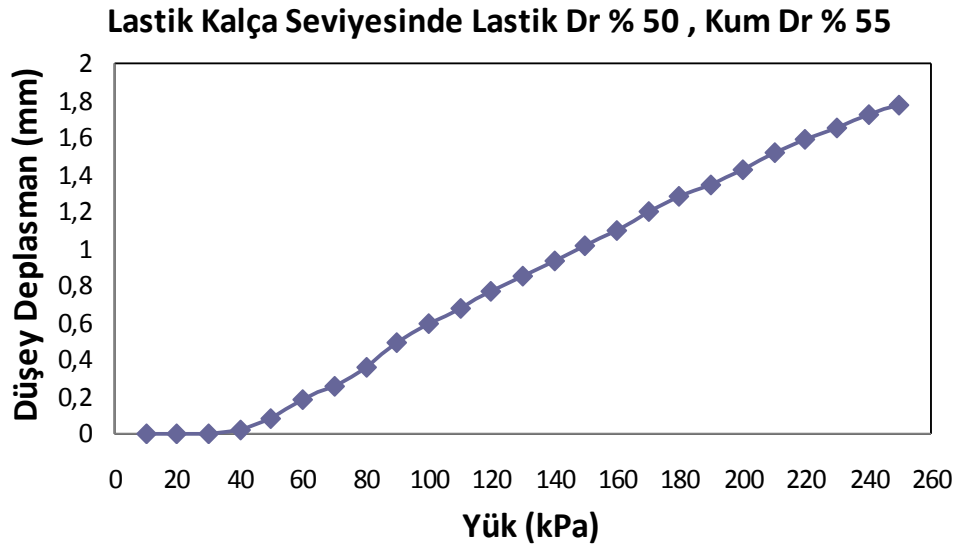
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun en gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun kalça seviyesine kadar doldurularak gevşek halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %20 ve %25 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 4,6 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.13. Yük Deplasman eğrisi

8.2.5 Deney No 5

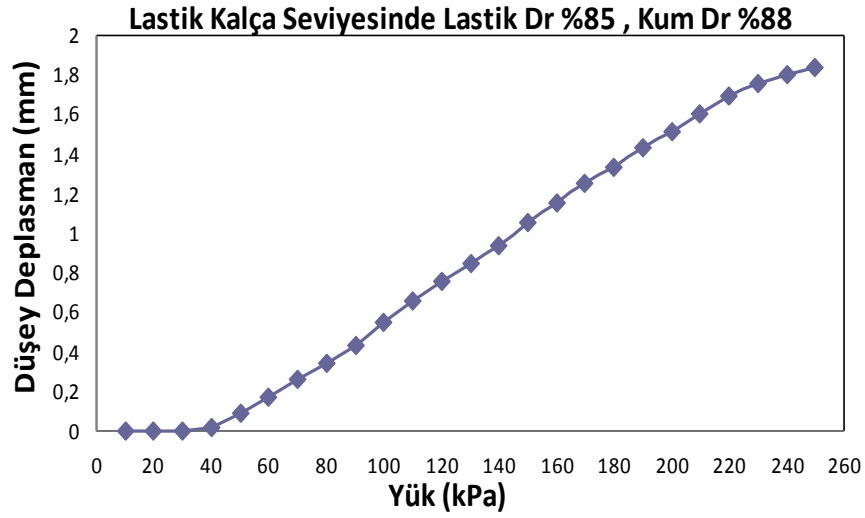
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun orta sıkı yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun kalça seviyesine kadar doldurularak orta sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %20 ve %25 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 1,7 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.14. Yük Deplasman eğrisi

