

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK MADDELERİN YOL İNŞAATLARINDA
TEMEL MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Bilal EROL**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği**

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK MADDELERİN YOL İNŞAATLARINDA
TEMEL MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bilal EROL
501051302**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Nisan 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Aykut ŞENOL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Tuğrul ÖZKAN (İTÜ)
Prof. Dr. Emine AĞAR (İTÜ)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca deneyimini ve desteğini benden esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Aykut ŞENOL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlık aşamasında desteğini benden esirgemeyen M. İhsan ŞİMŞEK'e, Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN'a İstanbul Büyükşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü çalışanlarına, müdür yardımcılarına, şefime ve iş arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma, babama, anneme kardeşlerim İnş. Müh – Çev. Müh. Fatih EROL'a Mim. Ömer F. EROL'a dostum İnş Müh. Osman T. YAKAR'a eğitimim ve tez çalışmam süresince gösterdikleri sabır ve anlayış için yürekten teşekkür ederim.

Haziran, 2008

Bilal EROL
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOLLER	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. YOLLARDA KULLANILAN GELENEKSEL ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	4
2.1 Zemin Enjeksiyonu	4
2.1.1 Boşluk Oranı	5
2.1.2 Permeabilite	5
2.1.3 Viskozite	5
2.1.4 Enjeksiyon Malzemesi	5
2.2 Önyükleme (Sürşarj) Yöntemi	8
2.3 Geosentetikler	11
2.3.1 Geosentetiklerin Kullanım Amaçları	12
2.3.2 Geotekstil	14
2.3.3 Geogrid	15
2.3.4 Geonet	16
2.3.5 Geomembran	17
2.3.6 Geocell	18
2.3.7 Geokompozit	19
3. ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ LASTİKLERİN YOLLARDA KULLANIMI	20
3.1 Kullanılmış Lastiklerin Günümüzdeki Kullanım Alanları	21
3.1.1 Bütün Haldeki Lastikler	22
3.1.2 Lastik Parçaları ve Lastik Tozları	22
3.1.3 Lastik Balyaları	24
3.1.4 Diğer Mühendislik Uygulamaları	24
3.2 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin, Lastik Parçalarının ve Balyalarının Karakteristik Özellikleri	25
3.2.1 Araç Lastiklerinin Genel Yapıları	25
3.2.2 Lastik Şeritlerinin Genel Yapıları	26

3.2.3	Lastik Balyalarının Genel Yapıları	26
3.3	Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin, Lastik Parçalarının ve Balyalarının Mühendislik Özellikleri	28
3.3.1	Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Standartlaştırılması	28
3.3.2	Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Teknik Özellikleri	29
3.4	Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin, Lastik Parçalarının ve Balyalarının Çevreye Etkilerinin İncelenmesi	39
3.4.1	Lastiğin Yapısı	40
3.4.2	Çevreye Karışılabilirlik	43
3.5	Yasal Sınırlamalar	47
4.	UÇUCU KÜLLER KULLANILARAK ZEMİN STABİLİZASYONU	49
4.1	Uçucu Kül	49
4.2	Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	50
4.3	Uçucu Kül ile Zemin Stabilizasyonu	51
4.3.1	Kullanılan Malzemenin Özellikleri	52
4.3.2	Laboratuvar Testleri	53
4.3.3	Stabilize Edilmiş Zeminlerin Mühendislik Özellikleri	57
4.3.4	Numunelerin Serbest Basınç Dayanımı ve CBR Deneyleri	58
5.	METAL CÜRUFUNUN YOLLARDA TEMEL MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI	61
5.1	Tehlikeli Atıkların Çevresel Değerlendirmesi	62
5.1.1	Tehlikeli Madde	63
5.2	Metal Cürufu Çevresel Değerlendirmesi	72
5.3	Metal Cürufu Mühendislik Özellikleri	74
6.	UYGULAMA: 75.YIL ÖĞRENCİ TESİSLERİ SERVİS YOLU	76
6.1	Uygulama Alanı	76
6.2	Uygulama Alanı ve Yakın Çevresi Genel Jeolojisi	77
6.3	Uygulama Alanının Mühendislik Özellikleri	77
6.4	Yapım Yöntemi	79
6.5	Standart Yol Yapım Şartları	81
6.5.1	Kazı	81
6.5.2	Alttemel	81
6.5.3	Temel	84
6.5.4	Beton Temel Yapılması	87
6.5.5	Asfalt Betonu Binder ve Aşınma Tabakaları	88
6.6	Metal Cürufu ile Yollarda Temel Yapım Yöntemi	93
6.6.1	Yol Kazısı	93
6.6.2	Alttemel	93
6.6.3	Temel	96
6.6.4	Koruma Tabakası	96
6.6.5	Beton Temelin Yapılması	98
6.6.6	Asfalt Betonu Binder ve Aşınma Tabakalarının Yapılması	102
6.6.7	Yolun Kullanıma Açılması	108
7.	ÖLÇÜM VE ANALİZLER	109

7.1	Sonlu Elemanlar Metodu ile Yolun Modellenmesi	109
7.1.1	Sonlu Elemanlar Yöntemi	109
7.1.2	Cüruf Temelli Yolun Analizi ve Sonuçları	111
7.1.3	Standart Temelli Yolun Analizi ve Sonuçları	113
7.2	Arazi Oturmalarının Belirlenmesi	114
7.2.1	Aplikasyon	114
7.2.2	Ölçme	115
7.2.3	Uygulama	116
7.2.4	Sonuç	116
7.3	Karot Numunelerinin Değerlendirilmesi	117
7.4	Araziden Alınan Su Numunelerinin Değerlendirilmesi	118
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	122
	EKLER	125
	KAYNAKLAR	129
	ÖZGEÇMİŞ	134

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Off.
ASTM	: American Society of Testing Materials
CAA	: Clean Air Act
CBR	: California Bearing Ratio
CERCLA	: The Comprehensive Environmental Response, Compensation Liability Act
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
CL	: Düşük Plastisiteli Kil
CWA	: Clean Water Act
EPA	: Environmental Protection Agency
ETRA	: European Tire Recycling Association
FEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
FHSA	: Federal Hazardous Substances Act
GP	: Kötü Derecelendirilmiş Çakıl
GW	: İyi Derecelendirilmiş Çakıl
MH	: Yüksek Plastisiteli Silt
ML	: Düşük Plastisiteli Silt
PAH	: Polisilik Aromatik Hidrokarbon
PVC	: Polivinil Klörür
RCRA	: Resource Conservation and Recovery Act
SBR	: Styrene Butadiene Rubber
SW	: İyi Derecelenmiş Kum
SP	: Kötü Derecelenmiş Kum
USCS	: Unified Soil Classification System
USDOT	: United States Department of Transportation
YAS	: Yeraltı Suyu
YASS	: Yeraltı Suyu Seviyesi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Geosentetiklerin özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan testler (Skok vd., 2003)	12
Tablo 3.1 Ahmed ve Lovell (1993), Cecich (1996), Bosscher (1997) tarafından yapılan proktor deneyleri	37
Tablo 3.2 Silikat ve kurum bazlı lastiklerin kullanım sonrasında oluşacak tahmini bileşen kayıpları	41
Tablo 3.3 16 PAH bileşeni	43
Tablo 3.4 EN 12457 standardına göre PAH sızdırma testi sonuçları	45
Tablo 3.5 Normal pH koşullarında lastikler için fenol ve TOC sızdırma testi sonuçları (Håøya, 2004)	46
Tablo 4.1 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri (Acosta 2002)	53
Tablo 4.2 Zeminlerin indeks özellikleri, kompaksiyon özellikleri, sınıflandırması ve CBR değerleri (Edil, vd., 200 ve 2002)	57
Tablo 5.1 Yüksek derecede tehlikeli maddelerin biyolojik sınıflandırması	69
Tablo 5.2 EK 11-A Atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleri ve analiz sonuçları	73
Tablo 5.3 Cüruf Numunesinin Proktor ve CBR değerleri	75
Tablo 6.1 Alttemel malzemesi granülometri limitleri	82
Tablo 6.2 Alttemel malzemesi fiziksel özellikleri	82
Tablo 6.3 Alttemel sıkıştırma kriterleri	83
Tablo 6.4 Kaba agrega fiziksel özellikleri	85
Tablo 6.5 İnce agrega fiziksel özellikleri	85
Tablo 6.6 Granüler temel tabakası granülometri limitleri	86
Tablo 6.7 Granüler temel tabakası sıkıştırma kriterleri	86
Tablo 7.1 Tanımlanan Malzeme Özellikleri	112
Tablo 7.2 Tanımlanan Malzeme Özellikleri	113
Tablo 7.3 Karot numunelerinin basınç mukavemetleri	117
Tablo 7.4 Beton karışımı	118
Tablo 7.5 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı resmi gazetede yayınlanan su parametreleri	120
Tablo 7.6 Cüruf temelli ve standart temelli yollardan alınan su numunelerinin analizleri	121
Tablo A.1 Yol Kot Ölçümleri	126

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Sodyum silikat – sodyum alimünat enjeksiyonu	7
Şekil 2.2 : Jet grout uygulaması	8
Şekil 2.3 : Geotekstil örnekleri (Skok vd., 2003).....	14
Şekil 2.4 : Geosentetik örnekleri (Skok vd., 2003)	15
Şekil 2.5 : Geogrid örnekleri (Skok vd., 2003).....	16
Şekil 2.6 : Geonet (www.garmer-online.com)	17
Şekil 2.7 : Geomembran (www.alibaba.com)	18
Şekil 2.8 : Geocell (www.kometa.by)	19
Şekil 3.1 : Lastik balyası (www.utexas.edu)	24
Şekil 3.2 : Lastik bileşimleri (Edeskär, 2005)	25
Şekil 3.3 : Araç lastiklerinin genel bileşimleri (Edeskär, 2005)	26
Şekil 3.4 : Hacim ve ağırlık tanımları	30
Şekil 3.5 : 3 Ayı boyutta ve ayrı tipteki lastik parçaları için düşey yük ile boşluk oranı arasındaki ilişki (Humphrey, 2000)	34
Şekil 3.6 : Değişik laboratuvar testlerinde dane çapları için alınan kuru birim hacim ağırlıkları (Ahmed ve Lovell, 1993).....	38
Şekil 4.1 : Uçucu külün zemin iyileştirmesi için araziye getirilmesi (Edil vd., 2000 ve 2002)	54
Şekil 4.2 : Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu (Edil vd., 2000 ve 2002).....	55
Şekil 4.3 : Hazırlanan zemin – uçucu kül karışımının keçi ayakla sıkıştırılması (Edil vd., 2000 ve 2002)	56
Şekil 4.4 : Zeminlerin kompaksiyon eğrileri (Acosta, 2002)	56
Şekil 4.5 : Uçucu kül içeriğinin kuru birim ağırlık değerleriyle karşılaştırılması (Acosta, 2002)	59
Şekil 4.6 : Uçucu kül içeriğinin CBR değerleriyle karşılaştırılması (Acosta, 2002)	60
Şekil 5.1 : Metal cürufu	61
Şekil 5.2 : Cüruf numunesi için proktor sonuçları	75
Şekil 5.3 : Cüruf numunesi için elek analizi sonuçları	75
Şekil 6.1 : İTÜ servis yolu hava fotoğrafı	76
Şekil 6.2 : Kıvam limitleri deneyi için hazırlanan numune	78
Şekil 6.3 : Yıkılan dolgu malzemesi	78
Şekil 6.4 : Dolgu malzemesi için granülometri eğrisi	79
Şekil 6.5 : Metal Cürufu ile yollarda temel teşkili	80
Şekil 6.6 : Standart Yol Kesiti	80
Şekil 6.7 : Beton temel kesiti.....	81

Şekil 6.8	: Sıyırma sonrası inşaat alanı	93
Şekil 6.9	: Yol kazısı	94
Şekil 6.10	: Kazı sonrası yol görünümü	94
Şekil 6.11	: Alttemel malzemesi serimi	95
Şekil 6.12	: Serim ve sıkıştırma sonrası alttemel tabakası	95
Şekil 6.13	: Araziye Getirilen Cüruf	96
Şekil 6.14	: Cüruf temel tabakası serimi sonrası yol görünüşü	97
Şekil 6.15	: Koruma tabakasının serilmesi	97
Şekil 6.16	: Kalıplar çakılması ardından yolun görünüşü	98
Şekil 6.17	: Yolun beton temelini yapılıması	99
Şekil 6.18	: Masterla betona perdah yapılması	99
Şekil 6.19	: Beton temelini tamamlanmış durumu	100
Şekil 6.20	: Beton temelden karot alınması	101
Şekil 6.21	: Alınan karot numuneleri	101
Şekil 6.22	: Basınçlı su kullanılarak temizlenen yol	102
Şekil 6.23	: Makine yardımı ile yapıştırıcının serilmesi	103
Şekil 6.24	: Finişer ile serime başlanması	104
Şekil 6.25	: Finişer ile serim yapılması I	104
Şekil 6.26	: Finişer ile serim II	105
Şekil 6.27	: Asfaltın sıcaklık ölçümü	106
Şekil 6.28	: Sıkıştırılmanın yapılması	106
Şekil 6.29	: Son silindiraj	107
Şekil 6.30	: Tamamlanmış Yol	108
Şekil 7.1	: Cüruf temelli yol kesiti	110
Şekil 7.2	: Kırmataş temelli yol kesiti	110
Şekil 7.3	: Cüruf temelde modellenen tabakalar ve mesh edilmiş model	111
Şekil 7.4	: Cüruf temelli yol kesitinde oluşan toplam oturma miktarı	112
Şekil 7.5	: Standart kesite göre modellenen tabakalar ve mesh edilmiş model	113
Şekil 7.6	: Standart yol kesitinde oluşan toplam oturma miktarı	114
Şekil 7.7	: Cüruf kesitten kırmataş kesitine geçişte meydana gelen çatlama	117

SEMBOLLER

A	: Yüzeyin Alanı
b	: Her Tabakaya Vuruş Sayısı
c_c	: Sıkışma İndeksi
e	: Boşluk Oranı
G_s	: Özgül Ağırlık
h	: Düşme Yüksekliği
H_c	: Tabaka Kalınlığı
H₀	: Sıkıştırma Öncesi Lastik Tabakasının Kalınlığı
i	: Hidrolik Eğim
I_p	: Plastisite İndeksi
k	: Permeabilite
LOI	: Ateşleme Eksikliği
n	: Porozite
nu	: Proktor Tabakası Sayısı
Q	: Debi
qu	: Serbest Basınç
t_{SR}	: Toplam Oturmanın Gerçekleşeceği Süre
V₀	: Sıkıştırma Öncesi Hacim
V_c	: Sıkıştırma Sonrası Hacim
w	: Su Muhtevası
W	: Tokmağın Ağırlığı
w_L	: Likit Limit
σ_f	: Dolgu Yüğü
σ_o	: Başlangıç Düşey Efektif Gerilme
γ_n	: Doğal Birim Hacim Ağırlığı
γ_c	: Sıkıştırılma Sonrası Birim Hacim Ağırlık
γ_n	: Doğal Haldeki Birim Hacim Ağırlık
ΔH	: Oturma Miktarı

ATIK MADDELERİN YOL İNŞAATLARINDA TEMEL MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

ÖZET

Uzun yıllardır atık malzemelerin inşaat malzemeleri yerine kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Artan teknolojik gelişmeler, beraberinde gittikçe artan bir kirlilik getirmektedirler. Artan bu atık madde sorununun çözümü için tüm dünyada çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların ortak amacı, devam eden çalışmaları inceleyip bu çalışmalar ışığında atık malzemelerin kullanılabilmesi için yeni çözümler üretmektir. Aynı zamanda bilimsel çevreler ve uluslararası standart kuruluşları, doğan ihtiyaçları karşılamak için yeni metodolojiler ve gereçler geliştirmiştir. Bu araştırmada amaç standardize edilmemiş ve genel manada kullanım alanı bulunmayan atık malzemelerin Türkiye’de yol inşaatlarında kullanılabilme ihtimalinin hem teknik açıdan, hem de çevresel açıdan değerlendirilmesidir. Bu çalışmada bilgisayar analizleri ve laboratuvar deneylerinden elde edilen bilgiler ışığında geniş kullanım alanları göz önüne alınarak çeşitli atık malzemeler incelenmiştir. Ömrünü tamamlamış araç lastikleri, uçucu kül ve metal cürufu araştırmaya konu olacak atık malzemeler olarak belirlenmiştir. Bu malzemelerden ömrünü tamamlamış lastikler ve uçucu kül üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin yanında metal cürufu için deneylerin yanı sıra nümerik analiz ve arazi uygulaması da yapılmıştır. Araştırmada seçilen atık malzemelerin doğru uygulama şartları altında yollarda temel olarak kullanılmasının yolun dayanıklılığı açısından ve çevresel açıdan herhangi bir soruna yol açmayacağı belirtilmiştir. Sonuç olarak, göz önüne alınan şartlarda yukarıda belirtilen ömrünü tamamlamış lastik, uçucu kül ve metal cürufunun yollarda temel malzemesi olarak kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

USING WASTE MATERIALS AS ROAD BASE FOR ROAD CONSTRUCTION

SUMMARY

For a long time, numerous industrial and public initiatives have been launched in order to make knowledge, practices and mentalities evolve in the relation to the acceptability of using the waste instead of a raw material as the construction product. The objectives of the initiatives have been to evaluate current practices and to make new solutions and beneficial use channels emerge. At the same time, scientific and standardization communities have developed methodologies and tools to fit with the assessment needs. This research deals with the presentation of this project focusing more specifically on the approach to assess both technical and environmental acceptability of the waste and out-of-technical-specifications-material to be used as an alternative material in the road construction in Turkey. Waste tires, fly ash and metal slug were selected for this investigation based on their wide use and information extracted from computer analysis and laboratory tests. Design parameters for roads constructed using discarded metal slug, waste tires and fly ash were presented based on laboratory model studies. Also numerical analysis and field performances were conducted for the metal slug. The conclusion of this research supports that the selected waste materials as an environmentally acceptable base material in road constructions. Consequently, it is concluded that the usage of waste materials as base material for road constructions is possible for every aspect of this research.

1. GİRİŞ

Sosyo–ekonomik gelişime bağlı olarak ciddileşen sorunların başında gelenlerden biri atık maddelerin tekrar kullanımı ve/veya yok edilmesidir. Atık maddelerin bertarafında dikkat edilmesi gereken ilk unsur atıkların doğuracağı çevresel etkilerdir. Çevresel sınırlamalar her geçen gün artmakta ve eski bertaraf metotları için verilen izinler gittikçe azalmaktadır. Bu sebeplerle artık belirli atık maddelerin yol ve üstyapı inşaatlarında kullanılması gittikçe ciddileşen bir seçenek olarak görülmektedir.

Amerika Birleşik Devletlerinde 2001 yılında ortaya çıkan ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin % 77,6'sı çeşitli uygulamalarla tekrar kullanılmış veya bertaraf edilmiştir. Geri kalan kısım ise kontrolsüzce lastik yığınları haline getirilmiş veya yasadışı yollarla bütün halde gömülmüştür. Parçalanmış veya bütün haldeki lastik yığınlarının çevresel problemler doğuracağı bilinmektedir. Bunların en önemlileri sivrisinekler ve daha birçok kemirgen için üreme ortamları oluşturması ve ciddi yangınlara neden olmasıdır (Zornberg, 2005). Ömrünü tamamlamış lastiklerin bertaraf edilmesi için uzun yıllardır içerisinde inşaat mühendisliği uygulamalarının da bulunduğu çeşitli alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Ömrünü tamamlamış lastikler; hafif olmaları, yanal kuvvetlere karşı dirençleri, düşük ısı geçirgenliği ve iyi drene olmaları özellikleri ile sınıflandırılırlar. Birçok ülke, bu tip atıklardan kurtulmak için teşvik oluşturduğu için ömrünü tamamlamış lastik yığınları çok ekonomiktir. Ekonomik olması ve mühendislik özellikleri nedeniyle ömrünü tamamlamış lastikler; yapısal olmayan ses yalıtım duvarları, hafif dolgular, zayıf zeminlerin dolgusu, istinat duvarları geri dolgusu, sınır drenleri ve asfalt donma bariyerleri gibi uygulamalarda da kullanılmaktadırlar (Bosscher, 1997). Ayrıca “Yamaç Bariyerleri” ve tarlaların drenleri olarak ta kullanılabilirler. Titreşimi sönümleme özelliği sebebiyle sismik stabilite uygulamalarında kullanımları da mümkündür. Eğer ömrünü tamamlamış lastiklerin büyük çapta bir projede kullanılması söz konusu ise ciddi miktarda atığın bertaraf

edilmesi mümkündür. Bu çalışmada ömrünü tamamlamış lastiklerin mühendislik özelliklerine değinilmiş, ardından çevresel değerlendirmesi yapılarak laboratuvar çalışmalarının sonuçlarına değinilmiştir.

Türkiye’de halen sadece kömür ile çalışan 15 tane termik santral faaliyet göstermektedir. Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde yaklaşık 13 milyon ton/yıl uçucu kül elde edilmektedir. Bu miktar, A.B.D.’de 45 milyon ton/yıl ve Hindistan’da 50 milyon ton/yıl dolayındadır. Bütün Dünyada bir yılda üretilen toplam uçucu külün ancak % 25’den daha azı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Hollanda ve Belçika’da üretilen toplam uçucu külün % 95’den fazlası, İngiltere’de ise yaklaşık % 50’si tekrar kullanılmaktadır. 1990 yılı verilerine göre Türkiye’de kullanım oranı, % 1’den daha azdır.

Uçucu küllerin bacalarda tutulması ile günümüzün çok önemli problemlerinden biri olan hava ve toprak dolayısıyla çevre kirliliği de kısmen önlenmiş olmaktadır. Öte yandan uçucu küllerin biriktirilmesi veya atılması, önemli oranda çevre kirliliğine yol açmaktadır. Uçucu küllerin neden olduğu çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgâr erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksin madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve havanın kalitesi, doğal hayat ve bölgenin ekonomik durumu açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Uçucu küllerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmektedir. Bundan başka uçucu kül, kimya, seramik, cam, cam-seramik, döküm-metal sanayi, tarım sektöründe zemin ıslahı, çevre, sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi ve maden ocaklarında “*filler*” olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada uçucu küllerin mühendislik özellikleri ve çevresel değerlendirmesi yapılmıştır. Ardından yapılan bir deneysel çalışma incelenmiştir.

Metal cürufu, tamamen saf olmayan metaller eritildiği zaman yoğunluk farkı nedeniyle yüzeyde biriken daha hafif metallere verilen isimdir. İçinde esas olarak silikatlar, kireç ve alüminyum oksit bulunur. Demir oksit (FeO), magnezyum oksit (MgO), sodyum oksit (Na₂O) vb. bazik oksitlere de rastlanır. Cürufta, ayırma işleminin kolay olması için,

metalle arasında büyük yoğunluk farkı bulunması, fırında kolay akması için düşük bir ergime sıcaklığına sahip olması gibi fiziksel özellikler aranır. Hafif metalin havaya temas edip oksitlenmesiyle oluşur. Bu nedenle metal küfü olarak da bilinir. Tüm sıvı çelik üretiminin % 8 - % 10'u arası miktarda cüruf oluşmaktadır. 2005 yılı verileri temel alındığında bu rakam yüz binlerce ton cüruf olarak belirlenmiştir. Oluşan bu cürufu bertaraf edilebilmesi için günümüzde kullanılan bilimsel bir metot bulunmamaktadır. Bu sebeple çalışmamızda arazi koşullarında metal cürufu ile inşa edilen bir yolun performansı değerlendirilmiş, ardından çevresel değerlendirmesi yapıp çalışma tamamlanmıştır.

2. YOLLARDA KULLANILAN GELENEKSEL ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Günümüzde zeminlerin güçlendirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Çeşitli oranlarda başarıya ulaşan bu yöntemler;

- Enjeksiyon yöntemleri,
- Ön yükleme (Sürşarj),
- Geosentetikler kullanılarak zemin ıslahı,

olarak belirlenmiştir.

2.1 Zemin Enjeksiyonu

Enjeksiyon, zeminlerde belirli aralıklarla açılan deliklere uygun maddelerin yeterli bir basınç altında enjekte edilerek zeminin bazı özelliklerini ıslah etmek amacıyla yapılan iyileştirme tekniğidir. Enjeksiyon ile

- Kayma mukavemeti ve serbest basınç mukavemeti artırılır,
- Permeabilite düşürülerek geçirimsiz bir tabaka elde edilir,
- Yoğunluk arttırılmasında kullanılır,
- Oturmaların azaltılmasında kullanılır,
- Çatlaklar gibi süreksizlikler doldurularak mukavemet ve geçirimsizlik artırılır,
- Gevşek kumların sıvılaşma potansiyelinin azaltılması sağlanır,
- Şişebilen zeminlerde kullanılmasıyla hacim artışı kontrol altına alınır,
- Sızdırmazlık perdelerinin oluşturulmasında kullanılırlar,

Enjeksiyon uygulamalarında aşağıda bahsedilen hususlara dikkat edilmelidir.

- Enjeksiyon derinliği ve aralıkların mesafeleri,
- Enjeksiyon miktarı ve basıncı,

- Enjeksiyon maddeleri ve oranları,
- Enjeksiyon tekniğinin tercihi,

Enjeksiyon için geoteknik araştırmalar sırasında aşağıdaki hususlar saptanmalıdır (Tunç, 2002).

2.1.1 Boşluk Oranı

Zemine enjekte edilecek enjeksiyon malzemesinin viskozluğu ile dane boyutu zeminin boşluklarına penetre olabilecek irilikte ve akıcılıkta olması gerekmektedir. Aksi halde zemindeki boşlukları doldurmak mümkün olmayacaktır. Eğer zemin killi ise enjeksiyon yapılması genellikle mümkün olmamaktadır. (Skok vd., 2003).

2.1.2 Permeabilite

Zeminde kullanılacak olan enjeksiyon şerbeti türünün seçilmesinde en önemli etkenlerden birisi permeabilitedir. Eğer zeminin permeabilitesi $\leq 10^{-1}$ cm/sn ise Kum - Çimento, $\geq 10^{-3}$ cm/sn ise viskoz Kil – Çimento veya Çimento – Bentonit, $\geq 10^{-4}$ cm/sn ise kimyasal madde enjeksiyonu uygulanabilirken zemin permeabilitesi $\geq 10^{-5}$ cm/sn ise genellikle enjeksiyon uygulanamamaktadır (Tunç, 2002).

2.1.3 Viskozite

Zeminin dane büyüklüğü azaldıkça enjeksiyon şerbetinin viskozitesi daha az olmalıdır. Aksi halde enjeksiyon maddesi zemin boşluklarına nüfuz edemeyeceğinden dolayı enjeksiyondan beklenen yarar da elde edilememektedir. (Tunç, 2002).

2.1.4 Enjeksiyon Malzemesi

Zemindeki mevcut boşlukların büyüklüğüne ve yapılacak olan enjeksiyonun maksadına göre şerbet tipi değişmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

2.1.4.1 Kum – Çimento Enjeksiyonu

Kum: çimento oranı 2:1 ila 10:1 olacak şekilde hazırlanan karışıma bentonit veya uçucu kül katılarak akışkanlık ve pompalama kabiliyeti kazandırmaktadır. Bu karışımın su: çimento oranı 2:1 ila 5:1 olacak şekilde su katılarak elde edilen enjeksiyon şerbeti ile zemindeki büyük boşlukların, çatlakların doldurulması, mukavemet artışı, tünellerde

kontak enjeksiyonu veya sızdırmazlık perdesi vb. gibi amaçlar için kullanılmaktadır (Tunç, 2002).

2.1.4.2 Kil – Çimento Enjeksiyonu

Tipik kil (CH) ile çimento 3:1 ila 8:1 oranında karıştırıldıktan sonra su: kil oranı 3:1 ila 10:1 olacak şekilde su ilave edilerek elde edilen enjeksiyon şerbeti granüler zemine enjekte edildiğinde mukavemet artışı, don duyarlılığında azalma ve permeabilite düşmesi sağlanmaktadır. Kilin varlığı çimentonun priz almasını geciktirmekte ve rötre yapmasını azalttığından dolayı enjeksiyon sırasında bütün boşlukların dolmasına neden olmaktadır. Kum – Çimento enjeksiyonunun $7 \text{ kg/cm}^2 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ civarında bir mukavemeti olduğundan dolayı zeminin taşıma gücü artmaktadır (Tunç, 2002).

2.1.4.3 Çimento – Bentonit Enjeksiyonu

Çimento şerbetindeki çimento taneciklerinin çökmesini önlemek amacıyla bentonit katılarak elde edilen uygun çimento – bentonit – su karışımı zemine enjekte edilerek zeminin mukavemet artışı sağlanmaktadır (Tunç, 2002).

2.1.4.4 Sodyum Silikat Enjeksiyonu

Sodyum silikat suyla karıştırılıp sodyum bikarbonat veya organik/inorganik sertleştiriciler veya kalsiyum klorid ilavesi ile elde edilen enjeksiyon şerbetinin aşağıda Şekil 2.1’de görüldüğü gibi granüler zemine enjekte edildiğinde mukavemet artışı sağlanmaktadır (Tunç, 2002).

2.1.4.5 Kimyasal Enjeksiyon

Akrilamit, Silikat, Lignosulfat, Aminoplast, Poliakrilamit, vb. kimyasal maddelerin üretici firma tavsiyelerine göre uygun oranda ve şartlarda karıştırılarak elde edilen karışımlar zemine enjekte edildiğinde mukavemet artışı, hacim değiştirme stabilitesi, permeabilite azalması, suya daha az duyarlılık vb. özellikler kazandırılabilir.

Çimento, kil, bentonit, kum, sodyum silikat veya kimyasal katkıları gibi enjeksiyon maddelerinin kullanılabilmesi için çeşitli şartlar gereklidir.

Enjeksiyon şerbetinin zemin boşluklarını veya kaya çatlaklarını doldurabilmesi için yeterli incelikte olması gerekmektedir.

Yukarıda sayılan enjeksiyon tipleri zeminin dane büyüklüğüne bağlı olarak sıralandırılmıştır. Zemin büyük danelerden oluşuyorsa kum – çimento, küçük danelerden oluşuyorsa kimyasal enjeksiyon yapılması uygun olmaktadır (Tunç, 2002).



Şekil 2. 1 : Sodyum silikat – sodyum alimunat enjeksiyonu

2.1.4.6 Diğer Enjeksiyon Yöntemleri

Buraya kadar anlatılan viskoz enjeksiyon yöntemleri dışında kompaksiyon enjeksiyonu ve jet grout enjeksiyonu olarak bilinen son yıllarda çok yaygınlaşmış yöntemler de bulunmaktadır.

Kompaksiyon enjeksiyonu yönteminde sıkışabilir zeminlere 2,5 cm ila 5 cm yarıçapındaki borular 0,5 m ila 3 m aralıklarla çakılıp 3,5 kg/cm² ila 14 kg/cm² basınçla enjeksiyon yapılır. Böylece zeminlerin sıkışması sağlanarak taşıma gücü arttırılmakta ve

oturmalar oldukça önlenmektedir. Bu amaçla kum, silt, çimento ve su karışımları kullanılmaktadır (Tunç, 2002).

Jet enjeksiyon yönteminde ise zemin içinde yüksek basınçlı hava/su jeti ile boşluklar oluşturulmakta ve daha sonrada bu boşluklar uygun bir malzeme ile Şekil 2.2’de görüldüğü gibi doldurulmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı hemen hemen her tip zemine uygulanabilmesidir. Bu yöntemin esası hidrolik basınçla zeminin erozyona uğratılmak suretiyle oluşturulan boşluklara uygun enjeksiyon malzemesinin katılması sonucu oluşan kimyasal reaksiyonlarla zeminin iyileştirilmesidir. Kohezyonlu zeminler kohezyon etkisinden dolayı kohezyonsuz zeminlere göre daha zor erozyona uğradıkları için genellikle hidrolik deliciler belli bir derinliğe kadar indirilmekte ve yüksek basınçla orada enjeksiyonu yapılmaktadır.



Şekil 2. 2 : Jet grout uygulaması

2.2 Önyüklem (Sürşarj) Yöntemi

Sıkışabilir bir zemine ulaşım yapısından gelen gerilmeden ötürü oluşacak oturmaların tamamlanması uzun yıllar almaktadır. Bunun için ulaşım yapısının sahip olduğu yükten daha fazla bir ilave yük (sürşarj) tatbik edilerek zamana bağlı oturmalar hızlandırılır.

İstenen oturma miktarı sağlandıktan sonra ilave yük kaldırılmakta ve ulaşım yapısı tamamlanmaktadır. Böylece ulaşım yapısının hizmete açılmasından sonra oluşacak istenmeyen oturmalar bu yöntemin uygulanması ile önceden tamamlanmaktadır. Önyükleme ile hızlandırılmış konsolidasyon tekniği ulaşım yapısının oturduğu zeminin killi, yumuşak ve aşırı sıkışabilir olması halinde çok başarılı sonuçlar vermektedir. Diğer yöntemlere göre daha ekonomik olmakla beraber, oturmaların tamamlanması için gerekli süre daha uzun olabilmektedir. Örnek olarak yumuşak zeminde oturmayı hızlandırmak için tatbik edilen ilave yük (sürşarj) kolay drene olabilen granüler malzeme olmalı veya bu mümkün değilse dolgunun altında en az 30 cm - 50 cm kalınlığında şilte drenaj tabakası yapılmalıdır. Konsolidasyon sırasında sıkışan zeminden gelecek suyun hemen drene edilmesi gerekmektedir.

Bu yöntem organik olan veya olmayan tüm killi zeminlerde ve PT grubu bataklık zeminlerinde ve hatta % 20 ila % 3000 su muhtevasına sahip zeminlerde dahi başarıyla uygulanabilmektedir (Tunç, 2002).

Önyükleme yöntemi günümüzde çeşitli yöntemlerle tek başına veya ilerde bahsedilen diğer yöntemlerle birlikte uygulanabilmektedir. Burada amaç, yumuşak zeminin sahip olduğu yüksek su muhtevasının ilave yük ile oluşturulan gerilmeler sayesinde drene edilmesi sonucu, oturma hızlandırılmasıdır. Dolayısıyla daha yoğun, daha dayanıklı bir zemin elde edilerek, ileride oluşacak oturmalar kontrol altına alınmaktadır.

Sürşarj yükü arttıkça konsolidasyon süresi azalmaktadır. Ancak sürşarj yükünün artması ile yapım maliyeti de önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle sürşarj yönteminin hızlandırılmış diğer drenaj yöntemleri ile birlikte yapılması halinde hem daha ekonomik, hem de daha hızlı konsolidasyon sağlanabilmektedir. Sürşarj yükünün kaldırılması için gerekli süre 2.1 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$t_{d+s} = \frac{\Delta H_d}{\Delta H_{d+s}} [\%] \quad (2.1)$$

Sürşarj yükü arttıkça, yapım maliyeti doğrusal artmadığı gibi oturma süresi de doğrusal azalmamaktadır. Dolayısıyla sürşarj yükünün miktarına karar verilirken oturma süresi ve yapım maliyeti birlikte ele alınmalıdır. Bir başka deyişle konsolidasyon süresini

azaltmak amacıyla yapılan sürşarj yükünün tespiti için sürşarj süresi ve sürşarj maliyeti birlikte ele alınarak optimum çözüm araştırılmalıdır. Bunun için her bir metre, sürşarj için kazanılan süre ile ilave maliyetler mukayese edilerek karar verilmelidir.

