



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

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI**

**ATIK LASTİKLERİN TAŞ/KUM KOLON
UYGULAMALARINDA KULLANILMASININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Can ERENSON

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

AKSARAY, 2015

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlâk ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışımında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlâki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Can ERENSON

İmza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini benden esirgemeyen, hem teorik hem de uygulamaya yönelik bilgilerini bana aşılayan ve hedefimi görmeme ışık tutan saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneyleri tamamlamama yardımcı olan ve teknik bilgileri ile beni aydınlatan Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin KARA' ya, fotogrametrik ölçümlerin alınması sırasında katkıları ile daha kesin sonuçlar elde etmemizi sağlayan Sayın Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK' e, deneylerin hazırlık aşamasında kuruluma yardım eden Uzman Yakup BÖLÜKBAŞ ve Tekniker Fatih ÇELİK' e bir teşekkürü borç bilirim.

Tezimde gerekli olan malzemelerin temini için ihtiyacım olan finansal desteği sağlayan Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' ne de teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi olarak tüm sorunların üstesinden gelmemi sağlayan, hayata karşı beni bütün zorluklara karşı dirençli kılan, beni yetiştiren çok muhterem annem ve babama da çok teşekkür ederim.

Can ERENSON

Aksaray, Ekim 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOĞRULUK BEYANI.....	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	4
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	11
2. TAŞ KOLONUN ÖZELLİKLERİ	15
2.1 Taş Kolon Uygulaması	15
2.2 Taş Kolon Yapım Yöntemleri	15
2.2.1 Islak üstten beslemeli yöntemle taş kolon imali	17
2.2.2 Kuru tabandan beslemeli taş kolon yöntemi.....	18
2.2.3 Tokmaklama yöntemi ile taş kolon imali	19
2.2.4 Diğer yöntemler	20
2.2.4.1 Dinamik yer değiştirme yöntemi	20
2.2.4.2 Tampon yöntemi.....	21
2.3 Taş Kolon Boyutlandırması ve Özellikleri.....	21
2.4 Taş Kolon Göçme Mekanizmaları	23
2.4.1 Tekil taş kolonun göçme mekanizmaları	23
2.4.2 Grup halindeki taş kolonların göçme mekanizmaları.....	24
2.5 Taş Kolon Uygulamasının Avantajları.....	26
3. TAŞ KOLON ÜRETİMİNDE ATIK LASTİK KULLANIMININ YERİ VE ÖNEMİ.....	29
3.1 Lastiklerin Geri Kazandırılması ve Çevre.....	29
3.2 Atık Lastiklerin Yeniden Kazandırılması.....	31
3.3 Taş Kolon İmalatı için Lastiklerin Kullanım Varyasyonları ve Geometrisi ...	35
3.4 Atık Lastiklerin Farklı Alanlarda Kullanımı	37
4. DENEY DÜZENİĞİ	39
4.1 Taş Kolon Numunelerinin Hazırlanması.....	42
4.1.1 Lastik sarmallı taş kolon numunelerinin hazırlanması	42
4.1.2 Polyester sarmallı taş kolon numunelerinin hazırlanması	43
4.2 Deney Malzemeleri Teknik Özellikleri	43
4.2.1 Kırşehir Kızılırmak Kumu	43
4.2.2 Agregası.....	45
4.2.3 Pvc kaplı yüksek mukavemetli polyester iplikten dokunmuş kumaşlar ..	47
4.2.4 Atık araç lastikleri (15 inch)	48
5. DENEYLER	50
5.1 Birinci Aşama Deneyler	50

5.1.1 Lastik sarmallı taş kolon (1.Aşama)	51
5.1.2 Polyester sarmallı taş kolon (1.Aşama)	53
5.2 İkinci ve Üçüncü Aşama Deneyler.....	55
5.2.1 Lastik sarmallı taş kolon (2. Aşama)	56
5.2.2 Polyester sarmallı taş kolon (2. Aşama)	58
5.2.3 Lastik sarmallı kum kolon (3. Aşama)	60
5.2.4 Polyester sarmallı kum kolon (3. Aşama).....	62
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ATIK LASTİKLERİN TAŞ/KUM KOLON UYGULAMALARINDA KULLANILMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Zemin iyileştirme yöntemleri içerisinde taş kolon uygulamaları gün geçtikçe artan bir oranda rağbet görmektedir. Bu tez kapsamında Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarı'nda taş kolonların daha etkin, daha ucuz, çevre ile duyarlı ve geri dönüşüm esaslı bir imal türünün geliştirilmesine yönelik bir yüksek lisans tez çalışması yürütülmüştür. Son 10 yıllık süreçte taş kolonların taşıma kapasitelerinin arttırılmasına yönelik olarak geotekstil malzeme ile sarmalayarak imal etme yöntemine ait birçok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmanın temel amacı; atık lastikleri sarmal bir eleman olarak taş kolon imalinde kullanmayı hedeflemektedir. Bu tez çalışmasının en önde gelen farkı ve uygulamaya yönelik katkısı, henüz dünyada hiçbir tatbikine rastlanmamış olan özgün bir taş kolon imalinin yapılabilirliğini göstermektir. Tez çalışmasında atık lastikleri ile sarmalanmış taş kolonların yüksek taşıma kapasitelerine ulaştıkları deneysel olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık lastikler, Geri kazanım, Taş kolon, Zemin iyileştirme.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USE OF WASTE TIRES IN STONE/SAND COLUMN APPLICATIONS

Among the ground rehabilitation methods, the practice of stone column applications is preferred gradually widely. Within the scope of this thesis, a post-graduate thesis study has been carried out in Geotechnic Laboratory of Civil Engineering Department of Aksaray University in order to develop a cheaper, more efficient, environment-friendly and recycling-based manufacturing type. In recent decade, many studies have been carried out on increasing the load-bearing capacities of stone columns and manufacturing by wrapping with geotextile material. The main objective of this study is to utilize the waste tires as a wrapping element in constructing the stone columns. The main difference and major contribution of this thesis in terms of implementation is that it shows the constructability of a unique stone column that has never been constructed in world before. During the thesis study, it has been experimentally shown that the stone columns wrapped with waste tires have reached high load-bearing capacities.

Keywords: Waste tires, Recycle, Stone column, Soil improvement

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: Zemin iyileştirme yöntemleri	4
Şekil 1.2: Taş kolon üretim aşamaları	5
Şekil 1.3: Taş kolon üretim aşamaları ve tanımı.....	6
Şekil 1.4: Atık lastiklerin geri dönüşüm ile tekrar kullanma dağılımı.....	13
Şekil 2.1: Vibroflot başlığı ve kısımları	17
Şekil 2.2: Islak metot uygulaması ile taş kolon imali.....	18
Şekil 2.3: Kuru metot uygulaması ile taş kolon imali	19
Şekil 2.4: Tokmaklama metodu ile taş kolon imali	19
Şekil 2.5: Dinamik yer değiştirme metodu ile taş kolon imali	20
Şekil 2.6: Homojen zeminde tekil taş kolon için göçme mekanizmaları a) uzun taş kolon, sağlam tabakada ve ya yüzen sistem olarak, b) rijit kısa kolon, kesme göçmesi, c) yüzen sistem kısa kolon, zımbalama göçmesi	23
Şekil 2.7: Üç farklı yük uygulanma tipi a) rijit temel yüklemesi, b) plaka yüklemesi, c) dolgu yüklemesi	24
Şekil 2.8: Grup halindeki taş kolonlar için göçme mekanizmaları a) yanal genişleme, geniş dolgu yüklemesi, b) genel dairesel göçme, c) kabarma göçmesi, küçük grup d) kısa kolonlar, zımbalama göçmesi	25
Şekil 2.9: Homojen olmayan kohezyonlu zeminlerde taş kolon göçme mekanizmaları a) yüzeyde yumuşak tabaka, kabarma ve ya kesme göçmesi, b) ince çok yumuşak tabaka, sınırlı yerel kabarma, c) kalın çok yumuşak tabaka, yerel kabarma göçmesi	26
Şekil 3.1: 17 Ocak 2014' te Sherburn/İngiltere' de atık lastik depolama alanında meydana gelen bir yangın.....	30
Şekil 3.2: Parçalara ayrılma şekline göre atık lastiklerin sınıflandırılması	33
Şekil 4.1: Atık lastiklerle sargılanmış taş kolon deney düzeneği ve test sistemi	39
Şekil 4.2: Fotogrametrik ölçüm için üç boyutlu ağ oluşturulması.....	40
Şekil 4.3: Hedefler	41
Şekil 4.4: Hedeflerin programda işaretlenip odaklanması	42
Şekil 4.5: Kırşehir Kızılırmak Kumu	44
Şekil 4.6: Kum geri dolgu malzemesinin elek analizi sonuçları	44
Şekil 4.7 :Üç eksenli basınç deneyi	45
Şekil 4.8: Kesme kutusu deneyi	45
Şekil 4.9: Çakıl geri dolu malzemesi.....	46
Şekil 4.10: Çakıl geri dolgu malzemesinin elek analizi sonuçları.....	46

Şekil 4.11: Araç lastik kesiti.....	48
Şekil 5.1: Lastik sarmallı taş kolon deneyi (1. Aşama) yük-düşey deplasman grafiği	51
Şekil 5.2: Lastik sarmallı taş kolon deneyi (1. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği	52
Şekil 5.3: Lastik malzemesi içerisine yerleştirilen çakıl	52
Şekil 5.4: Polyester sarmallı taş kolon (1. Aşama).....	53
Şekil 5.5: Polyester sarmallı taş kolon (1. Aşama) yük-düşey deplasman grafiği	54
Şekil 5.6: Polyester sarmallı taş kolon (1. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği	54
Şekil 5.7: Polyester sarmallı taş kolon (1. Aşama) göçme anı	55
Şekil 5.8: Lastik sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük-düşey deplasman grafiği	56
Şekil 5.9: Lastik sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği	57
Şekil 5.10: Lastik sarmallı taş kolon (2. Aşama).....	57
Şekil 5.11: Polyester sarmallı taş kolon (2. Aşama).....	58
Şekil 5.12: Polyester sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük-düşey deplasman grafiği ..	59
Şekil 5.13: Polyester sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği ...	59
Şekil 5.14: Lastik sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük-düşey deplasman grafiği.....	60
Şekil 5.15: Lastik sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği	61
Şekil 5.16: Lastik sarmallı kum kolon (3. Aşama)	61
Şekil 5.17: Polyester sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük-düşey deplasman grafiği	62
Şekil 5.18: Polyester sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği	63
Şekil 5.19: Polyester sarmallı kum kolon (3. Aşama)	63
Şekil 5.20: Tüm deneylerin karşılaştırılması	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Agreg-a-lastik parçacıkları karışım oranları	7
Çizelge 1.2: Agreg-a-lastik parçacıkları karışım oranlarına göre nihai taşıma kapasitesi ve verimlilik değerleri	7
Çizelge 1.3: Kum zemine eklenen liflerin taşıma kapasitesine katkısı	9
Çizelge 3.1: Atık lastiklerden elde edilen ürünlerin dağılımı.....	33
Çizelge 3.2: Mekanik parçalama yöntemi ve nitrojen ile parçalama yönteminin karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.1: Kum geri dolgu malzemesinin mühendislik özellikleri	44
Çizelge 4.2: Agreg-a üzerinde yapılan deneylerin sonuçları	47
Çizelge 4.3: 1100 DTX polyester branda teknik özellikleri	47
Çizelge 5.2: Deney sonuçları	64

KISALTMALAR DİZİNİ

CD	Condsolidated Drained
EPA	Envionmental Protection Agency
ÖTL	Ömrünü Tamamlamış Lastik
UU	Unconsolidated Undrained

1. GİRİŞ

Zemin iyileştirmesi, zeminlerin belirli özelliklerinin, planlanan bir tasarıma göre değişik yöntemler kullanılarak mühendislik özelliklerinin olumlu yönde artırılması olarak tanımlanabilir. Islah, stabilizasyon, iyileştirme, güçlendirme, modifikasyon gibi farklı adlandırmalara sahiptirler. Bu uygulamalar sonucunda istenen sonuçlar elde edilememişse, inşaat sahasının veya zemin katmanlarının değiştirilmesi ya da tasarımın zeminin mevcut özelliklerine uygun hale getirilmesi vb. seçenekler de uygulanabilir.

Bir yapının tasarımı yapılırken öncelikli olarak yüksek servis kapasiteli, estetik, uzun ömürlü, ekonomik ve çevreye en az zarar vererek ekolojiye duyarlı olması amaçlanır. Mühendisliğin bu temel esaslarını sağlamak için ise özgün, detaycı, etkin ön tasarım aşamalarının yerine getirilmesi gereklidir. Bu çalışmalar sadece yapının inşası ile kalmamalı yerine göre yapının oturacağı zeminin geoteknik özelliklerine de dikkate alarak yapı-zemin bütünlüğü çerçevesinde ele alınmalıdır. Çünkü en etkin ve sağlam bir yapının ön şartı en önemli yapı malzemesi olan zeminin yapıyı güvenle taşıyabilmesine bağlıdır. Zeminlerin mekanik özelliklerinin davranışa etkisi inceleyen geoteknik mühendisliği, zeminlerin yük altındaki davranışsal kalitesini kabaca; zeminlerin boşluk oranına, plastisite özelliklerine, sıkılık ve mikro iskelet yapısınca kontrol edildiğini kabul etmektedir.

Bu unsurların niteliksel olarak iyi yönde değişimi, zeminin gerilmeler altındaki şekil değiştirmelerini azaltacak ve sonuçta daha yüksek bir dayanım sağlayacaktır. Dayanım artışının görülebilen en belirgin sonuçlardan biri de elbette istenmeyen oturma değerlerinin kontrol altına alınmasıdır. İşte bu türden davranışların sağlanabilmesi; ya güçlü zeminler üzerine binaların yapılması yahut zayıf zeminlerin güçlendirilmesidir.

Zemin güçlendirme teknikleri genel olarak dört ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar; mekanik, hidrolik, fiziksel ve kimyasal iyileştirmelerdir. Zeminin stabilizasyonunda dikkat edilecek ilk unsur hiç şüphesiz zemin ve yapı için en doğru ve en etkin güçlendirme tekniğinin belirlenmesidir. Bu bakımdan bu dört ana başlıktaki yöntemlerin birbirinden bir üstünlükleri yoktur. Amaca uygun iyileştirme yönteminin

seçilmesi durumunda aynı nitelikte iyileştirme sonucuna ulaşılmaktadır. Doğru yöntemi seçmek için; o zemin üzerine yapılacak yapının kullanım amacı ve kullanım süresi belirleyici birinci faktördür, bunun yanında zeminin minerolojik yapısı, jeolojik durumu, yer altı su seviyesi, gerekli materyal ve ekipman temini, çevreye verilecek olan olası zararlar, yapım süresi, hedeflenen performans ve kalite gibi parametreleri dikkate almak gerekmektedir.

İslah tekniğine seçilen zeminin özellikleri ile birlikte arazi ve laboratuvar deneyleri sonucuna göre karar verilir. Bu aşamada tasarımcının tecrübesi de önemli bir yol göstericidir. Kabaca zemin iyileştirmede öncelikli amaç granüler zeminlerde, sıkılık derecesini artırmak kohezyonlu zeminlerde su muhtevasını düşürmektir. Her iki uygulamada nihai sonuç kayma mukavemeti parametrelerini olumlu yönde arttırmaktır. Kohezyon, geoteknik mühendisliğinde tanım olarak zemindeki daneleri bir arada tutan ve parçacıkların birlikte davranış göstermesine yardımcı olan kuvvettir. İri daneli zemin tabakaları iyileştirilirken, zemin yüzeyi titreşimle sıkıştırılmakta ve ya kuvvetli darbeler uygulanmaktadır. Bunun yanında patlatma teknikleri ya da temel derinliği boyunca vibrasyonlu yöntemler de kullanılabilmektedir. İnce daneli zeminlerde su muhtevasını düşürmeye dolayısı ile plastisite kontrolüne veya boşluk suyu basınçlarını düşürerek konsolidasyon sürecinin hızla tamamlanmasına yönelik uygulamaları da bulunmaktadır. Bunun yanında enjeksiyon teknikleri ile ve zemin içerisine yerleştirilen kompozit ve rijit kolonlar da zeminlerde etkili sonuçlar vermektedir. Bunlar kazıklar, kuyu temeller, jet groutlar, fore kazıklar ve taş-kum kolonlar olarak sıralanabilir.

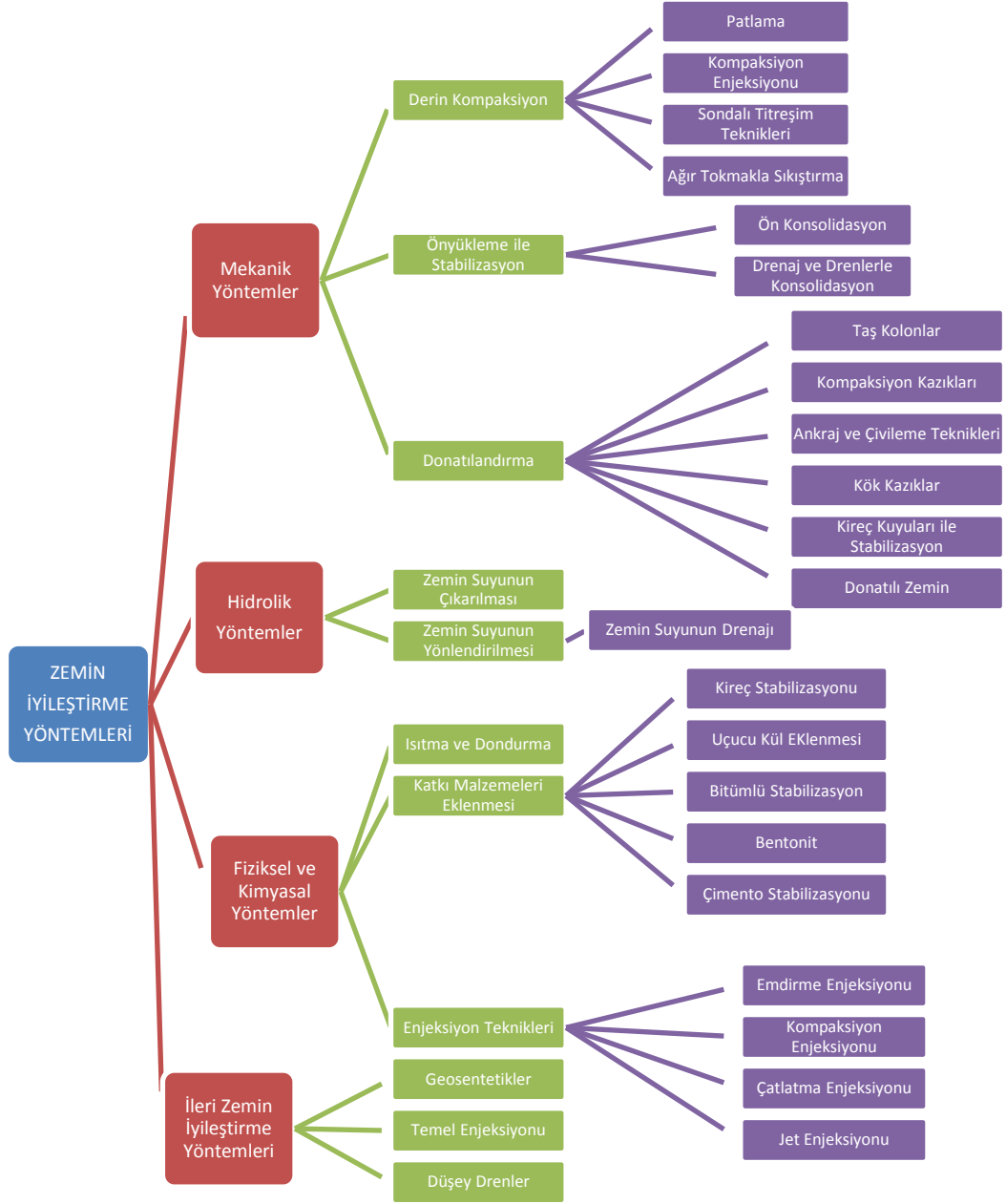
Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar, taş kolonlarla zemin iyileştirme yöntemi üzerinde durmaktadır ve yeni nesil güçlendirilmiş taş kolon iyileştirme yönteminin üzerinde yeni geliştirmeler yapılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemleri arasında yer alan taş kolonlar özellikle son 20 yılda en etkili uygulamalardan biri haline gelmiştir. Çalışmalarda taş kolonların yumuşak killerde, siltlerde ve siltli kumlarda güçlendirme amacıyla kullanımının çok etkin sonuçlar verdiği görülmüştür.

Uygulamalarda güçlendirme malzemesi olarak taş kolon çevresine geotekstil malzeme ile sarmal sargı yapılmaktadır. Bu yöntem her ne kadar taş kolonun taşıma performansını arttırsa da sarmal kolonun imali ve zemin ortamına yerleştirme süreci oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. Diğer taraftan geotekstil malzeme kendi başına bir ekonomik değer taşıırken, bu malzemenin taş kolona sargılanması bir işçilik

maliyeti gerektirmektedir. Bu nedenle taş kolonların dairesel kesite sahip araç lastikleri içerisinde imal edilerek zemine basitçe uygulanması incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda geri dolgu malzemesi olarak çakıl ve kum kullanılmıştır. Model taş kolon numuneleri farklı malzeme içeriklerinde altında incelenmiş ve yük altındaki deplasmanları kıyaslanmıştır. Bunun yanında her kolonun en büyük momente sahip olduğu göreceli olarak orta noktasından deney süresince ölçümler alınmıştır. Ölçümler klasik potansiyometrik cetveller ve fotogrametrik yöntemle birlikte alınmış ve birbiri ile noktasal olarak kıyaslanmıştır. Deneyler esnasında fotogrametrik ölçümler her noktanın üç boyutlu davranışının gözlemlenmesini mümkün kılmıştır. Bu sayede güçlendirilmiş taş kolonun düşey yük altında üç boyutlu davranışı saptanmıştır.

Günümüzde her ne uygulama alanında olursa olsun geri kazanım, çevre kirliliği ve buna benzer konular dikkate alınarak uygulanmaktadır. Tasarım ve imalat esaslı çalışmalar sürdüren araştırmacıların birçoğu çevreye duyarlı teknikler geliştirerek tasarımlar yapmayı amaçlamaktadır. Kirliliğin ve depolama probleminin ciddi bir biçimde arttığı bu dönemlerde lastiklerin geri kazandırılması dünya ekolojisi açısından büyük bir öneme sahiptir. Atık lastikler birçok formda geri dönüştürülebilmektedir. Zerre ve toz halinden bütün halde kullanımına çeşitli şekillerde ve büyüklüklerde imalatın içerisine dahil edilerek kullanılabilirler. Yeni stabilizasyon teknikleri ve lastiklerin geri dönüşümü gibi iki güncel konuyu harmanlayarak birçok yöntem geliştirilmiştir. Geoteknik mühendisliği kapsamında iyileştirme teknikleri üzerine yoğunlaşan bilim insanlarının yaptığı çalışmalar aşağıda literatür kısmında vurgulanmıştır. Bu tez içeriğindeki çalışmalarda da aynı şekilde zemin iyileştirmesi ile atık lastiklerin mühendislik uygulamalarında kullanılması işlenmiştir. Çalışmamın temel felsefesi, hem taş kolonun güçlü bir taşıyıcı eleman olmasına hem de çevreyle barışçıl ve geri dönüşüm esaslarınca imal edilmesine imkan sağlayacaktır. Taş kolonlarla zemin iyileştirme Şekil 1.1’ de görüldüğü gibi mekanik yöntemlerin donatılandırma kolonun alt başlığında yer almaktadır.



Şekil 1.1: Zemin iyileştirme yöntemleri.