8.2.6 Deney No 6

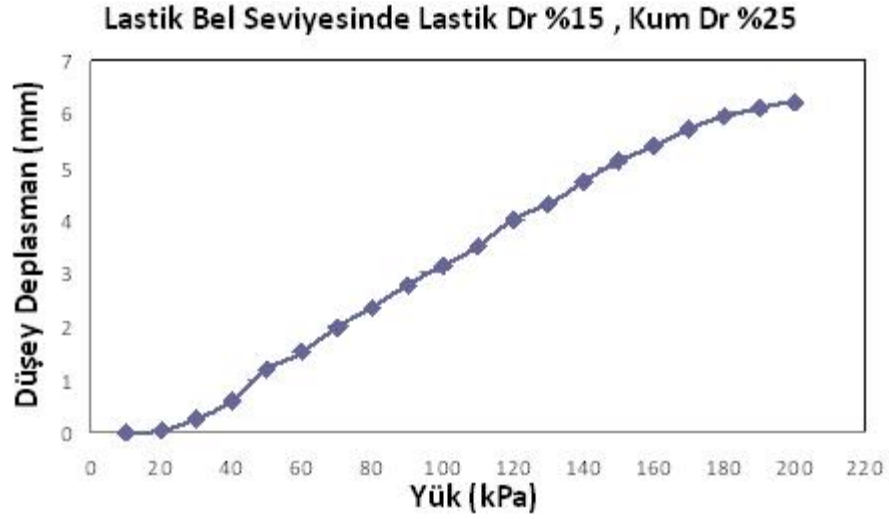
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun çok sıkı yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun kalça seviyesine kadar doldurularak çok sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %80 ve %88 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 1,84 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.15 Yük Deplasman eğrisi

8.2.7 Deney No 7

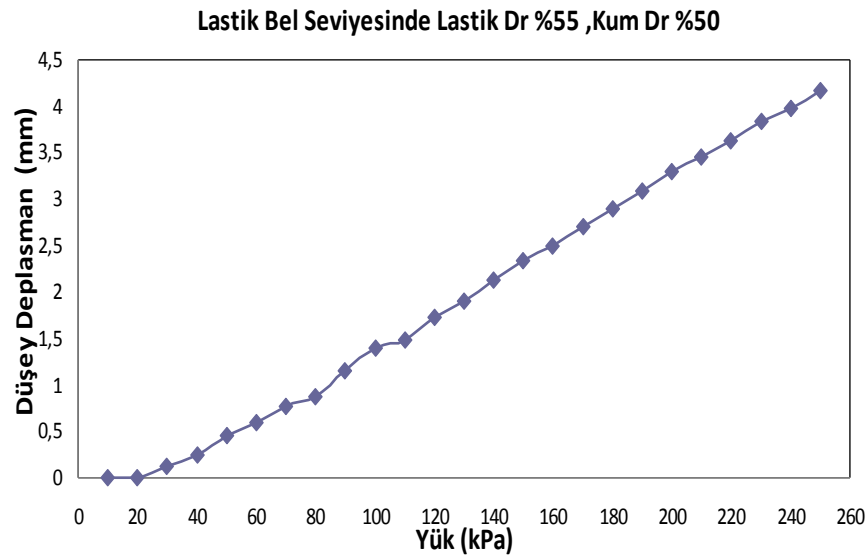
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun bel seviyesine kadar doldurularak gevşek halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %15 ve %20 olarak saptanmıştır. 200 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 6,2 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.16. Yük Deplasman eğrisi

8.2.8 Deney No 8

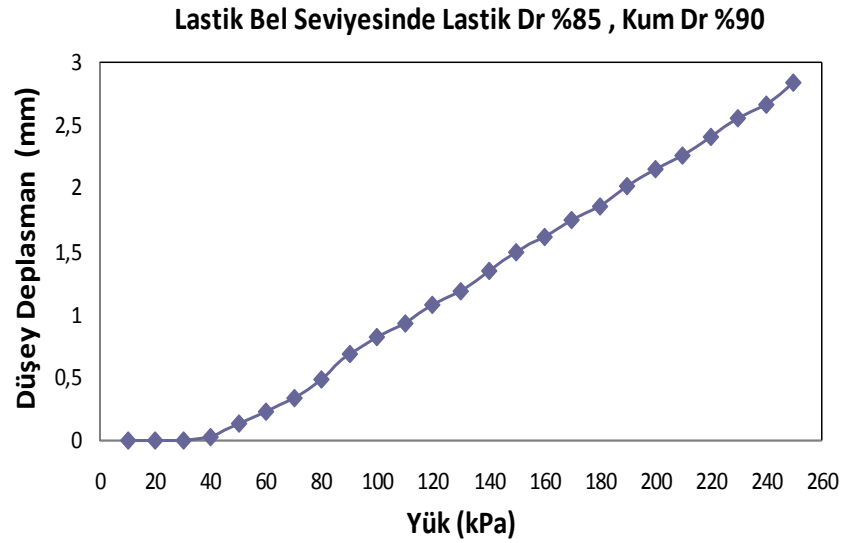
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun orta sıkı yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun bel seviyesine kadar doldurularak orta sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %55 ve %50 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 4,16 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.17. Yük Deplasman eğrisi