Sıkışabilir zeminler üzerinde yapılacak yol dolgusunun zamana bağlı oturmasının yolun hizmete açılmasından önce tamamlanması için yapılacak önyüklemeye hem ilave maliyet hem de ek süre getirecektir. Bu nedenle;

- Ya belirli bir sürede toplam oturmayı sağlayacak sürşarj yükü (σ_s) tayin edilmelidir.
- Ya da belirli bir sürşarj yükünde toplam oturmayı sağlayacak sürşarj süresi (t_{SR}) tayin edilmelidir.

Sıkışabilir kil tabakasından (H_c) dolgu yükünden ve dolgu + sürşarj yükünden dolayı konsolidasyon oturması 2.2 ve 2.3 bağıntılarıyla tayin edilmektedir.

$$\Delta H_f = \frac{c_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_o + \sigma_f}{\sigma_o} \quad (2.2)$$

$$\Delta H_{f+s} = \frac{c_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_o + (\sigma_f + \sigma_s)}{\sigma_o} \quad (2.3)$$

Burada σ_o , başlangıç düşey efektif gerilme c_c , sıkışma indeksi H_c , sıkışabilir kil tabakası kalınlığı olarak verilmektedir. t_{SR} anında yani sürşarj yükünün kaldırıldığı andaki oturma miktarı ΔH olacaktır. Yani t_{SR} anında ya toplam oturma ya da toplam oturma miktarının beklenen kısmı tamamlanmış olacaktır. t_{SR} anındaki konsolidasyon oranı 2.4 bağıntısı ile bulunabilmektedir.

$$\Delta H = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_{f+s}} [\%] \quad (2.4)$$

Yukarıdaki formülleri birleştirilmesiyle 2.5 bağıntısı elde edilmektedir.

$$\Delta H = \frac{\log \left(1 + \frac{\sigma_f}{\sigma_o} \right)}{\log \left(1 + \frac{\sigma_f + \sigma_s}{\sigma_o} \right)} [\%] \quad (2.5)$$

Formül 2.5'ten hesaplanan % ΔH değeri sadece $(\sigma_f + \sigma_s + \sigma_o) > \sigma_{\text{omax}}$ olması durumunda, geçmişteki maksimum basıncının geçilmesi durumu geçerli olmaktadır. Ayrıca t_{SR} anında yani sürşarj yükünün kaldırıldığı anda drenaj bölgelerinde kilin şişmesi ve orta kısımda oturmaların devam etmesi de mümkün olmaktadır. Sürşarj yükü kaldırıldığında oturmalar devam etmemesi için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\Delta H \geq \frac{\sigma_f}{\sigma_f + \sigma_s} [\%] \quad (2.6)$$

Eğer yük kalktığı anda toplam konsolidasyon ile ikincil konsolidasyonunda tamamlanması bekleniyorsa % ΔH formül 2.7 ile tayin edilmektedir (Tunç, 2002).

$$\Delta H = \frac{\Delta H_c + \Delta H_f}{\Delta H_{f+s}} = \frac{\left(1 - C_\alpha \log \frac{t_s}{t_p}\right) \log\left(1 + \frac{\sigma_f}{\sigma_o}\right) + \frac{C_\alpha}{C_e} (1 + e_o) \log \frac{t_s}{t_p}}{\log\left(1 + \frac{\sigma_f + \sigma_o}{\sigma_s}\right)} [\%] \quad (2.7)$$

2.3 Geosentetikler

Geosentetikler ekstrude petrol polimeri bazlı çeşitli permeabilitelere sahip bir tür ince tekstil malzemesidir. Geotekstilller, geogridler, geonetler, geocelller ve geomembranlar gibi grupları vardır. Bu sayılan türlerin arasındaki en büyük farklılıklardan biri, açıklıkları ve genişlikleridir. Geogridler en geniş açıklığa sahiptirler. Geosentetikler zemin mühendisliğinin birçok dalında kullanılmaktadırlar. Bunun yanı sıra ayırma amaçlı, güçlendirme amaçlı, drenaj amaçlı ve filtreleme amaçlı olarak ta yol mühendisliği dallarında kullanılmaktadırlar. Kullanışlılık ve verim tamamıyla seçilen geosentetiğe ve geosentetiğin kullanılacağı uygulama tipine göre değişmektedir. Geosentetiklerin çeşitli özelliklerinin belirlenebilmesi için kullanılan testler Tablo 2.1 de belirtilmiştir. Geosentetiklerin yararları konusunda çeşitli görüşler bulunmaktadır. Bunların başında; maliyetin düşürülmesi, uzun ömür ve yüksek performans gelmektedir. Geosentetiklerden yarar sağlayabilmek için uygulama aşamasında da, tasarım aşamasında da konuya titizlikle yaklaşılması gerekmektedir (Skok, vd., 2003).

Tablo 2. 1 : Geosentetiklerin özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan testler (Skok vd., 2003)

Özellik	Test Yöntemi
Görünür Elek Açıklığı	ASTM D4751
Su Bırakabilirlik	ASTM D4491
Gerilme Dayanımı	ASTM D4595
Geosentetiğin Dayanıklılığı	ASTM D5819
%5 Gerilmede Sekant Modülü	ASTM D4595
Dikiş Yeri Ayrılma Dayanımı	ASTM D4884
Delinmeye Karşı Dayanıklılık	ASTM D4833
Yırtılma Dayanımı	ASTM D4533
UV Işınları Dayanımı	ASTM D4355
Patlama Dayanımı	ASTM D5617
Permeabilite Oranı	ASTM D5567
Biyolojik Tıkama	ASTM D1987
Sıcaklık Dayanımı	ASTM D4594
Tıkanma Potansiyeli	ASTM D5101
Sürtünme Katsayısı	ASTM D5321
Kimyasal Dayanıklılık	ASTM D5322
Kurulum Hasarı	ASTM D5818
Sünme Dayanımı	ASTM D5262
Çok Eksenli Gerilme Altında Davranış	ASTM D5617
Geogrid Kimyasal Dayanımı	ASTM D6213
Geotekstil Kimyasal Dayanımı	ASTM D6389

2.3.1 Geosentetiklerin Kullanım Amaçları

Geosentetikler kullanım amaçlarına göre beşe ayrılmaktadırlar.

2.3.1.1 Drenaj

Geosentetiklerin, sıvı veya gaz hareketi için bir boru gibi kullanıldıkları durumlardır. Drenajda kalın ve örgüsüz geosentetiklerin kullanılması daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Drenaj için daha çok kısmen daha kalın örgüsüz geotekstil ürünleri kullanılmaktadır. Basınca dayanıklı, yüksek filtreleme özelliğine sahip geosentetikler tercih edilmektedir. Bununla beraber sıvı veya gaz, geosentetiğin kendi düzlemi boyunca hareket etmesi suretiyle bertaraf edileceği için iletkenlik özelliği de göz önünde bulundurulmalıdır (Skok, vd., 2003).

2.3.1.2 Ayırma

Dolgu ile farklı bir zeminin, iki farklı dolgu tipinin veya zeminle zararlı bir tabakanın karışmasının istenmediği durumda, ayırma amacı ile geosentetikler kullanılmaktadır. Genelde doymuş veya doymuşluğa yakın zemin tiplerinde uygulanmaktadır. Yol yapımında kullanılarak yük taşıma kapasitesi korur, alt temel malzemesinin zeminle karışmasını engeller, üstten gelen tekrarlanan yüklerden kaynaklanacak malzeme karışımını engeller (Skok, vd., 2003).

2.3.1.3 Güçlendirme

Yüksek sürtünme ve adezyon kuvvetleri altında mevcut zeminin çekme ve kayma mukavemetlerinin yetersiz olduğu durumlarda geosentetikler zeminde güçlendirme elemanı olarak kullanılmaktadırlar. Belirli uzunluğun altındaki geosentetikler istenilen mukavemeti sağlayamamaktadırlar. Geosentetiklerim kompozit olarak kullanılmaları birçok mühendislik özelliğini arttıracak için tek başına kullanılmalarına tercih edilmektedir (Skok, vd., 2003).

2.3.1.4 Filtrasyon

Suyun akış yönüne yerleştirilen geosentetik malzeme suyun akışına izin verip, zemin danelerini tutarak filtrasyon işlevini yapmaktadır. Suyun akma kapasitesine geçirgenlik denir. Geotekstil filtreler de granüler malzemeler gibi su (veya gaz) geçişine izin vererek hidrostatik basınç oluşmasına izin vermemelidir. Geosentetiğin açıklığından daha küçük açıklığa sahip danelerde, geosentetik malzemedan geçmektedir. Eğer bu ince malzeme tutulursa açıklıklar tıkanacak ve daha az geçirimli bir tabaka oluşacaktır. Bunun sonucunda suyun geçişi engellenecektir. Bu da boşluk suyu basıncını arttıracak için geosentetiğin en az uygulanacağı zemin kadar geçirgen olması gerekmektedir (Skok, vd., 2003).

2.3.1.5 Yalıtım

Çok küçük açıklıklara sahip geosentetikler, çok düşük permeabiliteleri sebebiyle zemin tabakasının suyla bağlantısını kesmektedirler. Yüzeysel su akışının veya yer altı suyunun bulunduğu ortamlarda veya donma etkisini problem oluşturabileceği uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Skok, vd., 2003).

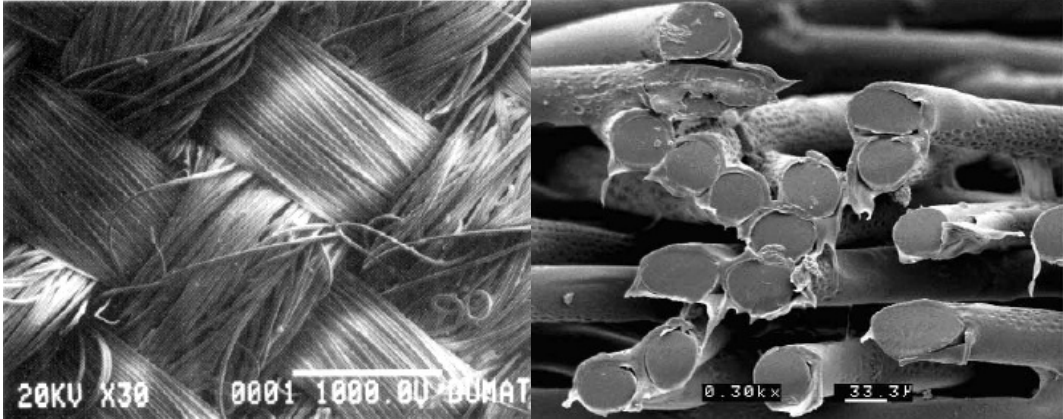
2.3.2 Geotekstil

Geotekstiller polyester tarzı polimerlerden oluşan geçirimli tekstil tarzı malzemelerdir (Şekil 2.3 – 2.4). Geotekstiller yol kaplamalarının iyileştirilmesi maksadıyla üç şekilde kullanılabilirler;

- Ayırma
- Güçlendirme
- Filtrasyon

En yaygın kaplama uygulaması ise farklı malzemeler arasında ayırıcı olarak kullanılmasıdır. Altta bulunan ince daneli zeminle çakıl alt temel arasında veya granüler alt temel ile kaplama arasında ayırıcı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayırma genelde doygunluktaki veya doygunluğa yakın zemin tiplerinde uygulanmaktadır.

Diğer bir uygulama alanı da zayıf zeminlerin güçlendirilmesinde kullanılmasıdır. Güçlendirme işlemlerinde önemli olan tüm ürün üzerinde yeterli gerilme sağlayabilmektir. Uygulama tamamlandıktan sonra istenen gerilme miktarına ulaşılabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar şunu göstermiştir ki; güçlendirme uygulamalarında geotekstillerin geogridlerle beraber kullanılması, sadece geotekstillerin kullanılmasından çok daha tatmin edici sonuçlar vermiştir.



Şekil 2. 3 : Geotekstil örnekleri (Skok vd., 2003)

Geotekstillerin yaygın olarak kullanıldığı bir diğer uygulamada drenaj sistemlerinde filtrasyondur. Geotekstil üzerindeki küçük açıklıklar büyük daneli parçaların drenaj

tabakasına veya boruya girmesine mani olurken, belirli boyun altındaki malzemelerinde borunun veya tabakanın gözeneklerini tıkamadan sorunsuzca geçmesini sağlar (Skok, vd., 2003).



Şekil 2. 4 : Geosentetik örnekleri (Skok vd., 2003)

2.3.3 Geogrid

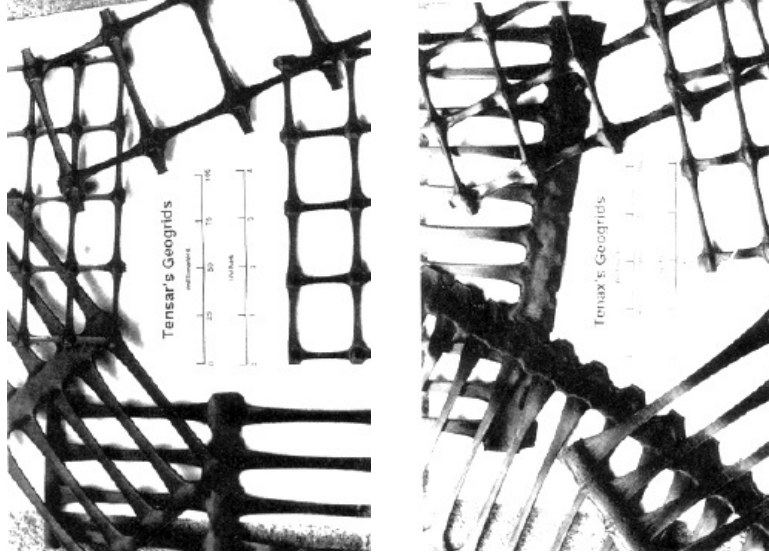
Geogrid geotekstillerin tersine bağlantı noktaları arasında geniş (10 mm – 100 mm) aralıklara sahip sıkı yapıda geosentetiklerdir (Şekil 2.5). Geogridlerin ana kullanım alanları zemin güçlendirilmesidir. İlk bakışta geogridler delikler açılmış geomembranlar gibi görünürler. Geogridler her iki eksen boyunca da gerdirilebilirler. Bu uygulamanın faydası ise malzeme kullanım öncesinde akma mukavemetine ulaşır. Bunun faydası ise akma mukavemetine ulaşmış elemanın sünmeye karşı direnci ve mukavemeti artmış olmasıdır.

Geogridler genelde granüler malzemeden oluşturulmuş temel tabakasını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Temelde yatay sınırlandırma getirerek temel malzemesinin “kaçmasını” önler. Geogridlerin kullanıldığı durumda araç yollarının temel mukavemetlerinin ve kullanım ömürlerinin arttığı, deformasyonların ise azaldığı görülmüştür (Skok vd., 2003).

Temel tabakasının oturmaya karşı mukavemetinin artması geogridlerin yük yayma özelliğinden kaynaklanmaktadır. Temel tabakasının içine geogridlerin yerleştirilmesi, geogrid boyunca taşınan yükün sönümlenmesine sebep olmaktadır. Geogridlerin

uygulandığı sistemlerde, sistemin tam kapasitede kullanılabilmesi için gerilmeler oluşturulmalıdır. Bu iki şekilde olur;

- Öngerme ve ankrajlama ile veya,
- Yük altında gerilmesinin sağlanması ile yapılır (Skok vd., 2003)



Şekil 2. 5 : Geogrid örnekleri (Skok, vd., 2003)

2.3.4 Geonet

Geonet genelde drenaj uygulamalarında kullanılır ve yapı olarak geogride benzemektedirler (Şekil 2.6). Yalnızca açıklıkları farklıdır (12 mm x 8 mm). Polietilenlerden imal edilirler. İskelet sistemi 70° ve 110° açılardan yapılmıştır. Bu elmas şeklindeki yapı geonetin yatayda alabileceği yüke göre değişmektedir. Kalınlık bir geonet sisteminin performansını etkileyen en önemli etkidir ve belirlenmesinde ASTM D1777 kullanılmaktadır. Daha kalın bir yapı kullanılması daha iyi drenaj sistemi ortaya çıkarılacaktır. Kalınlığı arttırmanın bir yolu da üretim sırasında ek eleman olarak köpük kullanmaktır. Bu işlem kalınlığı 5 mm ila 7 mm arttırmaktadır. Geonetin hidrolik özelliklerini belirlenebilmesi için ASTM D4716 standardı kullanılmaktadır (Skok, vd., 2003).

Geonet genelde uygulama sırasında zeminden geotekstillerle ayrılmaktadırlar. Bu sistemler dolgularda yatay drenaj, istinat yapılarında ise düşey drenaj elemanı olarak

kullanılırlar. Uzun süre boyunca dayanabilecek bir geonet sistemi kurabilmek için çevre şartları da değerlendirilmelidirler. Zemin geonetin açıklıklarını zamanla kapayabilir. Sıcaklık ta bu tip sistemler için çok yıkıcı olabilmektedir, çünkü sıcaklık artışında polimer bazlı yapılar çabuk sünmektedirler. Geonetin kullanılması planlanıyorsa, tasarım aşamasında maksimum sıcaklık değerleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanı sıra geonete zarar verebilecek, zeminde taşınan kimyasallar da dikkate alınmalıdır. Geonetde bulunan akım sistemleri sebebiyle olabilecek bir kimyasal madde temasında meydana gelecek zarar diğer tüm güçlendirme sistemlerinde olabilecek zararlardan daha fazla olacaktır (Skok, vd., 2003).



Şekil 2. 6 : Geonet (www.garmer-online.com)

2.3.5 Geomembran

Geomembran geçirimsiz elemandır ve ayırım yapılacak yerlerde kullanılırlar (Şekil 2.7). Geçirimsiz terimi kullanılmaktadır çünkü bu malzemenin permeabilitesi 5×10^{-11} cm/s ve 5×10^{-14} cm/s arasında değişmektedir (Skok vd., 2003). Bu tip geosentetikler iki grupta kategorize edilebilir;

- Modifiye
- Su geçirmez

Modifiye geomembranlar sahada geomembranlara bitüm veya elastomerik malzemeler emdirilmek suretiyle kullanılırlar. Su geçirmez geomembranlarda ise gerilme dayanımı, yırtılmaya karşı dayanımı, delinmeye karşı dayanımı ve dikiş yeri özellikleri diğer geoteknik özelliklerinden daha önemlidir, çünkü permeabiliteyi arttıracak herhangi bir

olay tüm sistemin başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olacaktır. Kullanım ömrünü azaltabileceği için kimyasallara olan dayanımının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tip sorunları önlemek için genelde geomembranlar diğer geosentetiklerle beraber kullanılmaktadırlar.

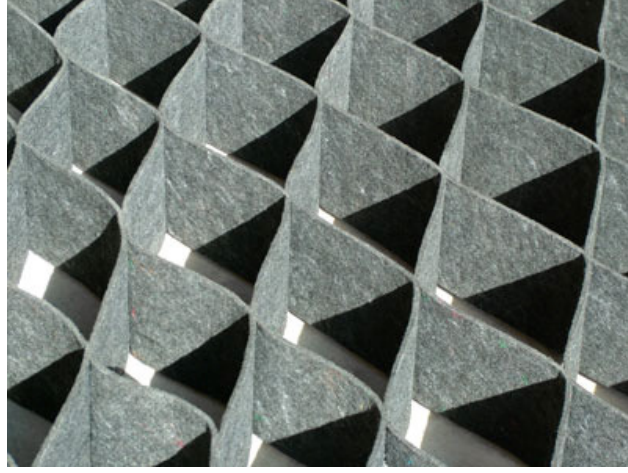


Şekil 2. 7 : Geomembran (www.alibaba.com)

Uygulamada ise geomembranlar genelde yol inşaatlarında şişebilen zeminlere su girişini engellemek için kullanılırlar. Bu uygulamanın iki tipi vardır. Birinin veya ikisinin de gerekliliği belirlemek için yeraltı suyunun ve yüzeysel akışın incelenmesi gerekmektedir. Düşeyde uygulananlar ise yüzeyden 1,5 m ila 2 m aşağıya koyulurlar. Genişlikleri ise su geçişini tamamıyla engelleyecek şekilde belirlenir (Skok, vd., 2003). Donmaya karşı duyarlı zeminlerde geomembranlar su muhtevasının kontrolünde kullanılırlar ve donma sonucu oluşacak farklı şişmeleri önleyecektir. Bunların yanında geomembranlar kirlenmiş akışkanların kontrolünde de kullanılmaktadırlar.

2.3.6 Geocell

Geocell genelde geokompozit olarak uygulanan bir geosentetik tipidir (Şekil 2.8). Geocelller polimer şeritlerden oluşan kutucuklara kum doldurulmak suretiyle oluşturulurlar. Bu zemin tutucu sistem çok yüksek yatay yükleri dağıtır ve zayıf zeminleri bir arada tutar. Çoğunlukta geotekstillerle birlikte uygulanırlar (Skok, vd., 2003).



Şekil 2. 8 : Geocell (www.kometa.by)

2.3.7 Geokompozit

Geokompozitler iki veya daha fazla geosentetik sisteminin bir arada kullanılması durumudur. Bir geonetin veya geogridin iki tarafına da başka bir geosentetik uygulanarak kullanılması yaygın bir uygulamadır. Geotekstillerle güçlendirilmiş bir geomembran da buna iyi bir örnektir. Geokompozitler genelde seçilen birincil geosentetiğin performansının arttırılması için kullanılmaktadır. Değişik amaçlar için birçok yeni geokompozit uygulaması yapılabilir. Seçilen her sistemin özelliklerin seçilen elemanlar ve birbirleri ile olan ilişkileri belirlemektedir (Skok, vd., 2003).

3. ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ LASTİKLERİN YOLLARDA KULLANIMI

Çevresel etkilere karşı dayanıklı, yüksek molekül yapılı polimerlerden oluşan doğal ve sentetik kauçuklardan üretilen araç lastiklerinin kullanılmasını takiben, faydalı ömürlerini tamamlamaları ile çevrede zor ortadan kalkacak “ömrünü tamamlamış lastikler” oluşmaktadır (Gönüllü, 2004). Araç lastikleri genelde elastikliklerini muhafaza etmeleri için kükürtle sertleştirilmektedir. Isıyla işlenen polimerlerin orijinal durumlarına asla geri dönemeyeceği bilinen bir gerçektir. Bu belirtilen sebeple ömrünü tamamlamış lastikler için “geri kazanım” mümkün olmamaktadır. Ancak tekrar kullanım veya bertaraf mümkündür. ABD’de 2001 yılında ortaya çıkan ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin % 77,6’sı çeşitli uygulamalarla tekrar kullanılmış veya bertaraf edilmiştir. Geri kalan kullanılmayan kısım ise lastik yığınları haline getirilmiş veya yasal olmayan bir şekilde parçalanmadan tüm lastikler halinde gömülmüştür. Parçalanmış veya bütün haldeki lastik yığınları çevresel problemler doğuracağı bilinmektedir. Bunların en önemlileri sivrisinekler ve muhtelif kemirgenler için üreme ortamları oluşturması ve ciddi yangınlara neden olmasıdır (Zornberg, 2005). Diğer bir önemli tekrar kullanım yöntemi ise ömrünü tamamlamış lastiklerin yakılarak “Lastikten Yakıt (TDF)” elde edilmesidir. Bu yaklaşık olarak ortaya çıkan tüm ömrünü tamamlamış lastiklerin %17’sine karşı gelmektedir (Bosscher, 1997). Bu tekrar kullanım yöntemi kayda değer bir enerji kaynağı olarak görülse de, sonuç olarak atmosferde oluşacak kirliliği arttıracığı için tercih edilmesi sakıncalıdır. Ömrünü tamamlamış lastiklerin bertaraf edilmesi için son on yıldır içinde inşaat mühendisliği uygulamalarının da bulunduğu çeşitli alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Ömrünü tamamlamış lastikler; hafif olmaları, düşük yanal gerilmeleri, düşük ısı geçirgenliği ve iyi drene olmaları özellikleri ile tasnif edilirler. Birçok ülke, bu tip atıklardan kurtulmak için teşvik oluşturduğu için ömrünü tamamlamış lastik yığınları çok ekonomiktir. Ekonomik olması ve mühendislik özellikleri nedeniyle ömrünü tamamlamış lastikler; yapısal olmayan ses yalıtım

duvarları, hafif dolgular, zayıf zeminlerin dolgusu, istinat duvarları geri dolgusu, sınır drenleri ve asfalt donma bariyerleri gibi uygulamalarda da kullanılmaktadırlar (Bosscher, 1997). Ayrıca “Yamaç Bariyerleri” ve tarlaların drenleri olarak ta kullanılabilir. Titreşimi sönümleme özelliği sebebiyle sismik stabilite uygulamalarında kullanımı da mümkündür. Eğer ömrünü tamamlamış lastiklerin büyük çapta bir projede kullanılması söz konusu ise ciddi miktarda atığın bertaraf edilmesi mümkündür. Projenin büyüklüğüne göre tek projede 100.000 adetten 1.000.000 adete kadar ömrünü tamamlamış lastik kullanılabilir (Zornberg, 2005). Ömrünü tamamlamış lastiklerin inşaat mühendisliği uygulamalarında, parçalanmış veya bütün halde kullanımı, atık maddeden kurtulmak için çevresel sorunların çözümüne ilişkin alternatif yöntemler kullanılması ile gerçekleşmektedir. Birçok çalışma, çeşitli uygulamalarda kullanılan ömrünü tamamlamış lastiklerin çevre için ciddi bir tehdit oluşturmadığı, EPA ve TS tarafından belirtilen içme suyu standartlarına göre tehlike oluşturacak alt katkı maddelerinin konsantrasyonlarında herhangi bir değişime neden olmadığı göstermiştir (Edil ve Bosscher, 1992). Bazı durumlarda, ömrünü tamamlamış lastikten yapılan dolguda hava ile temas halindeki çelik teller Mangan (Mn) ve Demir (Fe) seviyelerinde artışa neden olur, bu genelde ikincil (elastik) standardın aşılması durumunda ortaya çıkar (Humphrey, 2001). İşlenmiş atık lastiklerin en yaygın kullanım yöntemi; lastik parçacıklarının zemin karışımı içerisinde boşlukları doldurmak suretiyle, lastik parçası – zemin karışımı elde edilmesidir. 1995 yılından beri ABD’ de 70’ten fazla inşaat mühendisliği projesi ömrünü tamamlamış lastik kullanılmak suretiyle başarı ile tamamlanmış olup, bu uygulamalarda esas amaç herhangi bir yakılma işlemine maruz bırakılmadan ömrünü tamamlamış lastiklerin tekrar kullanılabilmesidir (Zornberg, 2005).

3.1 Kullanılmış Lastiklerin Günümüzdeki Kullanım Alanları

Ömrünü tamamlamış lastikler günümüzde birçok inşaat mühendisliği alanında kullanılmakta olup, en yüksek seviyede performans, risklerin tespiti ve daha ekonomik yöntemler bulunabilmesi için, bu konu ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Kullanılmakta olan lastik tipleri; toz halde, granüle lastik, parçalanmış lastik, şerit lastik, bütün haldeki lastik ve lastik balyasıdır.

3.1.1 Bütün Haldeki Lastikler

Bütün haldeki lastikler yerleşim birimlerinden istinat duvarlarına kadar birçok inşaat mühendisliğini uygulamasında kullanılmaktadır. Yerleşim birimlerinin inşasında kullanılması durumunda bütün haldeki lastikler iç ve dış duvarlarda ana inşaat malzemesi olarak kullanılırlar. Bu uygulamada ömrünü tamamlamış lastiklerin kullanılmasıyla hem lastiklerin bertarafı sağlanmış olup hem de enerji verimliliği açısından büyük yararlar sağlanmaktadır. Bütün haldeki lastikler genelde betonarme pabuçlar içerisine koyulur, ardından içleri sıkıştırılmış zeminle doldurulurlar. Bu şekilde birkaç lastik tabakasının üst üste gelip iç içe geçirilerek duvarlar inşa edilir. Bu “lastik duvarlar” “shotcrete” vb. yüzey elemanlarının uygulanması ile tamamlanırlar. Sonuç olarak ucuz malzemeler kullanılarak yüksek ısı yalıtımına sahip dış duvarlar inşa edilmiş olur (Zornberg, 2005).

Bütün haldeki lastikler, istinat yapıları gibi taşıyıcı özelliği olan zemin yapılarının yüzeylerini oluşturmak içinde kullanılırlar. Yapım yöntemi yukarıda anlatıldığı gibidir. Buna ek olarak lastik tabakaları arasına geosentetik donatılar yerleştirilir. Bu teknik lastik yüzeyin yüksek enerji sönümleme özelliği sebebiyle heyelan bölgelerinde heyelan duvarlarının inşasında kullanılmaktadır.

Bütün haldeki lastikler ayrıca şevlerde ve istinat yapılarında donatı olarak ta birçok ülkede kullanılmaktadır. Bu uygulamada lastik tabakaları polietilen halatlar veya kablolar ile birbirilerine bağlanırlar. Geotekstil veya geogridler gibi bir donatı tabakası oluşturarak zemin kütlelerini tutabilmek için gerekli gerilmeyi ve kayma mukavemetini kazanır (Humphrey, 2000).

3.1.2 Lastik Parçaları ve Lastik Tozları

Günümüzde lastik parçalarının inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanım alanları bütün haldeki lastiklere oranla çok daha fazladır. Bununda en büyük uygulama alanı, ulaşım alanında dolgu malzemesi olarak kullanılmasıdır. Parçalanmış lastikler birçok dolgu ve istinat duvarı uygulamasında hafif olması, kayma mukavemetinin yüksek olması, kolay drene olması ve ısı geçirimsizliğinin düşük olması gibi faydaları sebebiyle kullanılmıştır. Dolgu uygulamalarında parçalanmış lastikler dolgunun yalıtılması için

kullanılmıştır (Benson, 1995). Lastik parçaları birçok uygulamada da drenaj elemanı, filtreleme ve son örtü tabakası olarak dolgularda kullanılmıştır. Parçalanmış ömrünü tamamlamış lastiğin hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi atık lastik ürünlerinin inşaat mühendisliğinde kullanılma alanlarından en genişini oluşturmaktadır (Bosscher, 1997).

ABD’ de yürürlükteki yönetmelik olan “*Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications*” (ASTM D6270–98)’ da parçalanmış lastiklerle ilgili, lastik tabakaların kalınlıklarının kontrolü, büyüklükleri, temizlenme durumları, açıkta bulunan çelik tellerin miktarlarının kontrol altında tutulması ve lastiklere ulaşan hava, su miktarlarının kontrol altında tutulması gibi çeşitli ön şartlar getirmiştir. Belirtildiği gibi ASTM D6270-98’de geçen ömrünü tamamlamış lastiklerin kullanım ve kontrolü ile ilgili genel hususlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- Kirletici katkısı bulunmayan ömrünü tamamlamış lastiklerin kullanımı ile ilgili genel şartlar belirlenmiştir,
- Herhangi bir şekilde ateşe maruz kalmış lastikler farklı yöntemlerle bertaraf edilmelidir,
- Granüle haldeki lastiğin dana çaplarının test edilmesi ve belirlenmesi gerekmektedir,
- Lastik tabakası ve zemin arasında ayırıcı olarak geotekstillerin belirli koşullarda kullanılmasının gerekmektedir,
- Şevlerin stabilitesinde kullanılacak lastik tabakaları en az 0,6 m. kalınlıkta olmalıdırlar.
- Drenajda kullanılacak olan lastik tabakaları içindeki çıkış hatları veya istinat duvarlarında bulunan barbakanlar söz konusu lastik tabaka içerisinde hava hareketini kısıtlayacak şekilde tasarlanmalıdır. ASTM D6270 lastik parçalarının 4.75 mm’lik dane boyu ile 300 mm’lik dane boyları arasında üretilmesi gerektiğini belirtmiştir.

3.1.3 Lastik Balyaları

Son yıllarda ömrünü tamamlamış lastiklerin lastik balyaları halinde tekrar kullanılması geniş bir uygulama alanı haline gelmiştir (Şekil 3.1). Lastik balyaları lastik parçalarının veya lastiklerin bütün halde kullanıldığı tüm uygulamalarda alternatif yöntem olarak kullanılabilir. Uygulamalarda lastik balyalarının kullanımı inşa aşamasında büyük kolaylık sağladığı ve lastik parçalarının maruz kaldığı potansiyel yangın ihtimalini düşürdüğü bilinmektedir. Lastik balyaları hidrolik makineler yardımıyla paketlenip, çelik veya polietilen halatlarla birbirine bağlanırlar. Üretim aşamasındaki bu uygulama nedeniyle lastik balyaları, lastik parçaları veya diğer lastikten imal edilmiş materyaller gibi sahada işlenmesi veya sıkıştırılması gerekmemektedir. Çelik bağların dışarıyla bağlantısının olmaması parçalanmış lastiklerde korozyona sebep olan suyla temas gibi negatif etkileri de ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 3. 1 : Lastik balyası (www.utexas.edu)

Henüz lastik balyaları ile yapılan uygulamalar tam yerleşmediği için şu anki uygulamalar daha çok “deneysel uygulamalar” olarak kalmaktadır.

3.1.4 Diğer Mühendislik Uygulamaları

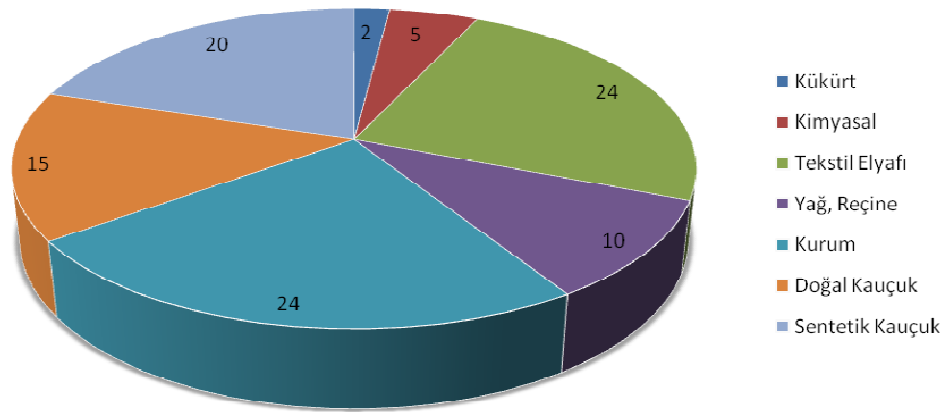
Ömrünü tamamlamış lastiklerin her türlü dolgularda, zeminin mukavemetinin artırılmasında, köprü birleşimlerinde, istinat duvarlarında, ses yalıtım duvarları, heyelan perdeleri gibi proje uygulamaların da kullanılmaktadır.

3.2 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin, Lastik Parçalarının ve Balyalarının Karakteristik Özellikleri

Bu kısımda ömrünü tamamlamış lastiklerin kullanım alanlarından ziyade fiziksel, kimyasal ve mühendislik özellikleri ele alınmaktadır.