1.1 Literatür Özeti

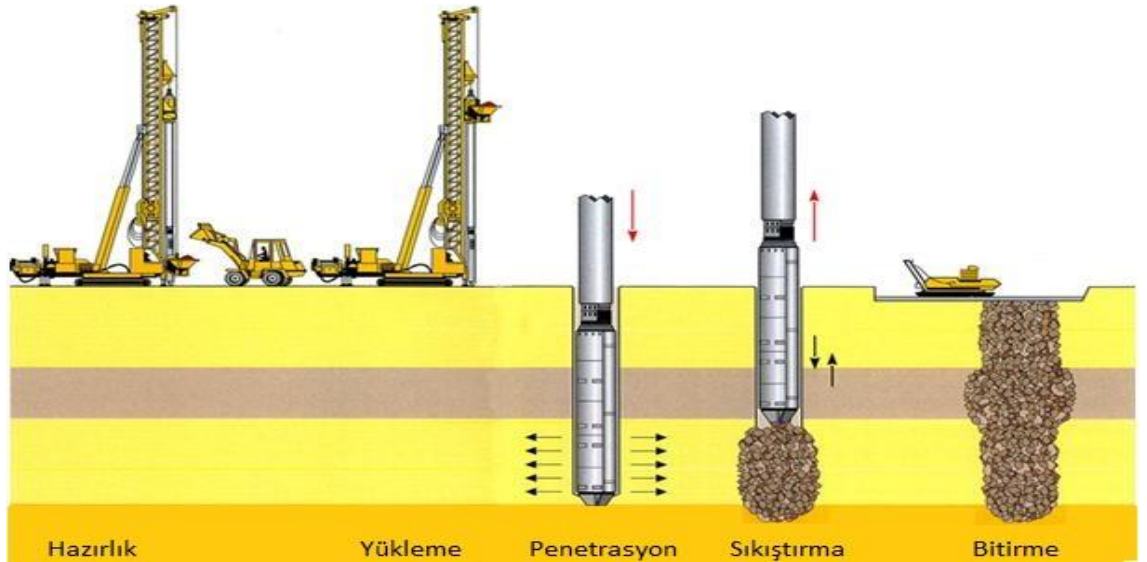
İlk olarak 1830' larda Fransa' da doğal zeminlerin iyileştirilmesi için uygulandığı görülmektedir (Barksdale vd., 1983). Bu yöntem Avrupa'da 1950' den sonra, Amerika' da ise 1972' den sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kötü zemin şartlarına sahip olan bölgelerde inşa edilmek istenen yapıların geleneksel zemin güçlendirme yöntemleri ile uygulanması finansal açıdan büyük maliyetler

getirmektedir. Bu nedenle zeminin beklenen kapasiteyi karşılamanın yanı sıra ekonomik olarak da avantajlı olabilmesi için yeni teknikler aranmaktadır.

Yumuşak ve gevşek zeminlerin iyileştirilmesinde de taş kolon uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıdan gelecek yükleri yeterli güvenlikle taşıyamayacak zeminlerin taşıma gücünün artırılmasında, oturmanın uzun süreli olacağı zeminlerde oturma süresini azaltmada ve sıvılaştıran ve ya mukavemetini kaybeden zeminlerin sağlamlaştırılmasında bu yöntem oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

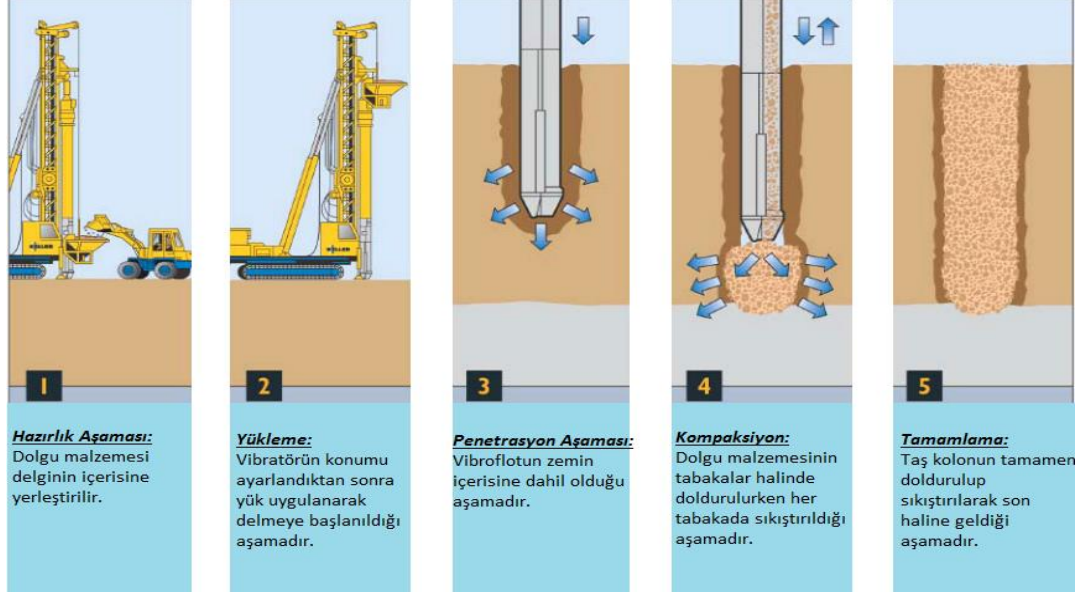
Taş kolon üretimi için titreşimli deliciler kullanılmaktadır. Bu deliciler vibroflot adıyla da anılmaktadır. Vibroflot, zemin içerisine dahil olurken sıkıştırma işlemi ile birlikte yanal titreşim vererek görevini yerine getirmektedir. Bu uygulama ile birlikte taş kolon malzemesi de zemin içerisine itilir ve efektif bir zemin-kolon ilişkisi sağlanır. Vibroflot ile yapılan taş kolon imalatı dünyada yapılan en yaygın taş kolon üretim yöntemidir. Kontrol standartları olarak Avrupa ve Türk Standartları (TS EN 14731) benimsenmiştir.

Karayolları, demiryolları, köprüleri, kıyı ve liman yapılarının yanı sıra sanayi, ticari, kamu, konut gibi üst yapılar başlıca kullanım alanlarıdır. Uygulamalar deniz tabanında ve ya karada genellikle 60 cm ile 100 cm arasındaki çaplarda yapılabilmektedir. Taş kolonun üretim aşamaları Şekil 1.2 ve Şekil 1.3’ te gösterildiği gibidir.



Şekil 1.2: Taş kolonun üretim aşamaları (URL-1).

Literatürde atık lastiklerin parçacıklar halinde agregalar ile birlikte taş kolon yapımında geri dolgu malzemesi olarak kullanılması, taşıma kapasitesi, maliyet ve ekonomik açıdan değerlendiren deneysel çalışmalar bulunmaktadır.



Şekil 1.3: Taş kolonun üretim aşamaları ve tanımı (URL-2).

(Ayothiraman vd., 2011), kil zemin içerisine yerleştirilmiş taş kolonun agrega-lastik parçacık oranına göre davranışını incelemek için bir seri deneysel çalışma yapmıştır. 10 mm ile 12.5 mm arasında boyutlara sahip lastik parçacıkları belirlenen oranlarda agrega ile karıştırılıp her bir taş kolona olan etkisi gözlemlenmiştir. Bu oranlar Çizelge 1.1’ de olduğu gibi belirlenmiştir;

Çizelge 1.1: Agrega-lastik parçacıkları karışım oranları (Ayothiraman vd., 2011).

<u>Kısaltma</u>	<u>Eleman Tanımı</u>
100 S	% 100 Agrega
100 T	% 100 Lastik Parçacıkları
60 T + 40 S	% 60 Lastik Parçacıkları + % 40 Agrega
40 T + 60 S	% 40 Lastik Parçacıkları + % 60 Agrega
20 T+ 80 S	% 20 Lastik Parçacıkları + % 80 Agrega

50 mm çapında 100 mm yüksekliğinde olan numunelere UU (Konsolidasyonuz Drenajsız) ve CD (Konsolidasyonlu Drenajlı) deneyleri yapılmıştır. Her numune üç ayrı yüklemde 50 kPa, 100 kPa ve 150 kPa yükler altında test edilmiştir. Çizelge 1’ de bahsedilen karışım oranlarındaki numuneler gerilme (kg/cm²) - düşey gerilme (%) grafiğinde değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu nihai taşıma gücü ve verimlilik verileri saptanarak amaca yönelik en etkin numuneye karar verilmektedir. UU ve CD deneyleri sonucunda nihai taşıma gücü ve verimlilik değerleri Çizelge 1.2’ de verilmiştir.

Çizelge 1.2: Agrega-lastik parçacıkları karışım oranlarına göre nihai taşıma kapasitesi ve verimlilik değerleri (Ayothiraman vd., 2011).

<u>Eleman Tanımı</u>	<u>Nihai Taşıma Kapasitesi (N)</u>	<u>Verimlilik (%)</u>
100 S	180	82
100 T	220	100
60 T + 40 S	220	100
40 T + 60 S	230	105
20 T+ 80 S	300	136

Çizelge 1.2’ de görüldüğü üzere lastik parçacıklarının taşıma kapasitesine olan etkisi açıkça belirtilmektedir. Taş kolon yapım amacına göre bu verilere dayandırılarak bir tasarım yapmak mümkündür. Eğer istenen daha yüksek kapasite ise taş kolona % 20 oranında lastik parçacıkları eklenen numune tercih edilmektedir. Böylece, atıl halde

bulunan lastikler değerlendirilerek çevresel bir katkıda bulunulduğu gibi maliyet açısından da avantaj sağlanmış olunmaktadır. Asıl amaca yönelik olarak da % 36' lık bir verimlilik artışı kaya değer bir gelişme olarak çalışmanın hedeflerini yerine getirmektedir (Ayothiraman vd., 2011).

Uygulaması olacak taş kolonların taşıma kapasiteleri yeterli olduğu durumlarda ise aynı verimlilik değerine daha yüksek oranda lastik parçacıkları kullanılarak ulaşılmaktadır. Çizelge 1.2' de belirtilen, % 40 oranında taş kolona dahil edilen lastik parçacıklarının bulunduğu numunenin taşıma kapasitesi ile % 100 agrega kullanılan taş kolonun taşıma kapasitesi aynı değerdedir. Böylelikle, lastik parçacıklarından daha fazla oranda faydalanılarak daha yüksek bir finansal avantaj sağlanmış olmaktadır.

Diğer bir üstünlük olarak çalışmanın doğayla barış halinde bir uygulama olması da görülmektedir. Büyük konstrüksiyonlarda kullanılacak olan taş kolonlar düşünüldüğünde oldukça yüksek tonajlarda atık lastikler bu alanlarda değerlendirilecektir.

Lif haline getirilmiş lastik parçacıklarının taş kolon uygulamasına olan katkıları inceleyen birçok araştırma yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi de, şerit temellerde atık lastik lifleri ile güçlendirilmiş kum zeminin basınç altında oturma karakteristiklerini inceleyen bir araştırmadır (Naval vd., 2012).

Bahsi geçen araştırmada, plaka yükleme deneyi ve üç eksenli basınç deneyleri sonucunda % 70 , % 80 ve % 90 rölatif sıklıklarda olduğu belirlenen kum zemine atık lastik lifleri dahil edilmesi durumunda ne oranda bir gelişme sağlayacağı araştırılmıştır. Mühendislik özellikleri bilinen zemine ilave edilecek lif (fiber) oranları % 0, % 0.25, % 0.50, % 0.75 ve % 1 olarak seçilmiştir. Sıklık derecesi ve lif oranına göre taşıma kapasitelerindeki iyileşmeler farklılıklar göstermiştir. Bu iyileşmeler yüzde bazında değerlendirmeye alınarak yorumlanmıştır.

Çizelge 1.3: Kum zemine eklenen liflerin taşıma kapasitesine katkısı
(Naval vd., 2012).

<i>Rölatif Sıkılık (%)</i>	<i>Lif İçeriği (%)</i>	<i>Plaka Yükleme Deneyi Taşıma Kapasitesi (kN/m²)</i>	<i>Teorik Değerler (kN/m²)</i>	<i>Karşılaştırma (%)</i>
70	0	88	56	63.64
	0.25	120	66	55.00
	0.5	124	69	55.65
	0.75	129	66	51.16
	1	127	64	50.39
80	0	126	78	61.90
	0.25	189	95	50.26
	0.5	199	100	50.25
	0.75	214	110	51.40
	1	210	106	50.48
90	0	189	104	55.03
	0.25	280	140	50.00
	0.5	298	152	51.01
	0.75	309	156	50.49
	1	305	153	50.16

Çizelge 1.3’ te görüldüğü üzere lif içeriğinin rölatif sıkılıkla bağlantılı olarak etkisi araştırılmıştır. Aynı oranda lif içeriği göz önüne alındığında sıkılık derecesi düşük olan zeminde yapılan iyileştirmelerin daha etkin olduğu saptanmıştır. Yapılmış olan bu çalışmada, bütün sıkılık derecelerinde lastik liflerinin taşıma kapasitesine katkısı açıkça gözlemlenmektedir. Ayrıca, oturma değerlerinde azalmaya da katkıda bulunulmuştur (Naval vd., 2012).

Parçalanmış atık lastikler granüler zeminler ile kolaylıkla karıştırılabilmekte ve uygulanabilmektedir. Bu tipteki karışımlar basınç ve üç eksenli deneyleri sonucunda referans deneyleri ile kıyaslanmış ve bazı veriler elde edilmiştir. Testler sonucu, atık lastiğin boyutuna ve içeriğine göre değerler ortaya konulmuştur. İdeal karışım oranları ve optimize edilmiş tüm etmenler dahilinde iyileştirme gözlemlenmiştir (Rao ve Dutta, 2006).

Son yıllarda geoteknik uygulamalarda geri dönüşüm malzemesi olarak özellikle hafif dolgu agregası olarak atık lastiklerin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Örneğin vertisol, kil bakımından zengin şişme potansiyeli çok yüksek ve su kaybıyla üzerinde derin yarıklar gözlemlenen zeminlerdir. Böyle zeminlerde de 2-4.75 mm aralığında ufalanmış atık lastiklerin kullanılması hem temel mühendisliğinde hem de ulaştırma mühendisliğinde tercih edilmektedir. Srivatsa vd., (2014) tarafından yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda büzülme limiti, parçacık boyutu, su içeriği, yoğunluklara, boşluk oranı, konsolidasyon katsayıları ve sıkışma endeksine zeminin mühendislik özellikleri doğrultusunda yorumlar getirilmiştir. Gerilme değerleri referans alınarak yapılan kıyaslamalarda ise uygun şartlar ve doğru uygulama sağlandığında iyileştirme gözlemlenmiştir.

Lo vd., (2009) geosentetik sarmallı olarak oluşturulan ve çok yumuşak bir killi ortama yerleştirilen bir taş kolonun yük altındaki davranışını nümerik yöntemler kullanarak matematiksel olarak incelemişlerdir. Makalelerinde kompakte edilmiş dolgu malzemesi ve geosentetik malzemenin rijitlik özelliklerinin taş kolon performansına olan etkisi değerlendirilmiştir.

Khabbazian vd., (2010) yanal destek sağlayan yüksek rijitlikteki geosentetik malzeme ile sarmalanmış taş kolonun davranışını nümerik modelleme ile incelemişlerdir. Araştırmacılar taş kolonun davranışlarını etkileyen, geosentetik malzemenin rijitliği, dolgu malzemesinin kayma mukavemeti özellikleri, kolon çapı yanal zemin itkisi gibi parametreleri ABAQUS programında modellemişler ve parametrelerin etkinliklerini saptamışlardır.

Ali vd., (2010) yüzen kolon özelliğinde imal edilen taş kolonların çok yumuşak killi ortamlardaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar yüzen taş kolonları geotekstil sarmallı ve klasik inşa yöntemleri ile ayrı ayrı deneye tabi tutmuşlar ve karşılaştırmalı olarak sonuçları irdelemişlerdir.

Niroumand vd., (2011) taş kolon imalinde önemli bir uygulama tekniği olan vibro-kompaksiyon yöntemi üzerinde çalışmış ve bu yöntemin daha etkin ve kolay uygulanması üzerinde ar-ge çalışmaları yürütmüştür.

Murugesan ve Rajapogal (2006), sarmal malzemenin taş kolona tatbikini kolaylaştıran yöntemler üzerinde durmuştur.

Bu tezde yer alan tüm laboratuvar çalışmalarının esası taş kolon uygulamalarında yer alacak lastik türlerinin parçalar halinde değil de bir bütün şeklinde sarmal eleman

olarak kullanılmasına dayanmaktadır. Bölüm 3' te de anlatıldığı gibi lastiklerin birçok parçalanma yöntemi ve şekli bulunmaktadır.

Ömrünü tamamlamış lastiklere (ÖTL), piyasaya geri kazandırılması için uygulanan genel olarak beş adet aşama mevcuttur (Uslu vd., 2012). Bunlar; toplama, ayrıştırma, taşıma ve aktarma, depolama ve işleme adımlarıdır. Her bir aşamada çokça uygulama bulunmakta olduğu gibi özellikle ayrıştırma kısmında lastik geri dönüşüm tesislerinde kullanılacak makinelerin maliyetleri ve bakımları büyük meblağlar taşımaktadır. Bu yüzden eğer taş kolon imalat amacımızı gerçekleştirirken lastikler parçalanmadan kullanılırsa ekonomik anlamda büyük bir külfetten kurtulmuş olunacaktır.

Her ne kadar atık lastikler çok etkin ucuz ve kolay bir hafif dolgu malzemesi olarak kabul edilse de, aslında lastiklerin agrega olarak kullanılabilmesi için sıyrılma, parçalanma ve kıyılma gibi aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bu süreç ise hem zaman hem de maliyet arttırıcı unsurlardır. Atık lastiklerin parçalanma aşamaları Bölüm 3' te detaylı bir biçimde açıklanmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yumuşak ve gevşek zeminlerin iyileştirilmesinde taş kolon uygulaması; diğer yöntemlere kıyasla çok ekonomik olması, hızlı ve basit inşa sürecine sahip olması, teknik ekipman ve uzman teknisyenler gerektirmemesi gibi sebepleri ile son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Arazi deneylerinde ve bu konuda yapılan yüzlerce akademik yayında, yapıdan gelecek yükleri yeterli güvenlikle taşıyamayacak zeminlerin, taşıma gücünü artırmada, oturma süresini azaltmada ve sıvılaştıran ve ya mukavemetini kaybeden zeminlerin sağlamlaştırılmasında bu yöntem oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Selçuk, 2009).

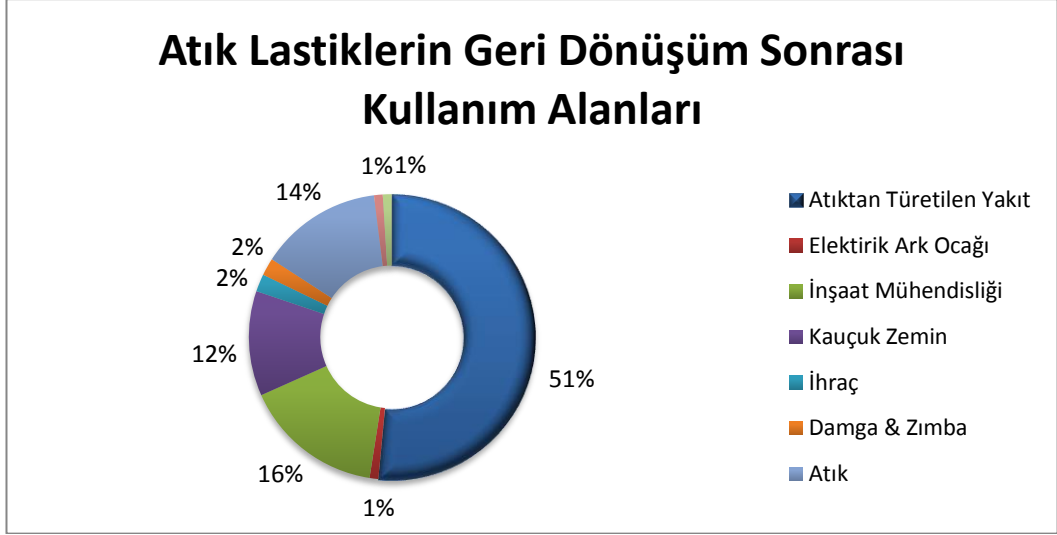
Uygulama alanlarındaki son kullanıcıların tecrübeleri, taş kolonların özellikle yumuşak killerde, siltlerde ve siltli kumlarda güçlendirme amacıyla kullanılabileceğini ispatlamıştır. Taş kolonlar; yumuşak killerde yanal drenaj sağlaması sonucunda konsolidasyon oturmalarını hızlandırılır ve zemini konsolide eder. Diğer yandan iri daneli zeminlerde ve kumlarda ise ortamın iskelet yapısını sağlamlaştırması ile sıvılaşma türü problemlerin ortaya çıkmasını engeller.

Günümüzde taş kolon uygulamalarında üzerinde durulan en önemli husus, daha ekonomik malzeme kullanarak daha basit uygulama teknikleri ile daha güçlü kolon

imal etme üzerinedir. Bunun yanında, kaynaklar incelendiğinde, kolon içinde kullanılacak dolgu malzemesinin geri dönüşüm menşeli olması üzerinde duran ve oldukça çok atıf alan akademik makalelerin bulunduğu görülmektedir. Bunların en ilgi çekici olanlarından biri taş kolonda kullanılan geri dolgu malzemesinde belirli oranlarda atık lastik parçacıkları dahil edilerek gerçekleştirilmiş olanlardır. Bu tez kapsamında temel inceleme konusuna en yakın olan çalışma alanı olması nedeni ile önem arz etmektedir.

Atık lastikler geoteknik mühendisliğinde birçok özelliğinden dolayı tercih edilen bir malzemedir. Düşük yoğunluğu, yüksek mukavemeti, düşük ısı iletkenliği, su geçirmezliği, dayanıklılığı, esnekliği ve yüksek sürtünme dayanımı ile aranan karakteristikte bir elemandır. Ulaşılması kolay olan ve hemen hemen her organize sanayi bölgesinde bir depolama alanına sahip olan atık lastikler maliyet açısından fayda sağlayacağı gibi aynı zamanda dayanıma olacak olan katkısı bu çalışmada detaylı olarak incelenmiştir. Mühendislik hizmetleri için büyük bir kaynak sayılabilecek bu materyalin tüm dünyada milyonlarca tonu boşa çıkmış ve depolama alanlarında bulunmaktadır. Bu lastiklerin az sayıda ve çeşitlilikte olsa da; aşağıda belirtildiği gibi geri dönüşüm süreçleri ile ekonomik bir katma değer haline getirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Atık lastiklerin belirli oranlarda öğütülerek elde edilen granül lastik parçaları farklı yüzdelerde ile karıştırılmış kum-lastik parça karışımlarına ilişkin birçok arazi ve laboratuvar çalışmaları mevcuttur (Naval vd., 2012).

Dünya genelince her yıl yaklaşık olarak; Hindistan 100.000.000 ton, Kore 20.000.000 ton, Amerika Birleşik Devletleri 250.000.000 ve Kanada 28.000.000 ton lastik atığı çıkarmaktadır (Yoon vd., 2008). Ve bu atıkların kontrolsüz bir biçimde depolanması çevre ve insan sağlığı açısından sorun teşkil etmektedir. Bunun için geri dönüşümle birlikte hem teknoloji hem de sağlık açısından kullanılması oldukça elverişli bir sistemidir. Atık lastikler Şekil 1.4' te görüleceği üzere geri dönüşüm süreçlerinde değerlendirilmektedir. İnşaat mühendisliği uygulamaları bu dağılımda % 16' lık bir yüzdeye sahiptir. Bu oranın arttırılması inşaat mühendisliği uygulamalarında yenilikler yapılması ile mümkün olabilir.



Şekil 1.4: Atık lastiklerin geri dönüşüm ile tekrar kullanılma dağılımı.

Taş kolonlar genellikle yumuşak ve orta katı kil zeminlerde, problemli zemin tabakası kalınlığının çoğu zaman on metreden az olduğu koşullarda tercih edilmektedir. Taş kolonların genellikle uçlarının sağlam bir taban zeminine oturtulması tavsiye edilmektedir.

Taş kolonların kullanım amaçları; konsolidasyonu hızlandırmak, taşıma gücünü artırmak, sıvılaşma potansiyelini azaltmak, dolgu ve şev stabilitesini sağlamak, zeminin yerinde sıkılaştırılması, kayma gerilmelerinin alınması olarak özetlenebilir.

Taş kolonların bahsedilen tüm etkilerinin yanında daha az maliyetli bir durum çıkarılması bu yöntemin çok avantajlara sahip bir sistem olduğu anlamına gelmektedir. Aynı ve ya daha yüksek dayanımla birlikte düşük maliyet sağlanması taş kolonda kullanılacak agregalara belirli oranlarda atık lastik parçacıkları dahil edilerek gerçekleştirilebilir. Çalışmaların en can alıcı özelliğinden biri de bu uygulamanın hemen hemen hiçbir maliyete gerek duymadan yapılabilmesidir. Bu çalışmada yapılması amaçlanan ise, diğer akademik kaynaklarda yer almamış bir bakış açısı ile taş kolon imal etmektir. Çalışma kapsamında atık lastikler parçalanmadan bir bütün olarak kullanılacak, lastiğin dairesel bütüncül yapısından yararlanılıp, lastiklerin içerişine geri dolgu malzemesi yerleştirilecek ve taş kolon imali gerçekleştirilecektir. Bu sayede atık lastikleri hiçbir dönüşüm sürecine dahil etmeden oldukları gibi yeniden kullanma imkanı sağlanmış olacaktır.

Bu yenilikçi yaklaşımla imal edilecek olan taş kolonların zemine entegre edilmesi diğer taş kolon tekniklerinin temel prensiplerine benzemektedir. Proben kuyuyu açmasından sonra bütün haldeki atık lastiklerin belirlenen derinlikten itibaren

kademeli olarak üst üste yerleştirilmesi planlanmaktadır. Daha sonra ise geri dolgu malzemesi aşamalar halinde lastiklerin içerisine sıkıştırılarak doldurulacaktır.