8.2.9 Deney No 9

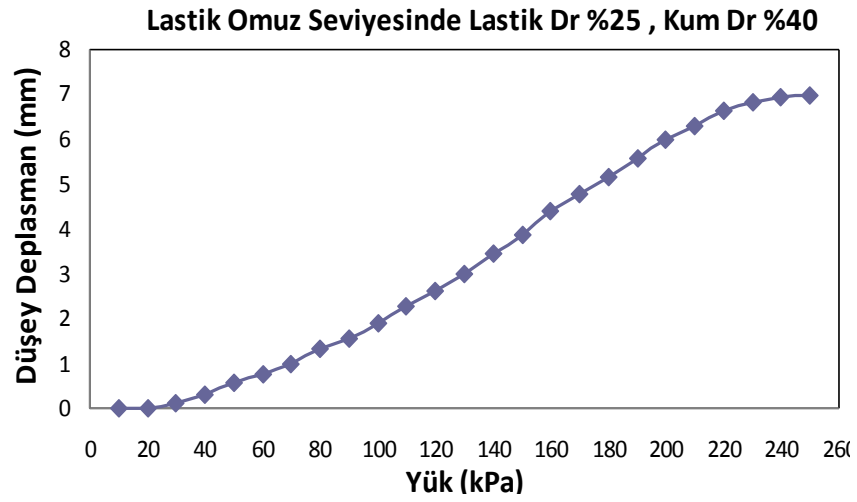
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun orta sıkı yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun bel seviyesine kadar doldurularak çok sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %85 ve %90 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 2,84 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.18. Yük Deplasman eğrisi

8.2.10 Deney No 10

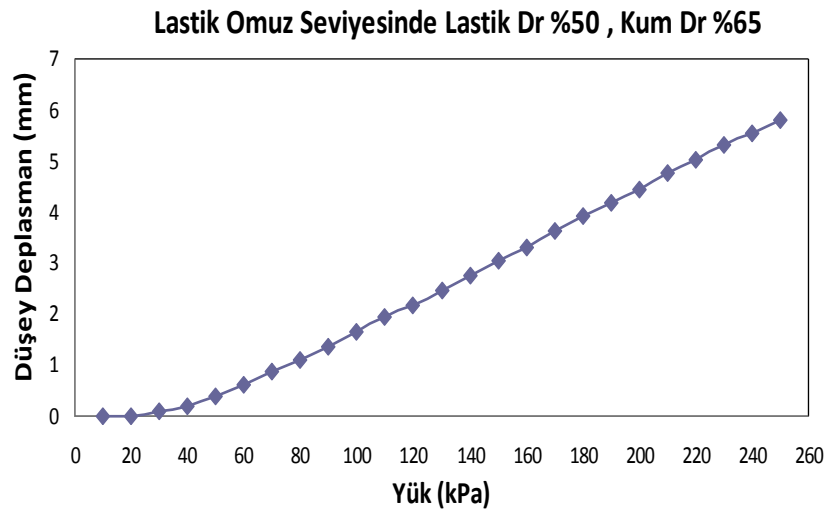
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun omuz seviyesine kadar doldurularak çok sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %25 ve %40 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 6,99 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.19. Yük Deplasman eğrisi