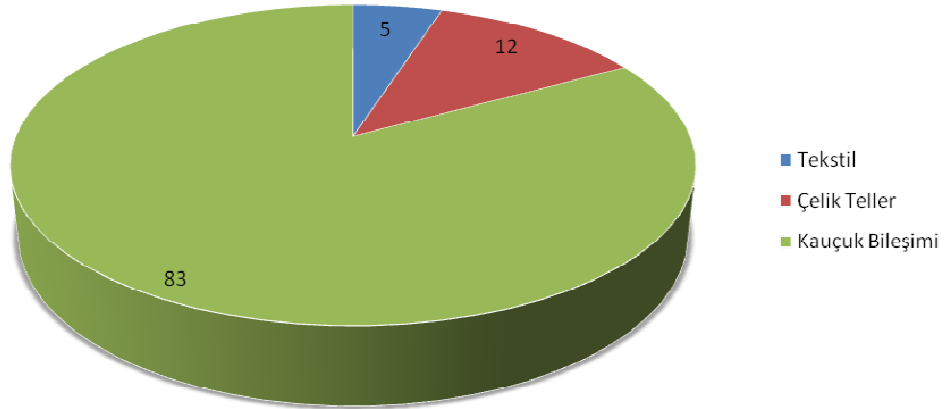
3.2.1 Araç Lastiklerinin Genel Yapıları

Araç lastiklerinin kauçuktan imal edilen kısımları Şekil 3.2’de belirtilen bileşimlere sahiptirler.



Şekil 3. 2 : Lastik bileşimleri (Edeskär, 2005)

Bu bileşim şemasına göre araç lastiklerinin yapısında bulunan ana madde kauçuktur. Kauçuk, yapısına göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi olan Doğal Kauçuk, kauçuk ağacı denen *Hevea brasiliensis* den oluşan, sütümsü bir akışkan sıvıdan üretilir. Doğal kauçuk, % 30 - % 40 lastik (cis-1,4 polyisoprene), %2 reçine, % 60 - % 65 su ve % 2-5 lipit ve proteinden oluşmaktadır. İkinci tip kauçuk ise Stiren ve bütadien’den soğuk olarak emülsiyon polimerizasyonu ile elde edilen ve %22,5 - %24,5 bağlı stiren içeren bir kopolimer olup genel amaçlı kauçuk olan Stiren Bütadien Kauçuğu (SBR) olarak adlandırılır (Gönüllü, 2004). Araç lastikleri yalnızca kauçuk ihtiva etmezler (Şekil 3.3.). Kauçuğun yanında kabaca çelik teller ve tekstil kısımda bulunmaktadır. İşlevsel olarak ise iskelet ve kaplama olarak iki kısma ayrılır. Kaplama lastiğin yere temas eden yüzeyidir. Araç yükü altında zamanla kaplama tabakası aşınacaktır. Bu aşınma lastiğin ağırlığında % 10 – % 20 arasında kayba sebep olacaktır.



Şekil 3. 3 : Araç lastiklerinin genel bileşimleri (Edeskär, 2005)

Normal bir araç lastiğinin ağırlığı araçlar ve küçük kamyonetler için yaklaşık 11 kg'dır. Bu ağırlık kamyonlarda 45 kg – 55 kg arasında değişir. Ancak araç lastiği ömrünü tamamladığı zaman bu lastiğin yaklaşık ağırlığı 8,9 kg olmaktadır. Bu rakam kamyon lastiklerinde ise 40 kg – 45 kg olarak ölçülmüştür.

3.2.2 Lastik Şeritlerinin Genel Yapıları

Özellikle lastik şeritlerinin genel özelliklerinin belirlenebilmesi için birçok laboratuvar ve saha çalışması yapılmıştır. Lastik şeritleri ilk olarak organik zeminlerde granüler dolgu malzemesi yerine, hafif dolgu malzemesi olarak, oturmaları azaltmak için kullanılmıştır. O uygulamadan sonra şerit haldeki lastiği mineral zemin yerine dolgu olarak veya yol temellerinde agrega olarak kullanıldığı çeşitli uygulamalar yapılmıştır (Bosscher, 1997). Bu çalışmalar göstermiştir ki inşasında lastik şeritleri kullanılan dolgular, çoğunlukta taşıma gücü açısından normal dolgular kadar iyi bazı durumlarda da en azından yumuşak zemin dolguları kadar performans göstermiştir (Zornberg, 2005).

3.2.3 Lastik Balyalarının Genel Yapıları

Lastik balyaları işlenmiş hafif dolgu malzemesi olarak kabul edilir. Bilindiği üzere standartlara göre üretilmiş bir lastik balyasının ($1,5 \text{ m}^3$ hacimde 100 araç lastiği) birim hacim ağırlığı $5,3 \text{ kN/m}^3$ 'tür. Bu rakam ise normal bir zemin dolgusunun birim hacim ağırlığının yaklaşık olarak % 30 una tekabül etmektedir. Bu durum lastik balyalarını

stabilite sorunları olan sahalarda ekonomik bir çözüm olarak karşımıza çıkarmaktadır. Bunun aksine; sıkışabilme, taşıma gücünün yüksek olması, uzun süreli etkilerinin değerlendirilebilmesi gibi bazı mühendislik özellikleri büyük otoyol projelerinde lastik balyaları kullanılmadan önce detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir. Bu güne kadar tamamlanmış birçok lastik balyası kullanılan projede yapılan ölçümlerde göstermiştir ki balyaların performansları tasarım aşamasındaki varsayımları karşılamaktadır.

3.2.3.1 Lastik Balyalarının Özellikleri

Lastik balyaları ülkemizde kullanılmamaktadır. Ancak dünya çapında geniş kullanım alanına sahiptir. Lastik balyalarının karakteristik özellikleri genelde balyaların hazırlandığı fabrikalara göre çeşitlilik gösterir. Ancak lastik balyalarının mühendislik özellikleri aşağıda sıralanan etkenlere göre değişkenlik gösterir;

- Sıkıştırılma esnasında kullanılan makinenin mekanik ve hidrolik özellikleri,
- Lastiklerin çapı, türü ve parçalanma olup olmaması,
- Sıkıştırma yöntemi,
- Söz konusu lastik yığınının bağlamada kullanılan yöntem,
- Balyanın ihtiva ettiği lastik sayısı,
- Lastiklerin balyaya yerleştirilme sistemi,
- Balyanın kullanılacağı zeminin balyanın içi ve dışında oluşturacağı etkiler,
- Hem lastik, hem de bağlayıcı için uzun süreli dayanıklılığın gözlenmesi,

Sıkıştırma yükünden ve kullanılan bağlayıcılardan dolayı işlenmiş lastik balyalarının normal lastik ürünlerinden ve diğer birçok atık malzemedan yüksek mukavemete ve daha kullanışlı olması beklenir. Ancak lastik balyalarının uzun ve kısa süreli sıkışabilme özelliğinin daha ileri derecelerde incelenmesi gerekmektedir. 2004 yılına kadar lastik balyaları ile ilgili sadece birkaç laboratuvar testi ve arazi deneyi yapılmıştır. Lastik balyalarının üretimde olsuna arazide uygulamalarda olsun çeşitliliği göz önünde bulundurulursa yapılan bu deneylerde sadece sınırlı ölçüde sonuçlar alınabildiği görülecektir. İlk laboratuvar testi “*Twin City Testing Laboratory*” tarafından Minnesota

DOT için 2000 yılında yapılmıştır. Bu testte bir adet balya üzerinde serbest basınç deneyi ve 3 gün süreli sünme testi yapılmıştır. Deneyin sınırlı doğası gereği ve diğer bilgilerin eksikliği nedeni ile lastik balyasının sadece basit mühendislik özellikleri elde edilebilmiştir (Zornberg, 2005).

ASTM tarafından yayınlanan “*Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications*” (ASTM D6270–98) standardında şerit halindeki lastiklerin kullanılması ile ilgili genel yöntemlerden bahsedilmiştir. Bu yöntemlerin bazıları lastik balyalarına da kaya, çakıl, kum ve diğer zeminlerle birlikte dolgu olarak kullanılması durumunda uygulanabilmektedir. Lastik balyaları diğer malzemeler ile birlikte de kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış zemin tabakaları lastik balyalarının arasına, üzerine ve boşluklarını doldurmak için içerilerine konulmaktadır. Lastik balyaları kendilerini çevreleyen zeminle birlikte yapısal bütünlüklerini muhafaza etmektedirler. Ancak içyapılarının boşluklu olması nedeni ile belirli durumlarda çevreleyen zemin boşlukları doldurmak için balyanın içerisine girip genel yapı çevresinde “*sink hole*” (köstebek yuvası)’ler oluşması mümkün olmaktadır. Bu belirtilenlerin dışında lastik balyalarının kullanımının herhangi bir olumsuz etkisi bilinmemektedir.

3.3 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin, Lastik Parçalarının ve Balyalarının Mühendislik Özellikleri

Araç lastiklerinin inşaat malzemesi olarak kullanılabilmesi ihtimali ile ilgili araştırmalar 1970 ve 1980 yıllarında başlanıldığında bu yeni malzemeye değişik kullanım amaçlarına göre çeşitli isimler verilmiştir. Şerit, parçalanmış, toz, balya vb. gibi. Ancak araştırmalar sırasında malzemenin bu şekilde çeşitlendirilmesi mantıklı değildir. Bu sebeplerle bu kısımda ABD ve Avrupa’da kullanılan ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin hammaddelerine kadar mühendislik özellikleri değerlendirilmiştir. Bu kısımda belirtilen bazı deneyler bizzat yazar tarafından yapılmış, belirli deneylerde ise imkânların yetersizliği nedeniyle literatürden faydalanılmıştır.

3.3.1 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Standartlaştırılması

ABD’ de ömrünü tamamlamış lastikler ile genel şartlar ve uygulamadaki dikkat edilmesi gereken noktalar 1998 yılında hazırlanan “*Standard Practice for Use of Scrap Tires in*

Civil Engineering Applications” (ASTM D6270–98) standardında belirlenmektedir. Avrupa da ise buna benzer bir standart oluşturulması için çalışmalar devam etmektedir. Ülkemizde ise 25.11.2006 tarih ve 26357 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği” yürürlükte olup, halen bazı eksikleri bulunmasına rağmen bu yönetmelik ülkemizde de konu ile ilgili çalışmaların devam ettiğini göstermektedir. ASTM standardına göre kullanılabilir olan deney yöntemleri ve genel formüller sadece 3 m kalınlığın altındaki lastikler için geçerlidir. Bunun üzerindeki boylar için herhangi bir yeni standart belirlenmemektedir. Avrupa’da *European Tire Recycling Association (ETRA)* kendi standartları oluşana dek *CEN Workshop Agreement*’in *CWA 14243* sayılı işletme standardının kullanılmasına karar verilmiştir. CWA standardını EN standardına çevirme işlemi 2003 yılında başlanmış olup CWA iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısımda ömrünü tamamlamış lastiklerin kullanılabilir hale getirilmesi açıklanmış, ikinci kısımda ise değişik uygulamalarda kullanılması durumunda dikkat edilecek hususlar ve kullanılabilirliğe değinilmektedir. *ASTM D6270–98* standardı da *CWA 14243* standardı da ömrünü tamamlamış lastiklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesini ve bu malzemelerin kullanımı sonucunda oluşacak çevresel etkilerin belirlenmesini amaç olarak benimsemektedir. Belirtilen yöntemler ABD’ de ve Avrupa’da kullanılmakta olan geoteknik mühendisliği yöntemlerinden uyarlanmaktadır (Edeskär, 2005).

3.3.2 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Teknik Özellikleri

Bu kısımda ömrünü tamamlamış lastiklerin mühendislik özelliklerine değinilmiştir. Çalışmanın bu kısmında belirtilen test yöntemleri ve uygulamaların hepsi geoteknik mühendisliği tarafından kullanılan yöntemler ve uygulamalardır. Ancak burada kullanılan yöntemleri büyük çoğunluğu ömrünü tamamlamış araç lastikleri değil, çakıl, kum ve kaya gibi malzemelerle kullanılmak için ortaya atılmıştır. Ömrünü tamamlamış lastikler üzerinde zemin deneylerinin yapılması sırasında çakıl vb normal zeminlere oranla karşılaşılan sorunlar lastiğin içerisindeki çelik tellerin varlığı, yüksek elastisite ve kayma mukavemeti ile ilgili deneylerde standart bir göçme değerinin bulunmamasıdır. “*Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications*” (ASTM

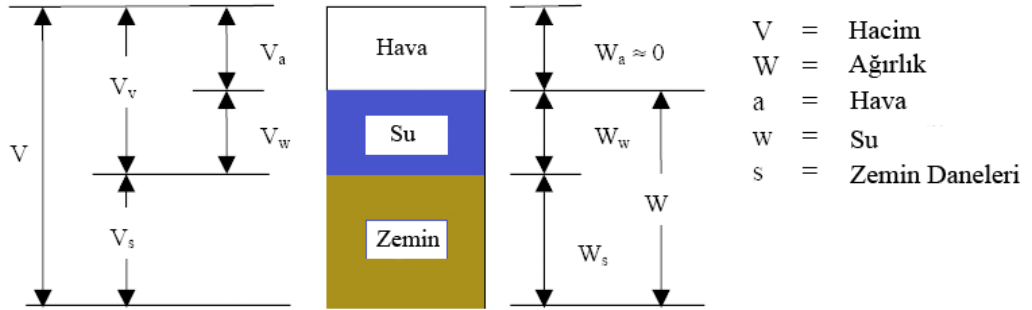
D6270-98) ve CWA 14243 standartlarınca tavsiye edilen deney yöntemleri ilgili mühendislik parametresi incelenirken kullanılmıştır.

1980'ler sırasında ömrünü tamamlamış lastikler bazı saha uygulamalarında yollarda temellerin altına yalıtım tabakası olarak uygulanmak suretiyle kullanılmıştır (Edeskär, 2005). 1990'lı yıllarda ise bu yeni malzemeyi tanımak için çeşitli saha uygulamaları yapılmıştır. 1990'ların sonlarında ve 2000'lerin başlarında ömrünü tamamlamış lastiklerin kayma mukavemetlerinin belirlenmesi için ilk üç eksenli basınç testi yapılmıştır. (Wu, 2003). Son yıllarda ise sıkışabilirlik ve kayma dayanımı davranışı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Yang, 2002)

3.3.2.1 Tanımlar

i) Hacim ve Ağırlık

Bu bölümle ilgili genel tanımlar ve kısaltmalar Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3. 4 : Hacim ve ağırlık tanımları

ii) Boyutlar

İşlenmiş ömrünü tamamlanmış lastikler genelde belirli bir şekle sahip değildirler. Ancak parçalanmış veya toz haldeki lastikler genelde disk şeklinde dairesel yapıya sahiptirler.

ASTM D6270–98 malzemenin boyutlarının belirlenmesi için ASTM Standard Test Yöntemi D422’nin kullanılmasını uygun görmüştür. CWA 14243 ise malzemenin sınıflandırılması için 2 ayrı yöntem öne sürmüştür. Birincisi elek açıklıklarının sadece üst limitinin göz önünde bulundurularak sınıflandırma yapılmasıdır (Lastik Parçaları < 50 gibi). İkinci yöntem ise malzemenin geçtiği üst limitle alt limit arasında bir aralık değeri vermektir (25 < Lastik Parçaları < 50 gibi).

3.3.2.2 Birim Hacim Ağırlığı

Birim hacim ağırlığı kütle ile hacim arasındaki orandır. Lastik parçalarının hangi özellikleri göz önüne alınıyorsa ona göre farklı bir birim hacim ağırlık tanımı yapılabilir. Bu kısımda dane birim hacim ağırlığı ve doğal birim hacim ağırlığına değinilecektir. Dane birim hacim ağırlığı (γ_s) danelerin ağırlığının danelerin hacmine oranıdır (lastik parçalarının dane ağırlıkları gibi).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.1)$$

Yapılan çalışmalarda ortalama dane birim hacim ağırlığı 11,6 kN/m³ olarak bulunmuştur. Numunelerin dane birim hacim ağırlıkları 10,8 kN/m³ – 12,7 kN/m³ arasında değişmektedir. Ne yazık ki bu ölçümlerde doğrudan lastik parçaları kullanıldığı için sadece çelik donatılı veya farklı bir donatılı olduğu konusunda kesin bir bilgi elimizde mevcut değildir. Ancak konu ile ilgili şu genel kanı ortaya atılabilir ki; lastikteki metal muhteviyatı arttıkça dane birim hacim ağırlığı da artacaktır. Sonuçların çeşitli olmasının altında yatan nedenler ise araç lastiklerinin çelik muhteviyatlarının farklı olmasından, normalde kullanıldıkları yerlerin farklı olmasına kadar vb. sayılabilir.

Granüler zeminlerle karşılaştırıldıklarında ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin dane birim hacim ağırlıklarının çok az olduğu görülmektedir. Normal bir zemin numunesinin, dane birim hacim ağırlığı, içerisindeki minerallere göre 18 kN/m³ – 29 kN/m³ arasında değişmektedir.

Doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) ise toplam ağırlığın toplam hacme oranıdır. Daneler arasındaki havanın ağırlığı olmadığı için ihmal edilebilir ve aşağıdaki formül yazılabilmektedir.

$$\gamma_n = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w + W_g}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \quad (3.2)$$

Doğal birim hacim ağırlığı belirlenmeden önce deneye tabi tutulan lastikler % 60 proktor enerjisi ile sıkıştırılmıştır. Doğal birim hacim ağırlıkları deneylerde gevşek sıkıştırmada $4,5 \text{ kN/m}^3 - 6,0 \text{ kN/m}^3$, yoğun sıkıştırmada ise $6,0 \text{ kN/m}^3 - 8,0 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Sonuçların çeşitli olmasının altında yatan nedenler ise yine araç lastiklerinin çelik muhteviyatlarının farklı olmasından, normalde kullanıldıkları yerlerin farklı olmasına kadar vb. sayılabilir. Ömrünü tamamlamış lastiklerin doğal birim hacim ağırlıkları normal zeminlere oranla düşüktür. Normal zeminlerin doğal birim hacim ağırlıkları zemin parçacıklarının durumuna, dane çaplarına, su muhtevasına ve kompaksiyon miktarı gibi nedenlere göre değişmektedir. Normal zemin numunelerinin doğal birim hacim ağırlıkları $12 \text{ kN/m}^3 - 23 \text{ kN/m}^3$ arasında değişmektedirler. Lastiklerin ortalama doğal birim hacim ağırlıkları normal zeminlerin yaklaşık % 30 u kadar olmaktadır.

Bu kısımda doğal birim hacim ağırlıkla ilgili yaptığımız çalışmayı kısaca özetlersek;

- Lastiklerin içerisinde bulunan çelik, cam vb. teller birim hacim ağırlıklarının değişmesine yol açmaktadır,
- Ön yükleme. Lastik parçaları aşırı derecede sıkışabilir olduğu için önceden yapılan yükleme miktarı da doğal birim hacim ağırlığı etkilemektedir,
- Kullanılan lastiklerin orijinal boyutları da doğal birim hacim ağırlığı etkilemektedir.

3.3.2.3 Porozite ve Boşluk Oranı

Porozite (n), boşluk hacminin (V_v) toplam hacme (V) oranıdır.

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (3.3)$$

Bir numunenin porozitesi diye adlandırılır ve $0 < n < 100$ arasında bir değer alır. Boşluk oranı (e) ise zeminde bulunan boşlukların hacminin (V_v), danelerin hacmine (V_s) oranıdır ve $0 < e < \infty$ aralığında değerler almaktadır.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_g + V_w}{V_s} \quad (3.4)$$

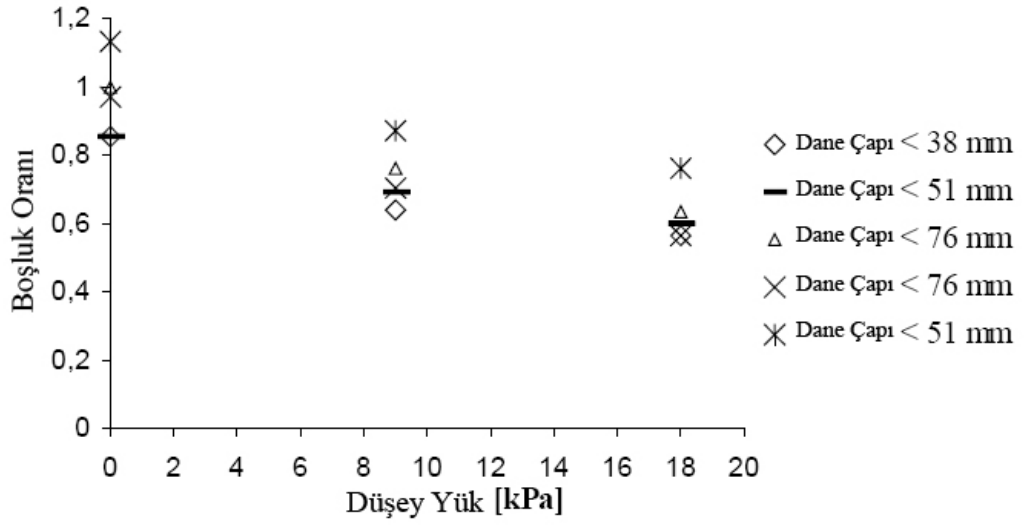
Porozite de, boşluk oranı da malzemedeki boşluk hacmini verirler. Porozite ile boşluk oranı arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (3.5)$$

Lastik parçaları büyük ölçüde sıkışabilir olduğu için boşluk oranı ve Porozite değerleri direkt olarak üzerine uygulanan yüke bağlıdır. Ancak lastik parçalarının poroziteleri her durumda çakıldan, kumdan vb. normal zeminlerden yüksektir. 40 kPa'lık düşey sürşarj yükü altında ki bu yük lastik parçalarının yollarda dolgusu olarak kullanılması durumunda ortaya çıkacak yüküdür, 50 mm x 50 mm'lik lastik şeritlerinin porozitesi %50 olarak belirlenmiştir. Bu değer aynı durumdaki çakılda % 12 - % 50 arasında sıkıştırılma miktarına göre değişmektedir (Edeskär, 2005).

Boşluk oranı ile uygulanan yük arasındaki ilişki Şekil 3.5'de görülebilmektedir. Değişen yüke göre boşluk oranı 0,62 ile 0,96 arasında değişmektedir.

Çalışmanın bu kısmını özetlemek gerekirse porozite ve boşluk oranını etkileyen en önemli etkenler lastik parçalarının boyutları ve üzerlerin uygulanan düşey sürşarj yüküdür. Bu ikisinden de en önemlisi sürşarj yüküdür. Sürşarj yükünün artmasıyla boşluk oranı ve porozite azalacaktır, çünkü lastikler normal zeminlerden çok daha yüksek sıkışabilirliğe sahiptir.



Şekil 3. 5 : 3 Ayrı boyutta ve ayrı tipteki lastik parçaları için düşey yük ile boşluk oranı arasındaki ilişki (Humphrey, 2000)

3.3.2.4 Permeabilite

Permeabilite (k), veya diğer bir ismi ile hidrolik konduktivite (k), suyun daneler arasından geçmesine karşı gösterilen direnç olarak tanımlanabilir.

$$Q = k \times i \times A \quad (3.6)$$

Burada;

Q : Debi [m^3/sn]

k : Permeabilite [m/sn]

i : Hidrolik Eğim

A : Suyun Geçtiği Yüzeyin Alanı [m^2]

Lastik parçalarının permeabilitesi doğrudan dane çapı, yoğunluk ve uygulanan yüke bağlıdır. Yapılan çalışmalara göre lastik parçalarının permeabilitesi çok yüksektir. Bulunan sonuçların birçoğu yaklaşık olarak 10^{-2} m/s mertebesinde dir. Granüler haldeki lastik parçalarında bu değer düşmektedir (Ahmed, 1993). Çakıl çoğu zaman drenaj elemanı olarak tavsiye edilmektedir. Ancak ASTM (1998) 19 mm'nin altındaki lastik parçalarının ASTM Standard Test Yöntemi D 2434 e göre uygulanmak kaydı ile kullanılabileceğini belirtmektedir.

3.3.2.5 Su Muhtevası ve Kapilarite

Su muhtevası (w) kesitteki su ağırlığının dane ağırlığına oranı olarak tanımlanır.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad [\%] \quad (3.7)$$

Lastik parçalarının su tutma özellikleri yalnızca yüzeylerinde tutabildikleri su miktarıdır. Buda genelde kuru birim hacim ağırlığının belirli bir yüzdesi olarak belirtilmektedir. ABD’ de su tutma kapasitesi ile ilgili ASTM-Standard ASTM C 127 normu bulunmaktadır.

Lastik parçalarının su muhtevaları ortalama % 2,0 - % 4,3 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalarda dane çağları ile su muhtevaları arasında direkt bir bağlantı bulunamamıştır (Ahmed, 1993).

Yüksek permeabilite nedeni ile 1 cm/s – 10 cm/s, sıkıştırılma oranına göre su tutum süresi lastik parçalarından teşkil edilen yapılarda çok düşüktür. Araç lastiklerinin su muhtevaları sadece yüzeyde tutulan su olduğu için benzer zeminlerle karşılaştırıldığı zaman yapıda tutulan su lastik parçalarında çok azdır. Kapilarite ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Ancak lastik parçalarının yüksek porozite ve düşük ince dane ihtiva etmesi sebebiyle kapilaritenin lastik parçalarında çok az olacağını söylemek gerçekçi bir yaklaşımdır.

3.3.2.6 Kompaksiyon Özellikleri

Kompaksiyon granüler malzemeye uygulandığı zaman, malzemenin boşluk hacmi düşer, kayma mukavemeti artar, oturmalar düşer ve malzeme daha sıkı bir yapıya kavuşur. Bu sebeple kompaksiyonun malzemenin fiziksel özelliklerinde iyileştirme yaptığı söylenebilmektedir.

Kompaksiyon olayını açıklamanın en kolay yolu Proktor deneyidir. Deney granüler zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığını ve optimum su muhtevasını belirleyebilmek için yapılmaktadır. Malzeme belirli hacimde bir silindir içerisine tabakalar halinde konularak bir tokmak vasıtasıyla sıkıştırılır. CW birim hacme harcanan kompaksiyon enerjisi olarak değerlendirilirse;

$$CW = \frac{nu \times b \times W \times h}{V} \quad [j/m^3] \quad (3.8)$$

Burada;

nu : Tabaka sayısı

b : Her tabakaya vuruş sayısı

W : Tokmağın Ağırlığı

h : Düşme yüksekliği

V : Numunenin hacmi

Parçalanmış lastik malzemeler üzerinde laboratuvar Proktor deneyi Ahmed ve Lovell (1993), Cecich (1996), Bosscher (1997) ve daha birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır. Tablo 3.1’de görüldüğü gibi lastik parçaları en küçük boydan 50,8 mm’ye kadar değişim göstermektedir. Daha büyük boylarda ise deney yapılması mümkün olmamaktadır. Çalışmalarda belirtilen dane çapları için kuru birim hacim ağırlığı 4,66 kN/m³ – 6,84 kN/m³ arası değişmektedir.

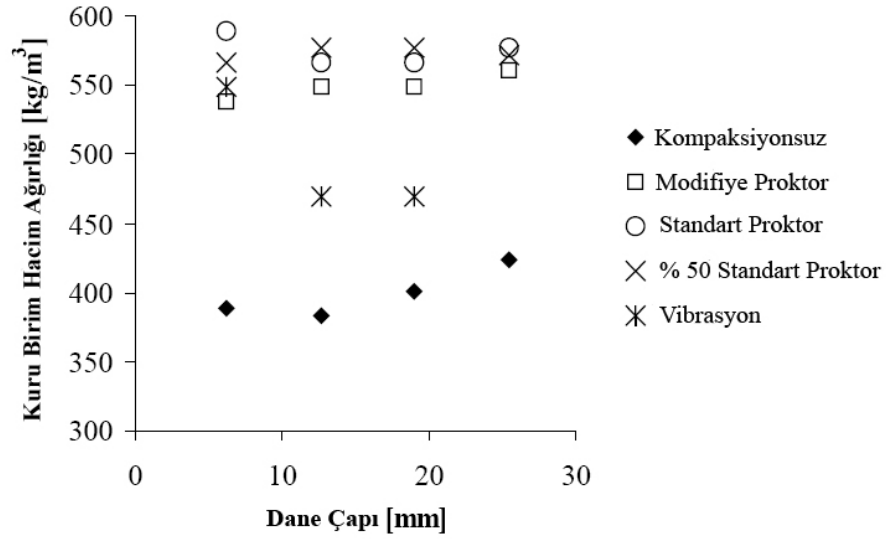
Yapılan deneyler sonrasında Manion ve Humphrey (1992) testlerde kompaksiyon eforunun etkisini araştırdılar. Deneylerinde modifiye, standart ve % 60 standart Proktor ekipmanları kullandılar. Bu yolla kompaksiyon eforunun değişmesiyle sıkışma miktarında sadece çok az bir değişim olduğunu saptanılmıştır. Sonuç olarak lastik parçalarının maksimum durumda sıkıştırılabilmesi için çok az bir çaba yeterli olduğu görülmüştür. Bunun yanında ıslak numuneler üzerinde de kompaksiyon deneyi yapılmıştır. % 5,3 su muhtevasında % 60 Standart Proktor deneyi sonucunda kuru birim hacim ağırlık 6,4 kN/m³ bulunmuştur. Bu değer aynı Proktor deneyine tabi tutulmuş kuru numunelerden çok daha yüksektir.

Ahmed ve Lovell (1993) tarafından kompaksiyon deneylerinde numunenin dane çaplarının etkisini araştırmak için Şekil 3.6’deki çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada yöntemlerin hiçbirisinde dane çapıyla sıkışma arasında direkt bir bağlantı bulunamamıştır. Vibrasyonda lastik parçaları büyüdükçe yerleşme imkânı ortadan kalktığı için kuru birim hacim ağırlık düşmektedir.

Tablo 3. 1 : Ahmed ve Lovell (1993), Cecich (1996), Bosscher (1997) tarafından yapılan proktor deneyleri

Maksimum Dane Çapı [mm]	Bulunan Kuru Birim Hacim Ağırlığı [kN/m ³]	Yöntem	Uygulayan
50,8	4,66	Gevşek Dolgu	Ahmed ve Lovell (1993)
2,54	4,88	Gevşek Dolgu	Ahmed ve Lovell (1993)
2,54	4,96	Vibrasyon	Ahmed ve Lovell (1993)
12,7	4,72	Vibrasyon	Ahmed ve Lovell (1993)
25,4	6,13	% 50 Standart Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
14,7	6,4	% 50 Standart Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
50,8	6,34	Standart Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
3,81	6,44	Standart Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
25,4	6,52	Standart Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
12,7	6,32	Standart Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
50,8	6,68	Modifiye Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
25,4	6,84	Modifiye Proktor	Ahmed ve Lovell (1993)
0,8 - 10	5,62 - 5,98	Modifiye Proktor	Cecich (1996)

Arazi uygulamalarında ise statik sıkıştırma ile titreşimli sıkıştırma kullanımı arasında görüş ayrılıkları vardır. Humphrey (2000), tarafından kompaksiyon ekipmanının sıkışma üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada lastik parçalarından teşkil edilen bir dolgu üzerinden 9 tonluk vibratörlü silindir ile 59 kPa'lık yük ile sıkıştırılmıştır. Aynı dolgunun belirli bir bölgesi de çift dingilli 11 m³'lük kamyon tarafından sıkıştırıldı. Kamyon yardımı ile yapılan sıkıştırma işlemi başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Çünkü sıkıştırma yapan kamyon lastik parçalarını sıkıştırmak yerine içlerine batmıştır. Lastik parçalarının sıkıştırılması bilinen Proktor birim hacim ağırlık – su muhtevası bağlantılarıyla ifade edilemez. Bunun en büyük nedeni boşluk suyunun malzemenin boşluklarından ziyade yüzeylerine yapışmış halde bulunmasıdır. Bu da bilinen birim hacim ağırlık kontrollerinin yapılmasını imkânsız hale getirmiştir. Sonuç olarak sahada uygulama sırasında birim hacim ağırlığı kontrol etmek için farklı yöntemler kullanılmalıdır.



Şekil 3. 6 : Değişik laboratuvar testlerinde dane çapları için alınan kuru birim hacim ağırlıkları (Ahmed ve Lovell, 1993)

Genelde sıkıştırmayı etkileyen en önemli etmenler; sıkıştırma yöntemi, lastik parçalarının dane boyutları, lastik/zemin karışım oranı (karışım olarak kullanıldıysa) ve laboratuvar da yapıldıysa kalıbın hacmidir (Ahmed, 1993). Teorik olarak sıkıştırıldıktan sonra ortaya çıkan birim hacim ağırlık şu şekilde ifade edilebilir;

$$\gamma_c = \gamma_n \cdot \frac{V_0}{V_c} = \gamma_n \cdot \frac{H_0}{H_c} \quad (3.9)$$

γ_c : Sıkıştırılma sonrası birim hacim ağırlık [kN/m³]

γ_n : Doğal haldeki birim hacim ağırlık [kN/m³]

V_0 : Sıkıştırma öncesi hacim [m³]

V_c : Sıkıştırma sonrası hacim [m³]

H_0 : Sıkıştırma öncesi lastik tabakasının kalınlığı [m]

H_c : Sıkıştırma sonrası lastik tabakasının kalınlığı [m]

ASTM(1998) maksimum kuru birim hacim ağırlık tayini için lastik parçaları üzerinde ASTM Standard Test Yöntemi D 698'a uygun olarak % 60 proktor enerjisi kullanılarak test yapılması uygun görülmüştür. Titreşimli sıkıştırmanın kullanılması uygun görülmemiştir.

Bu kısımda incelenenler göz önüne alınarak şu çıkarımlar yapılabilir;

- Çalışmalarda kuru birim hacim ağırlıklarının $5,94 \text{ kN/m}^3 - 6,84 \text{ kN/m}^3$ arasında değiştiği görülmüştür,
- Su muhtevasının lastiklerin kompaksiyonu üzerinde göz ardı edilebilir bir etkisi vardır,
- Kompaksiyon enerjisinin artmasıyla sıkışma miktarının artması arasında direkt bir bağlantı yoktur,
- Lastik parçaları sıkıştırma sırasında yerleşip oturmalarına sebep olabilir,

Kompaksiyon testlerinde elde edilen kuru birim hacim ağırlık çoğu zaman lastik parçaları için sahada bulunan son değer olmamaktadır. Bunun nedeni ise malzemenin elastik yapısı gereği yük altında malzemenin hacmi azalmakta, bununla beraber daha sıkışmış bir yapı kazanmaktadır.

3.4 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin, Lastik Parçalarının ve Balyalarının Çevreye Etkilerinin İncelenmesi

Üretiminde kullanılan potansiyel zararlı maddeler ve katı atık kategorisine girdiği için ömrünü tamamlamış lastiklerin inşaat mühendisliği alanlarında kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek çevresel etkilerinde değerlendirilmesi gerekmektedir, çünkü sahada uygulanırken ortaya çıkabilecek durumları önceden tahmin edebilmek için kullanılan malzemenin davranışlarını tam anlamıyla önceden bilinmesi gerekmektedir. Ömrünü tamamlamış lastiklerin muhteviyatları, değişik bileşimlerin sızdırma özellikleri, değişik sızdırma ortamlarındaki davranışlar ile ilgili gerek laboratuvar da gerekse uygulamada tüm yönleriyle incelendikleri çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bunun yanında canlılar üzerinde etkilerinin tespit edilebilmesi için ekotoksikolojik testler yapılmıştır.