Aşağıda görüleceği gibi bir sonraki başlıkta sonuç olarak yüksek dayanım veren taş kolon agregalarının atık lastikler ile birlikte kısmen esneklik kazanarak daha az şekil değiştirme değerleri gösterdiği birçok deney ve çalışmalar sonucu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ise lastiklerin vazifesi parçacıklar halinde belirli oranda dolgu malzemesi olarak kullanılmak yerine taş kolonu sargılamaktır. Böylece basınç altında lastiklerden, betonarme kolonlardaki etriye gibi sargılama görevi alması beklenmektedir. Diğer bir deyişle, taş kolonların bilinen yapım tekniğine ek olarak atık lastikler, kolon iskeletinin etrafına bir kılıf oluşturacak şekilde sargılanmaktadır.

2. TAŞ KOLON ÖZELLİKLERİ

2.1 Taş Kolon Uygulaması

Zemin içerisine açılan silindirik boşlukların içine kademeler halinde granüler malzemeler ile yukarıya doğru doldurulup sıkıştırılması işlemlerinin adıdır. Bu işlemden önce açılan kuyu yıkanarak temizlenir. Her kademedede granüler malzeme doldurulduktan sonra sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Delme aşamasında zemin içinde vibroflot aleti, burgu vb. delgi aletleri kullanılarak ve ya ucu kapalı bir borunun çakılması ile istenilen kolon alt ucu derinliğine kadar kuyu şeklinde bir boşluk oluşturulur. Kolon oluşturma safhasında ise kuyu çevresindeki zeminde gevşeme oluşmaması, sıkıştırma uygulanırken çevre zeminin yanıl yer değıştirmeye zorlanması ve her geri dolgu kademesinin sabit ve kontrollü enerji uygulanarak sıkıştırılması önem taşımaktadır.

Taş kolonların uygulama alanları ise genellikle şöyledir:

- Endüstriyel ve konut binaları
- Karayolları
- Havaalanları
- Demiryolları

2.2 Taş Kolon Yapım Yöntemleri

Taş kolon imalatında dolgu malzemesi adı altında kum, çakıl, beton, taş ve tuğla parçaları vb. materyaller kullanılabilmektedir. Taş kolonların üretim aşamasında izlenecek üç esas bulunmaktadır. İlk olarak zemine ucu kapalı bir muhafaza borusu penetre edilerek dolgu malzemesinin yerleştirilip sıkıştırılacağı bir yol açılır. Doldurulmaya hazır hale gelen boşluğa tercih edilen dolgu malzemesi yerleştirilir. Bu yerleştirme işlemi tabakalar halinde yapılır ve her tabakada sıkıştırma gerçekleştirilir.

Verimli bir sonucun alınabilmesi için taş kolonun yapım türü çok önemli bir husustur. 1830' lardan bu zamana kullanılan taş kolon yapım teknikleri günümüze ulaşana kadar önemli gelişmeler göstermiştir. Uygulanabilirlik açısından önemli ilerlemeler kaydedilirken taşıma kapasitesi artırılması bakımından da başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

İnşa edilecek olan konstrüksiyona ve zemin parametrelerine göre en uygun taş kolon yapım yöntemi belirlenmektedir. Her metodu saha koşullarına göre karakteristikleri farklılıklar göstermektedir. Genel olarak taş kolon yapım yöntemleri üç şekilde imal edilmektedir (Vekli, 2009).

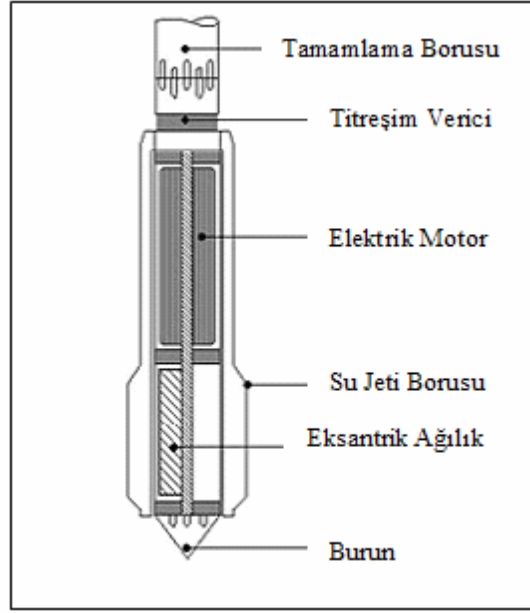
- Vibroflatasyon Yöntemi
- Tokmaklama Yöntemi
- Diğer Yöntemler

İyileştirme, kohezyonsuz zeminlerin derin kompaksiyonu ile birlikte gerçekleştirmektedir. Vibroflatasyon yöntemi;

- Vibro-yerdeğiştirme metodu (ıslak metot)
- Vibro-öteleme metodu (kuru metot) olmak üzere iki türde sınıflandırılabilir.

Vibroflatasyon makinesi, zayıf zemine titreşimler yayarak ilerlerken yüksek dayanımlı bir tabaka meydana getirmek için bir boşluk oluşturmuş olur. Boşluk, gradasyonu belirlenmiş irilikteki çakıl ile üstten veya dipten beslenirken aynı anda vibrasyon uygulanması yöntemiyle sıkıştırma yapılarak taş kolon imal edilmiş olmaktadır. Taş kolonlar ile üstyapı proje yüklerine, saha ve zemin koşullarına bağlı olarak zeminin taşıma kapasitesi artırılmakta, oturma (konsolidasyon) süresi azaltılmakta ve deprem durumunda sıvılaşan veya mukavemetini kaybeden zeminler sağlamlaştırılmaktadır (Vekli, 2009).

Vibroflatasyon yönteminde, içinde dış merkezli bir ağırlığın döndüğü genellikle 40-50 santimetre çap aralığında, 3-5 metre uzunluğunda titreşimli bir vibroflat kendi ağırlığı ve titreşim etkisi ile zemine penetre ederken aletten zemine yayılan vibrasyon enerjisinin etkisi ile çevre zeminde sıkışma sağlanır.

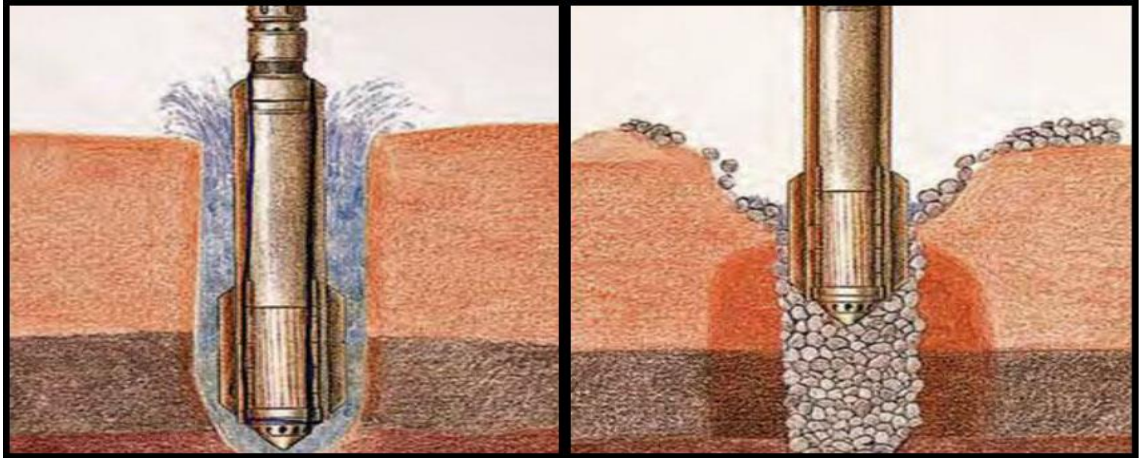


Şekil 2.1: Vibroflot başlığı ve kısımları (Vekli, 2009).

2.2.1 Islak üstten beslemeli yöntemle taş kolon imali

Kullanılmaya 1960' lı yılların başlarında Almanya' da başlanmıştır. Vibro-yer değiştirme yöntemi diye de adlandırılan bu metotta 30-46 cm çapında dönel bir sondanın kendi ağırlığı, uygulanan titreşimin etkisi ve su jeti desteği ile zeminde istenilen derinliğe kadar yol açılır. Kılıflanmış olan delik, su jeti ile temizlenerek 40-80 cm tabakalar halinde kolon malzemesi içerisine doldurulur ve malzeme vibrasyon yardımı ile kompakte edilir. Kompaksiyon aşaması ile birlikte malzeme delik çeperlerine doğru ötelenmiş olur.

Islak üstten beslemeli taş kolon yönteminde vibratör istenen derinliğe kadar su jeti yardımı ile indirilir ve bu esnada vibratör çevresinde bir boşluk yaratır. Oluşan bu boşluğa zemin yüzeyinden uygun gradasyondaki taş beslenerek, vibratörün yukarı yönde vibrasyon ile çekilmesi esnasında boşluktaki taş yanal yönde çevresindeki zemini deplase ederek sıkıştırmasını sağlar ve bu şekilde sıkıştırılmış bir taş kolon elde edilir.

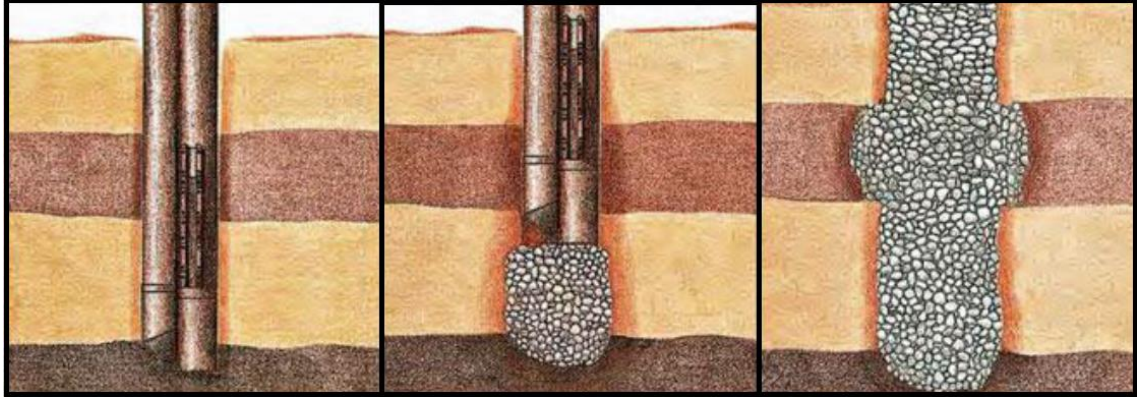


Şekil 2.2: Islak metot uygulaması ile taş kolon imali (URL-3).

2.2.2 Kuru tabandan beslemeli taş kolon yöntemi

İlk olarak 1970' li yıllarda yine Almanya' da kullanılmaya başlanan kuru tabandan beslemeli taş kolon yönteminde, dönel sonda zayıf zemin veya dolgunun içerisine kendi ağırlığı, vibrasyon ve hava basıncı desteği ile belirlenen seviyeye kadar indirilir. Vibro-öteleme metodu olarak da isimlendirilen kuru metodun, vibro-yer değiştirme metodundan en ayırt edilen özelliği penetrasyon esnasında su kullanılmamasıdır. Çevresel koşullar ya da alanda su temin edilememesi durumlarda bu metodu seçmek avantaj sağlayabilir. İstenilen derinliğe erişildikten sonra sonda delikten çıkartılır ve dolgu malzemesi katmanlar halinde yerleştirilir. Her tabakanın doldurulmasını tamamlandıktan sonra, sonda boşluğa tekrar itilir ve malzemenin uyguladığı basınçla malzemeyi düşey ve radyal yönde yeterli ölçüde sıkıştırarak taş kolon imal edilmiş olur. Kuru yöntemde, ıslak yöntemde olduğu gibi deliğin zemini öteleme ile oluşturulması sebebiyle dışarı yönde herhangi bir zemin çıkışı gözlemlenmemektedir.

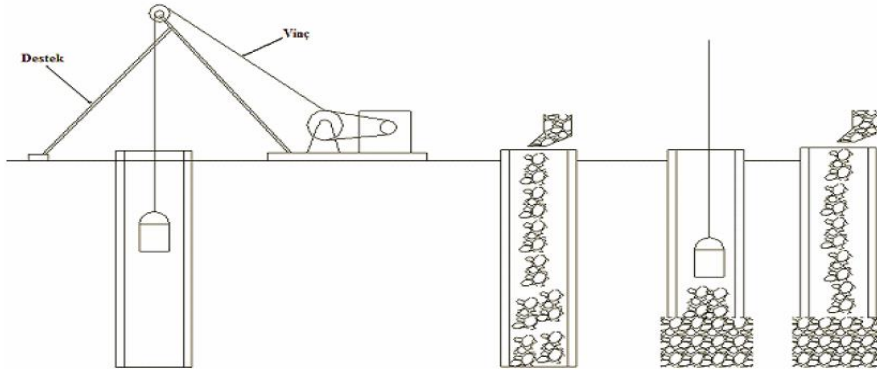
Kuru tabandan beslemeli metotta vibratör, titreşim ve hava jeti yardımıyla istenen seviyeye indirilir. Taş kolonun imaline başlanması için vibratör kenarında yer alan boru aracılığı ile münasip iriliğe sahip kırma taş delgi tabanına konuşlandırılır. Bu yöntemde taş kolon çapı, çevresindeki zeminin dayanımıyla ilgili olarak farklılıklar gösterebilir. Vibratör, titreşim uygulayarak yukarı yönde çekilirken vibratör yanındaki borudan dolgu malzemesi ilave edilmesi sürdürülür. Böylece doldurma işlemi tamamlanınca taş kolon inşası bitmiş olmaktadır.



Şekil 2.3: Kuru metot uygulaması ile taş kolon imali (URL-4).

2.2.3 Tokmamlama yöntemi ile taş kolon imali

Öncelikle kaplama borusu ve sondaj ekipmanı zemine penetre edilerek zeminde bir delik açılmaktadır. Bu yöntemde, taş kolonlar zemin içersine tabakalar halinde dahil edilir. Dökülen her tabakadan sonra kaplama borusu içindeki tokmak, tabakaları istenilen düzeyde sıkıştırmaktadır. Bir yandan da kaplama borusu hızlı bir şekilde geri çekilir ve tokmamlama işlemi ile dolgu malzemesi zemin içersine iyice yerleştirilmiş hale gelir.

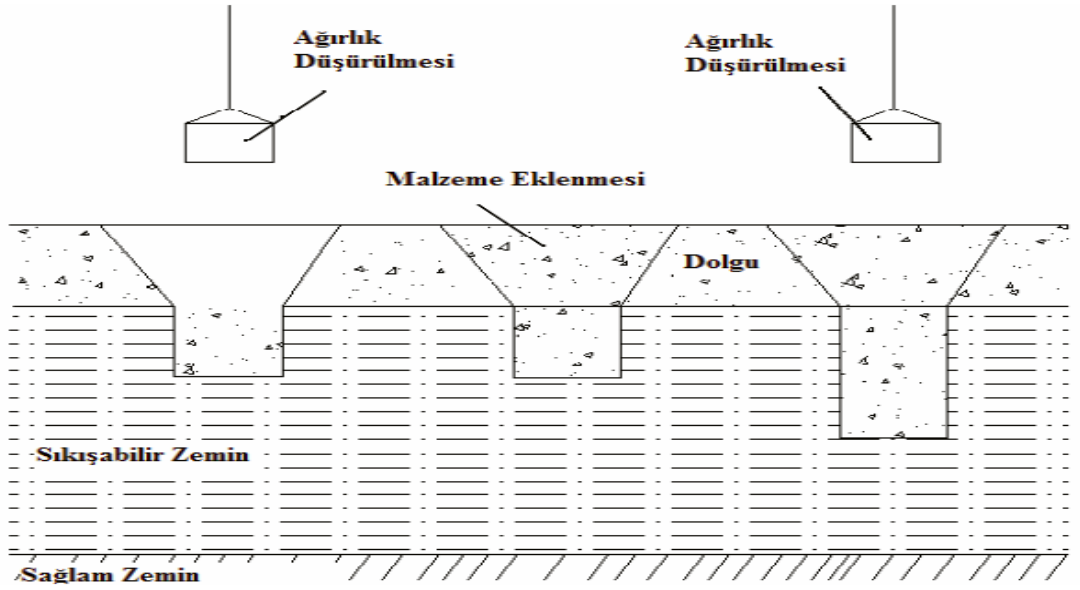


Şekil 2.4: Tokmamlama metodu ile taş kolon imali (Vekli, 2009).

2.2.4 Diğer yöntemler

2.2.4.1 Dinamik yer değiştirme yöntemi

Dinamik konsolidasyon ve taş kolon tekniklerinin bir arada uygulanması sonucunda tatbik edilebilen yöntemdir. Temel altındaki zeminlerde ve iki tekil temel arasında kalan bölgede tercih edilen bir uygulamadır. İlk olarak 1980 yılında Fransa’ da uygulanmaya başlanmıştır. Yöntemde sıkışabilir zemin tabakası üzerine serilen dolgunun üzerine ağırlık düşürölür ve dinamik kompaksiyon yönteminde olduğu gibi stabilize malzemenin sıkışabilir zemin tabakasına doğru ilerlemesi sağlanır. Stabilize malzemenin düşey yönde sıkışması sonucunda oluşan boşluk tekrar aynı malzeme ile doldurulur ve bir kez daha ağırlık desteği ile kompakte edilir. Projede belirlenen taş kolon boyuna ulaşana dek devam bu uygulama sürdürölür. Bu metot ile çok derin olmasa da iyi sıkışmış taş kolonlar elde edilir. Ek olarak düşürölün ağırlık sayesinde kolonlar altındaki zemininin de sıkışması sağlanmış olur.



şekil 2.5: Dinamik yer değiştirme metodu ile taş kolon imali (Vekli, 2009).

2.2.4.2 Tampon yöntemi

Bu yöntemde ise bir kaplama borusunun içerisine yerleştirilen iki adet ağırlık tipi vibratör zemine penetre edilir. Özel olarak tasarlanan kılıf ucu ve burada oluşturulan kum-çakıl tampon borunun içerisine zemin dolmasını sağlar. Sert zeminlerde imalat sırasında su jeti veya hava jeti kullanılmaktadır. Kaplama borusu ile istenilen derinliğe ulaşıldıktan sonra kaplama borusu geri çekilirken taş kolon malzemesi kaplama borusu üzerindeki giriş ağzından içeri dökülür ve sıkıştırılmış hava iletilerek kaplama borusu çıkartılır (Vekli, 2009).

2.3 Taş Kolon Boyutlandırılması ve Özellikleri

Zemin içerisine dahil edilmiş taş kolonun zemin ile oluşturduğu kompozit sistem, kolon çevresindeki zeminin kayma davranışı ile ilişkilidir. Taş kolonun mukavemetinin uygulandığı zeminden daha yüksek olması sebebiyle oluşan göçme mekanizmaları, davranış hakkında ışık tutmaktadır. Üretilen taş kolonun nasıl bir etki göstereceği taş kolonun etrafındaki zeminin ona ne kadar bir yanıl destekte bulunacağına bağlıdır. Eğer zeminin bu yanıl desteği yeteri kadar taş kolonu sıkı halde tutamazsa, kolon kaldıramayacağı bir yanıl genişlemeyle karşı karşıya kalır ve sonuçta göçer.

Zemin ile kolon yüzeyi arasında oluşan, göçmeye sebep olabilecek kayma gerilmelerinin meydana gelmesi genellikle iki durumdan kaynaklanmaktadır. Bunlardan birincisi, taş kolon ile onu sarmalayan zeminin farklı oturmalar göstermesidir. Seviye farklılığı görülen bu durumda düşey olarak kolon-zemin arasında ciddi kayma gerilmeleri oluşmaktadır. İkincisi ise, geniş yükleme alanı etkisinde üst yapı yüklerinin tamamının ya da büyük bir çoğunluğunun taş kolon tarafından karşılanmasıdır. Böylelikle zeminin taşıma kapasitesinden yeteri kadar yararlanılmamış olur ve kolon-zemin arasında önemli derecede kayma gerilmeleri yine aynı şekilde görülmüş olur. Bu iki durumda, taş kolonun taşıma gücünün üstüne çıkılması nedeniyle göçme gözlemlenir. Taş kolonlar bahsi geçen bu iki önemli durumdan kaynaklı olarak yanıl genişleme (açılma) ve kayma davranışları bakımından analiz edilmelidir.

Aksaray Üniversitesi Laboratuvarları'nda yapılan bu çalışmada amaçlanan hedeflerden biri de, taş kolonun üzerine gelen yükler etkisinde oluşabilecek yanal genişlemeleri engellemektir. Göçme davranışının oluşmasına sebep olabilecek olan kayma gerilmelerinin taş kolonu olumsuz etkilememesi için bütün lastikler kullanılmıştır. Taş kolon, bu bütün halde bulunan lastikler içerisine sıkıştırılmış vaziyette yerleştirilerek zeminin de yanal itkisiyle birlikte zeminle kompozit bir oluşturur. Bu doğrultuda uygun bir tasarım yapılması halinde, kayma gerilmeleri etkisinde oluşabilecek sorunların yaşanmaması muhtemeldir.

Taş kolon çapı belirlenirken dikkate alınması gereken hususlar aşağıda belirtildiği gibidir;

- Aplikasyon yapılacak sahada mevcut zeminin sıklığı
- Zeminin mukavemeti
- İmalat yöntemi
- Kompaksiyon enerjisi

Islak üstten beslemeli ve kuru tabandan beslemeli taş kolon imalat tekniklerinde kolon çapları büyük bir çoğunlukla 100 cm civarında, tokmaklama yönteminde ise 80 cm civarında olmaktadır. Projelerde belirlenen taş kolon çapları ile üretim esnasında oluşan taş kolon çapları arasında değişiklikler gözlemlenebilir.

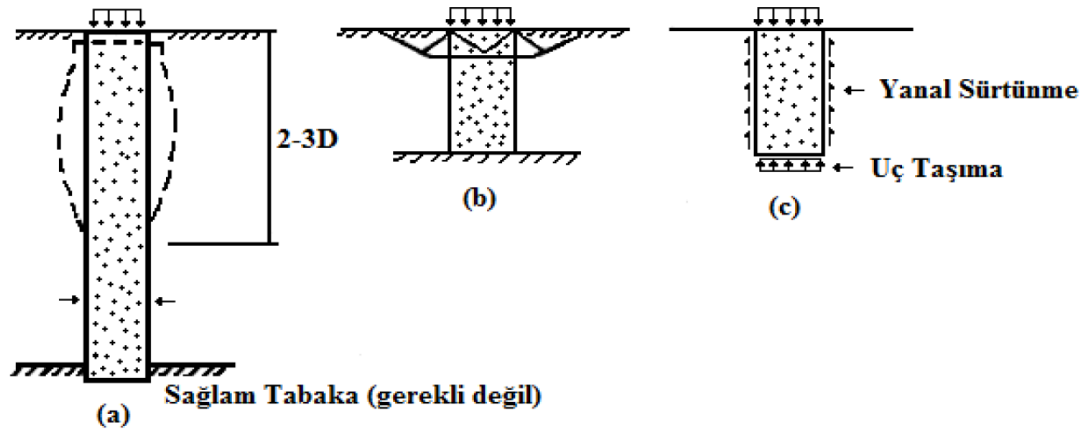
Taş kolon boyutlandırılırken, dayanımı artırma ve taşıma kapasitesine ulaşılması hedefi ile birlikte düşük oturma değerlerinin de elde edilmesi öncelikli amaçlardandır. Bu hedef doğrultusunda kolonların sağlam tabakaya oturtulması büyük önem taşımaktadır. Böylece kolonlara uç kazık rolü verilerek kapasite artışı ve oturma değerlerinde beklenen düşüş gözlemlenmektedir. Ancak sağlam tabakanın çok derinlerde olduğu durumlarda kolon boyu yumuşak zemin katmanında sona erdirilebilir. Dolayısıyla, taş kolonun uç direnç kazanamamakla beraber yüzen kolon davranışı sergileyecektir. Böylelikle beklenen taşıma kapasitesine ulaşılamaz ve oturma miktarları da istenen ölçüde olmamaktadır.

Seçilen malzemeye göre taş kolon elemanlarının içsel sürtünme açısı 40° ile 45° aralığında değişmektedir (Bell, 1975). Buna rağmen, dizayn yapılırken güvenlik katsayısı göz önünde bulundurularak içsel sürtünme açısının 38° olarak tercih edilmesi gerektiği tavsiye edilmektedir (Besancon, 1982).