8.2.11 Deney No 11

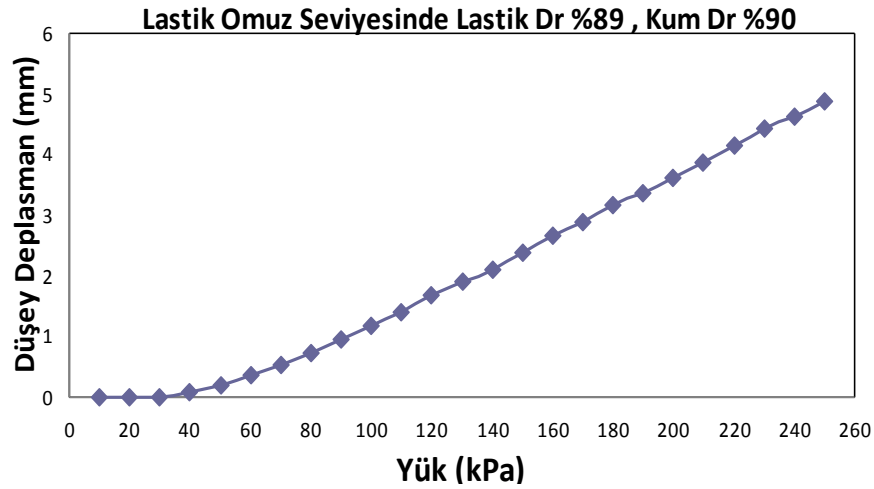
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun omuz seviyesine kadar doldurularak orta sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %50 ve %65 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 5,88 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.20. Yük Deplasman eğrisi

8.2.12 Deney No 12

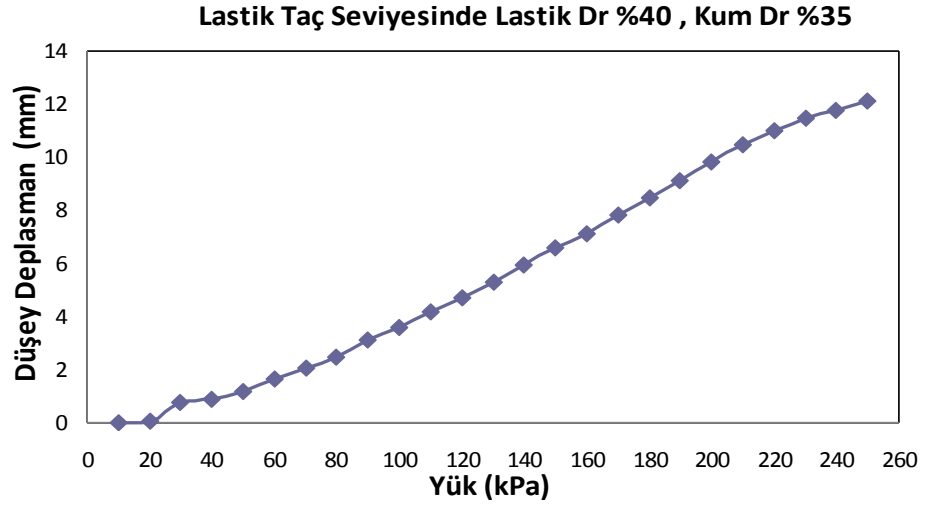
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun omuz seviyesine kadar doldurularak çok sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %89 ve %90 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 4,88 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.21. Yük Deplasman eğrisi

8.2.13 Deney No 13

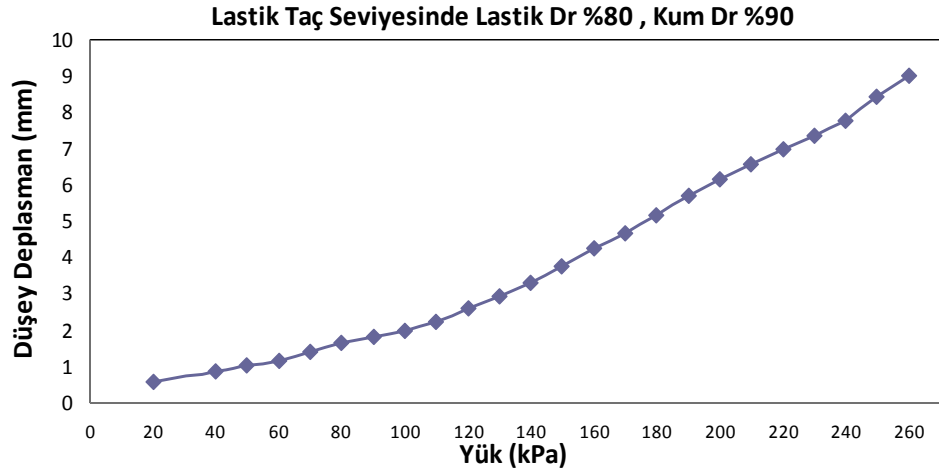
Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun taç seviyesine kadar doldurularak gevşek halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %40 ve %35 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 12,1 mm düşey deplasman göstermiştir.