Araç lastiklerinin bileşimleri gün geçtikçe teknolojinin ilerlemesi ile ve yasaların ve yönetmeliklerin getirdiği sınırlamalarla değişmektedir. Örnek olarak lastiğin yapısında bulunan ve çokça gündemde olan tehlikeli bileşenlerden PAH ve fenollerin lastik içerisindeki miktarları son yıllarda ciddi biçimde düşmüştür. Değişik tipteki lastiklerde değişik miktarlarda tehlikeli madde bulunmaktadır. Örnek olarak çamur ve kar

lastiklerinde, standart ve yaz lastiklerine göre çok daha az aromatik yağ bulunmaktadır. Bu çalışma sırasında değinilen çevresel etkiler 4 ayrı grupta incelenecektir; lastiğin kimyasal bileşimi, lastik parçalarının sızdırma özellikleri, eksotoksikolojik testler ve ömrünü tamamlamış araç lastikleri ile yapılan uygulamalar sırasında yapılan çevresel değerlendirmeler. Çalışmanın bu kısmında lastiklerin kimyasal bileşimleri ile bilgi verilecek, ardından sızdırma testlerine değinilecektir. Ardından uygulamada yapılan çalışmalarla ilgili bilgi verilecektir. Son olarak ta eksotoksikolojik testler hakkında bilgi verilecektir.

3.4.1 Lastiğin Yapısı

Günümüzde üretilen lastikler hidrokarbonlar, mineraller ve metallerden oluşan bir bileşime sahiptirler. Standart bir lastiğin bileşimi çıkarılmak istenildiğinde 63 ayrı bileşen olduğu görülmektedir (Edeskär, 2005). Lastiğin birleşimini açıklamak istersek öncelikli olarak ana kısımlar olan yatak, kaplama ve iskeleti açıklamamız gerekmektedir. Yatak kısmı kauçukla kaplı esnemeyen ve bozulmayan metal şeritlerden oluşmuştur ve bu kısım lastiği çerçeve içerisinde tutan kısımdır. İskelet kısmı ise metal, sentetik iplikler veya doğal ipliklerden oluşmuş kısımdır. Günümüzde genelde üretilen iskelet sistemleri rayon ipliklerden üretilirler. Lastiğin yaklaşık % 40'ı kauçuk, %25'i kurum, %15'i çelik ve %5'i de tekstil ürünlerden oluşmaktadır. Geri kalan %15'lik kısım ise kimyasal bileşenlerden oluşmaktadır. Lastiğin %90'ı yanıcı maddelerden oluşmaktadır ve fiili termal değeri 31 MJ/kg mertebesinde dir. Araç lastiğinin sülfür muhteviyatı ise fueloil kadardır. Normal bir araç lastiği kullanım ömrü boyunca oluşan sürtünmeden dolayı küçük parçalar kopması suretiyle ağırlığının % 10 ila % 20'si arasında kayba uğramaktadır. Bu sebeple yani bir lastikle kullanılmış lastiğin bileşim oranları farklı olacaktır. Beklenildiği üzere tüm kayıp kaplama kısmından olacaktır. Seçilen kurum bazlı kaplamaya sahip lastik ile silikat bazlı lastik kaplamaya sahip lastikte meydana gelen kayıplar Tablo 3.2'de verilmiştir (Edeskär, 2005).

Tablo 3. 2 : Silikat ve kurum bazlı lastiklerin kullanım sonrasında oluşacak tahmini bileşen kayıpları

Kaplama Kaybı	Kurum Bazlı Kaplama		Silikat Bazlı Kaplama		Kurum Bazlı Kaplama		Silikat Bazlı Kaplama	
	10%	20%	10%	20%	10%	20%	10%	20%
Hammadde	gr	gr	Gr	gr	%	%	%	%
Sentetik Kauçuk	1758,7	1377,3	1777,9	1411,2	22,7%	20,0%	22,4%	20,0%
Doğal Kauçuk	1453,1	1449,0	1516,1	1485,1	18,7%	21,0%	19,1%	21,1%
Kurum	2022,7	1725,8	1570,5	1486,6	26,1%	25,0%	19,8%	21,1%
Sentetik Silikat	48,5	47,9	619,7	372,7	0,6%	0,7%	7,8%	5,3%
Kükürt	109,3	102,3	110,4	103,4	1,4%	1,5%	1,4%	1,5%
ZnO	125,4	117,3	126,2	118,2	1,6%	1,7%	1,6%	1,7%
Aromatik Yağlar	535,9	398,4	453,4	359,8	6,9%	5,8%	5,7%	5,1%
Sterik Yağlar	63,2	57,7	81,1	68,2	0,8%	0,8%	1,0%	1,0%
Accelerator	68,3	61,0	79,3	67,6	0,9%	0,9%	1,0%	1,0%
Antidegradant	116,5	103,0	127,6	110,1	1,5%	1,5%	1,6%	1,6%
Rejenere Kauçuk	35,3	35,3	36,3	35,9	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Teller	1011,4	1011,4	1011,4	1011,4	13,0%	14,7%	12,8%	14,4%
Tekstil Doku	411,6	411,6	411,6	411,6	5,3%	6,0%	5,2%	5,8%
Toplam					100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Ağırlık (gr)	7760,0	6897,9	7921,6	7041,6				

3.4.1.1 Organik Bileşim

Ömrünü tamamlamış lastiklerin organik bileşimleri, karışımları ve miktarları lastik tipleri ve üreticilere göre değişim göstermektedir. Bu sebeple belirli bir organik bileşimden bahsetmek hem mantıksız hem de gereksiz olacaktır. Bu kısımda bahsedilen organik bileşimler ve onların çevreye etkileri yapılan sızdırma testleri çalışmaları sonucunda belirlenmiş olup sadece seçilen belirli tipteki lastikler için geçerlidir.

i) Kauçuk

Kauçuk araç lastiklerinin ağırlık bakımından ana maddesidir. Ortalama bir lastiğin ağırlığının % 42'si kauçuktur. Bu sayının % 24,5'i sentetik kauçuk, %12,5'i ise doğal kauçuktur. Tüm dünyada üretilen kauçuğun % 60'ı araç lastiklerinde kullanılmaktadır.

ii) Antidegradantlar ve Acceleratorler

Antidegradantlar ve Acceleratorler araç lastiklerine tüm lastik ağırlığının % 1'i oranda karıştırılırlar. En yaygın olarak kullanılan antidegradan ve accelerator, 6-PPD (N-(1,3

dimethylbutyl)-N-phenyl-p-phenylene diamine) ve CBS (N-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulphenamide), insanlarda deride tahrişe sebep olur ve tehlike seviyesi R50/53 olarak belirlenmiş, su atlı hayatını ciddi şekilde etkileyen tehlikeli bir maddedir.

Kullanılmış lastiklerin yaklaşık olarak % 26'sı kurumdan (CASNR 1333-86-4) oluşmaktadır. Kurum toz halde kokusuz bir malzemedir. Dünya üzerinde üretilen kurumun yaklaşık % 69'u lastik sanayinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Kurum kısmi yanma sonucu oluşan karbon içeren gazların filtrelmesi ile elde edilir. Kurumun kendisi toksin bir madde değildir. Ancak bünyesine katılan 3,4-benzpyrene gibi kanserojenik etki taşıyan hidrokarbonlar nedeniyle toksin özellik kazanmaktadır (Edeskär, 2005).

Lastiklerin % 6.9'u aromatik yağlardan oluşmaktadır. Aromatik yağlar (genelde aromatik ürünler olarak bilinirler) akaryakıt üretimi sırasında ortaya çıkan ara ürünlerdir. PAH organik bileşikler ailesinin geniş bir grubudur. Bünyesinde 100'den fazla bileşik bulundurulur. PAH (Polisilik Aromatik Hidrokarbon) hidrojen ve karbon atomlarının hepsi 6 karbon atomu içeren 2 veya daha fazla benzen halkası ile beraber birbirlerine bağlanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu genel yapının yanı sıra bazı PAH bileşimleri yapılarında 5 atomlu halkalarda (acenafte, flourene) bulundurulur (Conell, 1997). İncelenen PAH bileşenleri U.S. EPA tarafından öncelik listesinde yer alan 16 PAH bileşenidir. Bu PAH bileşenleri EPA tarafında seçilirken şu kriterler dikkate alınmıştır;

- Bu bileşenler hakkında geniş bilgi mevcuttur.
- Bazılarının insan yaşamı ve çevre üzerinde ciddi Zaraları odluna dair görüşler vardır.
- Seçilen PAH bileşenleri birçok durumda karşılaşılabilecek en yaygın PAH bileşenleridir.
- Seçilen PAH bileşenlerine maruz kalınma ihtimali diğerlerine göre çok yüksektir.

Bu 16 PAH bileşiminde sınırlama olmasının asıl nedeni sadece bu bileşimler hakkında elde yeterli bilgi olmasıdır. Bu seçilen PAH bileşimleri 2 gruba ayrıldı. Kanserijenik bileşimler ve kalıcı bileşimler. 16 PAH bileşiminden 7 tanesi Kanserijenik, 9 tanesi ise

kalıcı Pah bileşeni olarak belirlenmiştir. Söz konusu PAH bileşenleri aşağıda Tablo 3.3’de verilmiştir (Edeskär, 2005).

Tablo 3. 3 : 16 PAH bileşeni

Kalıcı PAH	Kanserojenik PAH
Napthalane	Benzo(a)anthracene
Acenaphtylene	Chrysene
Acenaphten	Benzo(b)flouranthene
Fluorene	Benzo(k)flouranthene
Phenentrene	Benzo(a)pyrene
Anthracene	Dibenz(a,h)anthracene
Flouranthene	Indeno(1,2,3-cd)pyrene
Pyrene	
Benzo(ghi)perylene	

3.4.1.2 Metaller

Ömrünü tamamlamış lastiklerin bünyesinde iki ana metal kaynağı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi donatı vazifesi gören çelik tellerdir. Bir diğeri ise vulcanizasyon işlemi sırasında kullanılan çinko oksittir. Araç lastiklerinde iki tip tel kullanılır. Birincisi yatak kısmında kullanılan çinko veya bronz kaplı tellerdir. Diğeri ise tekstil kaplı çelik kemer telleridir.

3.4.1.3 Diğer Katkı Maddeleri

Çelik tellerle beraber araç lastiklerinin içerisinde tekstil ürünleri de donatı olarak kullanılmaktadır. Kullanılan başlıca tekstil ürünleri naylon ve polyesterdir. SiO₂ 1990’ların ortalarından beri araç lastikleri içerisinde donatı elemanı olarak kullanılmaktadır.

3.4.2 Çevreye Karışılabilirlik

Çevreye verilebilecek zarar sadece kirleticilerin çevreye karışması durumunda ortaya çıkabileceği için potansiyel kirleticiler varlığından çok çevreye karışabilirlikleri incelenmelidir. Ancak çevreye karışabilirlik lastiğin bileşimindeki malzemelerden de bağımsız değildir. Yüksek bileşen oranı yanında düşük çevreye karışabilirlik veya buna oranla daha düşük bileşen oranı yanında yüksek çevreye karışabilirlik genel durumda

etkisi düşük olacağından çevreye fazla zarar vermeyecektir. Ancak tam tersi durumda yüksek bileşen oranı yanında düşük çevreye karışabilirlik veya buna oranla daha düşük bileşen oranı yanında yüksek çevreye karışabilirlik bazı durumlarda çevreye büyük zararlarda verebilir. Bu durumda çevreyi asıl etkileyen etmen lastik malzemesinin uygulanma şeklidir. Bu kısımda asıl değinilen öge lastiğin içerisinde hangi miktarda bulunan bileşenlerin çevreyi ne şekilde etkileyeceğinin tespit edilmesidir. Sızdırma testi malzemenin kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek çevresel sorunlardan oluşabilecek risklere karşı önlem alınabilmesi için uygulanan en yaygın testtir. Ancak sızdırma testleri tam olarak doğru sonucu vermezler. Çünkü sızdırmazlık testlerinde genelde göz önünde bulundurulmuş en kötü senaryodur. Bununla beraber sızdırma testlerinde belirli bir bileşenin kontrollü koşullar altında, belirli bir durumda ne kadar çevreye karışacağı belirlenmeye çalışılır. Sızdırma testinin sonuçları hiçbir zaman direkt olarak sahada yapılan uygulamalarla bağdaştırılamaz ama yine de sahada olabilecek en kötü durum hakkında bir fikrimizin olmasını sağlamaktadırlar.

3.4.2.1 Organik Bileşenlerin Çevreye Karışabilirliği

Ömrünü tamamlamış lastiklerin organik bileşenleri içerisinde çevreye karışabilirlik açısından göz önünde bulundurulması gereken en önemli bileşen PAH' dır. Fenoller gibi diğer ögeler, PAH yanında önemsiz kalmaktadırlar. EN 12457 standardına göre ömrünü tamamlamış lastiklerde bulunan PAH için yapılmış sızdırma testi sonuçları aşağıdaki Tablo 3.4'de verilmiştir. Doğal koşullarda lastik şeritlerinin sızdırma oranı sızdırma yüzeyinin az olması nedeniyle granüle lastiğe göre daha azdır. Granüle lastikte doğal pH oranında oluşan maksimum PAH sızdırma konsantrasyonu 11 µg/l civarında ve kanserojenik PAH konsantrasyonu 0.03 µg/l civarındadır. Diğer 14 PAH bileşeni belirlenen sınırların altında kalmıştır. Lastik şeritleri için bulunan toplam PAH konsantrasyonu 0.02 µg/l ve kanserojenik PAH konsantrasyonu 0.02 µg/l'nin de altında bulunmuştur. Bazik durum için ise sadece granüle lastik için sonuçlar mevcuttur. Bu durumda da toplam PAH miktarı doğal durumdakinin altındadır. Bu sızdırma testlerinin sonuçları şunu göstermiştir ki organik bileşenlerde sızdırma durumu doğal ve bazik durumlarda çok az olmaktadır.

Tablo 3. 4 : EN 12457 standardına göre PAH sızdırma testi sonuçları

Numune	Lastik Parçaları	Lastik Şeritleri	Lastik Tozu
pH	7	6,9	13,6
Bileşen µg/l			
Napthalane	11	0,02	< 0,29
Acenaphtylene	< 0,14	< 0,02	0,46
Acenaphten	< 0,5	0,02	< 0,5
Fluorene	< 0,2	0,02	2,8
Phenentrene	0,1	< 0,02	< 0,05
Anthracene	< 0,01	< 0,02	< 0,01
Flouranthene	< 0,01	< 0,02	0,09
Pyrene	< 0,05	0,02	< 0,06
Benzo(a)anthracene *	0,03	< 0,02	< 0,01
Chrysene *	< 0,01	< 0,02	< 0,01
Benzo(b)flouranthene *	< 0,01	< 0,02	< 0,04
Benzo(k)flouranthene *	< 0,01	< 0,02	< 0,01
Benzo(a)pyrene *	< 0,01	< 0,02	< 0,02
Dibenz(a,h)anthracene *	< 0,01	< 0,02	< 0,01
Benzo(ghi)perylene	< 0,05	< 0,02	< 0,06
Indeno(1,2,3-cd)pyrene *	< 0,01	< 0,02	< 0,01
Toplam 16 EPA-PAH	11	0,3	3,4
Toplam Kanserojenik PAH	0,03	< 0,02	< 0,05
Toplam Kalıcı PAH	11	0,3	3,4

* Kanserojenik PAH

Normal pH koşullarında lastik parçaları hiçbir suretle çevreye herhangi bir kirletici bileşen salmamaktadır. Bunun la beraber yapılan bazı çalışmalarda yeni lastiklerin eskilerine göre çevreye çok daha fazla PAH karıştırdıkları görülmüştür.

PAH moleküllerinin polar olmayan yapıları sebebiyle suda çözülme oranları çok düşüktür. Naftalin 31 mg/l'lık konsantrasyonu ile diğer tüm PAH'lardan daha çok çözünebilme özelliğine sahiptir. Naftalin ayrıca sızdırma testlerinde çevreye en çok karışabilen PAH olarak ta karşımıza çıkmaktadır. Organik bir çözücünün ortamda bulunması ömrünü tamamlamış lastikler için ciddi bir sorun arz etmektedir. Diğer taraftan ömrünü tamamlamış lastiklerin inşaat mühendisliği dallarında kullanılması durumunda ortamda organik çözücünün bulunması durumunda zaten çözücünün kendisi kirlenmenin kaynağı olacaktır. Håøya (2004) fenollerin sızdırmasını belirlemek için bir sızdırma testi yapmıştır. Bu testin sonuçları Tablo 3.5'de görülmektedir.

Bisphenol-A ve Nonylphenol düşük konsantrasyonlarda bile zararlı çevresel etkileri olduğu bilinen fenollerdir. Octylphenol ise sızdırma oranı yüksek bir fenol olmasına rağmen Bisphenol-A ve Nonylphenol ile karşılaştırıldığında aynı konsantrasyonlarda çok daha az çevresel zarara sebep olacağı bilinmektedir (Håøya, 2004).

Tablo 3. 5 : Normal pH koşullarında lastikler için fenol ve TOC sızdırma testi sonuçları (Håøya, 2004)

Bileşen	Aralık [mg/kg TS]
4-tert-Octylphenol	0,002 - 0,05
4-n-Nonylphenol	$1,002 \times 10^{-5}$ - 0,003
iso-nonylphenol	0,005 - 0,007
Bisphenol - F	0,007 - 0,03
Bisphenol - A	0,02 - 0,06
TOC	53 - 61

3.4.2.2 Metallerin Çevreye Karışabilirliği

Granüle lastik ve lastik şeritleri üzerinde yapılan sızdırma testleri sonuçları Tablo 3.5'te görülmektedir. Sülfür ve çinkonun normal pH değerlerinde sızdırma oranları yüksek olmasına karşın bakırınki çok düşüktür. Çinko konsantrasyonu lastik şeritlerinde sızdırma yüzeyinin az olması nedeniyle granüle lastiğe göre daha azdır. Bazik durumda ise çinko ve sülfür konsantrasyonu normal koşullara göre artmaktadır. Bunlarla beraber bakır konsantrasyonu da ciddi bir şekilde pH ile beraber yükselmektedir. Ancak lastiğin bünyesindeki toplam bakır miktarı herhangi bir sorun teşkil etmeyeceği için konsantrasyonun artması da bir sorun teşkil etmemektedir. Demir konsantrasyonunun yüksek olmasının başlıca nedeni ise lastiğin bünyesinde bulunan metal tellerdir. Engstrom (1994), tarafından yapılan çalışmada pH 3,5 – 8,0 arası değerlerde sızdırma testleri yapılmıştır. Testlerin sonucunda en fazla metalik konsantrasyonun asidik durumda (pH = 3,5) ortaya çıktığı görülmüştür. Burada bahsi geçen metaller; baryum, kadmiyum, kurşun, krom, selenyum ve çinkodur. Normal pH seviyesinde herhangi bir kirleticiye rastlanılmamıştır.

Kuzey Yarmouth, Maine, ABD' de yeraltı su seviyesinin üzerine yerleştirilmiş lastik şeritlerinin su kalitesine etkileri ile ilgili 5 yıl süren bir çalışma kapsamında sızdırma testleri yapılmıştır. Metaller; baryum (Ba), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu),

kurşun (Pb) ve selenyum (Se) insan sağlığına zararlı olduğu düşünüldüğü ve Amerika Birincil su standartlarında geçtiği için incelenmeye alınmıştır. Bununla beraber alüminyum (Al), demir (Fe), manganez (Mn), çinko (Zn), klor (Cl), ve sülfat (SO_4^{-2}) suda görünür bir etkiye sahip oldukları ve ikincil standartlarda geçtiği için çalışma kapsamına alınmıştır. Baryum ve krom konsantrasyonları kontrol kesitinde kabul edilen sınırların altında çıkmıştır. Kadmiyum, bakır, kurşun ve selenyum da seçilen yöntemle (ICP-MS) göre belirlenen sınırların altında kalmıştır. Testlerde kadmiyum 0,5 µg/l, bakır 9 µg/l, kurşun µg/l ve selenyum 0,17 µg/l sonuçları bulunmuştur. Söz konusu kesitte oluşan konsantrasyonların kirlenme olarak değerlendirilemeyecek kadar düşük çıkmıştır. Demir ve alüminyum konsantrasyonları ise filtrelenmemiş elemanlarda filtrelenenlere göre çok daha fazla çıkmıştır. Buda şunu göstermektedir ki bu iki metal su içerisinde parçacık halinde bulunmaktadır. Kontrol kesitinde alüminyum, demir, manganez ve çinkoya da rastlanılmıştır. Demir ve manganez konsantrasyonları yüksek çıkmıştır. Ancak alüminyum ve çinko konsantrasyonları için kirlenmeden söz edilememektedir (Humphrey ve Katz, 2000).

3.4.2.3 Diğer Bileşenlerin Çevreye Karışabilirliği

Metaller ve organik bileşimler dışında herhangi bir bileşim için çevreye karışabilirlik çalışması yapılmamıştır.

3.5 Yasal Sınırlamalar

Ülkemizde ömrünü tamamlamış araç lastikleriyle ilgili ciddi bir yasal çalışma 2006 yılına kadar yapılmamıştır. 7 / 10 / 2006 tarihili 26357 sayılı resmi gazetede yayınlanan “*Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği*” nin yayınlanması ile konunun, ciddiyetle incelendiği anlaşılmaktadır. Söz konusu yönetmelikte, ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesi ve geri kazanım veya bertarafı için toplama ve taşıma sisteminin kurulması, yönetim planının oluşturulması ve ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetiminde gerekli düzenlemelerin ve standartların sağlanması amaç olarak belirlenmektedir. 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 3 üncü maddesinin birinci fıkrasının (g) bendi, 8, 11 ve 12 nci maddeleri ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı

Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunun 9 uncu maddesinin birinci fıkrasının (p) ve (s) bentlerine dayanılarak ve 15/5/1994 tarihli ve 21935 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “*Tehlikeli Atıkların Sınırlar Ötesi Taşınımının ve Bertarafının Kontrolüne İlişkin Bazel Sözleşmesi*”ne paralel olarak hazırlanan yönetmelikte bisiklet ve dolgu lastikleri hariç, ömrünü tamamlamış diğer tüm lastiklerin atıklardan ayrı olarak toplanması, taşınması, geçici depolanması, geri kazanılması, bertarafı, ithalatı, ihracatı ile transit geçişine ilişkin yasal sınırlama ve yükümlülükleri, alınacak önlemleri, yapılacak denetimleri, tabi olunacak hukuki ve cezai sorumlulukları belirlenmiştir.

Söz konusu yönetmelik ülkemizde ömrünü tamamlamış lastiklerle ilgili bir standart oluşturulmaya çalışılsa da belirli yönlerden eksiklikleri olduğu bir gerçektir. Tez çalışmasının ilk aşamasında yapılacak çalışma sadece ömrünü tamamlamış lastiklerin yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması ile sınırlandırılması planlanmaktaydı. Seçilen saha İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yol Bakım Müdürlüğü gözetimindeki Habipler mevkiinde 180 m’ lik bir servis yolu olarak belirlenmişti. Çeşitli lastik üreticilerinden malzeme talep edildiği zaman, üreticiler söz konusu yönetmeliğin 5. maddesinin, (e) bendi “*ömrünü tamamlamış lastiklerin hangi sebeple olursa olsun vadi veya çukurlarda dolgu malzemesi olarak kullanılması, katı atık depolama tesislerine kabulü ve depolanması, ısınmada kullanılması, gösteri ve benzeri fiilleri kapsayacak şekilde her ne amaçla olursa olsun yakılması yasaktır. Aksine hallerde bu Yönetmeliğin 25 inci maddesi hükümleri uygulanır.*” Gereği lastik tedarik edemeyeceklerini belirtmişlerdi. Yukarıda belirtilen nedenden ötürü çalışmanın bu kısmı sadece laboratuvar çalışması ve literatür araştırması olarak kalmıştır.

Yukarıda da belirtildiği üzere tüm dünyada kullanılan ve üzerinde sayısız çalışmalar yapılmakta olan ömrünü tamamlamış lastiklerin inşaat mühendisliğinde kullanımı, bu sayısız çalışmaların henüz tam olarak bilinmemesi nedeniyle Türkiye’de henüz kabul görmemiştir. Yakın gelecekte ülkemizde de yapılacak olan yeni araştırmalarla ve çalışmalarla ömrünü tamamlamış lastiklerin ve diğer geri kazanılabilir atık malzemelerin ülkemize kazandırılması temennisiyle çalışmanın bu kısmı tamamlanmıştır.

4. UÇUCU KÜLLER KULLANILARAK ZEMİN STABİLİZASYONU

4.1 Uçucu Kül

Türkiye’de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda bunlara üçüncü olarak doğalgaz santralleri de katılmıştır. Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere, “*uçucu kül*” (fly ash) adı verilmektedir. Bu işlem esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de “*taban külü*” (bottom ash) denilmektedir

Türkiye’de halen sadece kömür ile çalışan 15 tane termik santral faaliyet göstermektedir. Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucunda da bacalardan 1993 yılı verilerine göre 13,5 milyon ton/yıl, 1998 yılı verilerine göre ise yaklaşık 13 milyon ton/yıl uçucu kül elde edilmektedir. Bu miktar, A.B.D.’de 45 milyon ton/yıl ve Hindistan’da 50 milyon ton/yıl dolayındadır. Almanya, Hollanda ve Belçika’da üretilen toplam uçucu külün % 95’den fazlası, İngiltere’de ise yaklaşık % 50’si tekrar kullanılmaktadır. Bütün Dünyada bir yılda üretilen toplam uçucu külün ancak % 25’den daha azı değerlendirilmektedir. 1990 yılı verilerine göre Türkiye’de kullanım oranı ise % 1’den daha azdır.

Uçucu küllerin bacalarda tutulması ile günümüzün çok önemli problemlerinden biri olan hava ve toprak dolayısıyla çevre kirliliği de kısmen önlenmiş olmaktadır. Öte yandan uçucu küllerin biriktirilmesi veya atılması, önemli oranda çevre kirliliğine yol açmaktadır. Uçucu küllerin neden olduğu çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım

ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgar erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksik madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve havanın kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Rüzgâr erozyonu ve tozlanma, uçucu küllerin havuzlarda çökeltilmesi veya ıslatılarak taşınması sayesinde önlenabilmektedir. Yukarıda sayılan sorunların çözümlenmesi, uçucu küllerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün görünmektedir. Uçucu küllerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmektedir. Bundan başka uçucu kül, kimya, seramik, cam, cam-seramik, döküm-metal sanayi, tarım sektöründe zemin ıslahı, çevre, sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi ve maden ocaklarında “filler” olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

4.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Bilindiği gibi kendi başına bağlayıcı olmayan ancak öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelere puzolan adı verilmektedir. Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Uçucu küller, yapay puzolan sınıfına giren atık bir malzemedir. Uçucu küller, kimyasal kompozisyonlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Uçucu küller, içerdiği analitik CaO miktarı bakımından;

- F Tipi ; CaO miktarı % 10'dan az olanlara düşük kireçli/kalsiyumlu uçucu kül
- C Tipi; CaO miktarı % 10'dan fazla olanlara yüksek kireçli/kalsiyumlu uçucu kül olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Uçucu kül yapısındaki kireç ve SO₃ miktarına göre ise üç grupta toplanmaktadır. Bunlar;
- Esas yapısı siliko aluminatlardan meydana gelen, SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ (S+A+F) toplamı % 70'in üzerinde olan ve genellikle taşkömüründen elde edilen siliko alüminatlı uçucu küllerdir.
- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50 ile % 70 arasında olan ve kireç ile silika miktarı yüksek olan siliko kalsik uçucu küllerdir.

- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan ve diğerlerine göre daha fazla SO₃ ve CaO ihtiva eden sülfö kalsik uçucu küllerdir.

Uçucu küller, ASTM C 618'e göre de iki başlık altında toplanmaktadır. Bunlar sırasıyla,

- Bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı % 70'in üzerinde olan F sınıfı uçucu küllerdir,
- Linyit veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan C sınıfı uçucu küllerdir.

Yukarıda belirtilen siliko alüminatlı uçucu küller, F sınıfındadır. Siliko kalsik uçucu küllerin bazıları F sınıfı içinde, bazıları da C sınıfı içinde yer almaktadır. Sülfö kalsik uçucu küllerin çoğu, C sınıfı uçucu küller olarak isimlendirilmektedir. Diğer bir sınıflandırma, ENV 197-1'e göre yapılmakta ve uçucu küller, iki kategoriye ayrılmaktadır. Buna göre uçucu küllü çimentolarda kullanılacak olan uçucu küller, silisli ve kalkerli uçucu küller olarak sınıflandırılmıştır.

4.3 Uçucu Kül ile Zemin Stabilizasyonu

Yumuşak zeminler üzerine yol inşa edilmesi dünyanın birçok kısmında olduğu gibi Türkiye'de de yaygın problemlerden bir tanesidir. Yumuşak zeminlerin stabilizasyonuna en makul yaklaşımlara 2. Bölümde geniş ölçüde değinilmiştir. Bu yöntemlerin yüksek maliyeti, yumuşak alt temeller üzerine yol inşası hususunda alternatif yöntemler belirlemelerine yol açmıştır. Bunlarda ikincisi yolların üzerine inşa edildiği yumuşak zeminleri stabilize etmek için uçucu külün kullanılmasıdır. Uygulama temel olarak yumuşak zeminin uçucu kül ile karıştırılması (Şekil 4.1), ardından sıkıştırıcılar vasıtasıyla sıkıştırılıp üzerine yol yapısının uygulanması esasına dayanmaktadır (Şekil 4.2 – 4.3). İncelenen çalışmada dört farklı uçucu kül tipinin Winsconsin, ABD'deki yol projelerindeki dört tip yumuşak alt temelin stabilizasyonunda kullanılması hususunun laboratuvar araştırmalarının sonuçlarına değinilmiştir. Zemin - Uçucu kül karışımının dayanım değerleri, yol alt temeli olarak kullanılan stabilize edilmiş zeminin performansının belirlenebilmesi için hesaplanmıştır. Zemin - Uçucu kül karışımlarının

dayanım özelliklerini belirlemek ve inşaat için optimum karışım içeriğini bulmak için Serbest Basınç Dayanımı ile California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı - CBR) testleri gerçekleştirilmiştir. Stabilize edilmiş zemin numuneleri, % 10 ila % 20 arasında kuru birim hacim ağırlık bazında uçucu kül ve farklı su muhtevalarında hazırlanmıştır. Karışım örnekleri, inşa alanında oluşan kompaksiyon gecikmesinin etkisini değerlendirebilmek maksadıyla su ile karıştırıldıktan 2 saat sonrasında sıkıştırılmıştır. Bu nedenle laboratuvardaki 2 saatlik kompaksiyon gecikmesi, Minyatür Harvard kompaktörünün (36 mm çaplı ve 71 mm uzunluğunda) kullanılmasıyla saha şartları temsil edilmektedir. Örnekler Serbest Basınç testlerine tabi tutulmuştur. Buna ek olarak, Standart Proktor Metodu kullanılarak bir Proktor kalıbına (152 mm çap, 178 mm uzunluk) sıkıştırılan numuneler üzerinde CBR testleri uygulanmıştır. Hem serbest basınç dayanımı hem de CBR testleri oda sıcaklığında yedi günlük kür sonrasında ve nem odasında % 100 rölatif nemde gerçekleştirilmiştir. Uçucu kül stabilizasyonunun dayanıma etkileri bu araştırmada gösterilmiştir.

4.3.1 Kullanılan Malzemenin Özellikleri

C sınıfı uçucu kül genellikle bir mühendislik malzemesi olarak puzolan özelliklerinden yararlanmak için geri dönüştürülür. Bu tip uçucu kül, diğer aktivatörlerin gerekmediği uygulamalar için idealdir. Geniş zemin stabilizasyon uygulamaları için daha ekonomik bir alternatif sağlar. Daha elverişli duruma gelmesi ve geoteknik uygulamalarda çevreye zararlı olmadıkça uçucu külün kullanılmasına ön ayak olan yeni çevre yasaları yardımıyla Wisconsin'de zemin stabilizasyonunda uçucu kül kullanma potansiyeli belirgin bir şekilde artmıştır. Çeşitli araştırmaların sonuçları herhangi başka bir aktivatör olmaksızın C sınıfı uçucu kül kullanılarak zemin stabilizasyonunun yapılmasını desteklemektedir. Uçucu kül ile stabilize edilmiş zeminin de mühendislik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir (Şenol vd., 2003).

Ana araştırmanın bu kısmında arazide de kullanılmış (Şekil 4.1) dört farklı santralden getirilmiş uçucu kül incelenmiştir. Bu çeşitleme Wisconsin'in çok geniş bir yelpazede uçucu kül özelliklerini temsil etmektedir. Columbia ve Edgewater uçucu külleri renk olarak açık kahverengidir, bu da yüksek kalsiyum oksit içeriğine bir işarettir. Diğer

yandan Dewey ve King uçucu külleri koyu gri ve koyu kahverengidir; bu da yüksek karbon içeriğini işaret eder (Şenol vd., 2003).

Uçucu küller için özgül ağırlıklar ve incelik yüzdeleri kabaca Tablo 4.1’ de özetlenmiştir. Dewey uçucu külün özgül ağırlığı diğer üç uçucu külden daha azdır. Diğer uçucu küller için, özgül ağırlık 2.68 kN/m^3 ile 2.71 kN/m^3 arası değişmektedir. Columbia, Edgewater, ve King uçucu küllerinin tozlu bir yapısı vardır. Dewey uçucu külün ise daha granüler bir yapısı mevcuttur. Dewey uçucu külü için incelik yüzdesi de % 39.6 ile diğerlerinden daha düşüktür. Diğer uçucu küller en az % 92 incedir. Columbia uçucu külü diğer uçucu küllerden biraz daha incedir. Columbia, Edgewater ve King uçucu külleri ince kumdan, silt ve kil boyutlarına kadar parçacıklar bulunmaktadır, Dewey uçucu külünde ise orta büyüklükte kumdan kil kadar küçük partiküller mevcuttur (Şenol vd., 2003).

Tablo 4. 1 : Uçucu küllerin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri (Acosta 2002)

Uçucu kül	Sınıflandırma (ASTM C 618)	G_s	Yüzde İncelikleri	Nem İçeriği (%)	LOI (%)	Kireçtaşı (CaO) (%)	Diğer Oksitler ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$) (%)
Sınıf C*	-	-	-	3	6	24.3	50
Sınıf F*	-	-	-	3	6	8.7	70
Columbia	C	2.70	95.3	0.09	0.7	23	55.5
Dewey	Sınıf dışı	2.53	39.6	0.23	16.2	9.8	38.7
Edgewater	C	2.71	92.8	0.03	0.1	20.8	62.3
King	Sınıf dışı	2.68	91.9	0.44	5.4	23.7	49.5

Notlar: G_s : Özgül ağırlık, LOI: Ateşleme eksikliği, *ASTM C 618-01’e göre

4.3.2 Laboratuvar Testleri

Her tip zemin ve uçucu kül için % 10, % 12, % 14, % 16, % 18 ve % 20 uçucu kül içeriğine sahip değişik su muhtevisyatında muhtelif stabilize zemin numuneleri hazırlanmıştır. Karışım örnekleri Standart Proktor değerine eşdeğer bir kompaksiyon gücüyle iki saat sonra sıkıştırılmıştır, bunlar da 2 saat gecikmeli numuneler olarak adlandırılmıştır. Tüm numuneler oda sıcaklığında ve % 100 relatif nem koşulları altında nem odasında yedi günlük küre bırakılmıştır, (Şenol vd., 2003). Zemin örneklerinin

serbest basınç dayanımı ve CBR değerleri belirlenmiş ve stabilizasyonun bir sonucu olarak arttıkları tespit edilmiştir. Uçucu kül içeriği, su muhteviyatı etkileri ile 2 saatlik kompaksiyon gecikmesi de araştırılmış ve her üç faktörün de stabilize zeminin performansı üzerinde belirgin etkileri olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada yapılan deneylerde ASTM standartları takip edilmiştir.