2.4 Taş Kolon Göçme Mekanizmaları

2.4.1 Tekil taş kolonun göçme mekanizmaları

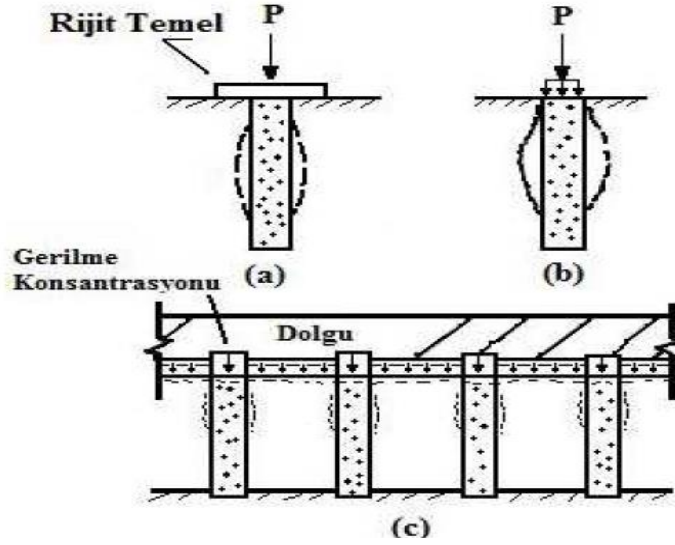
Zemin iyileştirme metotlarından biri olan taş kolonlar, yumuşak ve zayıf zemin tabakalarında uygulanmaktadırlar. Kolonların dizaynı sağlam zemine oturacak şekilde yapılmaktadır. Böylece taş kolon uç direnç katkısı da sağlayarak ek bir kapasite getirmiş olacaktır. Bir başka uygulama şekli ise yüzen kolon olarak tasarlanmasıdır. Kolon sağlam zemine oturmadığı için uç direnç kapasitesi sağlamaz ancak yine de çevresel sürtünme direnci ile kayda değer bir güçlendirmeye sebep olur. Şekil 2.6’ da homojen zeminde tekil taş kolonun göçme mekanizmaları gösterilmiştir (Kurt, 2011).



Şekil 2.6: Homojen zeminde tekil taş kolon için göçme mekanizmaları.

(a) uzun taş kolon, sağlam tabakada veya yüzen sistem olarak, (b) rijit kısa kolon, kesme göçmesi, (c) yüzen sistem kısa kolon, zımbalanma göçmesi (Barksdale vd., 1983).

Yükün uygulanma şekli de taşıma kapasitesi ve oturma davranışlarının karakteristiği açısından oldukça önem taşımaktadır. Şekil 2.7’ de üç farklı yükleme tipi çizimler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Üç farklı yük uygulanma tipi

(a) rijit temel yüklemesi, (b) plaka yüklemesi, (c) dolgu yüklemesi (Barksdale vd., 1983).

Şekil 2.7 (a)' da görüldüğü üzere eğer yükün uygulandığı kısım kolon çapından daha geniş bir alanı kapsıyorsa yanıl genişleme önlenmiş olmaktadır. Böylelikle oturmalar azaltılmış dolayısıyla da taşıma kapasitesi arttırılmış olunur. Bir başka yük uygulama türü olan plaka yüklemesinde ise yük uygulama alanı ile kolon çapı aynı geometridedir. Plaka yükleme ile aktarılan basınç sonucunda yanıl gerilmelerde bir artış söz konusudur ve bu oturmaların bir miktar daha artmasına sebep olabilir. Şekil 2.7 (b)' de plaka yüklemesinden dolayı oluşan yanıl genişleme görülmektedir. Şekil 2.7 (c)' de de dolgu yüklemesi belirtilmektedir. Dolgu yüklemesinde yükler, kolon ve kolonu çevreleyen zemin tarafından beraber taşınmaktadır. Böylece oturmalar ciddi ölçüde azaltılmaktadır (Kurt, 2011).

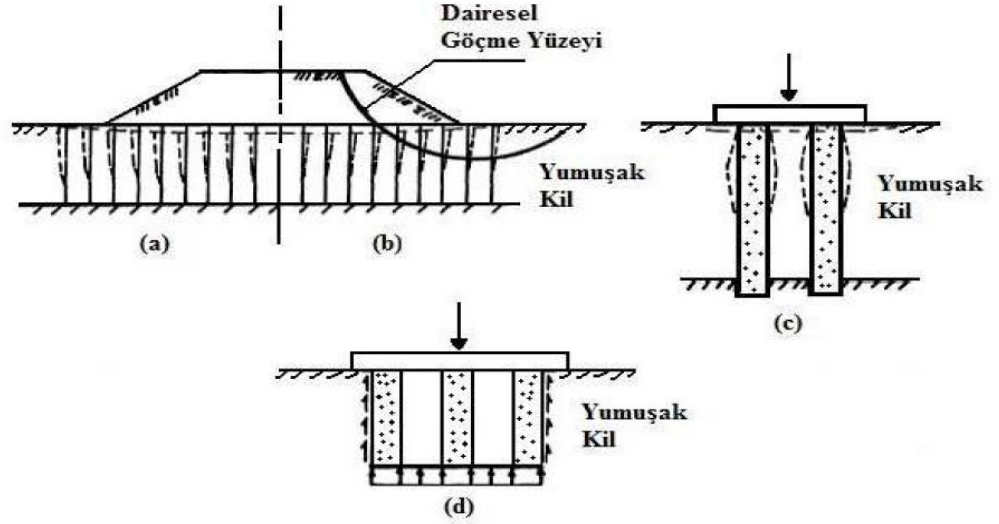
2.4.2 Grup halindeki taş kolonların göçme mekanizmaları

Grup halinde bulunan taş kolonların her biri, yine aynı geometrideki tekil olan taş kolon ile karşılaştırıldığı zaman nihai taşıma kapasitesine göre daha yüksek yükleme gücüne sahiptir. Birbirleri arasındaki mesafe ile bağlantılı olarak taş kolon grubu birlikte davranış sergilerler. Her bir taş kolonun diğerine olan olumlu etkisi taşıma kapasitesi ve oturma değerleri açısından avantaj sağlamaktadır. Birbirlerinin etrafına yerleştirilmiş taş kolonların üretimi ile zemin kolonlar arasında kalmaktadır. Böylece

iç kısımdaki kolonlar ile birlikte zeminin de hareket etmesinin önüne geçilmiş olunur. Beraber çalışan bu kompozit sistem sayesinde her kolonun taşıma kapasitesinde bir artış gözlemlenir.

Yüklemeler geniş alana uygulandığında sıkışabilir zemin ve taş kolonda yaklaşık olarak aynı miktarlarda oturma değerleri gözlemlenmektedir (Vautrain, 1977).

Taşıma kapasitesi düşük olan zayıf zeminlerde dolgu inşaatı ile ilişkili olarak temel yapısı altındaki zemin ötelenme davranışı sergiler. Yanal genişleme olarak da bilinen bu davranış zemin ile taş kolonun oluşturduğu kompozit sistemdeki yanal destek kuvvetini azaltmaktadır. Grup vaziyetteki taş kolonlar da tekil taş kolonlar gibi yanal genişleme ve ya uç taşıma kapasitesinin üzerine çıkılması durumunda oluşan gerilmeler sebebiyle göçmektedirler. Bu mekanizmalar Şekil 2.8’ de gösterilmiştir.

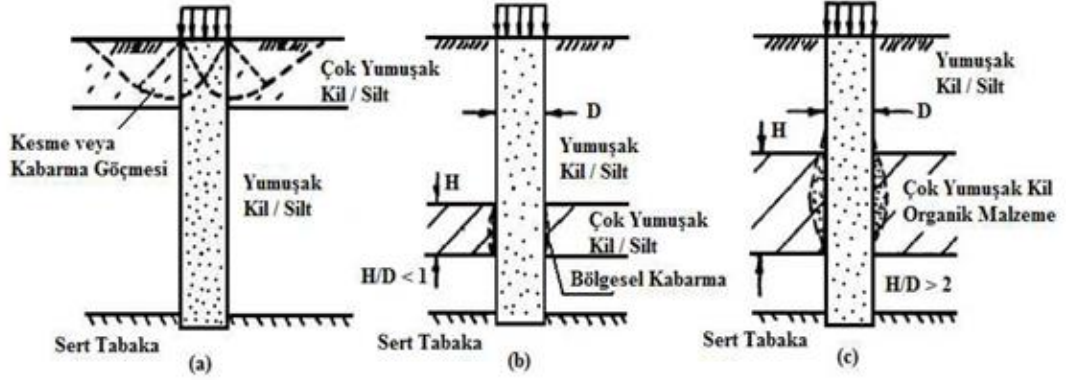


Şekil 2.8: Grup halindeki taş kolonlar için göçme mekanizmaları

(a) yanal genişleme, geniş dolgu yüklemesi, (b) genel dairesel göçme, (c) kabarma göçmesi, küçük grup, (d) kısa kolonlar, zımbalama göçmesi (Barksdale vd., 1983).

Farklı zemin türleri barındıran zeminlerde yumuşak kohezyonlu birimlerin bulunması durumunda tekil taş kolonlarda ya da grup halinde olan taş kolonlarda yanal genişleme şeklinde göçme mekanizmaları görülmektedir (Kurt, 2011). Bu tip göçme mekanizmaları Şekil 2.9’ da verilmiştir. Eğer yüzeye yakın kısımda 1m-2m kalınlıklarında yumuşak ve kohezyonlu tabakalar bulunuyorsa göçme davranışı Şekil 2.9 (a)’ daki gibidir. Bölgesel kabarma olduğu durum Şekil 2.9 (b)’ de verilmiştir.

Ayrıca, Şekil 2.9 (c)' de belirtildiği gibi arazi deneylerinden yola çıkılırsa, bahsi geçen tabakaların kolon çaplarının olması gerekenden büyük olduğu durumlarda taş kolonda önemli derecede stabilite sıkıntılarının mevcut olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 2.9: Homojen olmayan kohezyonlu zeminlerde taş kolon göçme mekanizmaları (a) yüzeyde yumuşak tabaka, kabarma ve ya kesme göçmesi, (b) ince çok yumuşak tabaka, sınırlı yerel kabarma, (c) kalın çok yumuşak tabaka, yerel kabarma göçmesi (Barksdale vd., 1983).

2.5 Taş Kolon Uygulamasının Avantajları

Zemin koşulları kötü olan alanlardaki yapıların temel inşaat maliyetleri oldukça yüksek olmasından dolayı ekonomik yöntemler revaçta olmaktadır. Her geçen gün tüm aplikasyonların daha ekonomik olması için sayısız çalışmalar yapılmakta ve teknolojiyi geliştirmek için çaba sarf edilmektedir. Yumuşak killerde, siltlerde ve siltli kumlarda tercih edilen taş kolon uygulamaları, zayıf zemin güçlendirme teknikleri arasında günümüze kadar kolaylıkla uygulanabilmiş ve devamlılığını sürdürmüş çalışmalardandır.

Bu tezde yürütülen taş kolon uygulamalarında esas hedefler arasında yer alan en büyük etmenlerden biri finansal avantaj sağlanmasıdır. Dünyada atıl halde bulunan milyonlarca atık lastiğe bu çalışmada bir kullanım alanı daha ortaya konulmuştur. Birçok firma ve depolama tesisleri bu lastikleri stoklarken belirli maliyetler karşı karşıya kalmaktadır. Lastik sarmallı taş kolonların yaygınlaşması ile birlikte malzeme temininde sıkıntı yaşanmazken aynı zamanda firmalara da kolaylık sağlanacaktır.

Genellikle taşıma gücü az sahalarda düşük kapasiteli zemin sıyrıldıktan sonra sağlam dolgu zemin uygulaması uygulanarak stabilite sağlanmaktadır. Bu da öncelikle kazı maliyetine sonra da taşıma ve depo masraflarına sebep olmaktadır. Üstelik sağlam dolgu yerleştirilirken de sıkıştırma işlemleri uygulanarak finansal sakıncalarla karşılaşılacaktır.

Taş kolonların yumuşak zeminlerde kullanılma üstünlüğü tüm bu dezavantajlara meydan vermemektedir. Yumuşak zeminlerin işlenebilme kolaylığı da delme esnasında sorun yaratmamakla birlikte kolonun sıkıştırılması esnasında rahat bir biçimde zemini sıkıştırarak stabilite artışını gerçekleştirmektedir.

Özellikle ıslak üstten besleme yöntemi ile imal edilen taş kolonlarda gözlemlenen bu avantaj, bu metoda özgü uygulama işlemlerinden dolayı meydana gelmektedir. Vibratörün yeterli derinliğe inmesinden sonra geri dolgu malzemesinin oluşan boşluğa dolarken zemini yanal yönde sıkıştırması sebebiyle iyileştirme sağlanmaktadır.

Şevli ortamlarda özellikle permeabilitesi yüksek zeminlerde suyun hızlı bir şekilde drene olmasından dolayı konsolidasyon gözlemlenmesi beklenir. Bu sebepten göçme mekanizmalarını olumsuz biçimde etkileyecek şartların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Ayrıca zeminin geçirgenlik durumuna göre koşullar ele alınarak analizler yapılmalıdır. Bunun sebebi ise drenaj şartlarının farklı durumlara göre değişkenlik göstermesi olarak belirtilmektedir. Kısa süreli stabilite problemlerinde, yani inşaat ve kazı sırasında, drenajsız koşullar geçerli olurken uzun süreli stabilite incelemelerinde, drenajlı durumu ele almak uygun olacaktır (Vekli, 2009).

İnce daneleri malzemelerde etkin bir iyileştirme sağlayan taş kolon uygulamaları doğrultusunda birçok araştırmada olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Çeşitli drenaj koşullarını ele alarak yapılan şevli ortamlardaki taş kolonların deneysel ve sayısal analiz sonuçları değerlendirildiğinde, taş kolonlarla güçlendirme yapıldıktan sonra şevli yumuşak zemin üzerine inşa edilecek yapıların taşıma güçlerinin arttığı ve oturma değerlerinin azaldığı görülmüştür (Vekli, 2009).

Taş kolon aplikasyonu imalatı hızlı bir uygulamadır. Vibratör öncelikle istenilen derinlikte ve genişlikte çukuru açmaktadır. Daha sonra geri dolgu malzemesi tabakalar halinde sıkıştırılarak yerleştirilmektedir. Bu işlemler iş makineleri desteği ile seri bir şekilde yapılarak hızlı bir biçimde gerçekleştirilmektedir.

Her zeminin mühendislik özelliklerine göre farklı iyileştirme yöntemleri bulunmaktadır. Doğru zeminde doğru güçlendirme yapıldığı takdirde zemin taşıma kapasitesinin kayda değer bir artış meydana gelir. Taş kolon aplikasyonlarında açılan çukura doldurulan geri dolgu malzemesi yerleştirilirken zemin yanal olarak sıkışır ve boşluk oranında düşüş sağlanır. Birim hacim ağırlığın artışına bağlı olarak gerilmeler altında taşıma gücü artar ve zemin yer değiştirmelerinin önüne geçilir. Düşey yönde ise oluşturulan kolonun eksenel kuvvet karşısındaki yüklere karşı gösterdiği direnç sayesinde mukavemet gösterilmektedir.

Oturmaların azaltılması taş kolon uygulamalarının esas hedefleri arasında yer almaktadır. Zeminin geçirgenliği oturma analizlerinde başrol oynamaktadır. Konsolidasyon sürecinde suyun zeminden uzaklaşması ile oturmalar süre gelmektedir. Bu sırada yüklenen yükler giderek taş kolona basmaktadır ve taş kolonlar geçirimliliği yüksek zeminlerdeki asli görevini bu aşamada yerine getirmektedir.

Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan en zorlu problemlerden birisi de sıvılaşma sorunudur. Bu oluşum ve taş kolonlar ile önlenmesi hakkında birçok çalışma yapılmıştır ve taş kolon aplikasyonlarının iyi neticeler verdiği gözlemlenmiştir. Non-plastik silt içeriği yüksek bir zeminde yapılan çalışmada, taş kolonların yerleşme formasyonundan kaynaklanan kompaksiyon işlemi ele alınmıştır. Taş kolonların performans analizi sonucunda davranışları incelenmiş ve sığ temellerde non-plastik siltli alanlarda sıvılaşma davranışına karşı 45 kPa büyüklüğündeki gerilmeler altında verimli bir metot olduğu kanısına varılmıştır (Adalier, 2003).

3. TAŞ KOLON ÜRETİMİNDE LASTİK KULLANIMININ YERİ VE ÖNEMİ

3.1 Lastiklerin Geri Kazandırılması ve Çevre

Türkiye’de 2004 yılı istatistiklerini incelediğimiz zaman lastik üretimi adedi 24 milyonu bulmaktadır. Bu lastiklerin 13 milyonu ihraç edilirken, 11 milyonu ülke dahilinde kullanılmıştır. Üretilen lastiklerin 2.75 milyon adedi yeni araba ve taşıtlara takılırken, 8.5 milyon adedi lastik yenilenmesinde kullanılmıştır. Bu verilere göre 2004 yılında değiştirme sonucu yaklaşık 8.5 milyon lastik atığa çıkmıştır. Aynı zamanda her yıl yaklaşık olarak 200.000 ton civarında ÖTL hurdaya ayrılmaktadır (Karabörk ve Akdemir, 2013).

Bu istatistiklerden yola çıkarak bir tahminde bulunursak, atık lastiklerin geri kazanılmayacağı, üretim ve tüketim rakamlarının önümüzdeki 10 yıl içinde değişmeyeceği durumunda, bu süre sonunda 850.000 ton atık lastik oluşacaktır (Karacasu ve Bilgiç, 2009). Fransa’ da yıllık 10 milyon parçalanmış lastik birikimi vardır. Bu lastikler küçültme yöntemi ile depolanmaktadır. Lastikler depolanmadan önce ince şeritler halinde kesilerek küçültme yöntemi uygulanmaktadır.

Amerika’da her yıl 270 milyon adetten fazla parçalanmış lastik üretilmektedir. Ayrıca mevcut durumda 300 milyon adet lastik stoğu bulunmaktadır (Siddiqueand ve Naik, 2004).

Atık lastiklerin ne kadar büyük bir ölçüde atıl halde olduğunu başka bir anlatım ile tarif etmeye çalışırsak, Türkiye’ de her yılda ortalama 30 milyon lastik ömrünü tamamlamaktadır. Hurda lastiklerin stoklandığı ve atıldığı alanlarda çevresel sorunlara sebep başlıca iki husus mevcuttur. İlk husus; lastik yığınlarında gerçekleşen şiddetli yangınlardır. Bu yangınlar yayılarak önü alınamayan çevresel zararlara yol açabilmektedir. Bir diğer husus ise, böceklerin bahsi geçen lastik yığınlarını yuva olarak kullanması ve bu alanlarda rahat bir biçimde çoğalabilmeleridir. Bu yüzden, toplum sağlığını tehdit edici hastalıkların oluşma ve salgın haline gelme olasılığı sebebiyle gereken uygulamaların yürütülmesi gerekmektedir. Lastik depolama tesislerinde üreyen böcekler dolayısıyla oluşan rahatsızlıklar genellikle yağış görülen yerlerde gözlemlenmiştir. Hurda lastik

yığınlarının bulunduğu Ohio’ da çocuklarda beliren hastalıklarının sebebinin % 80 oranında yakın çevrede bulunan bu tesisler olduğu görülmüştür (Yüksek, 2009).

Lastik atıkları diğer atıklardan ayrı olarak depolandığı zaman, tehlike görülebilme ihtimali artmaktadır. Bunun sebebi bütün halde bulunan lastikler arasında yangın başlamasına neden olabilecek kadar yeterli oksijen ihtiva etmesidir. Amerika Birleşik Devletleri Winchester/Virginia’ da meydana gelen bir yangın yaklaşık olarak 9 ay sürmüştür. Lastiklerin yanmasıyla atmosfere tonlarca zararlı bileşikler yayılmaktadır. Çok zararlı bu bileşenler siyah bir duman halinde atmosfere yayılmaktadır. Bahsi geçen maddeler içinde; karbon siyahı, uçucu organik, yarı uçucu organikler, çok halkalı hidrokarbonlar, yağlar, kükürt oksitleri, azot oksitleri, nitrosaminler, karbon oksitleri, uçucu partiküller ve arsenik, kadmiyum, krom, demir, kurşun, çinko ve benzeri gibi metaller bulunabilmektedir (Yüksek, 2009).



Şekil 3.1: 17 Ocak 2014’ te Sherburn/İngiltere’ de atık lastik depolama alanında meydana gelen bir yangın (URL-5).

Yangınlar ile atmosfere dahil olup havayı kirleten bu bileşenler yakın çevredeki arazilerin ve suların kullanılamaz hale gelmesine sebep olarak toplum ve çevre sağlığını tehdit etmektedir. Yangını söndürmek maksadıyla sıkılan sular yangında piroliz meydana gelmesine ve toprağa sızarak ayrı bir probleme yol açabilecek birçok hidrokarbonların oluşmasına da neden olabilmektedir.

Gerek tüm bu olumsuz etkiler olsun gerekse finansal ve çevresel olarak katkıda bulunma amaçlı kullanılmış lastiklerin geri kazanılma metotları günden güne yaygınlaşmaktadır. En küçük toz halinde parçalardan fabrikasyon haline kadar tüm lastik türlerinde geri dönüşüm uygulamaları yapılmaktadır.

Dayanımı oldukça yüksek olan lastiklerin çevrede kaybolma süresi çok uzun sürmektedir. Buna rağmen asıl problem bu sürenin uzun olması değil, atık lastik miktarlarının çok yüksek miktarlarda olmasıdır. U.S Environmental Protection Agency (EPA)'nın 2003 verilerine göre sadece inşaat mühendisliği alanında kullanılmak üzere her yıl yaklaşık 56.000.000 lastik geri dönüşüm için ayrılmıştır. Toplamda ise her yıl 233.000.000 atık lastik üretim amacı için olan ömrünü tamamlamaktadır.

Atık lastik geri kazanım yöntemleri olarak doğrudan değerlendirme, tekrar kaplama, termik değerlendirme, ham maddesel değerlendirme, malzeme olarak değerlendirme, mekanik parçalama yöntemi, nitrojenle parçalama yöntemi, piroliz metotları uygulanmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemler uygulanana kadar olan depolama süresince uygun koşullarda stok yapılmalıdır. Aksi takdirde büyük çevre sorunları ile karşılaşılacaktır.

Ulaşımın % 95' inin karayoluyla yapıldığı ülkemizde milyonlarca araçtan elde edilen atık lastiklerin büyük çoğunluğu çöplük, deniz ve nehirlere atılmaktadır. Büyük çevre sorunlara yol açan bu sıkıntıların önlenmesinde Avrupa Birliği sıkı tedbirler almaktadır. Bu tedbirlerden bir tanesi de atık lastiklerin parçalanarak inşaat mühendisliği alanında dolgu malzemesi olarak kullanılmasıdır. Taş kolon ile ilgili genellikle bu yönde yapılan akademik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışma ise lastik parçacıklarının dolgu olarak kullanılmasının yerine bütün halde olan lastiklerin zemin sargılama elemanı olarak kullanılmasına yöneliktir.

3.2 Atık Lastiklerin Yeniden Kazandırılması

Çevresel olduğu gibi bir o kadar da finansal katkıda bulunan geri kazandırma işlemlerinin bunlardan başka birçok avantajlara sahiptir. Örneğin, çocuk parklarında, yarış pistlerinde, gemi tampon yapımında, inşaat malzemesi olarak kullanımında ve daha çokça sayıda uygulamada bu lastikler kullanılabilir. Ekonomik anlamda, sadece üretim amacı için artık yeterli kalitede olmayan ürünler başka alanlarda değerlendirilmelidir. Atık lastikleri geri kazandırma yöntemleri genel olarak altı

başlık altında incelenebilir. Bunlar, doğrudan değerlendirme, termik değerlendirme, piroliz, malzeme olarak değerlendirme, mekanik parçalama ve nitrojenle parçalama olarak ayrılmaktadır.

Doğrudan değerlendirme işlemi, kaplaması yeniden yapılan lastiklerde uygun güvenlik ve performans standartlarına sahiptir. Bu şekilde birçok lastik depoya gitmeden tekrar kullanılır hale gelir ve bununla birlikte depolardaki kullanım alanları daralmamaktadır. Aynı zamanda yeni lastik üretimi için gerekli birçok kaynağın gereksiz yere kullanılması engellenmiş olmaktadır. Bu da lastik maliyeti açısından hem üretici hem de fiyat açısından müşteri için avantaj sağlamaktadır. Böylelikle, lastiğin depolanmasından kaynaklanan sorunlar kayda değer ölçüde azaltıldığı gibi çevresel ve ekonomik yönden de üstünlükler gözlemlenmiş olmaktadır.

Termik değerlendirme olarak adlandırılan lastiği yakarak geri kazandırma tekniği ile de birçok avantaj sağlanmaktadır. Bir bütün lastiğin enerji değeri 25.000 kJ/kg' dır. Bu değer atık lastikleri depolamaktansa termik değerlendirme yöntemi ile geri kazanmamız gerektiğini bizlere ifade eder. 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).