Şekil 8.22. Yük Deplasman eğrisi

8.2.14 Deney No 14

Deneyde tabanda lastik, yüzeyde ise kum tabakası yerleştirilmiştir. Kum ve lastik dolgunun gevşek yerleştirme durumu göz önünde tutularak deneyin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla HDPE boru lastik dolgu tabakası üzerine yerleştirilmiştir. Granül lastik HDPE borunun taç seviyesine kadar doldurularak en sıkı halde yerleştirilmiştir. Lastik ve kum dolgunun ortalama göreceli sıkılıkları sırası ile %80 ve %90 olarak saptanmıştır. 250 kPa düşey yük altında kalan boru nihai yükleme altında, 12,1 mm düşey deplasman göstermiştir.

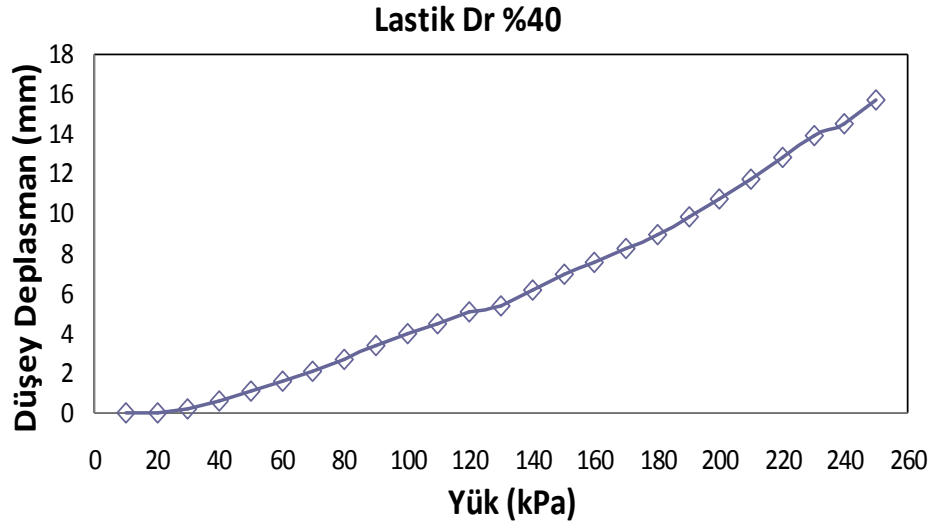


Şekil 8.23. Yük Deplasman eğrisi

Yapılan bu lastik-kum katmanlı geri dolgu deneyleri akabinde son olarak granül lastik malzemenin kum kullanılmadan tamamen doldurulması amacıyla bir deney daha yapılmıştır.

8.3. Lastik Granül Malzeme Tamamen Dolu

Bu son deneysel çalışmada ise, geri dolgu malzemesi olarak yalnızca lastik granül parçaları kullanılmıştır. Tam elastik bir geri dolgu ortamı ve esnek davranış gösteren boru kesitine düşey yük olarak 250 kPa yük uygulanmıştır. Bu yük altında borunun 17mm deplasman gösterdiği saptanmıştır. Diğer bütün karışım modelleri üzerinde yapılan deneylere bakıldığında, 17 mm' lik bu deplasmanın hepsinden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca 100 mm çapındaki borunun kendisinden beklenen servis kabiliyetini aşan bir deplasmana sahip olduğunu da belirtmek gereklidir. Bu noktada tam elastik bir karışımın geri dolgu olarak kullanılmasının tavsiye edilemeyeceği görülmektedir.