Şekil 4. 1 : Uçucu külün zemin iyileştirmesi için araziye getirilmesi (Edil, vd., 2000 ve 2002)

4.3.2.1 Uygulama Sahasındaki Zeminin Mühendislik Özellikleri

Wisconsin'de yüzeysel zeminlerin yaklaşık % 60'ı zayıf alt temel stabilitesine sahiptir. Dört zayıf alt temel bu çalışmada test programında kullanılmıştır. Zeminlerin numune alma yerleri Wisconsin Ulaştırma Departmanı tarafından belirlenmiştir ve Wisconsin'de rastlanılan yumuşak alt temel türlerini temsil etme amacı taşımaktadır. Her alandaki numuneler otoyol kenarı boyunca, 0.6 m ila 0.9 m arası derinlikten toplanmıştır (Edil, vd., 2000 ve 2002).

Atterberg limit testleri gerçekleştirilmiş ve likit ile plastik limitler belirlenmiştir. Zeminlerin tümü ince taneli malzemelerdir ve USCS ile AASHTO'ya göre ya kil ya da silt olarak sınıflandırılmaktadırlar. Test sonuçlarına bağlı olarak Scenic Edge zemininin USCS sınıflandırması düşük plastisite kilidir (CL), STH60 Lodi zeminini düşük plastisite siltidir (ML), STH28 Mayville zeminini yüksek plastisite organik zeminidir (OH) ve USH

151 Platteville zemini de yüksek plastisite kildir (CH). Zeminlerin AASHTO sınıflandırmasına göre de hepsi kildir. Bu temelde inorganik killer % 10'dan az ateşleme (LOI) değerleri kaybına uğramıştır. Tüm zeminler en az % 96 inceliktedir.

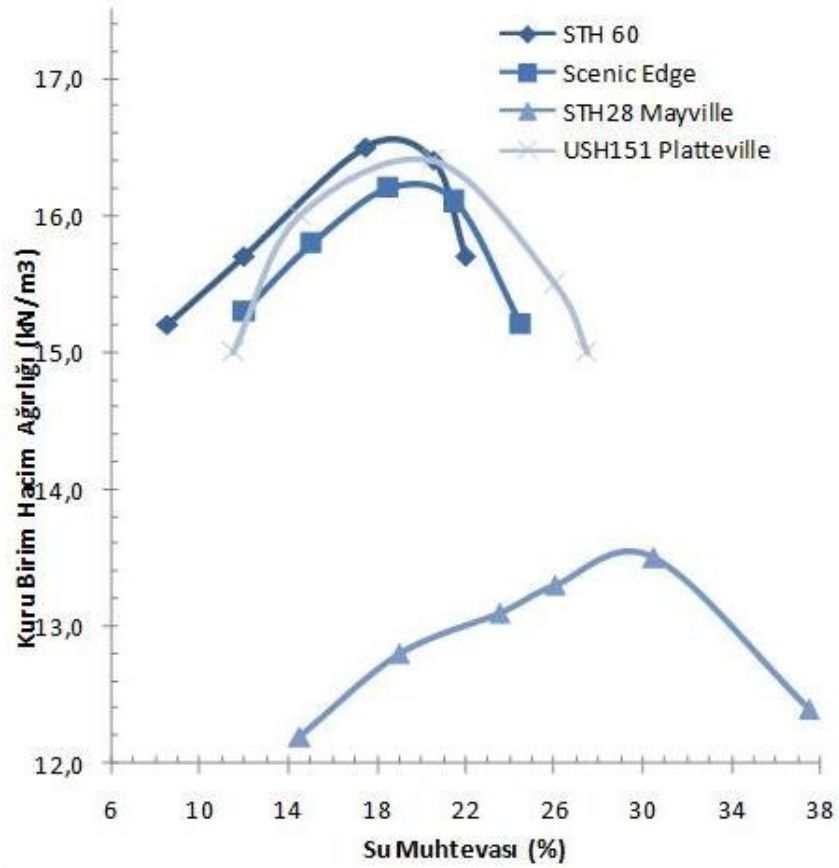


Şekil 4. 2 : Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu (Edil, vd., 2000 ve 2002)

Ayrıca her sahadaki zemin numunelerinin optimum su içeriği ile maksimum kuru birim ağırlığı tespit etmek için kompaksiyon testi yapılmıştır. Tipik çan biçimli kompaksiyon eğrileri elde edilmiş ve her sahadaki numunelerin sonuçları Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Karışım numunelerinin kompaksiyon özelliklerini tespit etmek için bir Harvard Minyatür Kompaktörü Standart Proktor testine benzer olarak kullanılmıştır. Stabilize zeminlerin kompaksiyon eğrileri Harvard Minyatür Kompaksiyon prosedürü kullanılarak tespit edilmiştir (ASTM D 4609-01).



Şekil 4. 3 : Hazırlanan zemin – uçucu kül karışımının keçi ayakla sıkıştırılması (Edil, vd., 2000 ve 2002)



Şekil 4. 4 : Zeminlerin kompaksiyon eğrileri (Acosta, 2002)

Tablo 4. 2 : Zeminlerin indeks özellikleri, kompaksiyon özellikleri, sınıflandırması ve CBR değerleri (Edil, vd., 2000 ve 2002)

Numune Yeri	W_L (%)	I_P (%)	İnceliği (%)	LOI (%)	Sınıflandırma USCS	Sınıflandırma AASHTO	CBR	w (%)	γ_d (kN/m ³)	W_{OPT} (%)
Scenic Edge - Cross Plains, WI	44	20	96	2	CL	A-7-6	1	27	16.2	20
STH 60 Lodi, WI	39	15	96	1	ML	A-6	3	25	16.5	19
STH 28 Mayville, WI	61	19	97	10	OH	A-7-5	0.3	35	13.5	29
USH 151 Platteville, WI	60	35	97	4	CH	A-7-6	0.4	32	16.4	19

Notlar: Yüzde İncelikleri: No. 200 eleği geçen yüzde, LOI: Ateşleme eksikliği, CBR: Kaliforniya Taşıma Oranı (yaklaşık optimum su içeriğinden %7 daha ıslak gerçekleştirilmekte)

4.3.3 Stabilize Edilmiş Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

4.3.3.1 Kompaksiyon Testleri

Alt temel durumu için numuneler yaklaşık optimum su içeriğinden % 7 daha nemli olarak hazırlanmıştır. Bu numuneler yağmur mevsiminde sahada oluşan doğal ıslak durumu canlandırmak amacıyla bu duruma getirilmişlerdir. Standart Proktor çalışmasına uygun kompaksiyon eğrisi her bir zemin örneği için ASTM D 698-00a prosedürüne göre belirlenmiştir. Tüm karışımlar zeminle kuru ağırlık temeli üzerine % 10 ila % 20 uçucu kül içeriği ile hazırlanmıştır. Optimum su içeriği biraz daha yükseltilmiştir (% 1). Tüm karışım numunelerinin ve uçucu kül içeriklerinin kuru birim ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Sonuç olarak, uçucu kül muhteviyatı arttığında azami kuru birim ağırlık azalmış ve optimum su içeriği artmıştır.

4.3.3.2 Serbest Basınç ve CBR Testleri

İki saatlik kompaksiyon gecikmesi, saha koşullarını canlandırmak için kompaksiyon gecikmesini belirlemek amacıyla tüm laboratuvar testlerinde kullanılmıştır. Dayanım parametrelerini belirlemek için iki farklı tip dayanım testi gerçekleştirilmiştir. Bunlar

Serbest Basınç (qu) testi ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) testleri olarak belirlenmiştir.

Zeminin serbest basınç dayanımı, şehir yolları ve otoyol inşaatı için tasarımda kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Serbest basınç dayanımı testleri hem saha içi zeminde hem de iyileştirilmiş zeminde yapılmıştır. Numuneler bundan sonra Harvard Kompaktörü kullanılarak ASTM D698-00a'ya göre sıkıştırılmıştır. Bunlar ardından ASTM Standart Prosedür D1632-96'ya uygun şekilde yedi günlük küre bırakılmıştır.

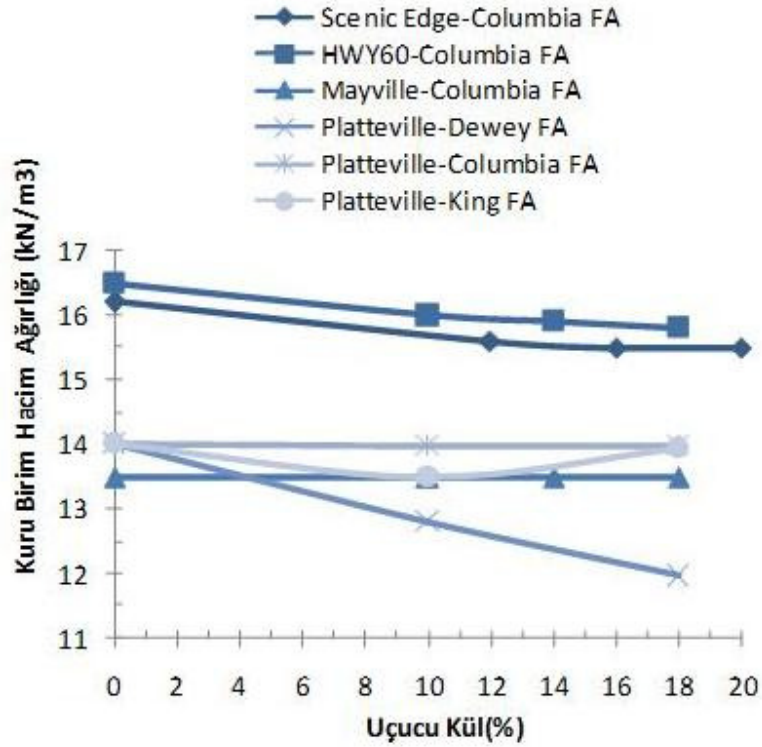
Kürlenmiş numuneler, serbest basınç dayanımı bakımından ASTM D 2166-00'a uygun şekilde test edilmiştir. Testler, su içeriği - dayanım ilişkisini geliştirmek ve kompaksiyon etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Uçucu kül stabilizasyonunun dört zemin tipi için de dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir. Karışımların dayanım davranışı zeminlerin mühendislik özelliklerine bağlıdır. Buna ek olarak uçucu külün fiziksel özellikleri karışımlar için çok önemli faktörlerdir. Bu çalışmada incelenen dört zemin tipi için azami dayanımın uçucu kül muhteviyatının artmasıyla arttığı gözlenmiştir, fakat bu durum tüm zemin tipleri için aynı olmayabilir.

ASTM D 1883-99 standardına uygun olarak CBR testleri gerçekleştirilmiştir. Serbest basınç dayanım değerlerine benzer şekilde CBR değerleri de artan uçucu kül içeriği söz konusu olduğunda farklı tip zeminler için artmıştır ve CBR değerlerinin artma oranı, uçucu kül muhteviyatı belirli bir limitten sonra arttığında azaldığı bulunmuştur (Şenol vd., 2003).

4.3.4 Numunelerin Serbest Basınç Dayanımı ve CBR Deneyleri

Serbest basınç dayanımının uçucu kül muhtevası ile değişimi Şekil 4.6'dan görülmektedir. Ayrıca serbest basınç dayanım verileri Tablo 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.6'da üç tip uçucu küle sahip dört tip alt temelin altı karışım varyasyonu grafiği, dayanımın zemin tipi, uçucu kül tipi ve su içeriğine bağlı olduğunu göstermiştir. Ancak, zeminin özellikleriyle güçlü bir şekilde bağlılık göstermemiştir. Uçucu küllerle yumuşak zeminler üzerine inşa edilen alttemel karışımlarının zeminlerin dayanım özelliklerini geliştirdiği gözlenmiştir. Columbia uçucu külün fiziksel özelliklerine bağlı olarak bu çalışmada kullanılan optimum su içeriklerinde hazırlanan tüm zemin karışımları için

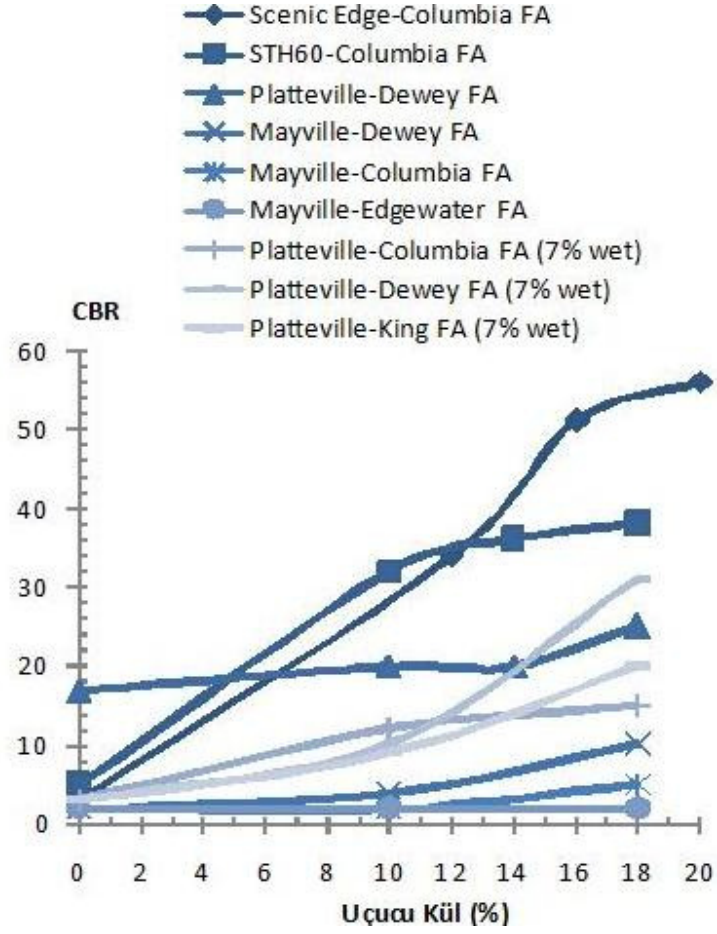
diğer tip uçucu küllerden daha iyi sonuçlar sağlamıştır. Yüksek su muhtevasının alt temelin dayanımını azalttığını kanıtlamaktadır.



Şekil 4. 5 : Uçucu kül içeriğinin kuru birim ağırlık değerleriyle karşılaştırılması (Acosta, 2002)

Uçucu kül miktarı arttığında CBR değerlerinin artması da genel olarak ifade edilebilir. CBR değerlerinin artma miktarı karışımdaki uçucu kül ile su ihtivasına bağlıdır. Tüm yerlerde zemin - uçucu kül karışımları % 10 ila % 20 uçucu kül muhteviyatı ile hazırlanmış ve optimum su içeriği altında ve ayrıca %7 daha ıslak olarak da sıkıştırılmıştır.

Bu araştırmada, Wisconsin'deki yerel uçucu küllerini kullanarak uçucu kül stabilizasyonunun karşılaşılan dört farklı tipte yumuşak alt temel zemini üzerindeki etkisini belirlemektir. Yumuşak alt temel zeminlerinin serbest basınç dayanımı ve CBR değerleri gibi mühendislik özelliklerinin artması incelenmiştir. Zemin - uçucu kül karışımları farklı uçucu kül muhteviyatlarında (%10-20) optimum su içeriğinde hazırlanmıştır.



Şekil 4. 6 - Uçucu kül içeriğinin CBR değerleriyle karşılaştırılması (Acosta, 2002)

Serbest basınç dayanımı ve CBR testleri bu karışımlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uçucu kül stabilizasyonu hem serbest basınç dayanımını hem de CBR değerlerini test edilen karışımlar için belirgin şekilde arttırmıştır ve otoyol inşasının yumuşak alt temel iyileştirilmesinde bir alternatif olma potansiyeli olduğunu kanıtlamıştır. Bu araştırmada, yumuşak alt temelin belirlenen su içeriklerinde stabilize etmek ve sahadaki kompaksiyon gecikmesini en aza indirmekle uçucu kül-stabilize zeminlerin dayanımını azamiye çıkarmanın mümkün olabileceğini göstermiştir.

5. METAL CÜRUFUNUN YOLLARDA TEMEL MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

Yumuşak zeminler üzerine yol inşaatı yapılırken karşılaşılan sorunlar dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi Türkiye’de de çok karşılaşılan problemlerden birisidir. Yumuşak zeminlerin stabilizasyonuna en genel metotlara önceki bölümde geniş olarak değinilmiştir. Bu anlatılan metotların birçoğu yüksek maliyeti sebebiyle, zayıf temel altı zeminler üzerine yol inşası hususunda alternatif yöntemler belirlenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bunlarda üçüncüsü metal cürufu kullanılarak alt temel teşkil edilmesidir.

Cüruf, tamamen saf olmayan metaller eritildiği zaman yoğunluk farkı nedeniyle yüzeyde biriken daha hafif metallere verilen isimdir (Şekil 5.1). İçinde esas olarak silikatlar, kireç ve alüminyum oksit bulunur. Demir oksit (FeO), magnezyum oksit (MgO), sodyum oksit (Na_2O) vb. bazik oksitlere de rastlanır.



Şekil 5. 1 : Metal cürufu

Cürufta, ayırma işleminin kolay olması için, metalle arasında büyük yoğunluk farkı bulunması, fırında kolay akması için düşük bir ergime sıcaklığına sahip olması gibi fiziksel özellikler aranır. Hafif metalin havaya temas edip oksitlenmesiyle oluşur. Bu nedenle metal küfü olarak da bilinir. Tüm sıvı çelik üretiminin % 8 - % 10' u arası miktarda cüruf oluşmaktadır. 2005 yılı verileri temel alındığında bu rakam yüz binlerce ton cüruf olarak belirlenmiştir. Oluşan bu cürufu bertaraf edilebilmesi için günümüzde kullanılan bilimsel bir metot bulunmamaktadır.

Bu bölümde metal cürufunun çevresel değerlendirilmesi yapılacak ardından kimyasal ve mühendislik özellikleri incelenecektir.

5.1 Tehlikeli Atıkların Çevresel Değerlendirmesi

Endüstriyel devrim öncesi meydana gelen felaketler, büyük ölçüde taşkınlar, depremler gibi önlenemez doğa olayları ile sınırlı idi. Hala bu olaylardan dolayı felaketler yaşanıyor ise de, aslında bugün 20. yüzyıla özgü nedenlerle farklı felaketler ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu nedenler ise doğrudan modern yaşamın ihtiyaçlarını karşılayan demir - çelik, kimyasal maddeler, petrol ve nükleer endüstrilerinde kullanılan tehlikeli maddeler ile yakından alakalıdır.

Günümüzde bu maddelerin birçok sektörde kullanılmaları nedeni ile binlerce tonu karayolu, demiryolu, denizyolu ve boru hatları ile taşınmakta ve kimyasal maddeler parasal değer olarak dünya ticaretinin yaklaşık %10'unu oluşturmaktadırlar. Bu maddeler arasında pestisitler, siyanürler, organometalik bileşikler ve ağır metaller insan ve çevresine, çok düşük miktarlarının dahi yayılması, ciddi sorunlara neden olmaktadır.

1950'lerin sonunda Japonya'da Minamata Körfezi'nde çok sayıda insanın alışılmadık bir hastalıkla karşı karşıya kalması ile zehirli kimyasallarla ilgili ilk büyük uluslararası korku oluşmuştur. Araştırmalar bu insanların suyollarına deşarj edilen cıva atıklarını bünyelerine alan balıkları tüketmeleri sonucu hastalandıklarını ortaya çıkarmıştır.

Bu olayla birlikte tehlikeli kimyasallar ile ilgili kaza ve felaketlerde hızlı bir artış gözlenmiştir. Olaylar bu problemlerin sadece yüksek derecede zehirli kimyasalların kaza ile büyük miktarlarda dökülmesi ile meydana gelmediğini göstermektedir.

Kanser yapıcı etkenler, kronik etkileri nedeni ile uzun süreler boyunca saptanamamıştır. Örneğin; sentetik plastik (PVC) üretiminin yapıtaşı olan vinil klorürün insan sağlığına kanserojen etkisi olduğu ancak 1974’de anlaşılmıştır. 1974’e kadar geçen sürede, vinil klorürün emniyetli olduğu düşünüldüğünden aerosollerde itici olarak yaygın bir kullanım alanı vardır. Günümüzde vinil klorürün, kanserojen özelliğinin dışında yüksek derecede parlayıcı bir madde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle yangın servisleri vinil klorür varlığını, ciddi yangın ve patlama tehlikesi olarak kabul ederler. Bulunduğu kaptan döküldüğü zaman vinil klorür yukarıda bahsedilen özelliklerinden dolayı halk sağlığı ve güvenliği için büyük bir tehdit ortaya koyar. Bu maddenin büyük miktarları ile işyerlerinde kullanım ve depolamada, tren kazaları veya nakliye esnasında diğer taşıma araçlarının karıştığı kazalarda karşılaşmak mümkündür (Meyer, 1988).

Tehlikeli kimyasallar pek çok çevresel problemin nedenidirler. Öncelikle teknolojinin hızla gelişmesi sonucu bu kimyasalların sayılarında hızlı bir artış gözlenmektedir. A.B.D.’de gerçekleştirilen çeşitli federal araştırmaların sonuçlarına göre 5 - 6 milyon kadar kimyasal madde ve formülasyon vardır. Olayın bu boyutu halk sağlığı alanında çalışanları her yerde fakat özellikle gelişmekte olan ülkelerde büyük güçlüklerle karşı karşıya bırakmaktadır. Bu maddeler çok çeşitli yerlerde, hatta evsel kullanımlarda bile bulunabilirler. Bazıları soluduğumuz havada hatta yediğimiz yiyecekler ve içtiğimiz suda bulunmaktadır.

5.1.1 Tehlikeli Madde

Yangın kuruluşları tarafından, uygun bir şekilde işlem görmediği zaman insan sağlığına ve refahına veya çevreye zarar verebilecek herhangi bir madde veya karışım olarak tanımlanmaktadır (Meyer, 1989).

Birleşik Devletler Ulaştırma Teşkilatı (USDOT) ise “taşındığı zaman sağlık, güvenlik ve mülkiyet yönünden çok fazla risk oluşturduğu tespit edilmiş herhangi bir madde olarak tehlikeli maddeyi tanımlamıştır (Meyer, 1998).

Federal Tehlikeli Madde Yasası (FHSA), özellikle çok zehirli, zehirli, tahriş edici, yüksek derecede parlayıcı, parlayıcı, yanıcı veya basınç oluşturabilen maddeleri “geleneksel veya uygun bir şekilde işlenmeleri veya kullanımları sırasında ciddi

yaralanma veya hastalıklara neden olabilecek ise” tehlikeli madde olarak tanımlanmaktadır.

Kapsamlı çevresel müdahale ve iyileştirme için sorumlulukları düzenleyen yasa (CERCLA) da tehlikeli madde tanımı, çevre konusundaki yasal tüm tanımlamaları içine alarak en geniş tehlikelilik tanımını ortaya koymaktadır. Bu yasaya göre tehlikeli maddeler:

- Federal Su Kirliliği Kontrolü Yasası’nda (The Federal Water Pollution Control Act) tehlikeli madde olarak tayin edilmiş herhangi bir madde
- CERCLA ’da özellikle tehlikeli madde olarak tayin edilmiş herhangi bir madde
- Kaynakların Korunması ve Geri Kazanımı Yasası’nda (RCRA) listelenmiş herhangi bir zararlı atık veya RCRA’de tanımlanmış özelliklere sahip herhangi bir madde
- Federal Su Kirliliği Kontrolü Yasası’nda zehirli kirletici olarak tayin edilmiş herhangi bir madde
- Zehirli Maddelerin Kontrolü Yasası’nda muhtemel tehlikeli madde olarak tayin edilmiş herhangi bir maddedir (Worobec, 1986).
- Temiz Hava Yasası’nda (CAA) tehlikeli hava kirleticisi olarak tanımlanmış herhangi bir madde

Ayrıca Kaynakların Korunması ve Geri Kazanılması Yasası’nda miktarı, konsantrasyonu veya fiziksel, kimyasal veya bulaşıcı olma özelliklerinden dolayı:

- Ölümlerde veya ciddi kalıcı veya geçici hastalıklarda artışa neden olan veya önemli ölçüde katkıda bulunan,
- Uygun bir şekilde arıtılmaması, depolanmaması ve uzaklaştırılmaması başka bir ifade ile yönetilmemesi durumunda insan sağlığı veya çevreye hali hazırda önemli ölçüde zararlı olan veya zarar potansiyeli bulunan malzeme olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca Çevre ve Orman Bakanlığı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre tehlikeli madde

- İnsan sağlığına ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesinin önlenmesine,
- Üretiminin ve taşınmasının kontrolünün sağlanmasına,
- İthalinin yasaklanmasına ve ihracatının kontrolüne,
- Yönetiminde gerekli teknik ve idari standartların sağlanmasına,
- Üretiminin kaynağında en aza indirilmesine,
- Üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda, üretildiği yere en yakın mesafede bertaraf edilmesine,
- Yeterli bertaraf tesisi kurulması ve bu tesislerin çevresel bakımdan sağlıklı bir şekilde kontrolüne,
- Çevreyle uyumlu yönetiminin sağlanmasına,

yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi için hukuki ve teknik esasları kapsar.

5.1.1.1 Tehlikeli Maddelerin Özellikleri

Tehlikeli maddelerin özellikleri bu maddelerin veri tablolarındaki (HMDS) üç ana bölümde incelenmektedir (U.S. EPA öncelikli kirleticiler listesi) Bunlar;

- Fiziksel özellikler ve tehlikeler,
- Kimyasal özellikler,
- Yaşama tehlikeli özelliklerdir

Bu bölümlerden fiziksel ve kimyasal özellikler birlikte değerlendirilmekte, müdahale ve kontrol açısından önemli olan değerlendirme bilgileri; çözünürlük, yoğunluk, parlayıcılık, korozyon ve reaktivite olarak ön plana çıkmaktadır.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği tehlikeli kabul edilen atıkların özelliklerini şu şekilde sınıflandırmıştır;

i) H1 Patlayıcı

Alev etkisi altında patlayabilen ya da dinitrobenzenden daha fazla şekilde şoklara ve sürtünmeye hassas olan maddeler ve preparatlar, kendi başına kimyasal reaksiyon yolu ile belli bir sıcaklık ve basınçta hızla gaz oluşmasına neden olabilecek madde veya atıklar

ii) H2 Oksitleyici

Diğer maddelerle, özellikle de yanıcı maddelerle temas halinde iken yüksek oranda ekzotermik reaksiyonlar gösteren maddeler ve preparatlar

iii) H3-A Yüksek Oranda Tutuşabilenler

- 21°C'nin altında parlama noktasına sahip sıvı maddeler ve preparatlar (aşırı tutuşabilen sıvılar dâhil)
- Herhangi bir enerji kaynağı uygulaması olmaksızın ortam sıcaklığındaki hava ile temas ettiğinde ısınabilen ve sonuç olarak tutuşabilen maddeler ve preparatlar,
- Bir ateşleme kaynağı ile kısa süre temas ettiğinde kolayca tutuşabilen ve ateşleme kaynağı uzaklaştırıldıktan sonra yanmaya ve tükenmeye devam eden katı maddeler ve preparatlar,
- Normal basınçta, havada tutuşabilen gazlı maddeler ve preparatlar,
- Su veya nemli hava ile temas ettiğinde, tehlikeli miktarda yüksek oranda yanıcı gazlara dönüşen maddeler ve preparatlar.

iv) H3-B Tutuşabilen

21°C ye eşit veya daha yüksek ya da 55°C'ye eşit yada daha düşük parlama noktasına sahip olan sıvı maddeler ve preparatlar.

v) H4 Tahriş edici

Deri ile ya da balgam membranı ile ani, uzun süreli ya da tekrar eden temaslar halinde yanığa sebebiyet verebilen, korozif olmayan maddeler ve preparatlar.

vi) H5 Zararlı

Solunduğu veya yenildiğinde yada deriye nüfuz ettiğinde belirli bir sağlık riski içeren maddeler ve preparatlar.

vii) H6 Toksik

Solunduğunda veya yenildiğinde yada deriye nüfuz ettiğinde, sağlık yönünden ciddi, akut veya kronik risk oluşturan ve hatta ölüme neden olan madde ve preparatlar.

viii) H7 Kanserojen

Solunduğunda veya yenildiğinde ya da deriye nüfuz ettiğinde, kansere yol açan veya etkisinin artmasına neden olan madde ve preparatlar.

ix) H8 Korozif

Temas halinde canlı dokuları tahrip eden madde ve preparatlar.

x) H9 Enfeksiyon yapıcı

İnsan veya diğer canlı organizmalarda hastalığa neden olduğu bilinen veya geçerli nedenler dolayısıyla güvenli olarak inanılan varlığının sürdürebilen mikroorganizmaları veya toksinleri içeren maddeler.

xi) H10 Teratojenik

Solunduğunda, yenildiğinde veya deriye nüfuz ettiğinde, doğuştan gelen kalıtsal olmayan sakatlıklara yol açan veya yol açma riskini artıran madde ve preparatlar.

xii) H11 Mutajenik

Solunduğunda, yendiğinde veya deriye nüfuz ettiğinde, kalıtsal genetik bozukluklara yol açan veya yol açma riskini artıran madde ve preparatlar.

xiii) H12

Havayla, suyla veya bir asitle temas etmesi sonucu zehirli veya çok zehirli gazları serbest bırakan madde veya preparatlar.

xiv) H13

Yukarıda listelenen karakterlerden herhangi birine sahip olan atıkların bertarafı esnasında ortaya çıkan madde ve preparatlar.

xv) H14 Ekotoksik

Çevrenin bir veya daha fazla kesimi üzerinde ani veya gecikmeli zararlı etkiler gösteren veya gösterme riski taşıyan madde ve preparatlar.

5.1.1.2 Tehlikeli Maddelerin Sınıflandırılması

A.B.D. Su Kalitesini İyileştirme Yasası (U.S.W.Q. Improvement Act), 1970'de tehlikeli maddeleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır:

- i. Antimon, arsenik, berilyum, bor, kadmiyum, bakır, kurşun, cıva, nikel, selenyum, gümüş, talyum ve diğer benzer yapıdaki elementlerin, elementel veya bileşik formları.
- ii. Arsenatlar, arsenitler, kromatlar, siyanür, floroalüminatlar, florosilikatlar, fosförlükler ve benzer yapıdaki diğerleri gibi zehirli anyonlar.
- iii. Siyanogen ve fosgen gibi yüksek derecede tehlikeli zehirli (sınıf A), aseton, siyanohidrin ve sodyum arsenit gibi daha az tehlikeli zehirler (sınıf B), brombenzil siyanür ve kloroasetofenon gibi göz yaşartıcı gazlar ve tahriş edici maddeler (sınıf C), uranyum 233 ve iyot 129 gibi radyoaktif malzemeler (sınıf D).
- iv. DDT, aldrin, klordan, endrin, ve toksefen gibi pestisitler ve fungusitleri içeren ticari zehirler.
- v. Fiziksel, kimyasal, biyolojik, radyoaktif veya yanıcı özellikler gösteren diğer maddeler.

A.B.D. federal yönetmeliklerindeki kodlamaya göre tehlikeli maddeler aşağıda verilen gruplara göre sınıflandırılırlar;

- i. Patlayıcılar (sınıflar A,B,C)
- ii. Radyoaktif malzemeler
- iii. Zehirliler (sınıflar A,B,C)
- iv. Korozyif sıvılar (Zajic ve Himmelman, 1978)

Tehlikeli maddeler hakkında Ulusal Araştırma Konseyi Komitesi tarafından A.B.D. Kıyı Koruma 'ya hazırlanan, bir rapor tehlikeli maddelerin sudaki kirleticilik potansiyelleri ve aktivitelerine, yangın ve sağlık açısından zararlılıklarına dayanan bir sınıflandırma önermiştir.