Geri kazandırma metotlarından biri olan piroliz, eski lastiklerin yakıtla dönüştürülmesi olarak hammaddesel değerlendirme adı altında uygulanmaktadır. Piroliz ismi ile de karşımıza çıkan bu metot, kimyasal bağların kırılmasını sağlar. Piroliz sonucunda karbon siyahı, gaz, çelik ve yağa dönüşür ve akabinde bunlar eritilir. Sıcaklık arttığında, daha fazla gaz açığa çıkar. Sıcaklık azaldığında ise yağ geri kazanılan ilk yakıt olur. Hurda Lastik Yönetim Konseyi' ne (Scrap Tire Management Council) göre ortalama bir lastik 4 litre yağ, 3 kg karbon siyahı, 1.5 kg gaz, 1 kg çelik ve kül üretir. Elde edilen yağ ve gaz düşük kaliteli yakıt olarak satılır (Ertaş, 1997).

Lastiklerin üretim amacı dışında ikinci bir faaliyet alanı için en çok kabul gören uygulamalardan bir başkası ise lastiklerin şeritler halinde kesilmesi, iri, kırıntı, granül ve ya toz halinde parçalanmalarıdır. Lastik, parçalanarak çelik, fiber ve kirleticilerden ayrılmaktadır. 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 (Yüksek, 2013). Bu adımlar malzeme olarak değerlendirme başlığı altında yer almaktadır.

Atık lastiklerin kaynağı Çizelge 3.1’ de belirtilen araç dağılımları doğrultusunda elde edilmektedir.

Çizelge 3.1: 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 katkılar	3	7	15

Farklı boyutlara getirilmiş atık lastiklerin karakteristiklerinde bazı farklılıklar söz konusu olabilmektedir (Ertaş, 1997). İşlem şekline ve boyutuna göre, tüm bir lastikten, beş farklı boyutta atık lastik elde edilmesi mümkün olup, bu duruma yönelik şema Şekil 3.2’ deki gibidir.



Şekil 3.2: Parçalara ayrılma şekline ve boyutuna göre atık lastiklerin sınıflandırılması (Yüksek, 2013).

Mekanik parçalama da ise atık lastikler mekanik parçalama yönteminde ise genellikle başlangıçta 5 cm’ lik parçalara ayrılır. Lastiklerin hacim azaltılmasından kaynaklanan kolay depolama avantajının yanı sıra küçük parçalara ayrılmasının en önemli sebeplerinde biri de taşıma maliyetlerinin düşürülmesidir. Küçük parçalar halinde yapılan istiflerin boşluk oranı daha az dolayısıyla birim hacim ağırlığı daha

fazladır. Böylelikle standart yükleyicilere ağırlık bakımından daha fazla malzeme yüklenmiş olur ve parça küçüklüğünden ötürü yükleme kolaylığı sağlanır. Lastik parçalayıcı ve öğütücü makinelerin yırtılma ve aşınma sebepleri % 70 oranla lastik içerisindeki çelik tellerden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden parçalama işlemi başlamadan önce çelik teller lastiklerden ayrıştırılmalıdırlar (Yeşilata, 2007).

Atık lastikler ilk parçalama evresinden geçtikten sonra çapı 10 mm' den küçük granül vaziyete getirilmektedir. Granül hale geldikten sonra manyetik bir sistem kullanılarak lastik içerisindeki çelik teller ayrıştırılır. Elyaf lar ise sallama ve rüzgar elekleri desteği ile ayıklanır. Daha küçük parçalar elde etmek istenmesi durumunda ise ardışık öğütme metodu kullanılabilir.

Bir diğer atık lastik geri kazanım metodu olan nitrojenle parçalama tekniği, termik değerlendirme yönteminin aksine düşük sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Lastik, daha kolay mekanik halde parçalanması için öncelikle gevrek vaziyete getirilir. Nitrojenle geri kazanım metodunda lastik ve ya lastik parçaları 80°C' nin altında soğutulmaktadır. Bu soğutma işleminin arkasından lastiğin ezilerek ya da kırılarak küçültülme işlemi gerçekleştirilir. Bahsedilen tarzda yapılan boyut küçültme işlem adımlarında daha az enerji ve daha az makineye gereksinim duyulduğundan dolayı elektrik tüketiminde ciddi azalmalara neden olmaktadır.

Nitrojen ile parçalamanın bir diğer üstünlüğü ise lastik dahilindeki çelik ve elyaf kısımların ayıklanma kolaylığıdır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise sıvı azot fiyatlarının yüksek olmasıdır. Mekanik parçalama metodu ile nitrojenle parçalama metodunu karşılaştırması Çizelge 3.2' de yer almaktadır.

Çizelge 3.2: Mekanik parçalama yöntemi ve nitrojen ile parçalama yönteminin karşılaştırılması (Yüksek, 2013).

<u>Parametre</u>	<u>Mekanik Parçalama</u> <u>Yöntemi</u>	<u>Nitrojenle Parçalama</u> <u>Yöntemi</u>
Çalışma sıcaklığı	Çevre sıcaklığı ve ya daha yüksek (max. sıcaklık 120° C)	-80° C sıcaklık ve ya daha düşük (min. sıcaklık -100° C)
Boyut küçültme prensibi	Kesme, yırtma, makaslama	Gevrek lastik parçalarını kırmak
Parçacık şekilleri	Süngersi ve kaba	Düz ve pürüzsüz
Parçacık boyut 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 -10 mm arası)
Bakım maliyeti	Yüksek	Düşük
Elektrik tüketimi	Yüksek	Düşük
Sıvı Azot tüketimi	Yok	Bir kg. lastik için 0.5-1 kg. sıvı azot

3.3 Taş Kolon İmalatı İçin Lastiklerin Kullanım Varyasyonları ve Geometrisi

Atıl halde varlığını sürdüren lastiklerin granül ve ya toz halde bulunan parçalara dönüştürülebilmesi için üç yöntem kullanılmaktadır. Bu üç yöntemden uygulamada en çok karşılaşılanı krank mili metodudur. Oldukça yaygın olan bu yöntemde lastikler, dişli yüzeye sahip ve dönmekte olan çelik tamburlar arasında daha küçük boyutlara küçültülmektedir. Böylelikle belirli bir geometriye sahip olmayan lastik parçalarına sahip olunmuş olunur. Granül-toz lastik olarak isimlendirilen bu parçacıkların boyutu ise 0.5 ve 5 mm arasında değişmektedir (Küçükgül, 2004).

Bir diğer uygulama ise makaslama olarak adlandırılan, lastiklerin çelik plakalar tarafından darbeye ve preslemeye maruz bırakılarak küçük parçalara ayrıldığı yöntemidir. Bu metot ile de granül-toz lastik parçaları 0.5 ile 9.5 mm arasında boyutlandırılabilir (Küçükgül, 2004).

Üçüncü yöntem ise küçük boyuttaki değirmenler kullanılarak atık lastiklerin çok ince toz lastiklere dönüştürüldüğü metottur. Bu işlem ile lastik parçacıklarının boyutları 0.075 ile 0.5 mm arasındadır (Lagrega, 2004).

Toz halindeki lastikler, genellikle yol yapımında asfalt karışımlarına dahil edilmek suretiyle kullanılırlar. Boyutları 0.075 mm ile 4.75 mm arasında değişmektedir. Toz halde bulunan lastiğin yoğunluğu, içerisinde başka herhangi bir madde bulunmadığı durumda yaklaşık olarak 1.15 t/m^3 tür.

Granül lastik imalatı granül makinesi ve ya öğütme değirmeni yardımıyla yapılmaktadır. Manyetik ayıklayıcılar ve kompresörler kullanılarak lastik içerisinden teller, fiberler vb. yabancı maddeler ayrıştırılmaktadır. Düzgün geometrilili parçalar elde etmek istenirse granül makinesi kullanılmaktadır. Granül lastiklerin boyutları ise genel olarak 0.85 mm ile 9.5 mm aralığında yer almaktadır. İstisna durumlara ve ihtiyaca göre 0.15 mm ve 19 mm arasında da görülebilmektedir. Granül lastik parçaları, farklı gradasyonlarda paketlenerek satışa sunulmaktadır (Yeşilata, 2004).

Lastiklerin parçalar haline getirilmesi ya da kırıntı olarak değerlendirilebilmesi için birincil ve ikincil parçalama işlem adımları gerekmektedir. Lastiklerin boyutlarını küçültecek olan cihazın türüne göre parçalama işlemleri gerçekleştirilir. Bütün lastikler, birincil parçalama işleminde öncelikle yaklaşık 400 mm uzunluğunda ve 200 mm genişliğinde parçalar haline getirilir. Daha sonra bu lastik parçaları ikincil parçalama işleminden geçirilerek boyutları 76 mm ve 13 mm arası olan kırıntıları oluşturulur (Guogiang vd., 2004).

Karakteristik özelliği nedeniyle kırıntı halindeki lastikler dolgu malzemesi olarak altyapı aplikasyonlarında kullanılmaktadır. Isı yalıtım performansları iyi olan kırıntı lastikler, ortalama zemin dolgularına göre daha düşük donma seviyelerinin oluşmasını sağlamaktadır.

Ortalama ağırlığı 9.1 kg olan bütün haldeki otomobil lastiklerinin 5.4 kg ile 5.9 kg ağırlıklar arasındaki değişen kısmı, % 35' i doğal ve % 65' i sentetik olan geri kazanılabilir kauçuktan meydana gelmektedir. (Yüksek, 2013) Kamyon lastikleri de atık lastik endüstrisinde önemli bir paya sahiptir ve her biri ortalama 18.2 kg ağırlığındadır. Bu ağırlığın ise % 60 ile %70' i geri kazandırılabilir.

3.4 Atık Lastiklerin Farklı Alanlarda Kullanımı

Geri kazandırılıp yeniden işlenen lastik kauçuk yeni taşıtların üretiminde değerlendirilir. Granül haline getirilmiş lastik parçacıkları, belirli materyaller ile karıştırılarak; fren pedalları, pedal astarları, kayışlar, balata bağlayıcıları, tamponlar, paspaslar, contalar, darbe sönümleyiciler, çamurluklar, kapı koruma bantları, araç lastikleri, araç içi kullanılan lastik malzemeler, esnek borular, akü kaplamaları, kapı yüzleri, aksesuar tutacakları, bölmeler, elektronik eşyaların bazı parçaları, kapı dayanakları ve daha birçok araç parçası üretiminde kullanılmaktadır (Ünlü, 2006)

Özellikle açık alan olarak nitelendirilen parklarda zorlu hava koşullarına karşı dayanıklı spor malzemeleri kullanılmalıdır. Bu alanlarda kullanılan yüzeyler ise darbeyi iyi sönümleyebilmeli, esneyebilmeli ve olası sakatlıklara karşı sertliği azaltmalıdır. Aynı zamanda parklar ve spor alanlarına basit bir biçimde yerleştirilebilen materyallerin bir diğer avantajı da bakımının ucuz olmasıdır. Malzeme biliminin gelişmesiyle birlikte doğal çim zeminlerin yerini lastik parçaları dahil edilerek imal edilmiş fabrikasyon yüzey malzemeleri almıştır.

Kauçuk, sert iklim koşullarına dayanıklı, esnek, su geçirmez, ses yalıtımına sahip geri kazandırılabilir bir materyaldir. Özellikle kiremit ve çatı altı kaplamalarında tercih edilmektedir. Ayrıca birçok ticari ve endüstriyel sahada, sağlık sektöründe, spor ve kongre merkezlerinde kauçuk döşemeler serilmektedir.

Kauçuk zemin kaplamalarının düşük bakım maliyetli ve uzun ömürlü olması da üstünlüklerine eklenebilecek diğer özelliklerindendir. Günümüzde havaalanları, tren istasyonları, oturma yerleri gibi birçok yeni kullanım alanları da kazanmıştır.

Zemin kaplamaları alanında geliştirilen teknolojiler lastik granüller kullanılarak piyasaya kazandırılmaktadır. Aplikasyonu ve bakımı kolay ek olarak esnek olan bu malzemeler bahçelerde ve havuzlarda kullanılabilir. Birçok zemin kaplama yöntemine göre de daha ekonomiktir.

Karakteristik özelliğinden dolayı granül lastiğin darbe sönümleyici olması güvenlik açısından önemli bir husustur. Güvenlik bariyerleri, tabela dayanakları ve demiryolu kavşakları araçların çarpması halinde hasar şiddetini azaltmaktadır. Karayolları ve köprülerde bulunan esnek bağlantı malzemelerinde de kullanılan granül lastikler, yapı üstüne gelen yükler etkisinde oluşan şekil değiştirmeler sonucu meydana gelen yıpranmaları azaltmaktadır.

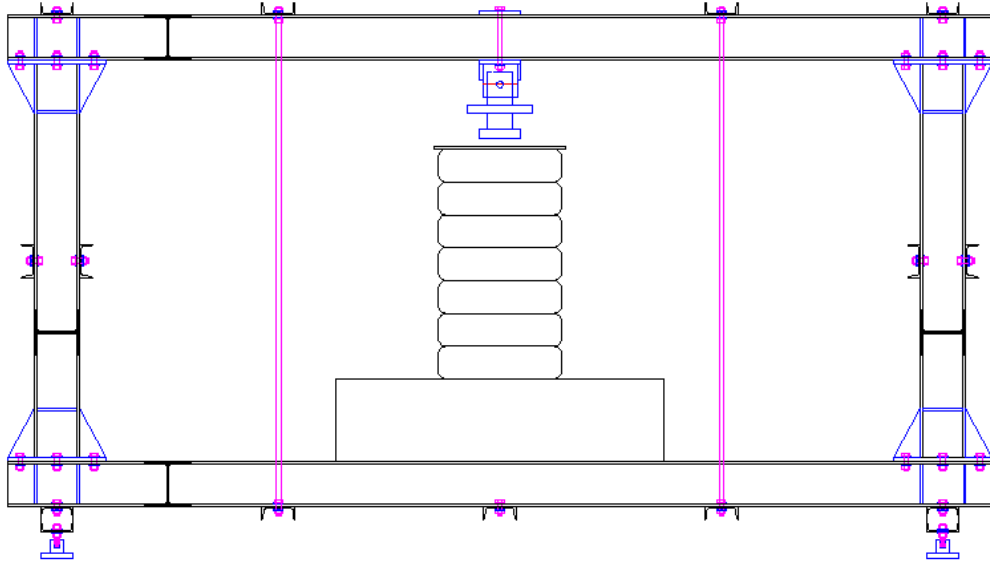
Granül malzemeler ilave edilerek yapılan malzemelerin bir diğ er avantajı da titreşimler dolayısıyla ortaya çıkan seslerin azaltılmasıdır. Bunun dışında, ses bariyeri kullanılarak yapılan yalıtım, lastik kullanılarak gerçekleştirilir. Özellikle raylı sistem uygulamalarında lastik parçalarının kullanım yeri büyüktür. Yüksek hızlarda seyreden demiryolu taşıtlarından kaynaklı gürültüler, parça lastikler kullanılarak iyi derecede absorbe edilmiştir.

Drenaj asfaltı, yağmur suyunun çekilmesine yardımcı olan boşluk oranı yüksek bir asfalt karışımıdır. Islak yolda yüksek hızlı seyirlerde lastikler kızaklamayı önler ve kaplı yüzeyle etkileşimini devam ettirir. Işık yansımalarını ve titremeyi de mümkün olduğunca azaltmaktadır (Korkmaz, 2005).

Kauçuğun termoplastik ile karıştırılması yeni materyallerin geliştirilmesi hususunda kayda değer bir ilerlemeyi beraberinde getirmiştir (Gönüllü, 2004). Otomotiv  r nleri, inşaat, evsel ürünler dahil olmak üzere geniş yelpazede endüstriyel, ticari ve t keticilerindeki geniş çaptaki ürünler için kullanılabilir. Hem kauçuğun hem de plastiğin kalitesini paylaşırlar, kalıptan ge irilebilirler ve enjeksiyon ile elde edilebilirler ( nl , 2006).

4. DENEY DÜZENEGİ

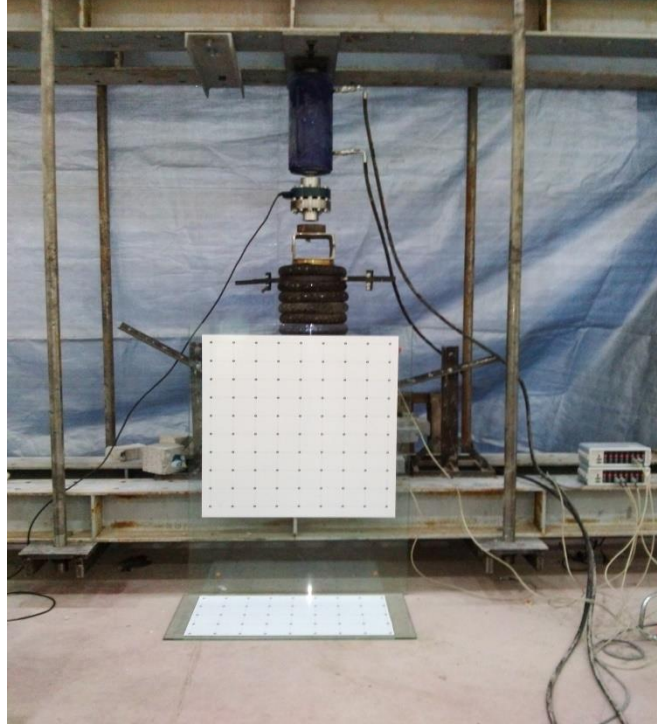
Deneyler, Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1' de görülmekte olan deney düzeneğine yerleştirilen taş kolon numuneleri aksenal kademeli tekil yüklemelere bırakılarak davranışları saptanmıştır. Sarmal malzeme olarak deneylerde atıl halde bulunan 15 inch (38 cm) araç lastikleri ve pvc kaplı yüksek mukavemetli polyester iplikten dokunmuş kumaşlar kullanılmıştır. Geri dolgu malzemesi ise olarak da Kırşehir Kızılırmak Kumu ve 19 mm çakıllardan seçilmiştir.



Şekil 4.1: Atık lastiklerle sargılanmış taş kolon deney düzeneği ve test sistemi.

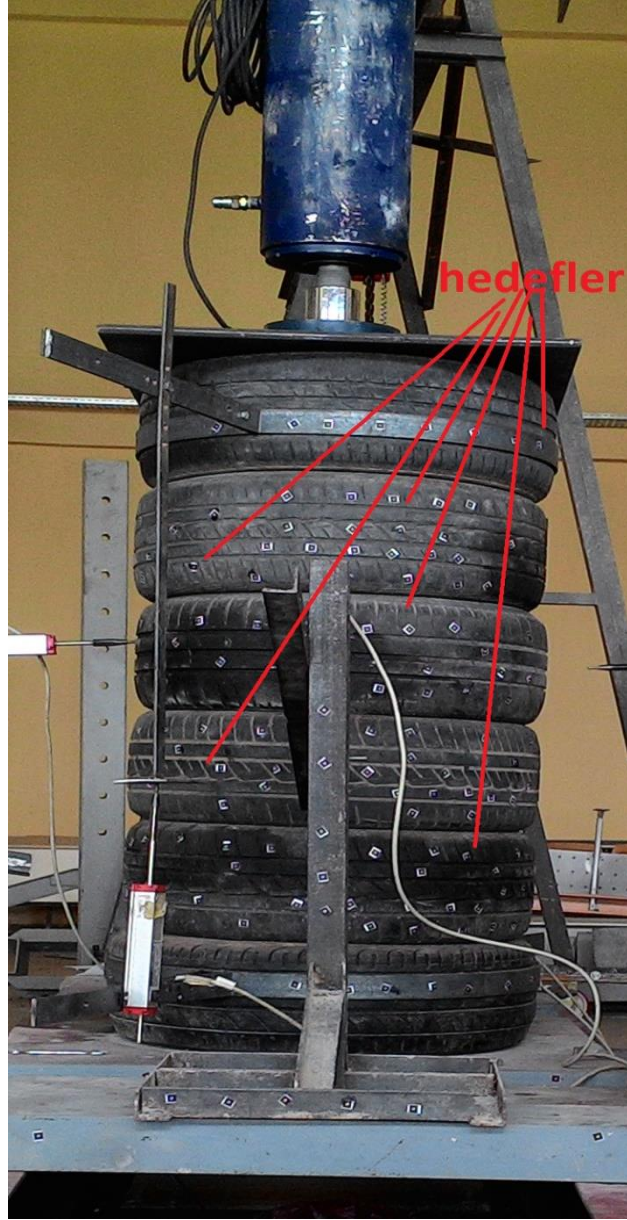
Yapılan aksenal yükleme deneyleri sonucunda her bir sargılanmış taş kolon numunelerinin kolon yüksekliği boyunca üç boyutlu şekil değiştirmeleri alınmış olup göçme paternleri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Aynı zamanda en alt ve en üst lastiğe sabitlenen kelepçelere düşey yönde potansiyometrik cetveller ile de taş kolonların kısalma değerleri elde edilmiştir. Her numunenin üzerine eşit bir biçimde yükleme yapılması için düzgün yüzeye sahip levha ve oynar başlık yerleştirilmiştir. Oturma ve genişmeyi ölçmek için yatay ve düşey yönde yerleştirilen potansiyometrik cetveller kendi teknik özelliklerine uygun kablolar vasıtasıyla veri

ünitesine (testbox, datalogger) bağlanmaktadır. Böylece yük hücresi vasıtasıyla piston taş kolonlar üzerine yükleme yaptıkça deplasmanlar, bilgisayar ortamına aktarılıp yük-deplasman ilişkileri elde edilmektedir. Davranışa dair yorumlar bu sonuçlar doğrultusunda değerlendirilip hangi sarmal malzemenin ve geri dolgu malzemesinin nasıl bir katkı sağladığını ortaya çıkarmaktadır. Yükleme hidrolik krikoyla yapılmaktadır ve saniyede 4 data alınacak şekilde kaydedilmiştir.



Şekil 4.2: Fotogrametrik ölçüm için üç boyutlu ağ oluşturulması.

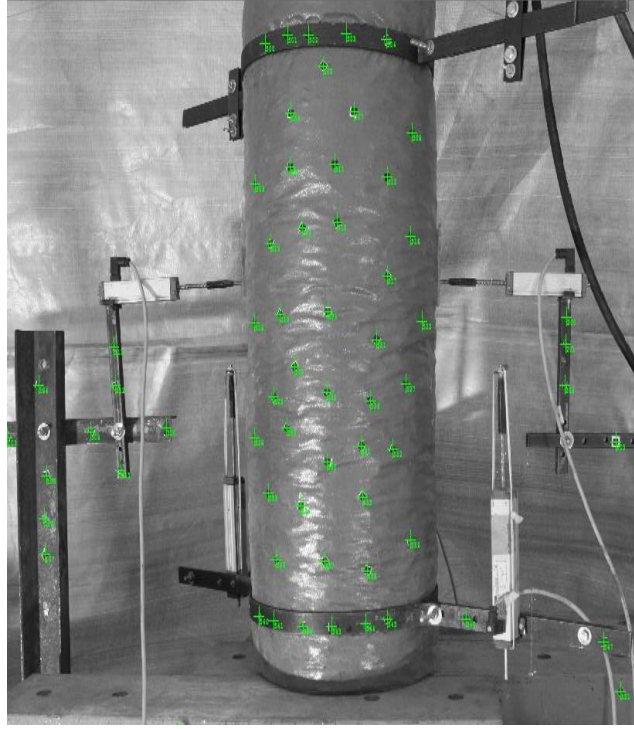
Fotogrametrik ölçüm için öncelikle üç boyutlu ağ oluşturulmaktadır. Bunun için ise Şekil 4.2’ de görüldüğü üzere kolona paralel bir biçimde x ve y eksenini yatay olarak ve z eksenini tanımlanmaktadır. Yüksek çözünürlüklü kameralar ile ilk olarak farklı açılardan kareler alınmakta ve bu sistem formatında ağ hazır hale getirilmektedir. Deney esnasında ise belirlenen yükleme aralıklarında taş kolonun fotoğrafları çekilir. Kolon yüzeyine belirli aralıklarda daha önceden yerleştirilmiş hedefler Şekil 4.3’ te olduğu gibi, aksinel yükleme doğrultusunda yer değiştirdikçe her karede farklı lokasyonlarda yer almaktadır. Sonuç olarak hazırlanan ağ formatı referans alınmaktadır ve her bir noktanın yer değiştirmesine göre taş kolonun düşey ve yatay hareketi gözlemlenmektedir.



Şekil 4.3: Hedefler.

Deney öncesinden deney bitimine kadar edinilen fotoğraflar fotogrametrik ölçüm için Australis programına yüklenir ve hedeflere Şekil 4.4’ te görüldüğü gibi odaklanılır. Böylece, deney esnasında yükleme oldukça hangi noktanın hangi yönde ne kadar yer değiştirdiği elde edilmektedir.

Deney sonrasında potansiyometrik cetveller yardımıyla elde edilen veriler fotogrametrik ölçümler ile karşılaştırıldığında çok yakın okuma değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.4: Hedeflerin programda işaretlenip odaklanması.