Şekil 8.24..Yük Deplasman eğrisi

Tamamen lastik granül malzeme ile dolu geri dolgu ortamında kalan HDPE esnek boru % 40 göreceli sıkılık ve 250 kPa düşey yük altında 15,75mm deplasman göstermiştir.

9. DENEYLERİN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Yukarıda adım adım izah edildiği gibi iki farklı yerleştirme modeli kullanılarak granül lastik parçaları ve kum geri dolgusu içerisindeki esnek borunun düşey yük altındaki davranışı toplamda 17 deneyle incelenmiştir. Bütün deneylerde göze çarpan en önemli sonuç geri dolgu malzemesinin sıklık derecesinin artması ile birlikte boru deplasmanındaki dikkate değer azalmanın saptanmış olmasıdır. Bu sonuç beklenen ve olması lazım gelen bir sonuçtur. Ancak çalışmanın ulaşmayı arzu ettiği sonuç bundan öte, lastik granül malzemenin bir geri dolgu malzemesi olarak kullanıp kullanılamayacağı anlamak üzerine odaklanmıştır. Bu bakımdan deneylerde en uygun karışım yüzdesi ve/veya en uygun lastik dolgu yataklama seviyesi yüksekliği çerçevesinde değerlendirmeler yapılması gerektiğidir. Deneyler en gevşek yerleştirme durumundan en sıkı yerleştirme durumuna kadar bir dizi farklı geri dolgu ortamında tekrar edilmiştir. Bütün deneylerde 10’ar kPa yükleme adımları ile 250 kPa seviyesine kadar düşey yükleme uygulanmak amaçlanmıştır. Deneylerin birçoğunda 250 kPa düşey yükleme adımına ulaşılmıştır. Ancak geri dolgu malzemelerinin çok sıkı yerleştirme durumlarında deney kutusunun sehim yapmasını engellemek için 250 kPa seviyesine kadar ulaşamadığı deneyler olmuştur. Bu nedenle deneyler 200 kPa düşey yüklemeye karşılık gelen boru deplasmanları birbirleri ile kıyaslanacaktır.

Çizelge 9.1. Karışım oranları dikkate alınarak yapılan karşılaştırma

Geri Dolgu	%5 Karışım	%7 Karışım	%10 Karışım
Gevşek	2,26mm	2,34 mm	1,09 mm
Orta Sıkı	0,79 mm	0,80 mm	0,84 mm
Sıkı	0,67 mm	0,65 mm	0,69 mm

Çizelge 9.1.’den görüldüğü gibi gevşek yerleştirme koşullarında granül lastik karışım oranı arttıkça boru deplasmanında belirgin bir azalma görülmektedir. Orta sıkı ve sıkı lastik karışımlarında ise, granül oranı arttıkça deplasmanda belirgin bir azalma göze çarpmamakta aksine çok küçük mertebelerde de olsa bir artış görülmektedir. Bu artışın sebebi olarak lastik parçalarının elastik özelliklerinin geri dolgu ortamını da elastikleştirmesi ve özellikle kısa süreli deplasman ölçümlerinde deformasyonun geri dönüşümü beklenmeksizin okuma alınması olarak düşünülmektedir.

İki katmanlı olarak granül lastik ve kum malzemesinin yerleştirme durumunda ise, granül lastiğin yerleştirme yeri ve sıklık derecesine göre bir değerlendirme yapmak gereklidir. En gevşek yerleştirme ortamında beklendiği gibi en büyük deplasman değerleri saptanmıştır. En küçük deplasman granül lastik parçaları tabanda iken ortaya çıkmış en büyük deplasman değeri ise granül lastik parçaları taç kısmında iken meydana gelmiştir. Bu davranış biçimi orta sıkı ve sıkı zeminlerde de benzeri bir artış oranı ile tekrarlandığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 9.2. 200 kPa yük seviyesi için granül lastik