Bu önerilen sınıflandırma, çok düşük çevresel tehlike oranına sahip maddelerin tanımlandığı "Derece 0" dan, yüksek derecede tehlikeli maddelerin tanımlandığı "Derece 4" e kadar 5 kategoriden oluşmaktadır. Yüksek derecede tehlikeli maddelerin (Derece 3 ve 4) biyolojik sınıflandırılması Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5. 1 : Yüksek derecede tehlikeli maddelerin biyolojik sınıflandırması

Gösterge	Derece 3	Derece 4
LD50, mg/kg	50-500	<30
Zehirlilik eşik değeri (TLV) ppm	100	<1
Zehirlilik	Hafif	Şiddetli
Tahriş edicilik	Birkaç dakika maruz kalınması halinde 2. Derece yanıklar meydana getiren sıvılar. Tolere edilemez buharlar.	2. ve 3. derece yanıklar meydana getiren sıvılar. Daimi sakatlıklara veya ölüme neden olan buharlar
Reaktiflik	Su ile ve/veya kendi kendine çok kuvvetle reaksiyon vererek stabilize olabilen tehlikeli maddeler	Su ile kendi kendine reaksiyona girerek patlamalara yol açabilen tehlikeli maddeler

5.1.1.3 Tehlikeli Atık Kategorileri

A) Ek 5'te sıralanan özelliklerden herhangi birini gösteren ve aşağıdakilerden oluşan atıklar;

- Hastanelerden, tıp merkezlerinden ve kliniklerden kaynaklanan tıbbi atıklar,
- Farmasotik ürünlerin üretiminden ve hazırlanmasından kaynaklanan atıklar, farmasotik ve ilaç atıkları,
- Ahşap koruyucuları,
- Biositler ve fito-farmakolojik maddelerin üretiminden, hazırlanmasından ve kullanımından kaynaklanan atıklar,
- İnert polimerize malzemeler hariç solvent (çözücü) olarak kullanılmayan halojenli organik maddeler,
- Siyanür içeren ısıtma işlemleri ile sertleştirme işlemlerinden kaynaklanan atıklar tuzlar,
- Hedeflenen kullanıma uygun olmayan mineral yağlar ve yağlı maddeler,
- Yağ / su, hidrokarbon / su karışımları, emülsiyonlar,
- PCB (Poliklorbubifeniller) ve / veya PCT (Poliklorluterfeniller) ve/veya PBB (Polibromlubifeniller) içeren maddeler,
- Rafine etme, distilasyon (imbikleme) ve her türlü pirolitik(ısıtma) işlem sonucu ortaya çıkan katranlı maddeler,
- Mürekkepler, boyalar, pigmentler, boyalar, lakeler, (cilalar) vernikler,
- Reçineler, lâteks, plastize edici maddeler, zamlar / yapıştırıcılar,
- Tanımlanmamış ve / veya yeni ve insan ve / veya çevre üzerindeki etkileri bilinmeyen, araştırma ve geliştirmeden kaynaklanan kimyasal maddeler,
- Piroteknikler ve diğer patlayıcı malzemeler,
- Fotoğrafçılık kimyasal malzemeleri,

- Poliklorl  dibenzo-furanın herhangi bir türevi ile kirlenmiş her türlü malzeme,
- Poliklorl  dibenzo-p-dioksinin herhangi bir türevi ile kirlenmiş her türlü malzeme,

B) EK 4 de sıralanan öğelerin herhangi birini içeren ve EK 5'te sıralanan özelliklerden herhangi birine sahip olan ve aşağıdakilerden oluşan atıklar;

- Hayvansal veya bitkisel sabunlar, yağılar, balmumları,
- Solvent olarak kullanılmayan, halojenli olmayan organik maddeler,
- Metal veya metal bileşikleri içermeyen inorganik maddeler,
- Küller ve / veya cüruflar,
- Tarama atıklarını (spoiller) içeren toprak, kum ve kil,
- Siyanitsiz ısıt ışlem tuzları,
- Metalik tozlar,
- Kullanılmış katalist malzemeler,
- Metal veya metal bileşikleri içeren sıvı veya  amurlar,
- Islak arıtıcı  amurları,
- Su arıtma tesisleri  amurları,
- Dekarbonizasyon artığı,
- İyon-değıştirici kolon artığı,
- Arıtılmamış veya tarımda kullanılmaya uygun olmayan atık su arıtma  amurları,
- Tankların ve / veya ekipmanlarının temizliğınden kalan artıklar,
- Kirlenmiş ekipman,
- Ek 4'de sıralanan bileşiklerin bir ya da daha fazlası ile kirlenmiş konteyn rlar,
- Piller ve diğıer elektrikli  niteler,
- Bitkisel yağılar,

- Evsel nitelikli ayrı toplama işlemlerinden kaynaklanan ve Ek 5'te sıralanan özelliklerden herhangi birini gösteren malzemeler,
- Ek 4'de sıralanan bileşiklerin herhangi birini ve Ek 5'te sıralanan özelliklerin herhangi birini içeren diğer herhangi bir atık

5.2 Metal Cürufu Çevresel Değerlendirmesi

Yukarıda verilen bilgilerin ışığı altında uygulamada kullanılacak cüruftan alınan numune incelenmiş, analize tabi tutulmuştur. İncelenen numune “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 19th Edition 1995*’de verilen standart metoda uygun olarak “*Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11-A*” da verilen parametrelerin analizini yapabilmek amacıyla, kurutulduktan sonra 50g tartılıp 500 mL saf suda 150 rpm’de 24 saat çalkayıcıda bekletilmiştir. Daha sonra süzölmüş ve üzerinde analizlerin yapıldığı eluat ele geçirilmiştir. Eluat üzerindeki deneylerde; Toplam organik karbon analizleri, SIEVERS 2244AP cihazı ile yapılmıştır. Ağır Metaller, Perkin Elmer (SIMAA 6000) atomik absorpsiyon spektrofotometre cihazında ölçülmüştür. Fenol İndeksi, Florür, Sülfat analizleri Fotometre Merk (SQ 118) cihazında ölçülmüştür. Diğer parametreler titrimetrik analitik yöntemlerle yapılmıştır.

Ölçüm neticeleri “Tehlikeli Atıklar Kontrolü Yönetmeliği Ek 11 – A” da verilen “Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri” ile birlikte Tablo 5.3’de gösterilmiştir. Ölçülen değerlerle standart değerler karşılaştırılmıştır.

Bu sonuçların EK 11-A “Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri” içerisinde alınmış şu ifadelerle;

- “Eluat konsantrasyonu tehlikeli atık için belirlenen değerler arasında olan atıklar, tehlikeli atık düzenli depolama sahalarında depolanırlar. Ancak tehlikeli atık için belirlenen üst sınırdan daha yüksek olan eluat konsantrasyonu olan atıklar tehlikeli atık depolama sahasında depolanmadan önce ön işlemlere tabi tutulmalı ve üst sınır altına çekilmelidir. Bunun mümkün olmadığı takdirde, bu atıklar tehlikeli atık depolarında ayrı olarak depolanmalıdırlar.”

Tablo 5. 2 : EK 11-A Atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleri ve analiz sonuçları

	İnert Atık Olarak Muamele Görececek Atıklar (mg/L)	Tehlikesiz Atık Olarak Muamele Görececek Atıklar (mg/L)	Tehlikeli Atık Olarak Muamele Görececek Atıklar (mg/L)	Analiz Sonuçları (Cüruf Numunesi)
Arsenik	≤ 0,05	0,05 – 0,2	< 0,2 – 2,5	0,005
Baryum	≤ 2	2 – 10	< 10 – 30	5,4
Kadmiyum	≤ 0,004	0,004 – 0,1	< 0,1 – 0,5	0,002
Toplam Krom	≤ 0,05	0,05 – 1	< 1 – 7	0,01
Bakır	≤ 0,2	0,2 – 5	< 5 – 10	0,005
Cıva	≤ 0,001	0,001 – 0,02	< 0,02 – 0,2	0,01
Molibden	≤ 0,05	0,05 – 1	< 1 – 3	0,06
Nikel	≤ 0,04	0,04 – 1	< 1 – 4	0,003
Kurşun	≤ 0,05	0,05 – 1	< 1 – 5	0,17
Antimon	≤ 0,006	0,006 – 0,07	< 0,07 – 0,5	0,0001
Selenyum	≤ 0,01	0,01 – 0,05	< 0,05 – 0,7	0,0002
Çinko	≤ 0,4	0,4 – 5	< 5 – 20	0,16
Klorür	≤ 80	80 – 1500	< 1500 – 2500	2
Florür	≤ 1	1 – 15	< 15 – 50	0,3
Sülfat	≤ 100	100 – 2000	< 2000 – 5000	100
Çözülmüş Org. C	≤ 50	50 – 80	< 80 – 100	2,4
Toplam Çöz. Katı	≤ 400	400 – 6000	< 6000 – 10000	130
Fenol İndeksi	≤ 0,1			< 0,01

- “Eluat konsantrasyonları tehlikesiz atıklar için belirlenen değerler arasında olan atıklar tehlikesiz olarak sınıflandırılacaktır. Bu atıklar evsel atık düzenli depo tesislerinde ayrı olarak depolanır.”
- “Eluat konsantrasyonları inert atıklar için belirlenen değer in altında kalan atıklar inert olarak sınıflandırılırlar. Bu atıklar evsel atık düzenli depolama tesislerinde veya permeabilitesi $k \leq 10^{-7}$ m/sn ve en az 1 m kile eşdeğer geçirimsizliğin sağlandığının ve yer altı su seviyesine maksimum 1 m olduğunun bakanlığa belgelendiği alanlarda depolanır.”

değerlendirilmesiyle cüruf numunesi ile ilgili şu sonuca varılmıştır:

Cüruf numunesine ait Tablo 5.2'deki analiz sonuçlarına göre tüm parametreler malzemenin tehlikesiz atık olarak muamele görececek atıklar şartlarını sağlamaktadırlar. İnert atık olarak işlem görececek atıklar kısmını bakıldığında ise sadece 4 adet parametre (Baryum, Cıva, Molibden, Kurşun) inert maddeler için belirtilen limitlerin üzerinde kalmakta diğer bütün parametreler “*inert atık olarak muamele görececek atıklar*” şartlarını sağlamaktadırlar. Sonuç olarak incelenen cüruf numunesi “*Tehlikeli Atıklar*

Kontrolü Yönetmeliği Ek 11-A”daki değerler itibari ile tehlikesiz atık olarak değerlendirilmiştir.

5.3 Metal Cürufu Mühendislik Özellikleri

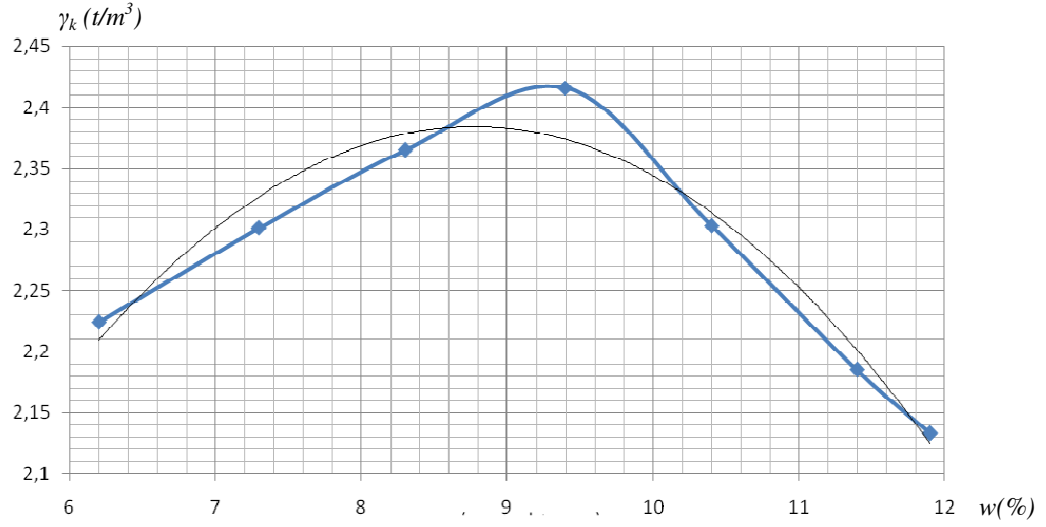
Yollar Fenni Şartnamesi 14. Kısımda yer alan dolgu malzemesi olarak kullanılabilme imkânı bu bölümde metal cürufu üzerinde yapılan deneylerle araştırılmıştır. Likit Limit, Plastisite İndeksi için aranan şartlara metal cürufu uygundur. Ancak söz konusu malzeme No:4 (4.75 mm) malzemesi olmadığından ham haldeki malzeme üzerinde Yollar Fenni Şartnamesi 14. kısımda yer alan maksimum kuru birim ağırlık deneyleri yapılamamış, bu deney ancak malzeme kırılıp parçalandıktan sonra gerçekleştirilebilmiştir.

Numune aynı zamanda Yollar Fenni Şartnamesi 66. Kısımda ve 67. Kısımda yer alan Alttemel ve Temel Malzemesi olarak değerlendirilmesi hususunda , Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Na_2SO_4), Aşınma Kaybı (Los Angles),

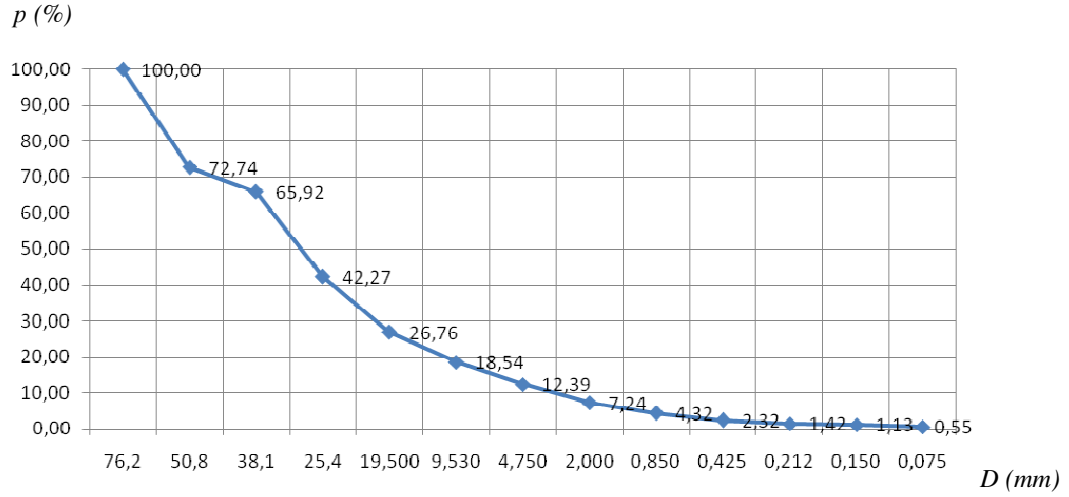
Likit Limit, Plastisite İndeksi Deneyleri için aranan şartlara da uygundur.Suda çözünen sülfat tayininde cüruf numunesinin sülfat muhtevası 184 mg/kg olarak belirlenmiştir.

İnce malzemesi az olan cüruf numunelerinin kuru birim hacim ağırlık – su içeriği ilişkisinin tayininde malzeme kırılmadan darbeli sıkıştırma yöntemi olan Standart Proktor uygulanamadığından vibrasyonlu tokmak metoduyla maksimum kuru birim hacim ağırlık - optimum su muhtevası tayini yapılmıştır (Şekil 5.2 – 5.3).

Cüruf numunesinin CBR değeri Yollar Fenni Şartnamesinde verilen arazi sıkıştırma derecesine göre % 100 ve % 95 standart proktor yoğunluğuna eşit kabul edilen % 92 ve % 88 titreşimli tokmak yoğunluğunda hazırlanmış numuneler üzerinde yapılmıştır (Tablo 5.4).



Şekil 5.2 : Cüruf numunesi için proktor sonuçları



Şekil 5.3 : Cüruf numunesi için elek analizi sonuçları

Tablo 5.3 – Cüruf Numunesinin Proktor ve CBR Değerleri

Parametre	Değerler		
Plastisite İndeksi	NP		
Sağlamlık %	3,99		
γ _{kmax} (t/m³)	2,42		
w _{opt}	9,4		
CBR Değerleri			
Su İçeriği %	9	9,4	9,8
Sıkışma Yüzdesi %	95	100	97
Yaş CBR %	45	85	64
Şişme %	0,08	0,09	0

6. UYGULAMA: 75.YIL ÖĞRENCİ TESİSLERİ SERVİS YOLU

6.1 Uygulama Alanı

Araştırma konusunun uygulama alanı, İstanbul ili, Sarıyer İlçesi sınırları dahilinde mülkiyeti İstanbul Teknik Üniversitesine ait bir alanda yapılmıştır. Uygulama alanı spor yolu ile uydu yolu arasında yer almaktadır. Yaklaşık 170 m olan yol, 3 m'lik dolgu üzerine inşa edilmiştir (Şekil 6.1). Arazinin genel topoğrafyası düzlüklerden oluşmakta olup, kuzeybatı – güneydoğu yönü doğrultusunda % 2 eğime sahiptir. Yeraltı suyu seviyesi derinde olup, arazide sadece yüzeysel akış mevcuttur.



Şekil 6. 1 : İTÜ servis yolu hava fotoğrafı

6.2 Uygulama Alanı ve Yakın Çevresi Genel Jeolojisi

İnceleme alanının litolojik yapısı çevrede yapılan sondajlar baz alınarak genel itibari ile trakya formasyonu olarak tespit edilmiştir. Trakya Formasyonu inceleme alanını içine alan geniş bir bölgede mostra vermektedir. İlk olarak bu birim Tchihatcheff (1864) tarafından Trakya Formasyonu olarak adlandırılmış olup şeyl-kumtaşı, ardalanması şeklinde tanımlanmıştır. Bu tanımlamadan sonra PENCK (1919) Trakya Serisi olarak adlandırmış ve incelemeler yapmıştır. Trakya formasyonunun hâkim litolojisi grovak ve şeyllerden oluşmakta olup yeşilimsi, gri ve koyu kahverengi, siyahımsı renkte, bol kırıklı ve eklemlidir. Formasyon yer yer andezitik dayklar tarafından kesilmiştir. Formasyonun taze yüzeyi gri, koyu gri, yeşilimsi gri, bozuşma yüzeyi kahverengi – boz renklidir. Tabakalanması belirgin ve yer yer masif görünüm sunmaktadır. Formasyon içindeki kumtaşı seviyeleri orta kalınlıkta sert ve çok serttir. İnceleme alanı yakın civarında Trakya Formasyonu'nun hâkim litolojisini grovaklar oluşturmaktadır. Trakya formasyonu bilindiği gibi düşük açılı bir ters fayla bölgedeki Üst Kretase yaşlı Sarıyer formasyonu üzerine SW yönünden NE'ye doğru 30 derece güneybatıya eğimli bir düzlemle bindirmiştir. Bindirme sonuna yakın olan kesimlerde ileri derecede ezilmeler ve buna bağlı olarak ilerleyen zaman içerisinde oldukça ayrışmaya maruz kalmıştır.

İnceleme alanında karbonifer yaşlı olan grovakların Hersiniyen ve Alpin orojenezlerini geçirdiği ve Kuzey Anadolu Fay zone gibi aktif bir fay hattına yakın olduğu dikkate alınırsa, yapılan ölçümlerin değişkenlikler sunması olağandır. Grovakların yer yer kumtaşı ve şeyl silttaşı ara seviyeli olması bu değişkenliklerin oluşmasına temel olan sebeplerden biridir.

6.3 Uygulama Alanının Mühendislik Özellikleri

Uygulama alanının tümü yeni yapılmış 3 m yüksekliğinde bir dolgu tabakası ile kaplanmıştır. Oturmasını henüz tamamlamamış olan bu tabaka üzerinde Kıvam Limitleri, Elek Analizi ve Standart Proktor deneyleri yapılmak suretiyle arazinin hâkim zemin tipi belirlenmiştir.



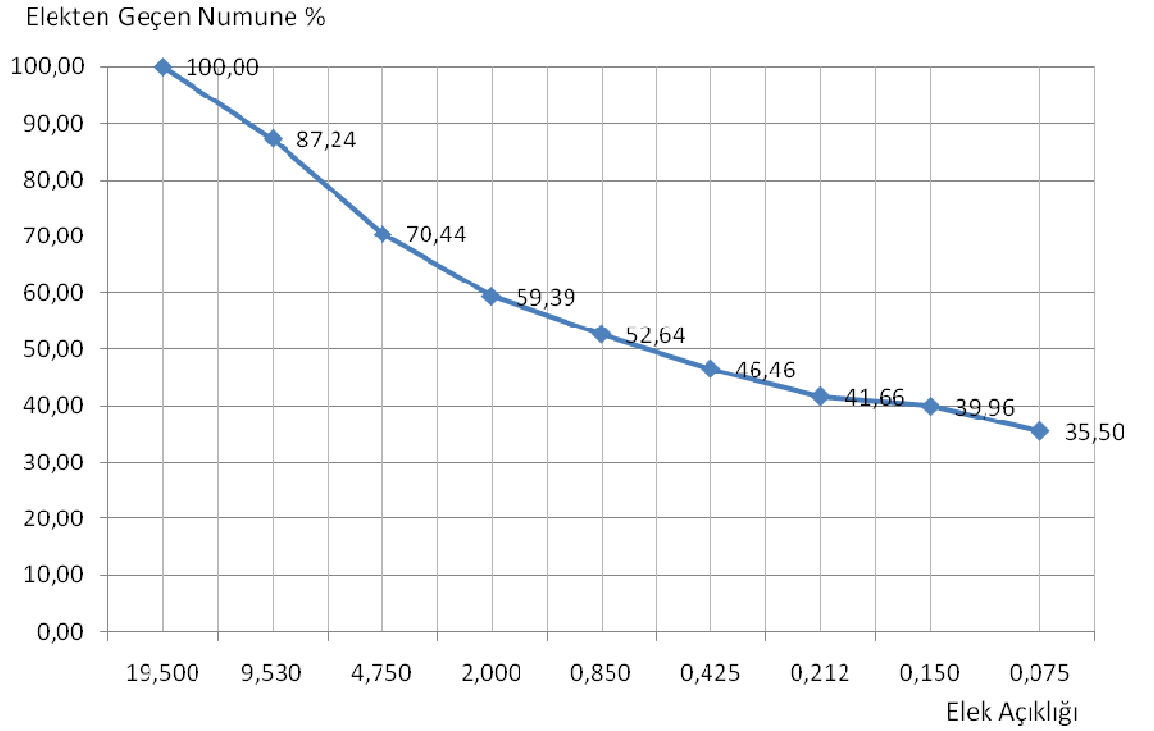
Şekil 6. 2 : Kıvam limitleri deneyi için hazırlanan numune

Hazırlanan numune üzerinde likit limit ve plastisite indeksi deneyleri yapılmıştır (Şekil 6.2). Yapılan deneyler sonucu $w_L = 41$, $I_p = 29$ olarak belirlenmiştir.

Kıvam limitleri ardından numune dolgu numunesi 24 saat boyunca suda bekletilmiştir (Şekil 6.3). Yıkanan numune üzerinde elek analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu Şekil 6.4’te verilmiştir.



Şekil 6. 3 : Yıkanan dolgu malzemesi



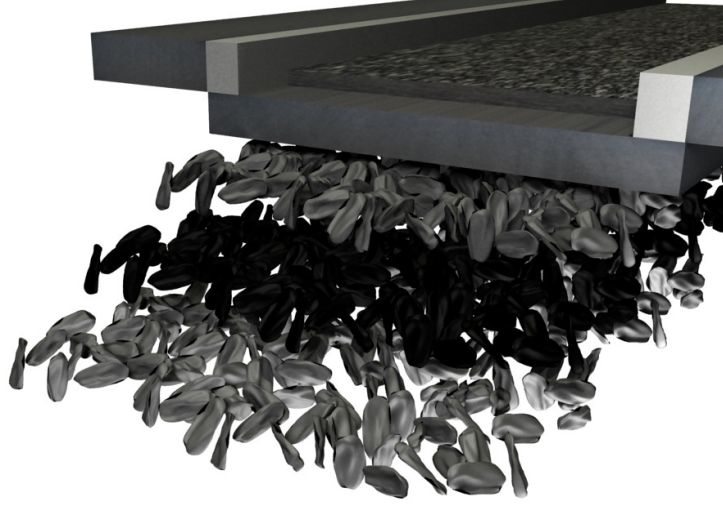
Şekil 6. 4 : Dolgu malzemesi için granülometri eğrisi

Malzememizin % 50'sinden fazlası No:200 elekten büyüktür ve iri malzemenin %50'sinden fazlası No:4 elekten küçüktür. Malzememiz SM veya SC grubuna girmektedir. Kıvam limitleri de göz önüne alınırsa malzememizin grubu SC-CL olarak belirlenmektedir.

6.4 Yapım Yöntemi

Söz konusu yolun inşaatında iki ayrı kesit tipi kullanılmıştır. 170 m'lik kesitin ilk 50 m'sinde temel tabakası metal cürufundan teşkil edilmiştir. Kalan 120 m'lik kısımda ise Karayolları Teknik Şartnamesi (2006)' nde belirtilen husulardan faydalanılmıştır.

Metal cürufu kullanılan kesitte 20 cm' lik sıkıştırılmış alttemel kırmataş üzerine 20 cm'lik sıkıştırılmış metal cürufu temel tabakası yapılmıştır (Şekil 6.5). Üzerine serilen 10 cm' lik kırmataş koruma tabakası üzerine Şekil 6.7'te gösterilen kesitte beton temel inşa edilmiştir. Gövde üzerine 8 cm'lik asfalt tabakası serilerek yol inşaatı tamamlanmıştır.

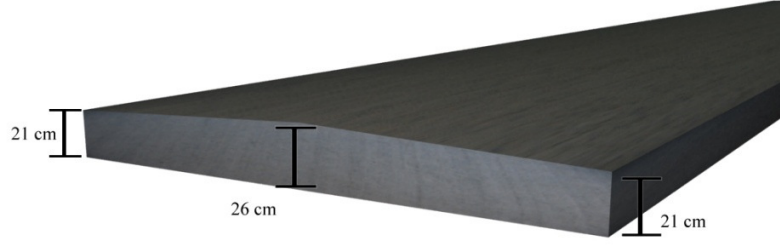


Şekil 6. 5 : Metal Cürufu ile yollarda temel teşkili



Şekil 6. 6 : Standart Yol Kesiti

Standart yol kesitinde 20 cm'lik sıkıştırılmış kırmataş alttemel üzerine 20 cm'lik sıkıştırılmış kırmataş temel tabakası yapılmıştır (Şekil 6.6). Üzerine serilen 10 cm'lik kırmataş kot koruma tabakası üzerine Şekil 6.7'te gösterilen kesitte beton gövde inşa edilmiştir. Gövde üzerine 8 cm'lik asfalt tabakası serilerek yol inşaatı tamamlanmıştır.



Şekil 6. 7 : Beton temel kesiti

Bu bölümün ilerleyen kısımlarında standart yol yapım yöntemi açıklanacaktır. Ardında sahada uygulanan yeni metot olan metal cürufunun yollarda temel olarak kullanımı aşama aşama açıklanacaktır.

6.5 Standart Yol Yapım Şartları

Bu kısımda verilen tablolar, tanımlar ve bağıntılarda Karayolları Teknik Şartnamesi (2006)'dan faydalanılmıştır.

6.5.1 Kazı

Yol yapım dâhilinde yer alan her türlü zemin ve kayacın sökülmesi ve nakledilmesi işi kazı olarak adlandırılır. Yol boyunca yapılacak kazılar, yol gövdesinin oluşturulabilmesi, yol tabanının oturacağı yerde bulunan ve uygun nitelikte olmayan zayıf zeminlerin kaldırılması, drenaj sistemleri ve su akışının sağlanması için yapılacaklar olarak sıralanabilmektedir.

6.5.2 Alttemel

Aşağıda Tablo 6.1'de verilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanan malzemenin düşük miktarlarda su ile karıştırılarak, ince tesviyesi tamamlanmış dolgu ve yarmalardan oluşan üstyapı tabanı üzerine bir yada birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla yapılan alt taşıyıcı tabakaya alttemel denilmektedir.

6.5.2.1 Malzeme

Alttemel yapımında kullanılacak olan malzeme; kum, çakıl, teras çakılı, ayrışmış, bozuşmuş kaya, kırmataş ve benzeri malzemelerden oluşacaktır. Alttemel malzemesi aşağıdaki şartlara uygun olarak seçilmektedir.

Alttemel yapımında kullanılacak malzemenin diğer fiziksel özellikleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6. 1 : Alttemel malzemesi granülometri limitleri

ELEK AÇIKLIĞI		TİP – A	TİP – B
mm	inç	% GEÇEN	% GEÇEN
75	3	100	
50	2	-	100
37,5	3/2	85 – 100	80 – 100
25	1	-	60 – 90
19	3/4	70 – 100	-
9,5	3/8	45 – 80	30 – 70
4,75	No.4	30 – 75	25 – 60
2,00	No.10	-	15 – 40
0,425	No.40	10 – 15	10 – 20
0,075	No.200	0 – 12	0 – 12

Tablo 6. 2 : Alttemel malzemesi fiziksel özellikleri

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARTI
2 mm. elek üzerinde kalan agreganın hava tesirlerine karşı dayanıklılık(donma) deneylerinde Na ₂ SO ₄ ile kayıp, Maksimum %	20	TS – 3655 AASHTO T – 104
Aşınma Kaybı (Los Angeles) Maksimum %	50	TS – 3694 AASHTO T – 96
Likit Limit Maksimum %	25	TS 1900 AASHTO T – 89
Plastisite İndeksi Maksimum %	6	TS 1900 AASHTO T – 90
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, Maksimum %	İri = 2 Kalın =2	ASTM S – 142
Organik Maddeler %	1	AASHTO T – 194

6.5.2.2 Alttemelin İnşası

i) Serme

Alttemel malzemesi, inşaat ve tesviyesi tamamlanarak hazırlanmış taban üzerine, sıkışmış kalınlığı 20 cm'yi geçmeyecek şekilde tabakalar halinde serilip sıkıştırılır. Ancak sıkıştırma makinelerinin kapasiteleri yüksek olması durumunda, tabaka kalınlığı deneylere dayanarak 30 cm'ye kadar arttırılabilmektedir. Alttemelin birden fazla tabakalar halinde serilmesi durumunda tabaka kalınlıkları birbirine eşit olacaktır.

ii) Sıkıştırma

Alttemel malzemesi Tablo 6.3'te verilen değerler esas alınarak sıkıştırılacaktır. Sıkıştırma, statik çizgisel yükü 30 kg/cm²'den büyük olan kendi yürür düz bantlı vibrasyonlu silindir ve/veya lastik başına düşen yükü 3500 kg'dan az olmayan lastik tekerli sıkıştırıcılarla yapılacaktır.

Tablo 6.3 : Alttemel sıkıştırma kriterleri

TİP – A	Sıkışma, Minimum % Optimum Su Muhtevası %	95 $w_{opt} \pm 2$	Modifiye Proktor TS 1900 AASHTO T – 180
TİP – B	Sıkışma, Minimum % Optimum Su Muhtevası %	97 $w_{(opt-2)} - w_{opt}$	Modifiye Proktor TS 1900 AASHTO T – 180

Sıkıştırmanın tamamlanmasından sonra yüzey düzgünlüğünün enine ve boyuna kontrolü, 4 m uzunluğunda, esnek olmayan masterla yapılmaktadır. Yolun boyuna kontrolü için, master yol eksenine paralel olarak ve yüzeyin genişliği boyunca aralıklarla yol yüzeyine konulduğunda, masterın yola temas eden herhangi iki noktası arasındaki bölümde masterla yol yüzeyi arasındaki açıklık 20 mm'den fazla olmayacaktır. Bitmiş tabakanın enine kontrolünde ise yol eksenine dik olarak konulacak master ile bulunan açıklık, yine 20 mm'den fazla olmayacaktır.

6.5.3 Temel

Bu kısım taşıma gücü yeterli taban veya alttemel tabakası üzerine uygulama şartları aşağıda verilen ve projede belirtilen boyutlarda temel tabakasının inşa edilmesini anlatmaktadır. Uygulamamızda sadece granüler temel ve beton temel (çimento bağlayıcılı) yapıldığı için sadece bu tip temeller incelenecektir.

6.5.3.1 Temel Malzemeleri

Temelde kullanılacak olan agregada çakıl, kırılmış çakıl, kırma taş, kum veya benzeri malzemelerden hazırlanacaktır. Malzemeyi oluşturan kaba ve ince agregaya ile ilgili özellikler aşağıda verilmiştir.

i) Kaba Agregaya

- **Çakıl:** Düzensiz şekil ve boylarda, su etkisi ile yuvarlanmış veya aşınmış haldeki doğal agregadır.
- **Teras Çakılı:** Doğal oluşumlar halinde bulunan kum, silt ve kil ile karışık çakıldır. Çok düşük trafikli yollarda kullanılabilir.
- **Kırmataş:** Kalker, dolomit, bazalt, granit, kuvarsit veya benzeri kayaların kırılması ile elde edilen agregadır.

Temel yapımına kullanılacak olan malzemenin kaba kısmı (2 mm elek üzeri) Tablo 6.4'de verilen özelliklere sahip olacaktır.

ii) İnce Agregaya

Temel yapımında kullanılacak olan malzemenin ince kısmı doğal veya kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum veya benzeri malzemeden olacaktır.

- **Doğal Kum:** 2,00 mm ile 0,075 mm elekler arasında kalan ve taşların doğal yollarla bozuşma ve ayrışmasından meydana gelen malzemedir.
- **İnce Çakıl:** 9,5 mm ile 2,00 mm elekler arası kalan çakıldır.
- **Taş Tozu:** Taş ocaklarından kırım sonrasında elde edilen ince malzemedir.

Temel yapımına kullanılacak olan malzemenin ince kısmı (2 mm elek üzeri) Tablo 6.5’de verilen özelliklere sahip olacaktır.

Tablo 6. 4 : Kaba agrega fiziksel özellikleri

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARTI
2 mm. elek üzerinde kalan agreganın hava tesirlerine karşı dayanıklılık(donma) deneylerinde Na ₂ SO ₄ ile kayıp, Maksimum %	15	TS – 3655 AASHTO T - 104
Aşınma Kaybı (Los Angeles) Maksimum %	40	TS – 3694 AASHTO T - 96
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, Maksimum %	(4,75 mm eleküstü) 1,0	ASTM S – 142
Organik Maddeler %	1	AASHTO T – 194
Diğer Zararlı Maddeler, Maksimum %	1,0	

Tablo 6. 5 : İnce agrega fiziksel özellikleri

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARTI
Likit Limit Maksimum %	25	TS 1900 AASHTO T – 89
Plastisite İndeksi Maksimum %	6	TS 1900 AASHTO T – 90
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, Maksimum %	(4,75 mm eleküstü) 1,0	ASTM S – 142
Organik Maddeler , Maksimum %	0,5	AASHTO T – 194
Renk Skalası	0,1	
Diğer Zararlı Maddeler, Maksimum %	1,0	

6.5.3.2 Granüler Temeller (GT)

Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl veya kırmataş ile ince malzeme kullanılarak Tablo 6.6’da verilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanan malzemenin, su ile karıştırılması ve şartnamelere uygun olarak hazırlanmış olan taşıma gücü yeterli taban veya alttemel tabakası üzerine tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır.

Temel malzemesinin 4,75 mm elek üzerinde kalan kısmının ağırlıkça % 50’sinin iki veya daha fazla yüzü kırılmış olacaktır. Modifiye proktorla bulunan maksimum kuru birim ağırlığının % 98’ine sıkıştırılan numunelerin yaş CBR değerleri, %100’den az olmayacaktır. Asfalt betonu ile kaplanacak yollarda sadece A veya B tipi gradasyon kullanılabilir.

Tablo 6. 6 : Granüler temel tabakası granülometri limitleri

ELEK AÇIKLIĞI		TİP – A	TİP – B	TİP – C
mm	inç	% GEÇEN	% GEÇEN	% GEÇEN
50	2	100		
37,5	3/2	85 – 100	100	
25	1	-	80 – 100	100
19	¾	70 – 100	60 – 90	75 – 100
9,5	3/8	45 – 80	30 – 70	50 – 85
4,75	No.4	30 – 75	25 – 60	35 – 65
2,00	No.10	-	15 – 40	25 – 50
0,425	No.40	10 – 15	10 – 20	12 – 30
0,075	No.200	0 – 12	0 – 12	0 – 12

i) Karıştırma ve Serme

Granüler temel tabakası, iki farklı dane boyutu grubundaki agregaların karıştırılmasıyla hazırlanacak ise karıştırma işi sabit veya hareketli bir plentte veya yolda yapılacaktır.

ii) Sıkıştırma

Granüler Temel malzemesi Tablo 6.7’de verilen değerler esas alınarak sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma, statik çizgisel yükü 30 kg/cm²’den büyük olan kendi yürür düz bantlı vibrasyonlu silindir ve/veya lastik başına düşen yükü 3500 kg’dan az olmayan lastik tekerli sıkıştırıcılarla yapılmaktadır.

Tablo 6. 7 : Granüler temel tabakası sıkıştırma kriterleri

Minimum % Sıkışma	98	Modifiye Proktor TS 1900 AASHTO T – 180 Titreşimli Tokmak
	95	TS 1900 BS 1377
Optimum Su Muhtevası	$w_{opt} \pm 1$	Modifiye Proktor
	$(w_{opt-2}) - w_{opt}$	Titreşimli Tokmak

6.5.4 Beton Temel Yapılması

6.5.4.1 Üretilen Betonda Kalite Kontrolü

Beton temel, onaylanan beton karışım formülünün beton santraline aktarılıp beton dökümüne başlanılmasından itibaren beton üretimleri periyodik olarak istenilen dayanımlar, çökme, birim ağırlık ve hava yüzdesinin tayini deneylerinin uygunluğu yönünden kontrol edilmektedir.