4.1 Taş Kolon Numunelerinin Hazırlanması

4.1.1 Lastik sarmallı taş kolon numunelerinin hazırlanması

Atıl halde bulunan lastiklerin tamamı Aksaray Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan atık lastik firmalarından temin edilmiştir. Her bir lastiğin bütünlüğünü bozacak herhangi bir yırtığa ve kopukluğa sahip olmamasına özen gösterilmiştir.

Lastik firmalarının elinde atıl halde en çok 15 inch (38 cm) lastiklerin bulunması bu lastikleri kullanmak için önemli bir etkidir. Deneyler bu sebepten ötürü 15 inch (38 cm) lastiklerle yapılmıştır.

Her lastiğin içine geri dolgu malzemeleri en sıkı halde yerleştirilmiştir. Kompaksiyon için her 10 cm' de bir sıkıştırma işlemleri uygulanmıştır. Atıl araç lastikleri ile sargılanmış taş kolonların yük hücresinin hizasından şaşmaması için şakül kullanılmıştır ve eksantirisiteye mahal verilmemiştir. Ayrıca her lastiğin eklenmesi sırasında su terazisi yardımıyla hiza alınıp eksen dışına çıkılmamıştır.

4.1.2 Polyester sarmallı taş kolon numunelerinin hazırlanması

Branda adı altında da geçen pvc kaplı yüksek mukavemetli polyester iplikten dokunmuş kumaşların tamamı 1100 DTX modelde kullanılmıştır. Lastiklerde de olduğu gibi hizalama için şakül ve su terazisi kullanılmıştır. Yine bu malzeme ile hazırlanan taş kolonlar için her 10 cm’ de bir kompaksiyon yapılmıştır. Böylece minimum boşluk oranı ve maksimum sıkılık elde edilmiştir.

4.2 Deney Malzemeleri Teknik Özellikleri

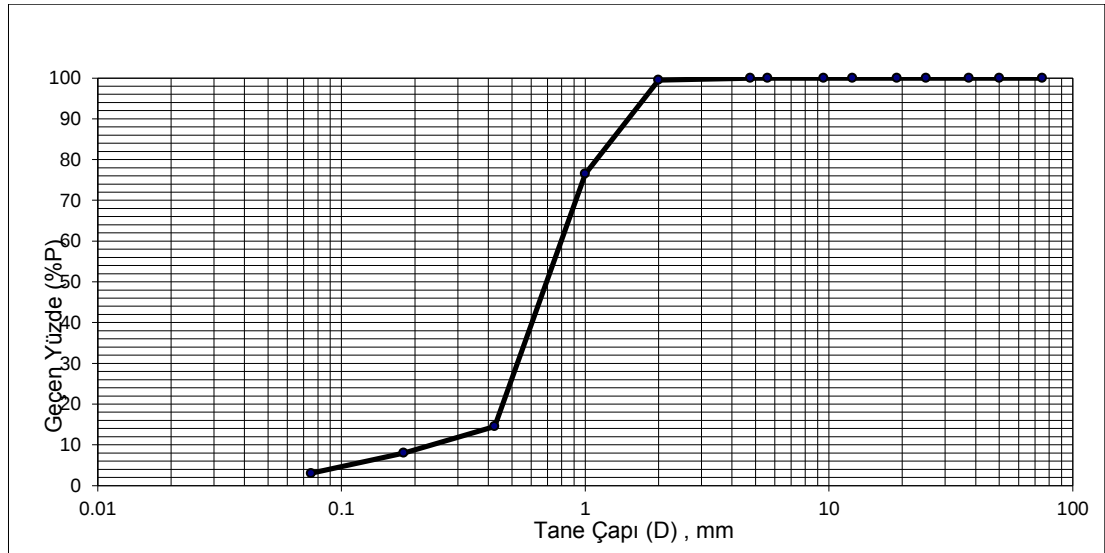
Deneylerde kullanılan Kırşehir Kızılırmak Kumu’ nun, agreganın, pvc kaplı yüksek mukavemetli polyester iplikten dokunmuş kumaşların ve araç lastiklerinin teknik özellikleri Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı’ nda yapılan deneyler ve malzemelerin alındığı firmalarda yapılan testler doğrultusunda belirlenmiştir.

4.2.1 Kırşehir Kızılırmak Kumu

Kırşehir Kızılırmak Kumu’ nun tercih edilmesinin sebebi içerisindeki danelerin birçok kum çeşidine göre daha homojen olarak yerleşmesidir. Bu şekilde taş kolon kolon içerisine yerleştirilen kumun numunenin her bölgesinde eşit özellik göstermesi beklenmektedir. Kırşehir Kızılırmak Kumu serbest halde döküldüğünde Şekil 4.5’ deki halde görünmektedir. Elek analizi sonuçları ise Şekil 4.6’ da yer almaktadır.



Şekil 4.5: Kırşehir Kızıllırmak Kumu.



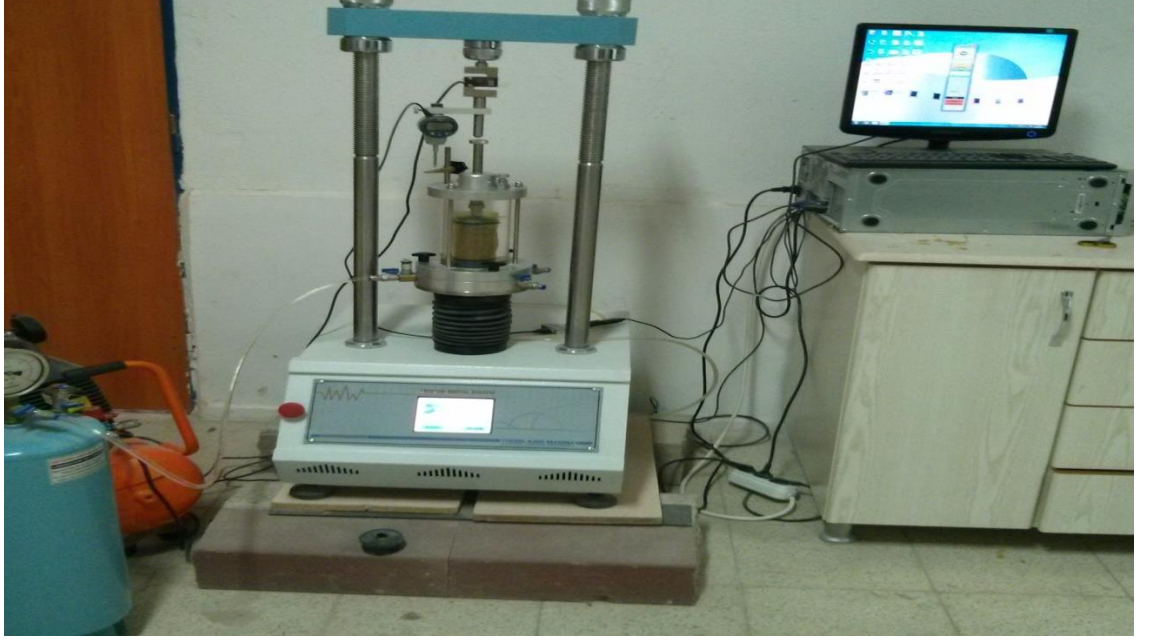
Şekil 4.6: Kum geri dolgu malzemesinin elek analiz sonuçları.

Granülometrisi şekil 4.7’ deki gibi olan kumun kesme kutusu deney sonuçlarından elde edilen mühendislik özellikleri ise Çizelge 4.1’ de verilmiştir;

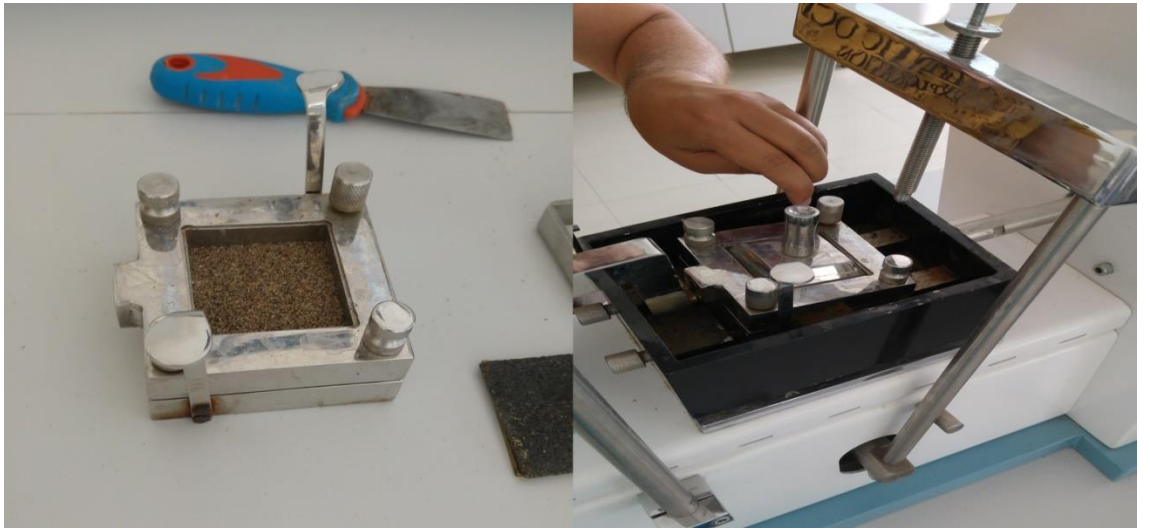
Çizelge 4.1: Kum geri dolgu malzemesinin mühendislik özellikleri.

İçsel sürtünme açısı	25°
Kuru birim hacim ağırlık	15.05 kN/m ³

Kumun mühendislik özellikleri bir dizi laboratuvar deneyleri ve gözlemler sonucu elde edilmiştir. Üç eksenli basınç deneyleri şekil 4.7 ve kesme kutusu şekil 4.8 deneyi sonucu birtakım parametreler elde edilmiştir.



şekil 4.7: Üç eksenli basınç deneyi.



şekil 4.8: Kesme kutusu deneyi.

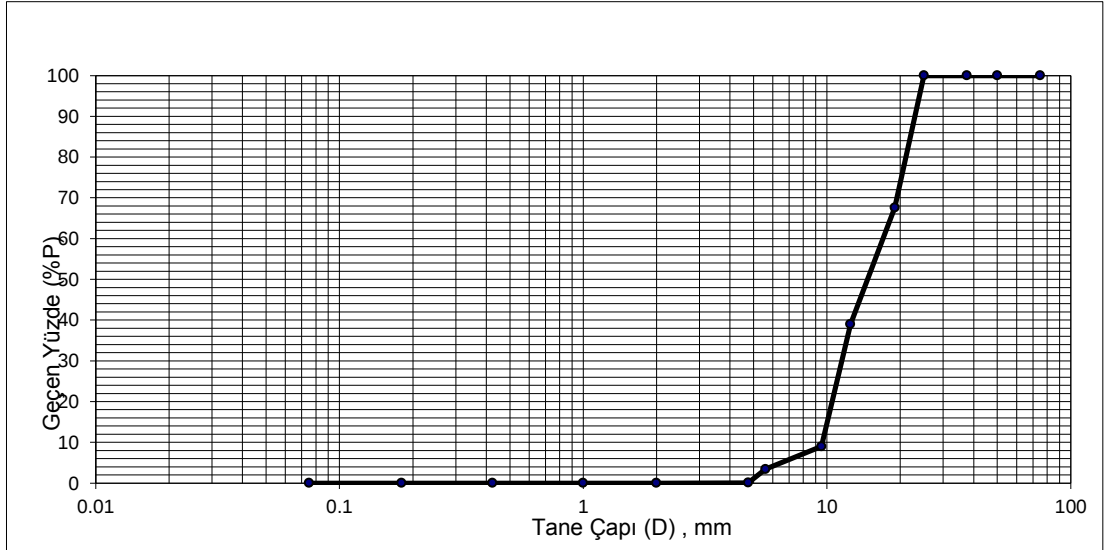
4.2.2 Agrega

şekil 4.9’ da deneylerde taş kolon içerisine yerleştirilen çakılların serbest halde bırakıldığı zaman oluşturduğu görünüm yer almaktadır. İçsel sürtünme açısının

gözetimsel olarak bulunması bu şekilde sağlanmaktadır. Kullanılan agregalar C 25/30 betonunun en iri çakıllarından seçilmiştir ve bu malzemenin elek analizi dışında yapılan deneylerin sonucu şekil 4.10' daki gibidir;



şekil 4.9: akıl geri dolgu malzemesi.



şekil 4.10: akıl geri dolgu malzemesinin elek analiz sonuçları.

Çizelge 4.2: Agrega üzerinde yapılan deneylerin sonuçları.

	Deney Sonuçları	Açıklama
Relatif sıklık	% 80	% 66-% 85 sıkı
Los Angeles aşınma oranı	% 33	-
Metilen mavisi	0.5	0-1.5 temiz
Su emme	% 1.4	-

Geri dolgu malzemesi olarak kullanılan çakılların mühendislik özellikleri Çizelge 4.2’ de yer almaktadır.

4.2.3 Pvc kaplı yüksek mukavemetli polyester iplikten dokunmuş kumaşlar

Taş kolon sarmalı olarak kullanılan geosentetik malzemelerin birtakım özelliklerini gösteren bu tip kumaşlarda bilinen branda türlerine göre çok daha sağlam ve uzun ömürlüdür. Yırtılma ve kopma dayanımlarının yanı sıra bu malzemelerin bir başka avantajı da yüksek sıcaklık ya da soğuk hava şartlarında da kullanılabilir olmasıdır. Pvc kaplı yüksek mukavemetli polyester iplikten dokunmuş kumaşlar, diğer sarmal olarak kullanılabilecek malzemelerle karşılaştırılacak olursa su geçirmezlik açısından da üstünlük sağlamaktadır.

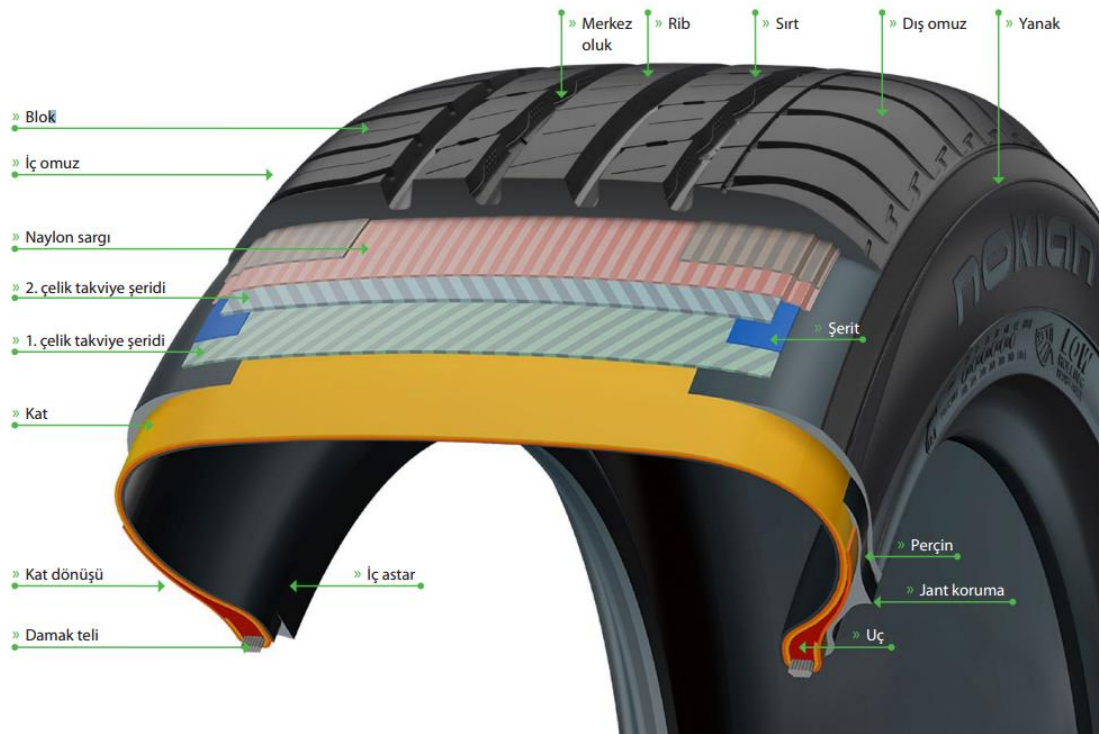
Çizelge 4.3: 1100 DTX polyester branda teknik özellikleri.

Kalınlık (mm)	0.45
Ağırlık (gr/m ²)	650
Kaplama	PVC
Atkı dokuma sıklığı (adet/cm)	8
Çözümlü dokuma sıklığı (adet/cm)	8
Doku şekli	1/1 bez ayağı
Kaynak yapma	EF kaynağına uygun
Atkı kopma mukavemeti (kg/5 cm)	220
Çözümlü kopma mukavemeti (kg/5 cm)	300
Su geçirmezlik (mm/ss)	1000
Isıya dayanıklılık (°C)	+70
Soğuğa dayanıklılık(°C)	-30
Yapışma (N/5cm)	90
Işık haslığı	5-6

4.2.4 Atık Araç Lastikleri (15 inch)

Deneylede kullanılan atık lastikler gelişigüzel depolardan toplandığı için markaları, modelleri, yıpranma oranları ve davranışları tahmin edileceği üzere farklılıklar göstermektedir. Lastiklerin esas amaçları durağan haldeki aracı taşıyabilmek, kalkış-duruş anında meydana gelen gerilmelere karşı direnç göstermek, yola tutunmak, konforlu ve güvenli bir biçimde seyri sağlamaktır.

Yukarıdaki amaçlar dahilinde lastiğin yola temas eden yüzeyi temel taşıma gücünü üstlenmektedir. Çok büyük sürtünme değerleri ile karşılaşan lastiğin bu kısmı Şekil 4.11' de görülen resimdeki gibi üretilmektedir,



Şekil 4.11: Araç lastik kesiti (URL-6).

Taş kolon sarmalı olarak kullanılan atık lastiğin yatay ekseninde deplasman göstermesine karşılık gösterilen direnç lastiğin yola basan kısmı (sırt) tarafından karşılanır. Araç lastiklerinin temel görevlerini yerine getirebilmesi için yenmesi gereken kuvvetler; yuvarlanma direnci, aerodinamik kuvvetler, iç sürtünme kuvvetleri, yokuş anı yerçekimi kuvveti ve hızlanma esnasındaki eylemsizlik kuvvetleridir.

Oldukça güvenli taraflarda kalınarak dizaynı yapılan araç lastikleri, ulaştırma bilimine göre ömrünü yaklaşık 5 yıl civarlarında tamamlasa da yukarıdaki görselde açıkça görüldüğü üzere birçok sağlam tabakadan oluşmasından dolayı çekme kuvveti değerlerini yüksek tutacak materyaller içermektedir. Bu tezde lastiklerin içerisine geri dolgu malzemesi yerleştirilmektedir ve taş kolonun üzerine yük gelmesi ile birlikte lastiğin sırt kısımlarına içeriden kuvvet uygulanmaktadır. Böylece kauçuk esaslı lastikler içerisindeki çelik şeritler, naylon sargı ve diğer malzemeler ile bu gerilmeleri karşılamaktadırlar.

Tüm deneylerde yeterli düşey deplasman alındığında lastikler yatay ekseninde genişlese de yük ortadan kaldırıldıktan sonra eski haline geri dönmektedirler. Bu sonuçtan yola çıkarak hedeflenen süneklik davranışının elde edildiği kanısına varılmaktadır. Uygulanan yüklerin lastiğin taş kolon sarmalı olarak kullanılması durumunda kayda değer bir zarar vermediği açıkça gözlemlenmektedir.

5. DENEYLER

Her bir aşamada ikişer adet olmak üzere birinci, ikinci ve üçüncü aşamada toplam 6 adet deney yapılmıştır. Birinci aşama deneylerde el arabası tekerlerinden ikinci ve üçüncü aşama deneyler ise araç lastiklerinden yapılmıştır.

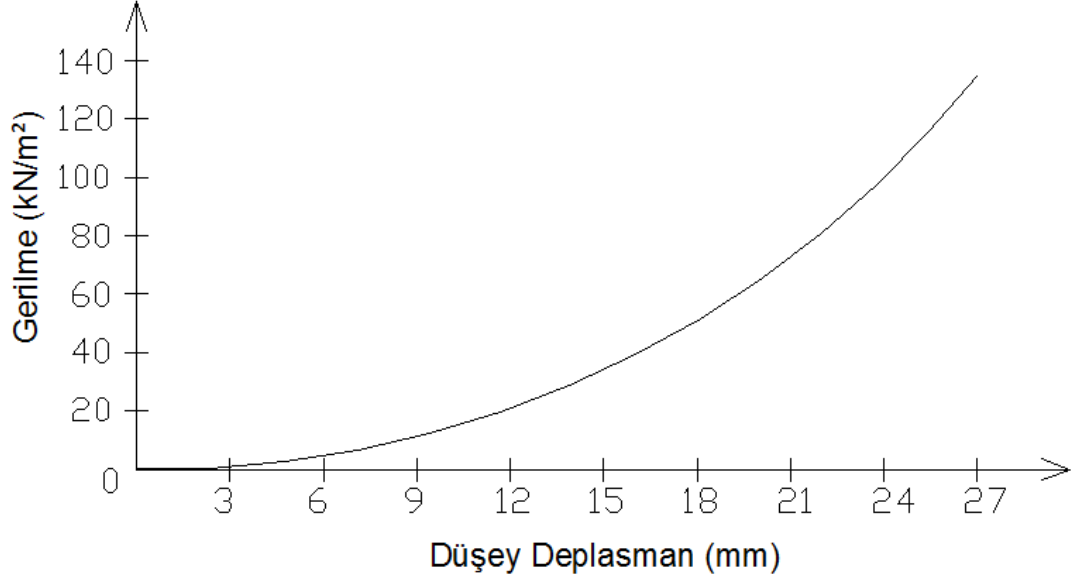
Her deney için düşey tekil yüklemeye karşılık gelen yatay genişleme ve düşey oturma grafikleri aşağıda verilmiştir.

5.1 Birinci Aşama Deneyler

İlk iki deney, lastik ve polyesterin (branda) sarmalı taş kolonun kademeli düşey yüklemeler altındaki davranışlarını incelemek ve birbiriyle karşılaştırılması için yapılmıştır. Deneylerin ilk aşamasında Şekil 5.3' te görüleceği gibi araba lastikleri yerine daha küçük kesit ve et kalınlığına sahip el arabası lastiklerinden yararlanılmıştır. Bu deneylerin temel amacı, lastiklerin birbirleri üzerinde bağlanarak bütünleşik hareket edebilmelerini belirlemek maksadı ile gerçekleştirilmiştir. Her biri ayrı birer malzeme olan lastiklerin yekpare bir kolon gibi davranmaları için birbirleri üzerine güçlü bir biçimde bağlanması öncelikle sağlanması gereken bir önkoşuldur. Bu amaçla lastikler öncelikle piyasada bulunabilen en kalın zımbalarla birbirlerine zımbalanmıştır. Ancak yüksek yanal gerilmeler bu zımbaların birbirlerinden ayrılmasına neden olmuştur. Bu aşamadan sonra çuval ağzlarının dikiminde kullanılan kalın iplerler lastikler birbirlerine dikilmişlerdir. Ancak bu kalın iplerde 80 kPa yükleme aşamasından sonra yer yer kopmalar göstermiştir. Son olarak lastikleri sonsuz vidalar ile Şekil 5.3' te görüleceği gibi üç taraflı olarak birbirlerine contalama yöntemi denenmiştir. Bu yöntemin başarılı olması sonucunda deney düzeneğinde önemli bir aşama geçilebilmiştir. Deney sisteminde çakıl malzemesi geri dolgu olarak 20 cm' lik katmanlar halinde hacim-ağırlık oranına dikkat edilerek yerleştirilmiştir. Dolgunun en sıkı koşullarda yerleştirilmesine özen gösterilmiştir ve tüm deneylerde % 80 rölatif sıklıkta yerleştirme sağlanmıştır.