Geri Dolgu	Taban	Kalça	Bel	Omuz	Taç
Gevşek	2 mm	3,9 mm	6,2 mm	6 mm	9,85 mm
Orta Sıkı	1,96 mm	1,43 mm	3,29 mm	4,43 mm	7,14 mm
Sıkı	1,76 mm	1,51 mm	2,25 mm	3,61 mm	6,15 mm

10. SONUÇLAR

Aksaray Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarında yapılan deneyler kapsamında amaçlanan temel hedef; atık lastiklerin hendek ortamında geri dolgu malzemesi olarak kullanılarak geri dönüşümünü çok boyutlu olarak değerlendirmektir. Yapılan deneysel çalışmalar çerçevesinde atık lastiklerin granül parça-kum karışımı halinde hendek malzemesi olarak başarı ile kullanılabileceği saptandı. Bununla beraber; katmanlı yerleştirme biçimi için aynı yargıda bulunulamayacağı da değerlendirildi. Çünkü, literatür kısmında değinildiği gibi esnek borular için güvenli deplasman limiti boru çapının %5'i kadar olan bir değeri tanımlar. Deneylerde uygulanan 200 kPa (yaklaşık 12 m dolgu yükü) nihai yük limiti için, karışımli geri dolgu ortamında boru deplasmanı % 5 limitin (5 mm) çok altında sonuçlar vermiştir. Dolgu malzemelerinin katmanlı yerleştirme durumunda ise boru kesitinde 5 mm deplasman değerinden çok daha büyük şekil değişimleri saptanmıştır. Bu davranışın temel sebebi olarak granül lastiğin elastik özellikleri nedeni ile yük altında kum malzemesinden çok daha fazla bir deplasmana gösterdikten sonra düşey yüke karşı mukavemet etmeye başladığı düşünülmektedir. Bu çerçevede, kum ve granül lastik malzemenin özellikle çevre basıncı etkisinde, Young Elastisite modüllerinin birbirlerinden çok farklı olmaları, bu nedenle başlangıç yükleme adımlarında ortam gerilmesinin ilk önce lastik granül parçaları tarafından karşılanması sebebi ile oluştuğu sonucuna varılmıştır. Granül parçaların yerleştirme yüksekliği arttıkça boru davranışına egemen olan bu unsurun etki alanı artmakta, dolayısı ile boru deformasyonu artmaktadır. He ne kadar HDPE borular %20 deplasman değerlerine kadar kendilerinden beklenen servis kabiliyetlerini muhafaza edebilirlerse de halihazırda kullanılan standartlar %5 deplasmanı sınır değer olarak kabul etmektedirler. Bu nedenle katmanlı yerleştirme yerine, granül lastik parçalarının kum geri dolgusu ile birlikte %5-%10 katkı aralığında geri dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği rahatlıkla söylenebilir.

Bunun yanında elde edilen deney sonuçlarına göre; yerleştirme yönteminin, sıklık derecesinin ve yataklama seviyesinin boru davranışına egemen olduğu açıklıkla görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Adhikari, B., De, D. ve Maiti, S., 2000, Reclamation and Recycling of Waste Rubber, Progress in Polymer Science, 25, pp. 909-948.
- Allison, C. 2004, "Flexible Liners for Corrosion Protection of Pipelines" Cranfield University, PhD Thesis
- Bashir.R. (2000), "Analysis and Design of Buried Pipelines" Ms Thesis., King Fahd University Duhara / S. Arabistan
- Brachman. R.W.I (1999), "Structural Performance of Leachete Collection Pipes" PhD Thesis, Department of Civil and Enviromental Eng. University of Western Ontario. London/Kanada
- DiFrencesco. L.C. (1993), "Laboratory Testing of HDPE Drainage Pipes" Ms Thesis Department of Civil Eng. University of Ontoria /Kanada
- Draper, A. & Robinson, J. (2001). Tire rubber leachate causes induction of cytochrome P450 activity in fathead minnows (Pimephales promelas). SETAC North America 22nd annual meeting, Baltimore, MD, 11–15 November. Available at: <http://abstracts.co.allenpress.com/pweb/setac2001/>
- Erdem, M. 2005, Sanayide Atık Yönetimi, Çevre ve Sanayi Semineri, Çevre ve Orman Bakanlığı, Bursa Ticaret ve Sanayi Odası, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu.
- Ertas, T. 1997, Zararlı Atıkların Ozon ile Oksidasyonu. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul
- Gönüllü M.T. " Atık Lastiklerin Yönetimi" Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Müh. Böl., İstanbul
- Gönüllü, M.T., 2004, "Atık Lastiklerin Yönetimi", Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri, İSO, İstanbul.
- Guogiang, L., Stubblefield, M. A., Garrick, G., Eggers, J., Abadie, C., Huang, B. 2004, Development of waste tire modified cncrete. Cement and Concrete Research 34: 2283-2289.
- Hoeg., K., (1966),"Pressure Distiribution on Underground Structural Cylinders" Technical Report No. AFWL TR 65-98 Kirtland Air Force Base /ABD
- Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H., Türer, A. 2005, "Elastik Art-Germe Şeritleriyle, Yığma Yapıların Güçlendirilmesi", YDGA2005: Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştay Bildirileri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kültür Kongre Merkezi, sy: 1-12, Ankara