Beton üretimi tesisinde de slump kontrolü yapılacaktır. Belirlenen değerlerin dışında kıvam (slump) değerlerine sahip betonlar dökülmemektedir. Böylece beton karışımındaki su, hassas olarak takip edilecek ve kıvamı (slump) etkileyen bu su miktarı değiştirilmeyecektir.

6.5.4.2 Sertleşmiş Beton Yol Karot Numunelerinin Değerlendirilmesi

Uygulaması tamamlanıp 28 günlük beton yolun beton kalitesinin uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, her 5000 m²'lik beton yol uygulamasından ve ayrıca mukavemetin yetersiz olduğunu hesaplayıp, gerekli görülen yerlerde 4" çapında en az 3 adet karot numune tekniğine uygun olarak alınıp, basınç dayanım deneyine tabi tutulacaktır.

Numunelerin alınacağı yapı belirlenir. is gücünün azaltılması ve ayrıca beton yola daha az hasar vermek amacıyla, kalınlık kontrolü için alınan karot numuneleri kalınlık tayini yapıldıktan sonra, boy/çap = 2 olacak şekilde kesilip basınç dayanım deneyinde kullanılabilir.

6.5.4.3 Makine ve Ekipman

- **Kalıplar**

Yan kalıplar kabul edilebilir nitelikte, çeliklen, düzgün olacak ve yükseklikleri betonun kenar kalınlığına eşit olacaktır. 20 cm'lik kalıplara kadar kalıpların tabana oturan kısımlarının genişliği yüksekliklerine eşit olacaktır. Daha yüksek kalıp kullanıldığında taban genişlikleri en az 20 cm'dir.

6.5.4.4 Beton Temel Yüzeyi

İmalatı yapılan beton temellerde yüzey düzgünlük ölçümlerini yapmak üzere, 3 m uzunluğunda, çelikten yapılmış, bir master kullanılacaktır.

i) Yapım Şartları

Beton temel inşaat usullerinde aşağıdaki hususlara ek olarak TS 1247 normal hava koşullarında beton yapım, döküm ve bakım kuralları dikkate alınacak ve uygulanacaktır.

ii) Beton Temel Yapılacak Tabakanın Hazırlanması ve Kontrolü

Kendi şartnamesine göre hazırlanmış veya mevcut bir tabaka üzerine beton dökülmeden önce; bir tabaka üzerindeki serbest malzeme, toprak ve toz iyice süpürtülüp, temizlenmeli, yüzey ıslatılarak suya doymuş hale getirilmelidir.

6.5.4.5 Betonun Taşınması, Dökülmesi, Serilmesi ve Düzeltilmesi

Beton santralinde betonun üretimi ve işyerine nakli; sürekli olacak ve betonun priz yapmasını önleyecek şekilde düzenlenmektedir.

Betonun taşınmasında transmikserler kullanılmıştır. Taşıma sırasında, transmikserin betoniyesi 3-4 devir/dakika olmak üzere taşıma devrinde dönmelidir. Hazır betonun toplam taşıma süresinin 1 saati geçmemesine dikkat edilmiştir.

6.5.5 Asfalt Betonu Binder ve Aşınma Tabakaları

Asfalt betonu genel anlamı ile Aşınma tabakasını, Binder Tabakasını veya bunların her ikisini birden kapsar.

6.5.5.1 Malzemeler

i) Mineral Agrega ve Genel Özellikleri

Agrega kırma taş, kırılmış çakıl veya bunların karışımından ibaret olacaktır. Karışım içindeki kırma taş veya kırma çakıl, sağlam ve dayanıklı tanelerden ibaret olacak, bütün malzemede kil toprakları, bitkisel maddeler ve diğer zararlı maddeler bulunmayacaktır. Agregada sülfat, klorit, kurutma ve karıştırma sırasında veya sonradan hava etkisi ile kırılmaya yatkın olan ayrışma ürünü diğer maddeler bulunmayacaktır.

ii) Kaba Agreg

Kaba agrega; kırmataş, kırma çakıl veya bunların karışımından oluşacaktır. Kaba agrega; agrega karışımının 4.75 mm'lik (No. 4) elek üzerinde kalan kısmı olup, emiz, pürüzlü, sağlam ve dayanıklı tanelerden oluşacaktır. Kaba agrega içinde yumuşak ve dayanıksız parçalar, kil, organik ve diğer zararlı maddeler serbest veya agrega tanelerini sarmış halde bulunmayacaktır.

iii) İnce Agreg

4.75 mm'lik (No.4) elekten geçip 0,075 mm'lik (No.200) elek üzerinde kalan malzeme olarak tanımlanan ince agrega, kırılmış taş, çakıl veya kum ile bunların karışımından oluşacaktır.

iv) Mineral Filler

Mineral filler; tamamı 0.425 mm (No. 40) elekten geçip, ağırlığının en az % 70'i 0.075 mm (No.200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanmaktadır.

6.5.5.2 Bitümlü Bağlayıcılar ve Genel Özellikleri.

Asfalt betonu aşınma, binder tabakalarının yapımı için agregaya ilave edilmek suretiyle hazırlanacak karışımında bitümlü bağlayıcı olarak, TS 1081 EN 12591- "Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar - Kaplama Sınıfı Bitümler Özellikler" standardına uygun 40/60, 50/70 ve 70/100 penetrasyonlu bitüm; Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 limitlerine uygun polimer modifiye bitüm kullanılacaktır. Yapıştırıcı ve Astar Olarak Kullanılacak Bitümlü Malzemeler

Astar malzemesi olarak TS-1083'e uygun MC-30, TS 1082'ye uygun SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h malzemelerinden birisi kullanılacaktır. Yapıştırıcı olarak, TS-1082 Yol Üstyapılarında Kullanılan Astar Emülsiyonları standardına uygun RS-1, RS-2 ve CRS-I ve CRS-2 malzemelerinden birisi kullanılacaktır.

Yapıştırıcı ve astar malzemesi olarak kullanılacak bitümlü malzemelerde TS 115 EN 58/1996 "Bitümlü Bağlayıcılar-Numune Alma" standardına göre numune alınacak ve malzemenin şartnamesine uygun olup olmadığı tespit edilecektir.

6.5.5.3 Uygulamaya Hazırlık

i) Yolun Hazırlanması

Daha önceden inşa edilmiş yol, asfalt betonu inşaatı başlamadan önce mutlaka kontrol edilecektir. Kaplama yapılacağı satıh toz, pislik, kil parçacıkları ve diğer yabancı maddelerden tamamen temizleninceye kadar döner süpürgeler veya diğer mekanik süpürgeler veya el süpürgeleri yardımı ile süpürülerek, gerekirse yıkanarak temizlenecektir. Ayrıca yol yüzeyi trafiğe uzun süre açık kalmış ve bu nedenle yüzeyi yeterli pürüzsüzlüğe sahip değil ise uygun makinelerle yüzey pürüzsüzleştirilecektir.

ii) Bitümlü Malzemenin Hazırlanması

İşyerinde, en az 240 ton bitümlü malzeme bulundurulacak ve işyeri bitümlü malzemeyi pompaj devresine kadar ısıtabilecek ve muhafaza edebilecek tertibata donatılmış olacaktır. Isıtma tertibatı yağlı sistem olacak ve her zaman çalışabilecek, ısıtmayı homojen yapabilecek kapasite ve özellikte olacaktır. Bitümlü malzeme tankları, bitümlü malzemeye su, kil ve diğer yabancı maddelerin girmesini önleyecek şekilde olacaktır. Karıştırma işleminden önce bitüm şartnamede belirtilen sıcaklıklara kadar ısıtılacaktır.

iii) Mineral Agreganın Hazırlanması

Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen şartlara uygun olarak hazırlanan agregalar ayrı ayrı tane grupları halinde depo edilecektir. Tane grupları birbirine karışması mutlaka önlenecek, her tane grubunun üzerine boyutlarını belirten levhalar konacaktır. Agregada depolama kil, toprak ve diğer bitümlü zararlı maddelerin karışması önlenecektir. Agregada depolaması segregasyona sebebiyet vermeyecek şekilde olacaktır.

iv) Karıştırma

Agrega doğru ve hassas bir biçimde tartılıp, işyeri karışım formülünde verilen granülometriyi sağlayacak, miktarlarda karıştırıcıya nakledilecektir. Bitüm tasarımı belirtilen miktara uygun olarak ilave edilecektir.

Plentte karıştırma süresi, agregada tanelerinin tam ve eşit bir biçimde bitümle sarılmış olması ve homojen bir karışım elde edilmesi koşulu ile plentin ve kullanılan agreganın tipine bağlı olarak tayin edilecektir.

6.5.5.4 Uygulamanın Yapılması

i) Bitümlü Astar Malzemesinin uygulanması

Granüler Temel ve Plentmiks Temellerin seriminden kısa bir süre sonra Asfalt Betonunu tabakaları inşa edilecekse, temeller üzerine astar tabakası uygulaması yapılmayacaktır. Temellerin uzun süre açık kalacağı ve bu süre içerisinde yağış beklenmesi, temellerin trafiğe açılması söz konusu olduğu ve temeller üzerine gelecek sıcak karışım tabakalarının toplam kalınlığının 10 cm'den az olduğu durumlarda; granüler temel, plentmiks temel ve projede gösterilen diğer hallerde uygun bitümlü astar malzemesi uygulanacaktır. Astar malzemesi uygulanmadan önce yolun yüzeyi belirlenen şekilde hazırlanacaktır. Yol yüzeyi kuru olacak, granüller, plentmiks temellerde yüzeyden itibaren 3 cm'lik kısımda rutubet % 2'den fazla olmayacaktır.

ii) Bitümlü Yapıştırıcı Malzemesinin Uygulanması

Beton yol ve beton köprüler üzerine; önceden astarlanmış fakat çok tozlu ve asların soyulduğu yüzeyler üzerine; önceden mevcut (eski) fakat pürüzsüz veya bitümü az bitümlü kaplamalar üzerine; tabaka kalınlığı 40 mm'ye kadar ince bir kaplama yapılacak yüzeylere; dik eğim, keskin karp ve trafik ışıklı şehir içi kavşakları gibi yüksek kayma gerilmelerinin oluşabileceği yerlerde asfalt betonu kaplama yapıldığında yüzeye yapıştırıcı malzeme uygulanacaktır.

iii) Karışımın Taşınması

Asfalt betonu karışımının taşınmasında kullanılan araçlar temiz, muhafazam, damper şasesi düz ve madeni olacaktır. Karışımın nakli yapılmadan önce araçların damper şasesi yapışmayı önleyecek ince bir yağla yağlanacak veya tabana uygun bir malzeme konulacaktır. Kullanılacak yağlama maddesi karışımı ayrıştırmayacağı gibi herhangi fiziksel ve kimyasal etkisi de olmayacaktır. Karışımın araçlara doldurulması ve nakli sırasında segregasyon olmaması için özen gösterilecektir. Karışım naklinde kullanılan araçlar brandalı örtülerine sahip olacaktır.

iv) Karışımın Serilmesi

Serme işlemini finişerlerle; yolun plan, profil ve en kesitlerine uygun olacak şekilde yapılmaktadır. Serme işlemini mümkün olduğu kadar sürekli olmakta ve serimi sırasında sericinin hızı sabit tutulmaktadır. Yeterli sayıda tecrübeli kürekçi, tırmıkçı vb personel, finişeri takip ederek kaplama yüzeyinde istenilen özelliklerin temininde yardımcı olacaktır. Finişerin doldurma teknesinin yan kapakları açılır kapanır tipte olacak ve malzeme segregasyona uğramadan serilecektir. Makine ile serilmesi mümkün olmayan yerlerde malzeme elle serilebilecektir.

v) Karışımın Sıkıştırılması

Karışım yola serildikten hemen sonra sıkıştırma işlemine başlanacaktır. Silindiraja başlandığında karışımın sıcaklığı 130 °C'nin altında olmayacak ve sıkıştırma işlemi karışımın sıcaklığı 80 °C'nin altına düşmeden tamamlanmış olacaktır.

Sıkıştırma işleminde statik ağırlığı 8 t - 12 t arasında demir bandajlı silindirler ile lastik basıncı ayarlanabilen kendinden yürür lastik tekerlekli silindirler kullanılacaktır.

• Silindiraj

Karışımın yola serilmesini takiben beklenmeksizin ilk silindiraj yapılacaktır. İlk silindiraj statik ağırlıklı demir bandajlı silindirlerle yapılacak ve bir noktadan en az iki geçiş olacak şekilde uygulanacaktır. Silindiraj sırasında karışımın ötelenmesine engel olunacaktır. Gerekğinde ilk silindirajda lastik iç basıncı ayarlanabilen kendinden hareketli lastik tekerlekli silindirler de kullanılabilecektir.

İlk silindirajı takiben demir bandajlı, lastik basıncı ayarlanabilen kendinden hareketli lastik tekerlekli veya vibrasyonlu silindirlerle yapılacaktır. Bir noktadan en az iki geçiş olacak şekilde uygulanacaktır. Bu silindirajda malzemenin ötelenmesinden dolayı oluşacak ondülasyona, tekerlek izlerine engel olunacak ve silindirlerin kompozisyonu buna göre tespit edilecektir.

6.6 Metal Cürufu ile Yollarda Temel Yapım Yöntemi

6.6.1 Yol Kazısı

Plan ve projede gösterilen kot, eğim ve enkesitlere uygun olarak yol yapım dâhilinde yer alan her türlü nebati toprak ve zayıf zemin sıyrılarak yol gövdesinin oluşturulabilmesi için, yol tabanının oturacağı uygun zemin ortaya çıkarılmıştır (Şekil 6.8).

Kazılar sırasında belirtilen kotlara sadık kalınarak yol kazısı yapılmıştır (Şekil 6.9 – 6.10).



Şekil 6. 8 : Sıyırma sonrası inşaat alanı

6.6.2 Alttemel

Alttemel yapımında kullanılacak olan malzeme çakıl olarak belirlenmiştir. Alttemel malzemesi AASHTO T-27, AASHTO T-11 veya TS 1900 standartlarında belirtilen metotlar ile bulunan granülometriye uygundur ve iyi derecelendirilmiştir. Alttemel malzemesi, inşaat ve tesviyesi tamamlanarak hazırlanmış taban üzerine, sıkışmış kalınlığı 20 cm'yi geçmeyecek şekilde tabakalar halinde serilip sıkıştırılmıştır. Malzeme seçiminde 4 numara kırma taş kullanılmıştır. Serme işi, homojen, eşit miktar ve kalınlıklarda sermeyi sağlayacak tertibata sahip araçlarla yapılmıştır. Malzeme

yayıldıktan sonra bütün kesit genişliğince kato ile tesviye yapılmıştır. Bu sırada özellikle malzeme gradasyonunun bozulmamasına dikkat edilmiştir (Şekil 6.11).



Şekil 6. 9 : Yol kazısı



Şekil 6. 10 : Kazı sonrası yol görünümü

Sıkıştırma lastik başına düşen yükü takribi 3500 kg olan lastik tekerli sıkıştırıcılarla yapılmıştır. Kullanılan malzeme ve serilen tabaka kalınlığına uygun sıkıştırma tekniği

lastik tekerli sıkıştırıcı ile 5 sefer malzemenin üzerinden geçilmesi suretiyle sıkıştırılması olarak öngörülmüştür (Şekil 6.12).



Şekil 6. 11 : Alttemel malzemesi serimi



Şekil 6. 12 : Serim ve sıkıştırma sonrası alttemel tabakası

6.6.3 Temel

Bu kısım alttemelin tamamlanması ardından taşıma gücü yeterli taban veya alttemel tabakası üzerine 170 metrelik yolun 50 metresi 20 cm kalınlığında metal cürufu ile kalan 120 metrelik kısımda ise 20 cm kalınlığında kırmataş kullanılarak temel tabakasının inşa edilmesini anlatmaktadır. Yolumuz prototip bir uygulama olduğu için yolda hem kırmataş temel, hem de beton temel beraber kullanılmıştır. Uygulamamızda kırmataştan granüler temel ve beton temel uygulaması yapılmıştır (Şekil 6.13).

Sıkıştırma, lastik başına düşen yükü 3500 kg' dan az olmayan lastik tekerli sıkıştırıcılarla yapılmış, metal cürufunun tipi ve serilen tabaka kalınlığına uygun sıkıştırma tekniği, projeye uygun olarak yapılmıştır (Şekil 6.14).



Şekil 6. 13 : Araziye Getirilen Cüruf

6.6.4 Koruma Tabakası

Metal cürufu ile beton tabakasının etkileşimi bilinmemesi ve bununla beraber betonu cürufun tahmini korozyon etkisinden korumak için temel ile beton temel arasına 10 cm kalınlığında kırmataş tabakası ayırma katmanı olarak uygulanmıştır. Söz konusu tabaka tüm yol kesiti boyunca devam etmiştir (Şekil 6.15).



Şekil 6. 14 : Cüruf temel tabakası serimi sonrası yol görünüşü

Tabakanın sıkıştırma işlemi, lastik başına düşen yükü 3500 kg’ dan az olmayan lastik tekerli sıkıştırıcılarla yapılmış, metal cürufunun tipi ve serilen tabaka kalınlığına uygun sıkıştırma tekniği, projeye uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 6. 15 : Koruma tabakasının serilmesi

6.6.5 Beton Temelin Yapılması

Hazırlanan alttemel, metal cürufu temel ve koruma tabakası üzerine beton temel yapılmıştır. Bu iş için şekil 6.7’de belirtilen kesit doğrultusunda 320 m³ C20 betonu kullanılmıştır.

6.6.5.1 Kalıplar

Yan kalıpların yükseklikleri betonun kenar kalınlığına eşit olarak alınmıştır. 22 cm’lik kalıplara kadar kalıpların tabana oturan kısımlarının genişliği yüksekliklerine eşit olarak alınmıştır. Kalıp boyları minimum 3 m olarak alınmıştır. Kalıp olarak çelik kutu profiller kullanılmıştır (Şekil 6.16). Dolayısıyla kalınlık ve kenetlenme konusunda sorun yaşanmamıştır.



Şekil 6. 16 : Kalıplar çakılması ardından yolun görünüşü

6.6.5.2 Betonun Serilmesi

Beton santralinde betonun üretimi ve işyerine nakli; sürekli olacak ve betonun priz yapmasını önleyecek şekilde düzenlenmiştir. Betonun taşınması sırasında, ayrışma oluşmasına, betonun homojenliği bozulmasına ve malzeme kaybı olmasına izin verilmemiştir.

Betonun taşınmasında transmikserler kullanılmıştır. Taşıma sırasında, transmikserin betonyeri 3-4 devir/dakika olmak üzere taşıma devrinde kullanılmıştır. Hazır betonun

toplam taşıma süresi; en fazla 1 (bir) saat olarak belirlenmiştir.

Temel şeridinin genişliği 8 metre olarak alınmıştır. Beton dökülmesi sırasında, betona toprak veya diğer yabancı maddelerin bulaşmaması için beton yayma isinde çalışan işçiler daima beton üstünde bulunmuş ve herhangi bir sebeple toprağa basarlarsa tekrar beton tabakasını dönmeden önce ayakkabılarını yıkayarak temizlemişlerdir (Şekil 6.17).



Şekil 6. 17 : Yolun beton temelini yapılması



Şekil 6. 18 : Masterla betona perdah yapılması



Şekil 6. 19 : Beton temelin tamamlanmış durumu

Mastarın ilk geçişinden sonra kalan veya delikli yüzey gösteren yerlere ilave beton konulmuş ve tekrar düzeltilmiştir. Yeniden yapılacak düzeltmelerde mastarın tüm boyunca ön tarafından düzgün bir beton fazlalığı devam ettirilmiştir (Şekil 6.19).

6.6.5.3 Sertleşmiş Beton Yoldan Alınan Karot Numuneleri

Uygulaması tamamlanıp 28 günlük beton yolun beton kalitesinin uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, her 5000 m²'lik beton yol uygulamasından ve ayrıca mukavemetin yetersiz olduğunu hesaplayıp, gerekli görülen yerlerde 100 mm çapında 4 adet karot numune tekniğine uygun olarak alınıp, basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 6.20 – 6.21).

İş gücünün azaltılması ve ayrıca beton yola daha az hasar vermek amacıyla, kalınlık kontrolü için alınan karot numuneleri kalınlık tayini yapıldıktan sonra, boy/çap = 2 olacak şekilde kesilip basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur.

Karotların alındığı yerlerde oluşan boşluklar, düşük slump'lı, yüksek dozlu bir harena ile veya rötre yapmayan hazır paket harçların sıkıştırılması suretiyle karotların alınmasını müteakip, uygun şekilde doldurularak kapatılmıştır.

Sertleşmiş betondan yukarıda belirtilen sıklığa göre alınan karot numunelerinin basınç dayanımının uygunluk kontrolü Karayolları Teknik Şartnamesine göre yapılmıştır.



Şekil 6. 20 : Beton temelden karot alınması



Şekil 6. 21 : Alınan karot numuneleri

6.6.6 Asfalt Betonlu Binder ve Aşınma Tabakalarının Yapılması

Beton temeli tamamlanmış olan yolda son aşama olarak asfalt betonu binder ve aşınma tabakaları yapılmıştır. Bu uygulama için öncelikle yol güzergâhı her türlü toz, toprak vb. yabancı maddelerden basınçlı su yardımıyla arındırılmıştır (Şekil 6.22).



Şekil 6. 22 : Basınçlı su kullanılarak temizlenen yol

6.6.6.1 Bitümlü Yapıştırıcı Malzemesinin Uygulanması

Beton temel üzerine; önceden astarlanmış fakat çok tozlu ve astarın soyulduğu yüzeyler üzerine; önceden mevcut (eski) fakat pürüzsüz veya bitümü az bitümlü kaplamalar üzerine; tabaka kalınlığı 40 mm'ye kadar ince bir kaplama yapılacak yüzeylere; dik eğim, keskin kurp ve trafik ışıklı şehir içi kavşakları gibi yüksek kayma gerilmelerinin oluşabileceği yerlerde asfalt betonu kaplama yapıldığında yüzeye yapıştırıcı malzeme uygulanmasının gerekliliği yukarıdaki bölümde açıklanmıştır. Bu sebeple temizlenen beton yüzeyine bitümlü yapıştırıcı malzeme uygulanmıştır.

Yapıştırıcı, hangi araç ve gereçle serilirse serilsin, malzeme yüzeye düzgün ve homojen bir şekilde ve 0.15 lt/m^2 - 0.50 lt/m^2 olacak miktarda uygulanmıştır. Yüzeyin durumuna göre uygulanmıştır (Şekil 6.23).



Şekil 6. 23 : Makine yardımı ile yapıştırıcının serilmesi

Bitümlü bağlayıcının düzgün olmayan yüzey dolayısı ile göllenmesine, fazla püskürtme veya püskürtme yapılırken meydana gelebilecek akma ve damlamalar dolayısı ile bazı yerlerde aşırı bitümlü malzeme birikmesine izin verilmemiştir.

6.6.6.2 Karışımın Serilmesi

Karışımın serileceği yüzeyin durumu şartname de belirtildiği şekilde hazırlanmıştır. Serme işlemini finişerlerle; yolun plan, profil, proje ve en kesitlerine uygun olacak şekilde yapılmıştır. Serme işlemini mümkün olduğu kadar sürekli yapılmış ve serim sırasında sericinin hızı sabit tutulmuştur.

Yeterli sayıda tecrübeli kürekçi, tırmıkçı vb personel, finişeri takip ederek temel yüzeyinde istenilen özelliklerin temininde yardımcı olmuşlardır (Şekil 6.24). Finişerin doldurma teknesinin yan kapakları açılır kapanır tipte seçilmiş ve malzeme segregasyona uğramadan serilmeye özen gösterilmiştir. Makine ile serilmesi mümkün olmayan yerlerde malzeme elle serilmiştir. Ancak, bu sırada düzgün ve kaliteli işçilik ile sıkıştırılmış haldeki temelin kot, eğim ve düzgünlük bakımından şartname ve projesi sağlanmıştır (Şekil 6.25).



Şekil 6. 24 : Finişer ile serime başlanması

Bu amaçla numunelere ASTM D - 2172 (AASHTO T - 164) "Bitümlü Kaplama Karışımlarından Bitüm Miktarı Tayini" ve AASHTO T - 30 "Ekstrakte Edilmiş Agreganın Gradasyonunun Tayini" deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 6. 25 : Finişer ile serim yapılması I

Bir defada serilip sıkıştırılmış tabakanın kalınlığı, karışımın içindeki en büyük tane boyutunun 1.5 katından az, 3 katından fazla olmayacaktır. Trafik durumunun uygun

olması halinde karışım birden fazla binder kullanılarak tüm platform genişliğinde boyuna ek yeri bırakılmadan serilmiştir.

Birden fazla tabaka serilmesi halinde boyuna ek yerleri çakışmayacak ve şaşırtmalı yapılmıştır. Son tabakada boyuna ek yeri yol eksenine oturtulmuştur. (Şekil 6.26).



Şekil 6. 26 : Finişer ile serim II

6.6.6.3 Karışımın Sıkıştırılması

Karışım yola serildikten hemen sonra sıkıştırma işlemine başlanmıştır. Silindiraja bağlandığında karışımın sıcaklığı 130°C' nin altında değildir ve karışımın sıcaklığı 80°C' nin altına düşmeden sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır (Şekil 6.27).

Sıkıştırma işleminde statik ağırlığı 8 - 12 ton arasında demir bandajlı silindirler ile lastik basıncı ayarlanabilen kendinden yürür lastik tekerlekli silindirler kullanılmıştır.

Karışım serildikten sonra varsa önce enine ve boyuna ek yerleri silindirlenmiştir. Silindiraja temelin kenarından başlanarak ve ortaya doğru devam edilmiştir (Şekil 6.28). Silindiraj sonunda yol yüzeyinde tas kırılmaları, kaymalar, çatlamlar ve yırtılmalar olmamasına özen gösterilmiştir. Karışımın sıkıştırılması işlemi aşağıda tarif edilen üç safhada tamamlanmıştır.



Şekil 6. 27 : Asfaltın sıcaklık ölçümü



Şekil 6. 28 : Sıkıştırılmanın yapılması

i) Silindiraj

Karışımın yola serilmesini takiben beklenmeksizin ilk silindiraj yapılmıştır.



Şekil 6. 29 : Son silindiraj

İlk silindirajı takiben demir bandajlı, lastik basıncı ayarlanabilen kendinden hareketli lastik tekerlekli veya vibrasyonlu silindirlerle yapılmıştır. Bir noktadan en az iki geçiş olacak şekilde uygulanmıştır. Bu silindirajda malzemenin ötelenmesinden dolayı oluşacak ondülasyona, tekerlek izlerine engel olunacak ve silindirlerin kompozisyonu buna göre tespit edilecektir.

Demir bandajlı veya lastik basıncı ayarlanabilen kendinden hareketli silindirlerle yapılacaktır. Bir noktadan en az iki geçiş olacak şekilde uygulanacaktır. Son silindiraj tamamlandığında yüzeyde tekerlek izleri ve kılcal çatlaklar bulunmayacaktır (Şekil 6.29).

6.6.7 Yolun Kullanıma Açılması

Yolun inşası tamamlandıktan sonra yol halkın kullanımına açılmıştır (Şekil 6.30).



Şekil 6. 30 - Tamamlanmış Yol

7. ÖLÇÜM VE ANALİZLER

7.1 Sonlu Elemanlar Metodu ile Yolun Modellenmesi

Yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen yol üst yapıları inşaat mühendisliği için bir sorun teşkil etmektedir. Bu tür zeminlerde inşa edilen yol üst yapılarının tasarımında geoteknik mühendisi açısından en önemli problem yumuşak zemin tabakasının davranışını belirlemek ve buna uygun bir iyileştirme metodu belirlemektir. Zira yumuşak zeminler sıkışabilirlikler yüksek, mukavemetleri düşük ve viskoz malzemelerdir. Zemin - yol etkileşiminden kaynaklanan belirsizlikler de dikkate alındığında problem daha da karmaşık bir hale gelmektedir.

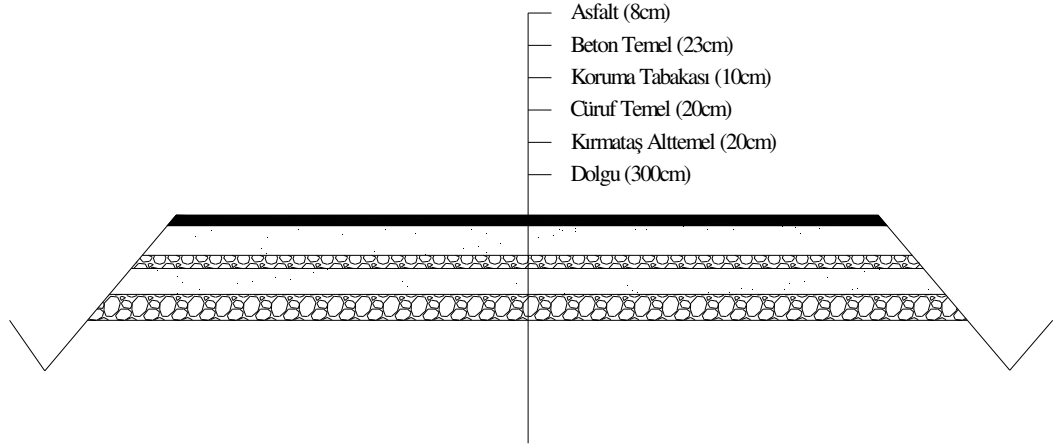
Özellikle yumuşak zeminlerin davranışını tanımlamak üzere kullanılan zemin modellerindeki gelişmeler sonlu elemanlar yöntemlerinin kullanımını daha da cazip hale getirmektedir. Bu çalışmanın esası da yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen bir yol üst yapısının sonlu elemanlar yöntemleri ile çözülmesine dayanmaktadır.

İncelenen yol 3 m yüksekliğinde dolgu üzerine inşa edilmiştir. İki ayrı kademede inşa edilen yol planda 170 m boyunda ve 8 m genişliğindedir. İlk 50 m'lik kısmın birinci temel tabakası metal cürufu ile (Şekil 7.1) geri kalan 120 m'lik kısmının ise kırmataş ile inşa edilmiştir (Şekil 7.2). Yolun sonlu elemanlar metoduna göre analizi PLAXIS programı yardımı ile yapılmıştır.

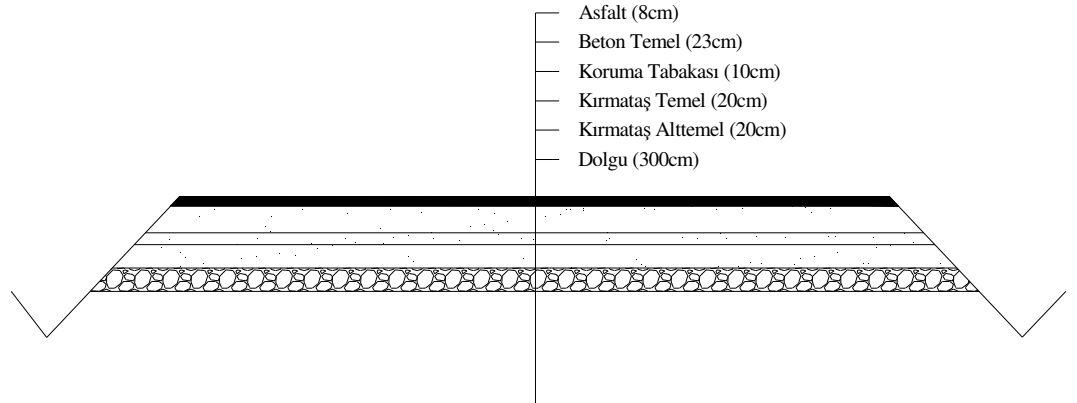
7.1.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bu çalışmada Şekil 7.1'de ve Şekil 7.2'de en kesitleri verilmekte olan yolun yumuşak bir zemin üzerindeki inşasından kaynaklanan etkiler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. İki ayrı analiz yapılmıştır:

- “cüruf temelli yol” analizi
- “standart temelli yol” analizi



Şekil 7. 1 : Cüruf temelli yol kesiti

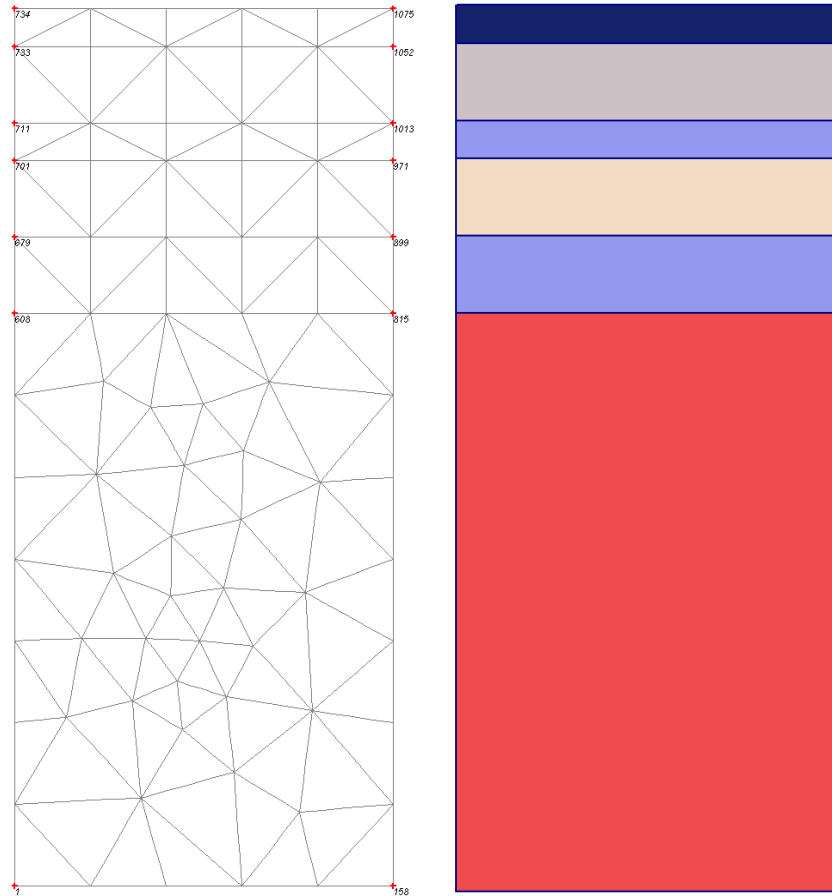


Şekil 7. 2 : Kırmataş temelli yol kesiti

Sonlu elemanlar ağı önce “standart temelli yol” analizi için çözülmüştür. Elde edilen yol düşey deplasman okumaları daha sonra yapılmış olan “cüruf temelli yol” analizi ile karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar ise ilerleyen kısımlarda sahada alınan oturma değerleri ile karşılaştırılarak yolun performansı ile ilgili istenilen sonuçlar elde edilmiştir.

7.1.2 Cüruf Temelli Yolun Analizi ve Sonuçları

Geometrik ölçülerin, başlangıç koşulların ve malzeme özelliklerinin programa tanımlanması ardından hesaplamalar bölümüne geçilmiştir (Şekil 7.3) (Tablo 7.1). Programa 10 kN/m² yükün 60 gün boyunca tekrarlı olarak uygulanacağını tanıtılması ardından analizlere geçilmiştir.