5.1.1 Lastik Sarmallı Taş Kolon (1.Aşama)

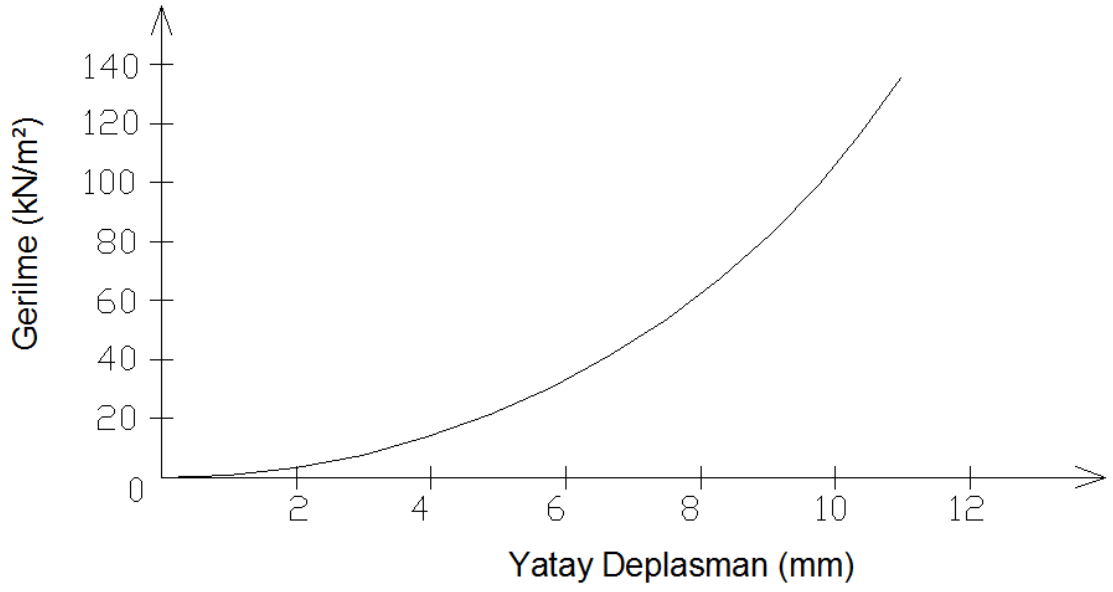
Deneylede taş kolon başlığına yerleştirilen ve kolon kesiti ile aynı çapta olan dairesel bir çelik kesit üzerinden tekil yüklemeler yapılmış ve deney numunesinin düşey oturması ve yanal genişlemesi gerilme-deformasyon davranışı aşağıda görülen Şekil 5.1’ deki biçimde saptanmıştır.



Şekil 5.1: Lastik sarmallı taş kolon deneyi (1. Aşama) yük- düşey deplasman grafiği.

Şekil 5.1’ de görüleceği gibi 135 kPa düşey gerilme altında 27 mm düşey oturma elde edilmiştir. Toplam kolon boyu dikkate alındığında düşey deplasman toplam boyun % 2.7’ sine tekabül etmektedir.

Şekil 5.2’ de ise aynı yük altındaki kolon kesitinin ortasına açısız olarak yerleştirilen üç adet potansiyometrik cetvellerden alınan ortalama yanal genişlemenin gerilmeye karşı değişimi görülmektedir. Aynı yükleme altında kolon kesiti ortalama 11 mm genişleme yapmıştır. Düşey oturma ile yanal genişleme arasında ϵ_y/ϵ_x ; 2.46 oranı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2: Lastik sarmallı taş kolon deneyi (1. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği.



Şekil 5.3: Lastik malzemesi içine yerleştirilen çakıl.

Geri dolgu malzemesi olarak kullanılan çakıllar referans deneylerinde Şekil 5.3’ te görüldüğü üzere yerleştirilmiştir ve düşey yüklemeye hazır hale getirilmiştir.

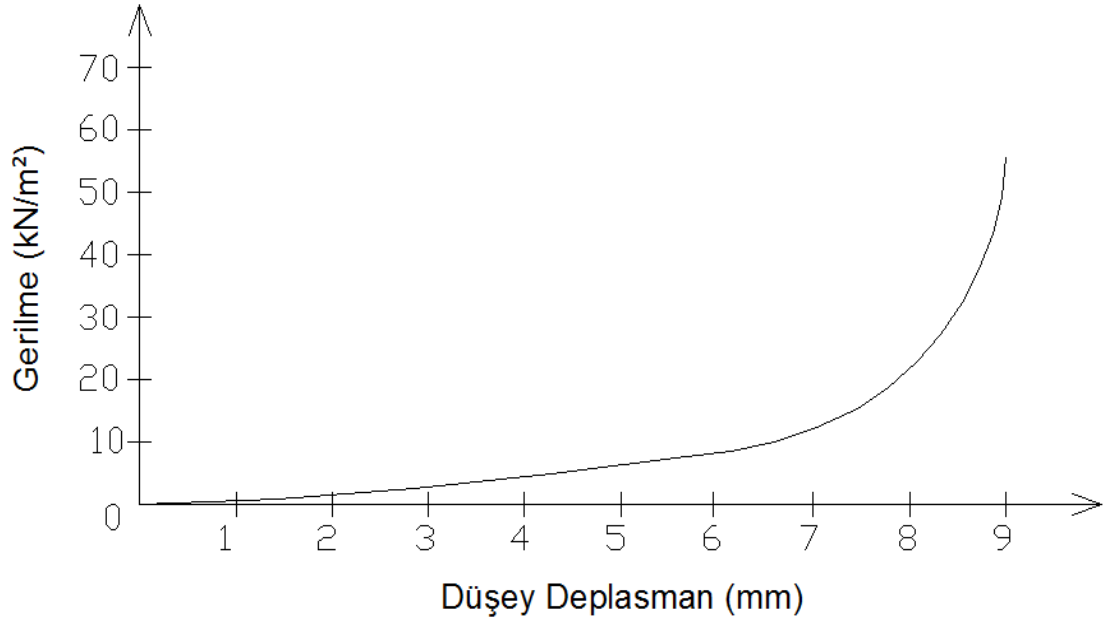
5.1.2 Polyester Sarmallı Taş Kolon (1. Aşama)

Şekil 5.4' te görüleceği üzere ikinci aşama deneylerde aynı dolgu malzemesi ve aynı sıklık derecesinde taş kolon numunesi branda sarmal malzeme kullanılarak oluşturulmuştur. Her deney sistemi serbest basınç altında yüklemeye maruz bırakıldıkları için kesit boyunca potansiyometrik cetveller ile birlikte fotogrametrik yöntemler ile de şekil değiştirmeleri saptanmıştır.

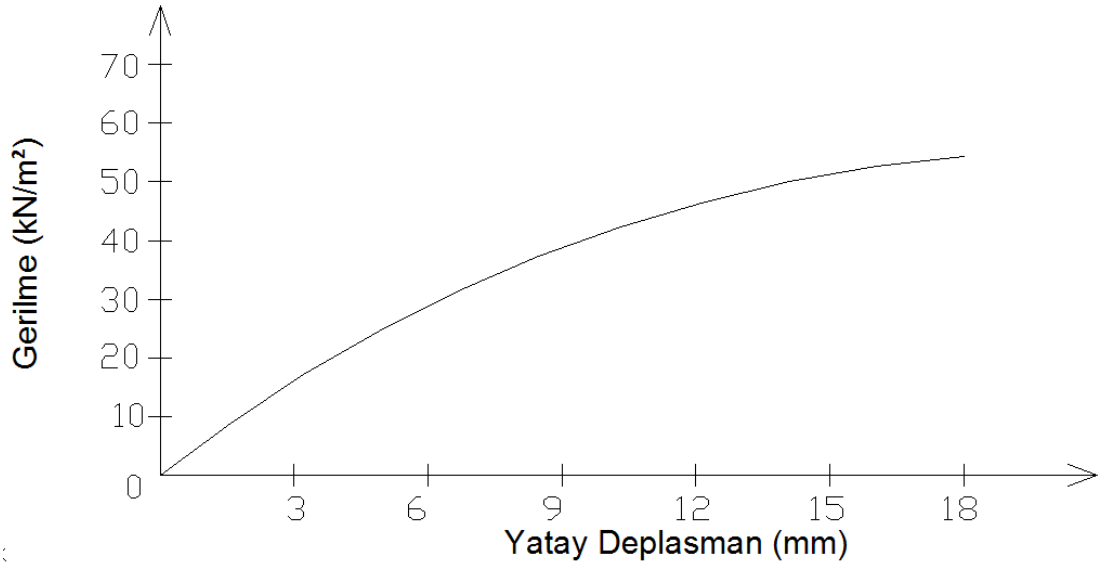


Şekil 5.4: Polyester sarmallı taş kolon (1.Aşama).

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6' da yük altında kalan taş kolon malzemesinin düşey kademeli yüklemeler altındaki davranış biçimi görülmektedir.



Şekil 5.5: Polyester sarmallı taş kolon (1. Aşama) yük- düşey deplasman grafiği.



Şekil 5.6: Polyester sarmallı taş kolon (1. Aşama) yük- yatay deplasman grafiği.

Şekil 5.5’ de okunan 54 kPa düşey gerilme altında 9 mm düşey deplasman gözlemlenmiştir. Toplam kolon boyuna oranla düşey deplasman değeri ise 54 kPa düşey gerilme altında % 0.9 olarak hesaplanmıştır. Yükleme adımlarının 54 kPa değerinden daha çok gerçekleştirilememesinin nedeni bu yükleme adımından sonra branda malzemesinin aniden yırtılarak dağılmasından kaynaklanmaktadır. O

bakımdan karşılaştırmalar deplasman değerlerinden ziyade yük taşıma kapasitelerine bakarak değerlendirilmelidir.

Şekil 5.6' da yine 54 kPa yük etkisinde 18 mm yanal genişleme meydana gelmiştir.

Düşey oturma ile yanal genişleme arasında ϵ_y/ϵ_x ; 0.5 oranı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7: Polyester sarmallı taş kolon (1. Aşama) göçme anı.

Sarmal malzeme olarak yüksek mukavemetli polyester kumaş kullanılan deneylerde taşıma kapasitesi aşıldığı andaki göçme biçimi Şekil 5.7' de gözlemlenmektedir. Şekilde görüleceği üzere taş kolon klasik bir fıçı göçme modeline benzeyerek kırılmıştır. Bu kırılma biçimi taş kolonun en yüksek taşıma kapasitesine kolon yüksekliğinin orta noktasından aldığını ispatlamaktadır. Yırtılmalarda yine aynı bölgede meydana gelmiştir.

5.2 İkinci ve Üçüncü Aşama Deneyler

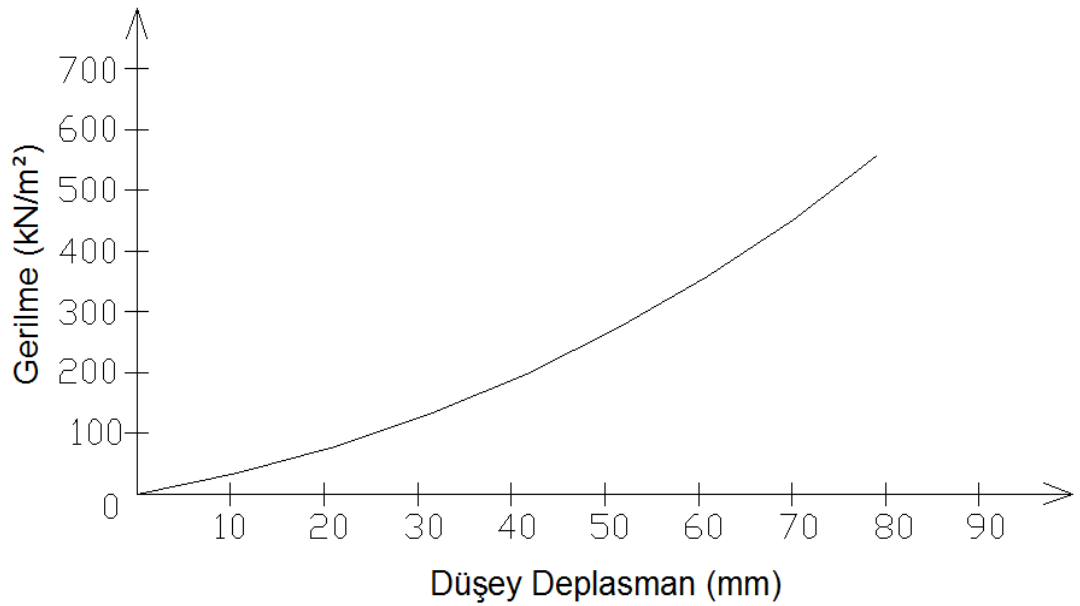
Referans deneyleri ile esas deneyler arasında değişken olarak sadece boyut farkı bulunmaktadır. İlk deneylerde lastiklerin üst üste dizilmesi ile elde edilen kolon şekil ve geometrisinin klasik taş kolon yük taşıma karakteristiğinde bir nitelik kazanıp

kazanmadığının tahkiki çok boyutlu olarak ele alınmıştır. Elde edilen tecrübeler ışığında ikinci aşama deneylere geçilmiştir. Diğer parametreler ve uygulama koşulları aynı kapsamda yürütülmüştür. İkincil aşama deneylerde sarmal malzeme olarak referans deneylerindeki el arabası tekerlerinin yerine atık araç lastikleri ve yüksek mukavemetli kumaşlar (branda) kullanılmıştır.

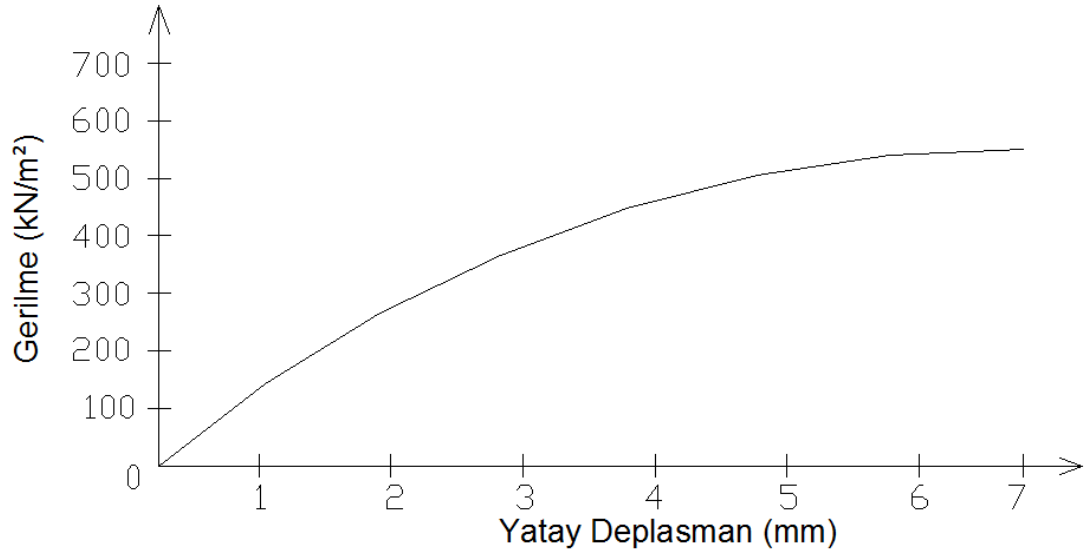
5.2.1 Lastik Sarmallı Taş Kolon (2. Aşama)

Lastik sarmallı taş kolon numunesinin testinde taşıma kapasitesi 226 kPa olarak ölçülmüştür ve oturma değeri Şekil 5.8’ de görüldüğü gibi 78 mm elde edilmiştir. Böylece toplam kolon boyu/düşey deplasman oranı % 7.8 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.9’ da ise aynı yük altında 7 mm yanal deplasman oluşmuştur. Düşey deplasmanın yanal deplasmana oranı da 11.14 olarak bulunmuştur. Yükleme öncesi 2. Aşama lastik sarmallı taş kolon Şekil 5.10’ da görülmektedir.



Şekil 5.8: Lastik sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük- düşey deplasman grafiği.



Şekil 5.9: Lastik sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük- yatay deplasman grafiği.



Şekil 5.10: Lastik sarmallı taş kolon (2. Aşama).

5.2.2 Polyester Sarmallı Taş Kolon (2. Aşama)

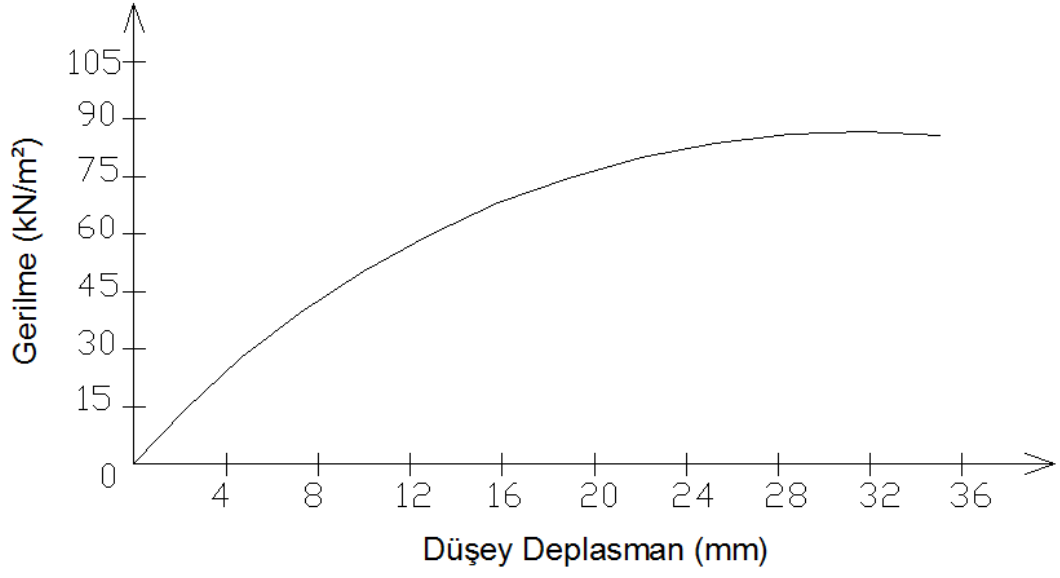
İkinci aşamada, lastik sarmallı taş kolona göre değişken olarak sadece sarmal malzeme seçilmiştir. Polyester sarmallı taş kolon yine 1.5 m yüksekliğinde ve 0.6 m çapında aynı koşullarda imal edilmiştir.

İkinci aşamadaki polyester sarmallı taş kolonda gözlemlenen taşıma gücü 88 kPa' dır ve düşey deplasman değeri ise Şekil 5.12' de belirtildiği üzere 35 mm ölçülmüştür. Toplam kolon boyunun düşey deplasman değerine oranı ise %3.5' tur..

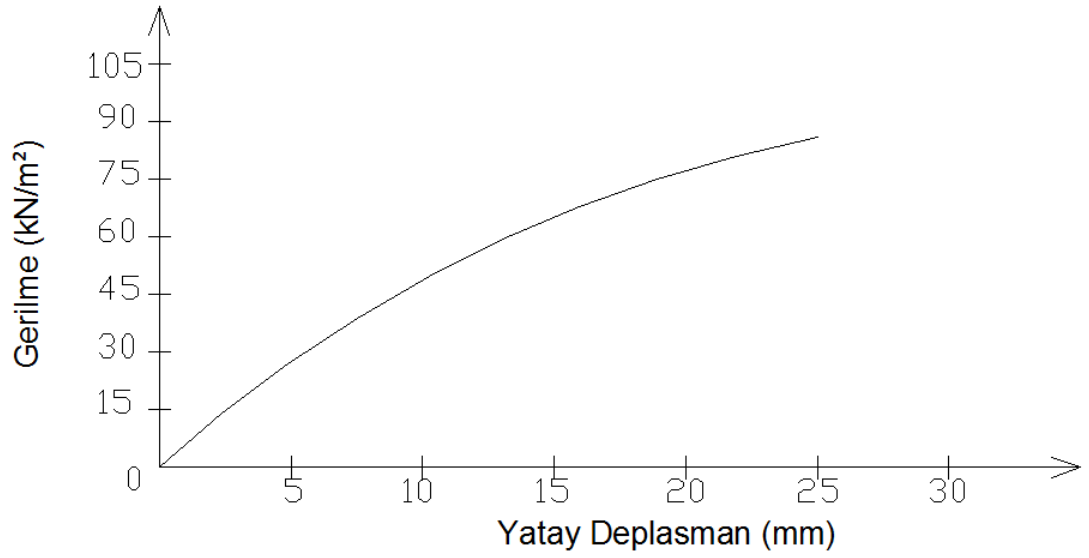
Şekil 5.13' te ise yine 88 kPa düşey yük etkisinde 25 mm yanal açılma meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak düşey deplasman/yanal deplasmana oranı 1.4 bulunmuştur.



Şekil 5.11: Polyester sarmallı taş kolon (2. Aşama).



Şekil 5.12: Polyester sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük- düşey deplasman grafiği.

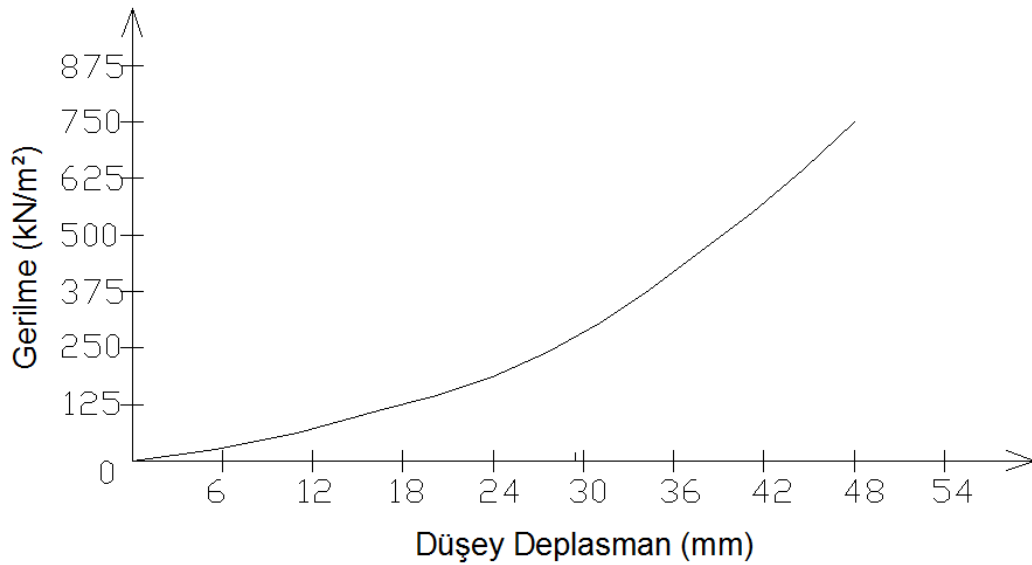


Şekil 5.13: Polyester sarmallı taş kolon (2. Aşama) yük- yatay deplasman grafiği.

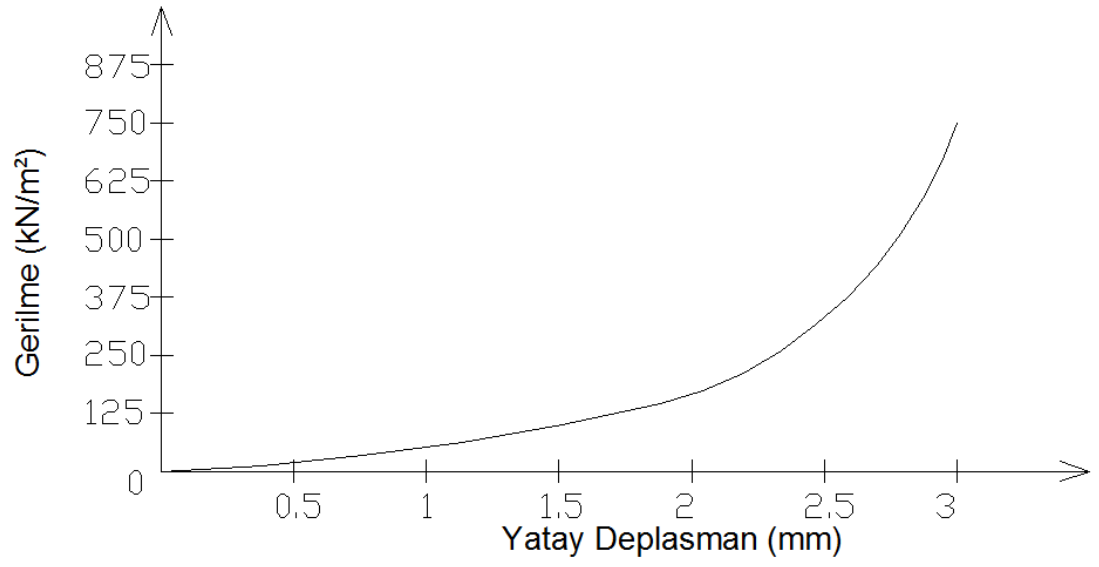
5.2.3 Lastik Sarmallı Kum Kolon (3. Aşama)

Üçüncü aşamada lastik sarmallı kum kolon incelenmiştir. Kum kolon adı altında imal edilen bu zemin iyileştirme imalinin deneyinde Şekil 5.14 ve 5.15’ te görüleceği üzere gerilme karşısındaki düşey ve yanal deplasman değerleri verilmiştir.

Bu deneyin taşıma kapasitesi 749 kPa olup düşey deplasman değeri 48 mm ve yatay deplasman değeri 3 mm olarak okunmuştur. Bunun karşılığında toplam kolon boyu/düşey deplasman oranı % 4.8 ve düşey deplasman/yanal deplasman oranı 16 hesaplanmıştır. Üçüncü aşama deneyleri kum kolon olarak tasarlanmıştır ve aynı koşullar altında test edilmiştir. İki kum kolon deneyi arasındaki değişken sarmal malzeme olarak belirlenmiştir. Şekil 5.16 ve Şekil 5.19’ da lastik sarmallı kum kolon deneyinde atık araç lastiği, polyester sarmallı kum kolonda ise yüksek mukavemetli kumaş (branda, polyester) kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 5.14: Lastik sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük-düşey deplasman grafiği.