- Küçükgül, E. Y. 2004. Tehlikeli Atıkların Yönetimi. Tehlikeli Atıkların Yönetimi Kursu-TMMOB ÇMO İzmir Şubesi, İzmir
- Lagrega, M. D. 1994. Buckingham P.L., Evans J.C. Hazardous Waste Management. McGraw-Hill. 641-698 s
- Laidlaw., T., C., (1999), “ Influence of Local Support on Corrugated HDPE Pipes” Ms Thesis University of Western Ontario/ Kanada
- Masada., T., (1996), “Structural Performance of Profile Wall Plastic Pipes under Relatively Shallow Soil Cover and Subjected to Large Surface Load” Phd Thesis., College of Eng. Technology Ohio University., Ohio / ABD
- McGrath. T., (1998), “Pipe Soil Interaction During Backfill Placement” Phd Thesis., University of Massachusetts Amherst / ABD
- Moser A.P (1990), “Buried Pipe Design” McGraw-Hill New-York N.Y/ABD
- Moser A.P(2001), “Buried Pipe Design Second Ed.” McGraw-Hill New-York N.Y/ABD
- Prevost., R., C., and Kienow., K., K., (1985), “Design of Non-Pressure Very Flexible Plastic Pipe” Proc,International Conference on Pipeline Eng. ASCE Modison pp 527-542 Wisconsin/ABD
- Rogers, C.D.F (1988), “Some Observations on Flexible Pipe Response to Load” Transportation Research Record 1191 pp 1-11
- Sugözü İ., Mutlu İ. Atık Taşıt Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri. Atık Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 1, No: 1, 2009 (35-46)
- Suleiman, M. T. (2002). “Behavior of Buried Flexible Pipes.” Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames,
- Iowa. Ünlü, H., 2006, Otomotiv Endüstrisinde Oluşan Tehlikeli Atıkların Geri Kazanım, Y. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Wang., N. (2002), “Evaluation of Flexible Pipes Under Shallow Burial Depths” Ms Thesis Florida Atlantic Univ. Florida /ABD
- Yeşilata, B., Bulut, H., Turgut, P., Demir, F., 2007, Atık taşıt lastiklerinin geri kazanımı ve yönetim amaçlı kullanımı, MMO tesisat mühendisliği dergisi, 102, 64-72,
- Zanzinger., h., and Gartung E., (1998), “HDPE – Geopipes Soil – Structure Interaction” Sixth International Conference on Geosynthetic IFAI, pp 197-200Atlanta G.A. /ABD
- Zhang.C. and Moore I.D. (1997b), “Nonlinear Mechanical Response of HDPE Part I: Experimental Investigation and Model Evaluation” Polymer Eng. And Science. Vol. 37, No.2 pp 404-413

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa YÜKSEK

Doğum Yılı : 1976

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : Niğde Üniversitesi Aksaray Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl.
(1995-1999)

İletişim Bilgileri

Adres : Serçeönü Mah. Birkan Sk.No:9/15 Kocasinan / Kayseri

Telefon : 0 352 231 18 57

E-posta : yuksek_mustafa@mynet.com