Şekil 5.15: Lastik sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük-yatay deplasman grafiği.

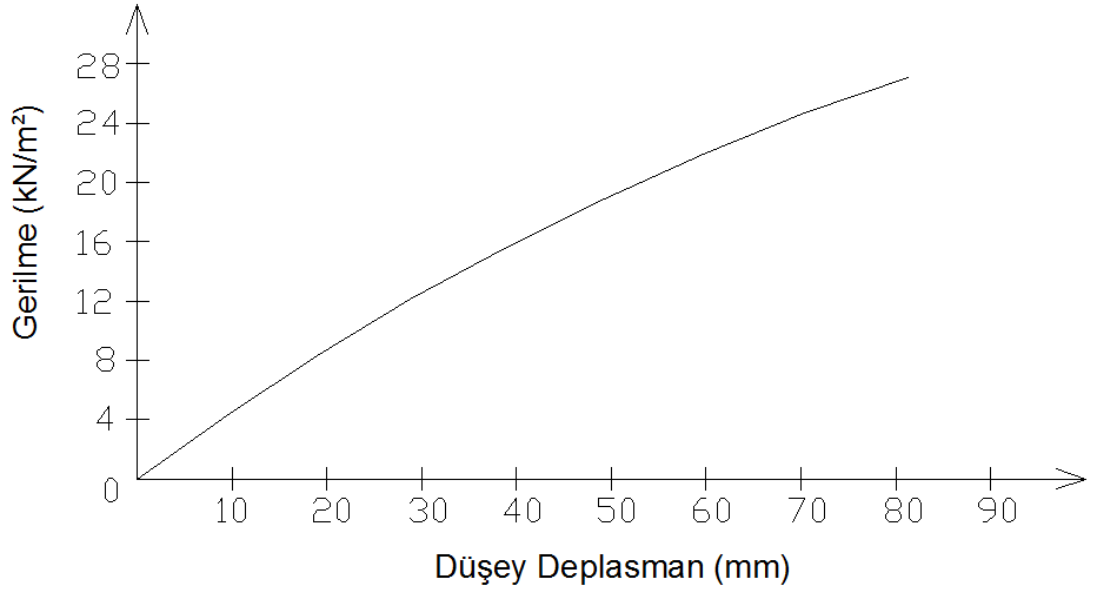


Şekil 5.16: Lastik sarmallı kum kolon (3. Aşama).

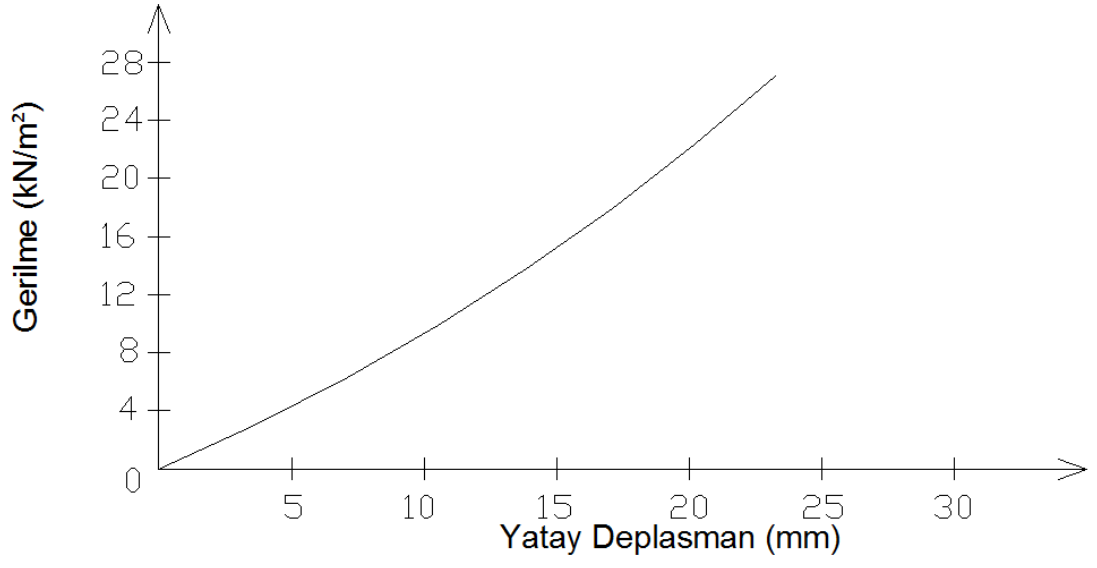
5.2.4 Polyester Sarmallı Kum Kolon (3. Aşama)

Üçüncü aşamadaki deneylerden biri olan polyester sarmallı kum kolon deneyinde ölçülen taşıma kapasitesi 66 kPa' dır ve düşey deplasman değeri ise Şekil 5.17' de görüldüğü üzere 81 mm'dir. Toplam kolon boyunun düşey deplasman değerine oranı ise % 8.1'dir.

Şekil 5.18' de ise yine 66 kPa düşey yük etkisinde 23 mm yanal açılma oluşmuştur. Buna bağlı olarak düşey deplasman/yanal deplasmana oranı 3.52 bulunmuştur.



Şekil 5.17: Polyester sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük- düşey deplasman grafiği.



Şekil 5.18: Polyester sarmallı kum kolon (3. Aşama) yük- yatay deplasman grafiği.

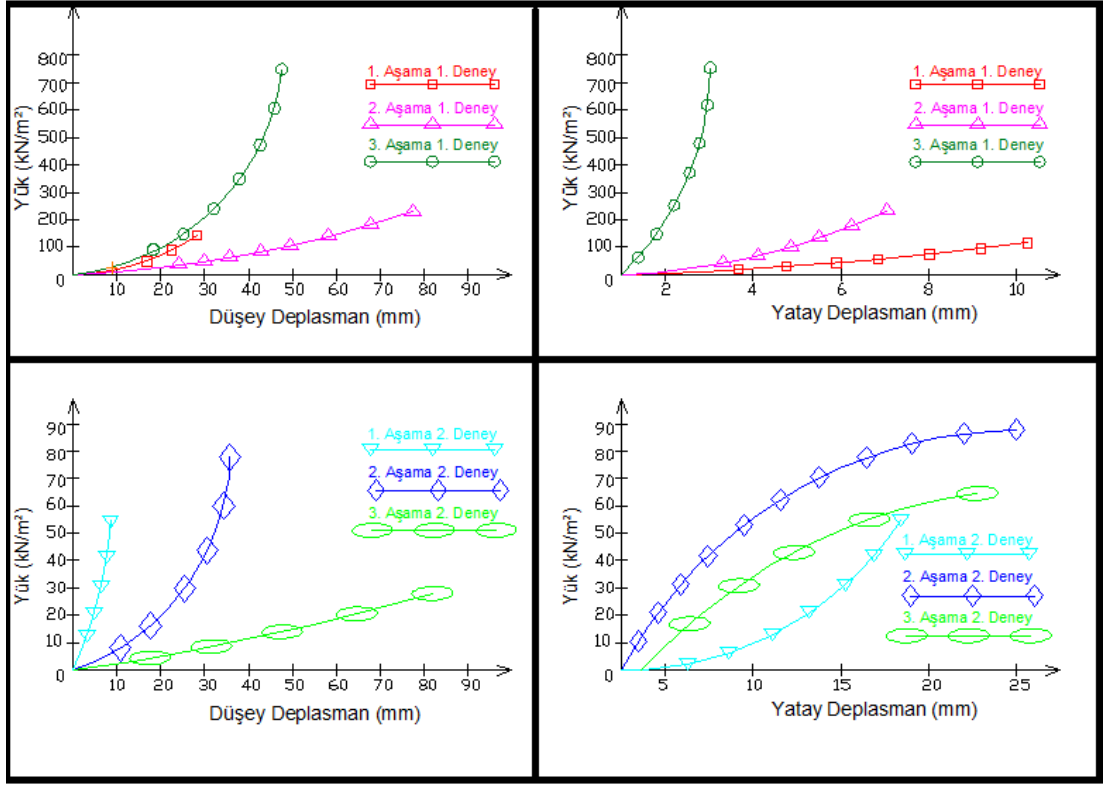


Şekil 5.19: Polyester sarmallı kum kolon (3. Aşama).

Polyester sarmallı kolonlardan en yüksek direnci gösteren numune 88 kPa değerine ulaşan 2. Aşama deneyidir ve düşey deplasman değeri 35 mm iken yatay deplasman değeri 25 mm' dir. Diğer bir ikinci aşama numunesi olan atık araç lastikli taş kolon numunesi ise bu değerlere karşılık taşıma gücünün 555 kPa' a ulaşması ile birlikte düşeyde 78 mm yatayda 3 mm deplasman yaparak polyester sarmallı numuneye göre yaklaşık olarak 6.5 kat fark görülmüştür. Aynı yükleme adımları için polyester sarmallı taş kolon numunesi henüz 88 kPa ve 35 mm düşey deplasmandayken yırtılmış ve tamamen göçmüştür. Bu değerlendirmeler kapsamında lastik sarmalın hem deplasman hem de yük taşıma kapasitesi çerçevesinde klasik geotekstil (branda vb. polyester menşeli) malzemelerden çok daha etkin bir çevre basıncı sağladığı açıkça görülebilmektedir.

Çizelge 5.1: Deney sonuçları.

Deney Numarası	Sarmal Malzeme	Geri Dolgu Malz.	Yükseklik (m)	Çap (m)	Taşıma Kap. (kN/m ²)	Düşey Depl. (mm)	Yatay Depl. (mm)	Düşey Depl./Yatay Depl.
1. Aşama	Lastik	Çakıl	1	0.36	135	27	11	2.46
1.Aşama	Polyester	Çakıl	1	0.36	54	9	18	0.50
2.Aşama	Lastik	Çakıl	1.5	0.60	555	78	7	11.14
2.Aşama	Polyester	Çakıl	1.5	0.60	88	35	25	1.40
3.Aşama	Lastik	Kum	1.5	0.60	749	48	3	16.00
3.Aşama	Polyester	Kum	1.5	0.60	28	81	23	3.52



Şekil 5.20: Tüm deneylerin karşılaştırılması.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Hızla artan şehirleşme talebi, her geçen gün yeni imar alanlarının açılmasına neden olmaktadır. Ne yazık ki, bu yeni alanların birçoğu yapılaşmamaya uygun nitelikte zemin özelliklerine sahip değildir. Böylesi zayıf zemin ortamlarında güvenli ve yönetmeliklere uygun bir yapılaşmanın sağlanabilmesi için zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanması kaçınılmaz hale gelmektedir. Taş kolonlar, son 20 yıllık zaman diliminde belki de üzerinde en çok çalışılmış özgün bir zemin iyileştirme yöntemi olarak kendini göstermektedir. Kaynaklarda bu yöntemin daha etkin ve güçlü bir zemin iyileştirmesi yöntemi olmasına yönelik birçok deneysel ve nümerik çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu tez çalışması da bahsedilen yenilikçi uygulamalara katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Tez içeriği; taş kolon imalinde, çevre ile uyumlu, yüksek taşıma kapasitesine sahip ve daha kolay bir biçimde uygulanabilmesine yönelik deneysel çalışmaları içermektedir. Tez kapsamında diğer çalışmaların hiçbirinde yer almamış bir noktaya odaklanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, atık lastikler parçalanmadan bir bütün olarak kullanılmış ve lastiğin dairesel bütüncül yapısından yararlanılıp, lastiklerin içlerine geri dolgu malzemesi yerleştirilerek, kompozit taş kolonlar imal edilmiştir. Bu sayede atık lastikleri hiçbir dönüşüm sürecine maruz tutulmadan oldukları gibi taş kolon imalinde kullanılabilmişlerdir.

Deneysel çalışmalarda taş kolon agregalarını çepeçevre saran lastik malzemesi ile birlikte yanal deplasmanlara karşı ilave bir rijitlik kazandığı gözlemlenmiş ve şekil değişimlerinin belirgin bir biçimde kontrol altına alındığı belirlenmiştir. Sarmal malzeme olarak atık lastik kullanılan deneylerin tümünde brandaya göre 600 kPa gibi yüksek taşıma kapasitelerine ulaşılmıştır. Birinci aşama seri deneylerde, atık lastik sarmallı taş kolon numunesi ilk branda sarmallı taş kolona oranla 2.5 kat daha fazla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İkinci ve üçüncü aşama deneylerde ise geri dolgu malzemesi olarak çakıl kullanılan deneylerde atık lastik sarmallı taş kolon, branda sarmallı taş kolona göre 6.3 kat daha yüksek taşıma gücüne sahiptir. Kum kolon deneylerinde de atık lastik sarmallı numune yine branda sarmallı numuneye göre

taşıma kapasitesi açısından 11.3 kat daha verimli sonuçlar vermiştir. Ayrıca atık lastik sarmallı deneylerde yükleme kaldırıldıktan sonra kolon eski haline dönebilmekte iken branda sarmallı kolonlar deforme olarak göçmüşlerdir. Bu sonuçtan yola çıkılarak süneklik kabiliyeti açısından da atık lastiklerin taş kolon uygulamasındaki etkinliği bir kez daha görülmektedir.

Bu davranış farkının; lastik malzemesinin, betonarme kolonlardaki etriye gibi sarmal bir görev üstlenerek mukavemet artırıcı bir unsur olarak taşıma gücüne katkı sağladığı anlaşılmaktadır.

Yürütülen deneylerde taş kolon numuneleri farklı geri dolgu malzemelerinde ve en sıkı yerleştirme koşullarında düşey yüklere maruz bırakılmışlardır. Sarmal malzeme olarak lastik kullanılan deneylerde, kum geri dolgu malzemeli numune çakıl geri dolgu malzemeli numuneye oranla 1.35 kat daha fazla taşıma gücü göstermektedir. Sarmal malzeme olarak polyester (branda) kullanılan deneylerde ise, çakıl geri dolgu malzemeli numune kum geri dolgu malzemeli numuneye oranla 1.33 kat daha fazla taşıma gücü göstermektedir. Her iki geri dolgu malzemesinde de sarmallı ve sarmalsız kolonların davranışları birbirleri ile aynı değişim paternine sahiptir.

Elde edilen veriler taş kolon imalinde atık lastiklerin kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak deneysel çalışmalarda eksik olan ve gelecek çalışmalar için bazı önerilerin de dile getirilmesinde yarar vardır.

Örneğin çalışmada yürütülen bütün deneyler çevre basıncı olmaksızın gerçekleştirilmiştir. Oysaki, taş kolonlar taşıma kapasitelerinin bir bölümünü yerleştirildikleri ortamdaki doğal zemin ortamındaki çevre gerilmelerinden ve yanal aktif itkiden almaktadırlar. Özellikle yüksek plastisiteli killi zeminlere yerleştirilen taş kolonlar ortamdaki bu gerilmelerden yararlandıkları gibi aynı zamanda suya doygun killi malzemenin yanal drenaja imkan sağlayan taş kolon kesiti sayesinde drenaj imkanı sağlayabilmektedir. Deney sistemimizde ne yazık ki bu türden durumları incelemeye alınmamıştır.

Deneyler tamamlandıktan sonra uygulamanın yapılışı ve elde edilen sonuçlara göre birtakım değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bu değerlendirmeler dahilinde lastiklerin arazi şartlarında, zemine yerleştirilmesi esnasında açılan kuyu çapı ile lastik yüzeyi arasındaki boşlukların doldurulmasının zorluğu, gevşek zeminin kompaksiyon sırasında lastiklerin yanal tutuculuğundan dolayı sıkışma sorunu ve kolonların su geçirmez olması sebebiyle konsolidasyon sürecinin beklenen ölçüde olamayacağı gibi sıkıntılarla karşılaşabileceği tahmin edilmektedir.

Çalışmanın asıl amacı atık lastiklerin zemin iyileştirme alanında kullanılarak geri dönüşüme katkı sağlamasına bir kapı açmaktır. Bahsi geçen türdeki sorunların farkında olunmasının yanı sıra bu dezavantajların ortadan kaldırılması için çalışmalar yürütülecektir. Tezde yürütülen çalışmaların finansal kaynağı Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri tarafından karşılanmıştır. Araştırma projesi kapsamında 1.5x1.5x1.5 metre boyutlarında yaptırılan kutu içerisinde benzer deneyler yapılarak taş kolonların zemin etkileşimi ile ele alınması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adalier, K., Elgamal, A., Meneses, J., ve Baez, J. I., 2003. Stone columns as liquefaction countermeasure in non-plastic silty soils, *Soil Dynamics and earthquake engineering*, Elsevier, Vol.23, 571-584.
- Ali, K., J. T. Shahu, and K. G. Sharma. Model tests on geosynthetic-reinforced stone columns: a comparative study. *Geosynthetics International* 19.4 (2012): 292-305.
- Ayothiraman, R., Soumya, S., 2011. Use of shredded tyre chips as aggregates in stone column: an experimental study, proceedings of Indian Geotechnical Conference, December 15-17,2011, Kochi (Paper No. L-175).
- Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C., 1983. Design and Construction of Stone Columns Volume II, FHWA/RD-83/027, Federal Highway Administration, U.S.A.
- Barulas Mühendislik ve İnşaat A.Ş., 2012. Taş Kolon Yapım Yöntemi.
- Bell, F. G. 1975. Methods of treatment of unstable ground, 1st Ed., Newnes-Butterworths: London.
- Besancon, G. & Pertusier, E. 1982. Soil improvement by deep vibration. Proc. ASCE Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques. Bangkok.
- Bowles, M. L., M. D. Hutchison, and J. L. McBride. 1994. Landscape pattern and structure of oak savanna, woodland, and barrens in northeastern Illinois at the time of European settlement. 65–73.
- Fralish, J. S., Anderson, R. C., Ebinger, J. E. ve Szafoni, R. 1994. Proceedings of the North American conference on savannas and barrens. Environmental Protection Agency, Great Lakes National Program Office. Chicago, IL, USA.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği.
- Das, B.M., 1983. Fundamentals of soil dynamics, Elsevier Science Publishing Co. Inc., s 353-374, New York, USA.
- Ertas, T., 1997. Zararlı atıkların ozon ile oksidasyonu. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul
- Geoteknik Uygulamalar: Taş Kolonlar, 2012. Sonar Zemin A.Ş.
- 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 concrete. Cement and Concrete Research 34: 2283-2289.
- Harr, M.E., 1966. Fundamentals of Theoretical Soil Mechanics. McGraw-Hill, New York.
- Janbu, N., Bjerrum, L., Kjaernsli, B., 1956. Stabilitetsberegning for fyllinger skjaeringer og naturlige skraninger, Norwegian Geotechnical Publication No. 16, Oslo, Norway.
- Karabörk, F. ve Akdemir, A. 2013. Atık Taşıt Lastiklerinin Parçalanması ve Lastik Tozunun Karakterizasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi ISSN: 1012-2354, 29(1): 29-40.
- Karacasu, M. ve Bilgiç, Ş., 2009. Atık lastik katkısının sıcak asfalt özelliklerine etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXII, Sayı:2, Eskişehir.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. Karayollarında Zayıf Zemin Problemleri ve Önlemler.
- Khabbazian, M., Kaliakin, V. N. ve Christopher L. Meehan, 2010. Numerical study of the effect of geosynthetic encasement on the behaviour of granular columns. Geosynthetics International 132-143.
- Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H., Turer, A. 2005. Elastik art-germe şeritleriyle yığma yapıların güçlendirilmesi, YDGA2005: Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı Bildirileri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kültür Kongre Merkezi, sy: 1-12, Ankara.
- Kosho, A., 2000. Ground improvement using the vibro-stone column technique, A.L.T.E.A & Geostudio 2000, Durres, Albania.
- Kurt. E., 2011. Darbeli kırmataş kolon ve taş kolon elemanlarına ait yükleme testlerinin analizi ve sonuçlarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Küçükgül, E. Y., 2004. Tehlikeli Atıkların Yönetimi. Tehlikeli Atıkların Yönetimi Kursu–TMMOB CMO İzmir Şubesi, İzmir.
- Lagrega, M. D., Buckingham P.L., Evans J.C., 1994. Hazardous Waste Management, McGraw-Hill. 641-698 s.
- Lo, S. R., Zhang, R. ve Mak, J., 2010. Geosynthetic-encased stone columns in soft clay: a numerical study. Geotextiles and Geomembranes 292-302.
- Mesri, G., P. M. Godlewski., 1977. Time and Stress Compressibility Inter relationship. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 103, GT5 pp. 417 430.

- Murugesan, S., ve Rajagopal, K., 2006. Geosynthetic-encased stone columns: numerical evaluation. *Geotextiles and Geomembranes* 349-358.
- Naval, S., Kumar, A., Bansal, S., 2012. Pressure settlement characteristics for strip footing resting on sand reinforced with waste tire fibers, *EJGE*, 17, 3771-3795.
- Niroumand, Hamed, Khairul Anuar Kassim, ve Chong Siaw Yah. 2011. Soil improvement by reinforced stone columns based on experimental work. *EJGE*16.
- Organ, A., Ertuğrul, İ., Fedai Deniz, Ö., 2013. Tersine lojistik ağ modelinin tamsayılı programlamayla tasarımı: Ömrünü tamamlamış lastik geri kazanım örneği, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt 14, Sayı 1.
- Özaydın, K., 2012. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi.
- Rao, G. V. ve Dutta, R. K. 2006. Compressibility and strength behaviour of sand-tyre chip mixtures. *Geotechnical & Geological Engineering*, 24(3), 711-724.
- Selçuk, L., 2009. Zemin sıvılaşmasına karşı optimum taş kolon tasarımının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Siddique, R., T.R. Naik, 2004. Properties of concrete containing scrap-tire rubber an overview, *Waste Management*, Vol.24, pp. 563-569.
- Srivastava, A., Pandey, S., & Rana, J. 2014. Use of shredded tyre waste in improving the geotechnical properties of expansive black cotton soil. *Geomechanics and Geoengineering*, 9(4), 303-311.
- Sugözü İ., Mutlu İ., 2009. Atık Taşıt Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 1, No: 1, (35-46)
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, ISBN 0-471-85305-4.
- Tuncdemir, F., 2004. Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi.
- Uslu, Ş., Akçadağ, M., 2012. İlaç sektöründe tersine lojistik ve dağıtımın rolü: Bir Uygulama, *Niğde Üniversitesi İİBF. Dergisi*, Sayı:1,149-158.
- Ünlü, H. 2006. Otomotiv endüstrisinde oluşan tehlikeli atıkların geri kazanım, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vautrain, J., 1977. Reinforced earth wall on stone columns in soil, *International Symposium on Soft Clay*, Bangkok, 188-194.

- Vekli, M., 2009. Taş kolon ile şev iyileştirmesinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeşilata, B., Bulut, H., Turgut, P. ve Demir, F., 2007. Atık taşıt lastiklerinin geri kazanımı ve yalıtım amaçlı kullanımı, MMO tesisat mühendisliği dergisi, 102, 64-72.
- Yoon, Y.W., Seung Beom Heo., Keu SooKim, 2008. Geotechnical performance of waste tire for soil reinforcement from chamber tests. ELSEVIER, Geotextiles and Geomembranes 26(2008) 100-107.
- Yüksek, M., 2013. Atık lastik parçalarının hendek geri dolgu malzemesi olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Yüksel Proje, 2007. DLH, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Geoteknik Tasarım Esasları, Ankara.
- Zahmatkesh, A. ve Choobbasti , A., 2010. Investigation of bearing capacity and settlement of strip footing on clay reinforced with stone columns, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(8), 3658-3668.
- URL-1, <<http://zeminteknolojileri.com/tr/activity.asp?p=38&q=29>>, alındığı tarih: 20.08.2015.
- URL-2, <<http://www.slideshare.net/NileshBhosale6/gt-39281373>>, alındığı tarih: 14.08.2015.
- URL-3, <<http://www.zetas.com.tr/index.php?dil=TR&id=222000>>, alındığı tarih: 21.4.2015.
- URL-4, <<http://www.zetas.com.tr/index.php?dil=TR&id=222000>>, alındığı tarih: 21.04.2015.
- URL-5, <http://huffingtonpost.co.uk/2014/01/16news-pictures-of-the-day-thursday-17th-january-2014_n_4610723.html>, Huffington Post, Huge Fire At Recycling Plant In Sherburn In Elmet, alındığı tarih: 17.11.2014.
- URL-6, <http://www.lastiknokian.com/teknik_kilavuz.pdf>, alındığı tarih: 28.08.2015.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Can ERENSON

Doğum Tarihi ve Yeri: 12.02.1991 ANTALYA

E-posta adresi : canerenson@aksaray.edu.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat
Mühendisliği, 2013

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat
Mühendisliği, 2015