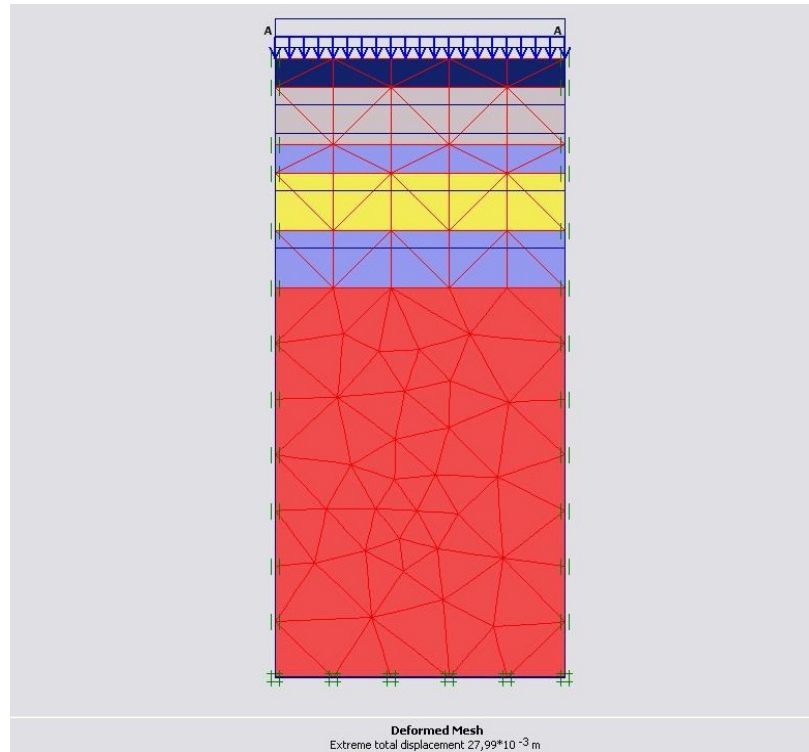


Şekil 7.3 : Cüruf temelde modellenen tabakalar ve mesh edilmiş model

Tablo 7. 1 : Tanımlanan Malzeme Özellikleri

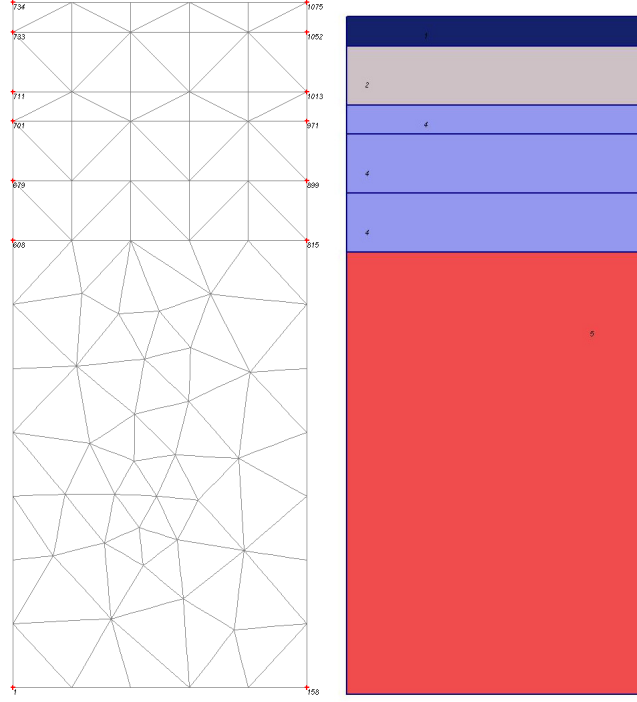
<i>Linear Elastik</i>		Beton	Asfalt	Curuf	Kırmatas	Dolgu
Parametre		Non-porous	Undrained	Drained	Drained	Drained
γ_{unsat}	[kN/m ³]	24,00	23,00	23,00	20,00	16,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	24,00	23,00	24,20	21,00	20,00
e_{init}	[-]	0,500	0,000	0,002	0,000	1,000
c_k	[-]	1E15	0,000	0,001	0,000	1,000
E_{ref}	[kN/m ²]	26000000,00	0,500	0,500	0,500	1,000
G_{ref}	[kN/m ²]	10833333,3	1E15	1E15	1E15	1E15
E_{oed}	[kN/m ²]	28888888,8	1000000,0	380,0	150000,0	4000,0

Yapılan analizler sonucunda cüruf temelli yolun ortalama oturma miktarı 27,99 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 7.4).

**Şekil 7. 4** : Cüruf temelli yol kesitinde oluşan toplam oturma miktarı

7.1.3 Standart Temelli Yolun Analizi ve Sonuçları

Cüruf temelli yol analizinde uygulanan adımlar aynı şekilde uygulanmıştır (Şekil 7.5) (Tablo 7.2).

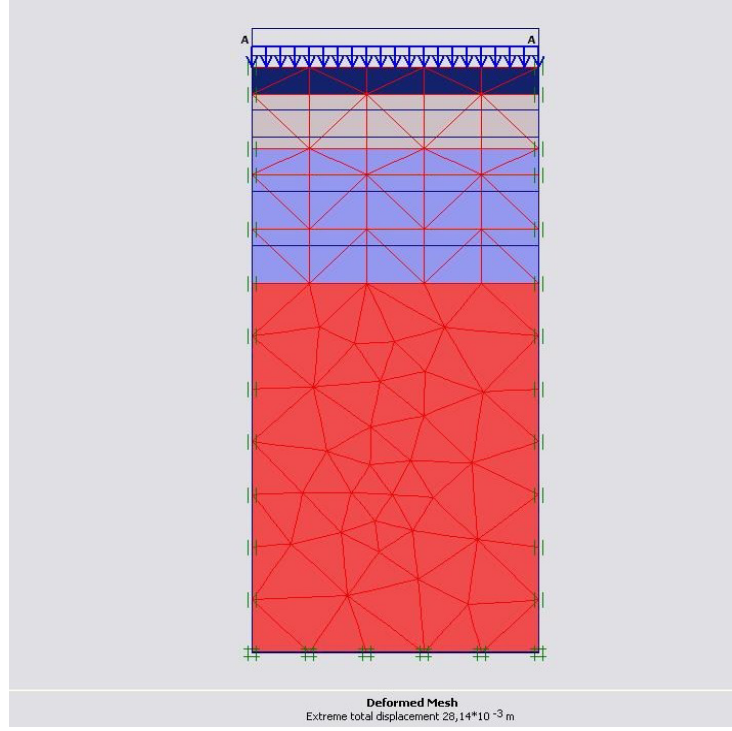


Şekil 7. 5 : Standart kesite göre modellenen tabakalar ve mesh edilmiş model

Tablo 7. 2 : Tanımlanan malzeme özellikleri

<i>Linear Elastik</i>		Beton	Asfalt	Kırmatas	Dolgu
Parametre		Non-porous	Undrained	Drained	Drained
γ_{unsat}	[kN/m ³]	24,00	23,00	20,00	16,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	24,00	23,00	21,00	20,00
e_{init}	[-]	0,500	0,000	0,000	1,000
c_k	[-]	1E15	0,000	0,000	1,000
E_{ref}	[kN/m ²]	26000000,00	0,500	0,500	1,000
G_{ref}	[kN/m ²]	10833333,3	1E15	1E15	1E15
E_{oed}	[kN/m ²]	28888888,8	1000000,0	150000,0	4000,0

Yapılan analizler sonucunda cüruf temelli yolun ortalama oturma miktarı 28,14 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 7.6).



Şekil 7. 6 : Standart yol kesitinde oluşan toplam oturma miktarı

7.2 Arazi Oturmalarının Belirlenmesi

Yol inşaatının tamamlanmasını müteakip yolun performansının belirlenmesi için çeşitli kontroller yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi de harita teknikleri yardımı ile yolun oturma ölçü değerlerinin belirlenmesidir. Bu işlem aplikasyon ve ölçüm olarak adlandırılan iki aşamada yapılmaktadır

7.2.1 Aplikasyon

Aplikasyon, harita veya planların yapımı amacı ile arazide tesis edilmiş olan poligon noktası vb. gibi sabit noktalardan yararlanılarak yapılır. Aplikasyon, çoğunlukla prezisyon (hassasiyet) gerektiren çalışmalardır.

Her işte talep edilen bir doğruluk vardır, olmalıdır da. Talep edilen doğruluğa göre ölçme yöntemi ve kriterleri seçilir. Aplikasyonda elde edilecek prezisyon (doğruluk,

hassasiyet), seçilecek ölçme yöntemi ve kriterlere göre değişkenlik arz edebileceği gibi, ilerde büyük zararlara yol açabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle önemlidir. Bir mühendislik hizmetinde tasarlanan geometrinin talep edilen doğruluğu karşılayacak şekilde araziye aktarılması gerekir.

Konum aplikasyonunda, *kutupsal koordinat metodunda* yatay açı ve yatay uzunluk ölçme yöntemleri ve bunu sağlamak için de Elektronik Takeometre (Total Station) ölçme aletleri kullanılır. Ölçme aleti seçilirken açı okuma doğruluğu ve mesafe okuma doğruluğu, prezisyonu etkileyen unsurlardandır.

Kullandığımız alet Trimble 5000 Servo Motorlu Total Station olup Standard Ölçme Modu hassasiyeti $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ dir.

7.2.2 Ölçme

Deformasyon ölçülerinde en temel esas hassas bir aletle okuma yapmaktır. x,y düzlemi boyunca bir hareketin gözlemi söz konusu ise elektronik totalstation ile ölçü yapmak yeterli olabilir.

Projesi doğrultusunda çalışılmış, dolguları, sıkıştırmaları nizami bir şekilde gerçekleştirilmiş bir yolda deformasyon ölçümlerine başlamak için ilk önce yer kontrol noktalarının (poligon) kontrolü yapılmalıdır.

Dengelemeleri sağlıklı bir şekilde tamamlanmış, x,y,z değerleri kontrollü bir şekilde elde edilmiş yer kontrol noktalarından ölçü bölgemize denk düşenler işaretlenir.

Daha sonra bunların konumlarında fiziki bir tahribat veya oynama olup olmadığı kontrol edilir. Kontroller neticesinde çıkan sonuçlar kullanılabilecek düzeyde ise çalışmaya başlanılabilir. Kontroller neticesinde olumsuz gözüken noktalarda olumsuzluk giderilme yoluna gidilmiştir ya da yeni tesisler yapılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Mevcut poligon ağına göre plankotesi tamamlanmış güzergâhta her 5 m’de bir enkesit oluşturacak şekilde bilgisayar programı vasıtası ile kesitler çıkartılmıştır. Oluşturulan enkesitlerin detay noktalarına yine AutoCAD programı yardımı ile koordinat verilmiştir. koordinatlandırılan deformasyon kontrol noktaları elektronik totalstationa aktarılmıştır. arazide bulunan mevcut yer kontrol noktaları referans alınmak sureti ile oluşturulan

koordinat değerlerinin aplikasyonu gerçekleştirilmiştir. x,y ve z düzleminde 3 boyutlu gerçekleştirilecek olan aplikasyonlardan sonra buralara basit işaretleyici tesisler yapılır. Bu işlemler tüm detay noktaları için tekrar edilir. Daha sonra ölçü karnemizde oluşturduğumuz periyotlarla ölçüm işlemleri tekrarlanır. Sonuç olarak son okuma değerleri ile ilk okuma değerleri arasındaki farklar deformasyonun değerini ortaya çıkaracaktır.

7.2.3 Uygulama

Atmosferik şartlar ve gün içinde sabah-akşam saatleri dikkate alınarak araziye çıkılmıştır. Lokal bir koordinat sisteminde çalışılması öngörülmüştür. Yolun güzergâhı ve arazinin topografyası dikkate alınarak bir poligon güzergâhı döşendikten sonra araziye yol eksenini çakılmıştır. Yolun proje enkesit bilgilerinden her 5 m’de olan yol eksenini sağı ve solu koordinat değerleri çıkartılmış ve alete yüklenmiştir.

Ardından mevcut oluşturulan poligon gzerghından yararlanılarak bir noktaya alet kurularak sıfırlanmıştır. Alete yüklenilen bilgiler tek tek çağrılarak bu noktalar zemine applike edilmiştir. Bu esnada kot değerleri okunmuştur. Bu işlem 2 günde bir 60 gün boyunca tekrarlanarak meydana gelen kot farklılıkları tespit edilmiştir. Böylece yoldaki deformasyon (oturma) ortaya çıkmıştır.

7.2.4 Sonuç

Yukarıda belirtilen yapılan okumalar sonucunda cüruf temel ile yapılan 50 m’lik kısımda ortalama oturma miktarı 42 mm olarak belirlenmiştir. Buna karşın standart metotla yapılan 120 m’lik kısımda ortalama oturma miktarı 103 mm olarak belirlenmiştir (Tablo A.1). Bu lmler sahada belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Lakin yol oturmasını tamamlamasına yakın cüruf kısmı ile standart kısma geçiş bölgesinde temelde çatlaklar gözlenmiştir (şekil 7.7).



Şekil 7.7 : Cüruf kesitten kırmataş kesitine geçişte meydana gelen çatlama

7.3 Karot Numunelerinin Değerlendirilmesi

Yolun ikinci kademesi olan beton temelden alınan karot numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda tayin edilen 7 ile 28 günlük basınç mukavemetleri ve beton karışım miktarı aşağıda belirtilmiştir (Tablo 7.3 - 7.4).

Elde etmiş olduğumuz test sonuçlarına dayanarak betonumuz 28 gün sonucunda istenilen mukavemet değerlerini karşılayabilecek duruma gelmiştir. Yalnız beton dökümü esnasında numune alınamadığı için betonu yerleştiği alanda sadece kendi değerleri ile kıyaslanabilmektedir.

Tablo 7.3 : Karot numunelerinin basınç mukavemetleri

Numune No	En (cm)	Boy (cm)	Kesit Alanı (cm ²)	7 Günlük Basınç Mukavemeti (N/mm ²)	28 Günlük Basınç Mukavemeti (N/mm ²)
1	15	15	225	23,2	24,97
2	15	15	225	23,6	25,49
3	15	15	225	23,7	25,5
4	15	15	225	22,2	26,06
5	15	15	225	24,2	30,12
6	15	15	225	25,2	25,65

Tablo 7. 4 : Beton karışımı

Malzeme	Miktarı (kg)
Taş Unu	200
Doğal Kum	556
5 – 12 Kırmataş	535
12 – 19 Kırmataş	604
Çimento ÇEM I	286
Su	137
Katkı (CYROSO)	2,9

Beton, özelliği gereği, 7 günde mukavemetinin % 70 ila % 85'ine ulaşmalıdır. Ürettiğimiz betonda cüruf kısmından alınan beton numunelerinde 7 günlük değerlere bakıldığında, 28 günlük değerler ile karşılaştırarak mukavemetinin yaklaşık % 91 - % 93 'üne ulaştığını görmekteyiz. Bu şekilde betonumuz olgunluğa erken yaşlarda ulaşmaktadır ve bu durum betonun 28 günlük dayanımının beklenilenden düşük çıkmasına neden olmuştur.

Standart yol kesitinden alınan numunelerde ise 7 günlük değerler 28 günlük değerlerden düşük çıkmıştır. Bu durumun normal olmadığı ve kırımlarda ya da numune alımında aksaklık olabildiği düşünülmelidir. Uzun zaman içerisinde mukavemette gerileme olabilmesi beklenebilir ancak 28 günlük süreçte bu durum beklenen bir sonuç değildir. Diğer bir yaklaşımda kullanılan katkının uzun zamanda iyi sonuçlar veremediğidir.

7.4 Araziden Alınan Su Numunelerinin Değerlendirilmesi

Sanayi devrimi, şehirlerin büyümesi ve tarımsal üretimin yoğunlaşması sonucunda büyük bir savurganlık ve ürkütücü boyutta su kirliliği ortaya çıkmıştır. Dünya genelinde günde ortalama 25 - 30 bin kişi sağlıklı su kullanımı nedeniyle ölmekte, tüm ölümlerin üçte biri ve hastalıkların % 80'i kirli sulardan kaynaklanmaktadır. Dünyanın en büyük besin kaynağı durumunda bulunan deniz, akarsu ve göllerin kirlenmesi sonucu canlıların hayatı olumsuz yönde etkilenmekte veya yok olmakta dolayısı ile de besin zinciri temelinden sarsılmaktadır.

Günümüzde sanayileşme vazgeçilmez bir amaç ve süreç haline gelmiştir. Eğer sağlık görevlilerinin teknik danışmanlığından yeterince yararlanılmaz, teknolojinin niteliği yönlendirilmezse su kaynaklarının tehlikeli bir biçimde kirlenmesi kaçınılmaz olacaktır.

Hali hazırda birçok ülkede belirli su kaynakları insan ve diğer canlılar tarafından yararlanılamaz biçimde kirletilmiş bulunmaktadır.

Bir toplum için en önemli sağlık sorunları "en çok görülen, en çok öldüren ve en çok sakat bırakan" hastalıklardır. Çocuk felcinden barsak enfeksiyonlarına kadar birçok kirli su etkenli hastalığın bu tanıma uyduğu görülmektedir. Bu hastalıklar dikkate alındığında suya karışan maddelerin etkisi gözle görülecek derecede büyük bir orana sahiptir.

Sanayileşmenin getirdikleriyle birlikte suların kullanılabilirliği ve içilebilirliği belirli standartlar ile denetlenme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu standartlar hazırlanırken iki temel unsur ön plana çıkmıştır.

i. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

- Suyun sıcaklığı (Termometre)
- Suyun rengi (Fotometrik)
- Suyun bulanıklığı (Fotometrik)
- Suyun kokusu (Duyusal)
- Suyun lezzeti (Duyusal)
- Konduktivite (Elektriksel iletkenlik) (Elektrokimyasal)
- Sudaki klor düzeyinin ölçülmesi (Kolorimetrik)
- Amonyak aranması (Titrasyon)
- Nitrat tayini (Titrasyon)
- Nitrit aranması (Titrasyon)
- Tuz aranması (Titrasyon)
- Suların sertlik analizi (Titrasyon)
- Askıda (toplam) katı madde (103-105°C) (Gravimetrik)
- Nitrat (UV Spektrofotometrik)
- Flor analizi (Fotometrik)
- pH tayini (Elektrokimyasal)

ii. Mikrobiyolojik Özellikler

- İndikatör mikroorganizmalar
- Çok tüplü fermentasyon (MPN) yöntemi
- Var - Yok koliform testi

- Koliform bakteriler için membran filtrasyon yöntemi
- Yedi saatlik fekal koliform testi

Bu özellikler İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış ve Tablo 7.5'te gösterge parametreleri verilmiştir.

Tablo 7. 5 : 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı resmi gazetede yayınlanan su parametreleri

Parametre	Parametrik Değer	Birim
Alüminyum	200	µg/L
Amonyum	0.5	mg/L
Klorür	250	mg/L
C. perfringens	0	Sayı/100 ml
Renk	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok	
İletkenlik	2500	20 °C'de µS / cm
PH	≥6,5 ve ≤ 9,5	pH Birimleri
Demir	200	µg/L
Mangan	50	µg/L
Koku	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok	
Oksitlenebilirlik	5.0	mg/L O ₂
Sülfat	250	mg/L
Sodyum	200	mg/L
Tat	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok	
22 °C'de koloni sayısı	Anormal değişim yok	
Koliform bakteri	0	Sayı/100 ml
Toplam Organik Karbon (TOC)	Anormal değişim yok	
Bulanıklık	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok	

Cüruf numuneli su numunemiz göz önüne alındığında mikrobiyolojik parametrelerin fiziksel ve kimyasal parametrelere göre daha az ölçekte etki edeceği düşünülerek, fiziksel ve kimyasal parametrelerin içme suyu parametreleri ile karşılaştırıldığı aşağıdaki Tablo 7.6'da belirtilmiştir.

Aşağıdaki tablo incelendiğinde bütün parametrelerin sınır değerler arasında olduğu yalnız demir parametresinin sınır değerleri aştığı görülmüştür. Demir numunesinin ekstrem değerleri aşma sebebi ise yol inşaatının tamamlanması ardından arazide kar

yağışı olmasıdır. Karın birikmesi sonucu arazide su akışı olmamaktadır. Biriken suyun akış olmaması sonucu demirin arazide birikmesidir.

Tablo 7. 6 : Cüruf temelli ve standart temelli yollardan alınan su numunelerinin analizleri

Parametreler	Cüruf Analiz Sonuçları	Yol Sonu Analiz Sonuçları	Kaynak Suyu Maksimum	Kullanma Suyu Maksimum
Elektriksel İletkenlik	320 µmhos/cm	683 µmhos/cm	650 µmhos/cm	2500 µmhos/cm
pH	7,32	7,49	6,5≤pH≤9,5	6,5≤pH≤9,5
Organik Madde	6,05 mg/l	2,05 mg/l	2 mg/l	5 mg/l
Toplam Sertlik	8,00 Fr.S.°	16,00 Fr.S.°		
<u>Katyonlar</u>				
Kalsiyum	28,00 mg/l	56 mg/l		
Magnezyum	2,4 mg/l	4,8 mg/l		
Amonyum	0,00 mg/l	0,00 mg/l	0,05 mg/l	0,5 mg/l
Sodyum	73,60 mg/l	73,60 mg/l	100 mg/l	200 mg/l
Potasyum	5,85 mg/l	5,85 mg/l		
Demir	0,24 mg/l	0,02 mg/l	0,05 mg/l	0,2 mg/l
<u>Anyonlar</u>				
Karbonat	0,00 mg/l			
Bikarbonat	61,00 mg/l	126,88 mg/l		
Klorür	12 mg/l	75, 08 mg/l	30 mg/l	250 mg/l
Sülfat	173,38 mg/l	113,04 mg/l	25 mg/l	250 mg/l
Nitrit	0,00 mg/l	0,00 mg/l	0,0 mg/l	0,5 mg/l

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yumuşak zeminler üzerine yol inşaatı yapılırken karşılaşılan sorunlar dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi Türkiye’de de en yaygın problemlerden bir tanesidir. Yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde en genel metotlara çalışmanın önceki bölümlerinde geniş olarak değinilmiştir. Bu anlatılan metotların birçoğu yüksek maliyeti sebebiyle, zayıf zeminler üzerine yol inşası hususunda alternatif yöntemler belirlenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmada; ömrünü tamamlamış lastiklerin yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılması, uçucu küller kullanılarak zemin iyileştirilmesi ve metal cürufu kullanılarak yol yapılarına temel teşkili incelenmiştir.

Araştırmanın ilk kısmında ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin dünya üzerinde genel kullanım alanları incelenmiş, genel yapıları ve mühendislik özelliklerine bakılmıştır. Ardından inşaat mühendisliğinde kullanım alanlarına değinilmiştir. Son olarak çevresel değerlendirmesi yapılarak çalışmanın ilgili kısmı tamamlanmıştır.

Araştırmanın ikinci kısmı olan uçucu kül kullanılarak zemin stabilizasyonunda, zemin-uçucu kül karışımlarının dayanım özelliklerini belirlemek ve kullanım için optimum karışım içeriğini bulmak için serbest basınç ile California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı - CBR) testleri yapılmıştır. Stabilize edilmiş zemin numuneleri %10 ila %20 uçucu kül (kuru ağırlık bazında) ve farklı su muhtevalarında hazırlanmıştır. Karışım örnekleri, inşa alanında oluşan kompaksiyon gecikmesinin etkisini değerlendirebilmek maksadıyla su ile karıştırıldıktan 2 saat sonrasında sıkıştırılmıştır. Örnekler serbest basınç testlerine tabi tutulmuştur. Buna ek olarak, Standart Proktor çalışması kullanılarak bir Proktor kalıbına (152 mm çap, 178 mm uzunluk) sıkıştırılan numuneler üzerinde CBR testleri uygulanmıştır. Arazide yapılan uygulama ile laboratuvar sonuçları karşılaştırılmıştır.

Araştırmanın son kısmında metal cürufu ile yol yapısı altına temel tabakası teşkil edildiği bir uygulama yapılmıştır. Uygulamada 170 m'lik yolun ilk 50 m'lik kısmında temel tabakası metal cürufu kullanılarak, geri kalan 120 m'lik kısım ise standart metoda göre inşa edilmiştir. İnşaatin tamamlanması ardından yolun performansının belirlenmesi için belirli noktalardan karot numuneleri alınarak, numuneler üzerinde basınç deneyi yapılmıştır. Yol üzerinde 5'er metrelik enkesitler boyunca totalstation yardımı ile oturma değerleri belirlenmiştir. Son olarak ise yolun iki ucundan su numuneleri alınarak kirlilik testine tabi tutulmuştur.

- Ömrünü tamamlamış araç lastikleri; hafif olmaları, biyolojik olarak çürümemeleri, normal dolgu malzemelerine göre ucuz olmaları, iyi drene olmaları ve ısı iletkenliklerinin düşük olması nedeniyle inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmaya uygundur.
- Ömrünü tamamlamış araç lastikleri pH < 3,5 olması durumu dışında hiçbir suretle çevreye zarar vermemektedir.
- Uçucu kül kullanılarak zemin iyileştirmesi; serbest basınç dayanımı test edilen karışımlar için belirgin şekilde arttırmaktadır ve yol inşaatında yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde bir alternatif olduğunu kanıtlamıştır.
- Uçucu kül ile stabilize etmenin, zeminin taşıyıcı özelliğini arttırdığı belirlenmiştir.
- Metal cürufu kullanımı yol üstyapısının dayanımını ve servis ömrünü artırır.
- Standart yol kesitiyle metal cürufu kullanılan kesit karşılaştırıldığında maksimum oturma değerlerinde göz önüne alınca standart yol kesitinin %200 daha fazla oturduğu gözlenmiştir.
- Karot numuneleri üzerinde yapılan deneylerde görülmüştür ki, cüruf numunesi hiçbir suretle beton temeli olumlu veya olumsuz bir yönde etkilememektedir.

- Arazide hiçbir doğal suretle su hareketi saptanmamıştır. Uygulama yapıldığı sırada meydana gelen aşırı kar yağışı nedeniyle su birikmesi olmuştur. Sözkonusu hareketsiz sularda metal seviyeleri artmıştır.
- Yedinci bölümde belirtildiği üzere cüruf kesitin bittiği yerde rijitlik farkından dolayı yolun beton temelinde kırılma gözlemlenmiştir.
- Malzeme ücretsiz olduğu için hem ekonomik bir çözüm olarak görülmekte, hem de bir atığın bertarafı olarak değerlendirilebilmektedir.
- Bohçalama yapılarak veya geosentetikler kullanılarak malzeme sudan uzak tutulmalıdır. Aksi takdirde korozyona uğraması söz konusudur.
- Boşluklu yapısı nedeniyle metal cürufu oturmasını çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirmiştir.

EK A
HARITA ÖLÇÜM DEĞERLERİ

Tablo A. 1 : Yol Kot Ölçümleri

KM	KESİT	02.03.2008 TARİHLİ OKUMA	06.04.2008 TARİHLİ OKUMA	ΔH (m)
0+000	Sol	91,440	91,410	0,030
	Orta	91,480	91,440	0,040
	Sağ	91,415	91,380	0,035
0+005	Sol	91,525	91,500	0,025
	Orta	91,550	91,520	0,030
	Sağ	91,518	91,490	0,028
0+010	Sol	91,604	91,580	0,024
	Orta	91,675	91,640	0,035
	Sağ	91,566	91,540	0,026
0+015	Sol	91,670	91,645	0,025
	Orta	91,699	91,670	0,029
	Sağ	91,668	91,640	0,028
0+020	Sol	91,781	91,750	0,031
	Orta	91,823	91,790	0,033
	Sağ	91,736	91,700	0,036
0+025	Sol	91,842	91,810	0,032
	Orta	91,884	91,850	0,034
	Sağ	91,815	91,780	0,035
0+030	Sol	91,932	91,890	0,042
	Orta	97,990	97,950	0,040
	Sağ	91,913	91,875	0,038
0+035	Sol	91,980	91,950	0,030
	Orta	92,042	92,010	0,032
	Sağ	92,034	92,000	0,034
0+040	Sol	92,064	92,030	0,034
	Orta	92,097	92,060	0,037
	Sağ	92,070	92,030	0,040
0+045	Sol	92,154	92,115	0,039
	Orta	92,196	92,170	0,026
	Sağ	92,155	92,120	0,035
0+050	Sol	92,239	92,210	0,029
	Orta	92,297	92,265	0,032
	Sağ	92,233	92,200	0,033
0+055	Sol	92,346	92,306	0,040
	Orta	92,367	92,325	0,042
	Sağ	92,324	92,280	0,044
0+060	Sol	92,455	92,400	0,055
	Orta	92,477	92,423	0,054
	Sağ	92,419	92,360	0,059
0+065	Sol	92,518	92,453	0,065
	Orta	93,046	92,506	0,540
	Sağ	92,550	92,493	0,057
0+070	Sol	92,600	92,540	0,060
	Orta	92,620	92,555	0,065
	Sağ	92,585	92,520	0,065

0+075	Sol	92,608	92,505	0,103
	Orta	92,605	92,510	0,095
	Sağ	92,597	92,512	0,085
0+080	Sol	92,750	92,680	0,070
	Orta	92,747	92,680	0,067
	Sağ	92,714	92,670	0,044
0+085	Sol	92,840	92,785	0,055
	Orta	92,844	92,790	0,054
	Sağ	92,829	92,770	0,059
0+090	Sol	92,955	92,890	0,065
	Orta	92,949	92,895	0,054
	Sağ	92,947	92,890	0,057
0+095	Sol	92,991	92,935	0,056
	Orta	93,010	92,950	0,060
	Sağ	93,005	92,940	0,065
0+100	Sol	93,182	93,115	0,067
	Orta	93,197	93,120	0,077
	Sağ	93,202	93,135	0,067
0+105	Sol	93,311	93,257	0,054
	Orta	93,329	93,270	0,059
	Sağ	93,333	93,268	0,065
0+110	Sol	93,424	93,370	0,054
	Orta	93,427	93,370	0,057
	Sağ	93,446	93,370	0,076
0+115	Sol	93,498	93,423	0,075
	Orta	93,497	93,420	0,077
	Sağ	93,622	93,557	0,065
0+120	Sol	93,655	93,595	0,060
	Orta	93,685	93,620	0,065
	Sağ	93,682	93,615	0,067
0+125	Sol	93,782	93,705	0,077
	Orta	93,791	93,724	0,067
	Sağ	93,809	93,755	0,054
0+130	Sol	93,886	93,827	0,059
	Orta	93,885	93,820	0,065
	Sağ	93,897	93,843	0,054
0+135	Sol	93,997	93,940	0,057
	Orta	94,011	93,935	0,076
	Sağ	94,019	93,944	0,075
0+140	Sol	94,270	94,193	0,077
	Orta	94,275	94,210	0,065
	Sağ	94,168	94,088	0,080
0+145	Sol	94,316	94,240	0,076
	Orta	94,337	94,260	0,077
	Sağ	94,292	94,225	0,067
0+150	Sol	94,498	94,433	0,065
	Orta	94,506	94,430	0,076
	Sağ	94,460	94,400	0,060
0+155	Sol	94,462	94,404	0,058

	Orta	94,584	94,530	0,054
	Sağ	94,623	94,575	0,048
0+160	Sol	94,769	94,720	0,049
	Orta	94,782	94,732	0,050
	Sağ	94,765	94,720	0,045
0+165	Sol	94,849	94,800	0,049
	Orta	94,857	94,807	0,050
	Sağ	94,853	94,810	0,043
0+170	Sol	94,930	94,880	0,050
	Orta	94,947	94,900	0,047
	Sağ	94,950	94,905	0,045

Not: Bu ölçümler İstanbul Büyükşehir Belediyesi Park Bahçeler Müdürlüğü'nün malıdır. Materyallerin izinsiz olarak kısmen veya tamamen çoğaltılması, kullanılması ve kopyalanması yasaktır. Aksi takdirde cezai işlemler uygulanacaktır.

KAYNAKLAR

- Aabøe, R., Håøya, A.O. and Edeskär, T.**, 2004. Leaching of Phenols from Tire Shreds in a Noise Barrier, Norway.
- Ahmed, I.**, 1993. Use of Waste Materials in Highway Construction, Noyes Data Corporation, New Jersey, USA.
- Ahmed, I. and Lovell, C.W.**, 1993, Rubber Soils as Lightweight Geomaterials, Transportation Research Board, Washington, USA.
- ASTM D4609 – 01**, 2001. Standard Guide for Evaluating Effectiveness of Chemicals for Soil Stabilization, *ASTM*, West Conshohocken, USA.
- ASTM D6270 – 98**, 2004. Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications, *ASTM*, West Conshohocken, USA.
- Baker, T.E., Allen, T.M., Pierce, L.M., Jenkins, D.V., Christie, R.A., Mooney, D.T. and Weston, J.T.**, 2003. Evaluation of the Use of Scrap Tires in Transportation Related Applications in the State of Washington, Washington State Department of Transportation, Washington, USA.
- Baldwin, G., Addis, R., Clark, J. and Rosevear, A.**, 1997. Use of Industrial By-Products in Road Construction – Water Quality Effects, Construction Industry Research and Information Association, London.
- Benson C.H.**, 1995. Using Shredded Scrap Tires in Civil and Environmental Construction, *Resource Recycling*, **October**, 71-74.
- Bernal, A., Salgado, R., Swan, Jr.R.H. and Lovell, C.W.**, 1997. Interaction Between Tire Shreds, Rubber-Sand and Geosynthetics, *In Geosynthetics International*, **4**, 623-643.
- Best, R. and Carlson, J.P.**, 2002. New Uses of Old Tires: Options to Reduce Waste and Stretch Public Works Dollars Overview, California.
- Bosscher, P.J., Edil, T.B. and Kuraoka, S.**, 1997. Design of Highway Embankments Using Tire Chips, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **123**, 295-304.
- Carolyn, T., Griffiths, J.M. and Krstulovich, Jr.**, 2002. Utilization of Recycled Materials in Illinois Highway Construction, *Illinois Department of Transportation Bureau of Materials and Physical Research*, Springfield, Illinois.

- Cecich, V., Gonzales, L., Holsaeter, A., Williams, J. and Reddy, K.R.**, 1996. Use of Shredded Tires as Lightweight Backfill Material for Retaining Structures, *Waste Management & Research*, **14**, 433-451.
- Chien, Y.C., Ton, S., Lee, M.H., Chia, T., Shu, H.V. and Wu, Y.S.**, 2003. Assessment of Occupational Health Hazards in Scrap-Tire Shredding Facilities, *The Science of the Total Environment*, **309**, 35-46.
- Edeskär, T.**, 2005. Technical and Environmental Properties of Tire Shreds Focusing on Ground Engineering Applications, Luleå University of Technology, Luleå.
- Edil, T.B., Park, J.K. and Kim, J.Y.**, 2004. Effectiveness of Scrap Tire Chips as Sorptive Drainage Material, *Journal of Environmental Engineering*, **130**, 824-831.
- Engstrom, G.M. and Lamb, R.**, 1994. Using Shredded Waste Tires as a Lightweight Fill Material for Road Subgrades, Minnesota Department of Transportation, Minnesota.
- Fink, R.J. and Fink, R.L.**, 2005. An Assessment of Biomass Feedstock Availability in Missouri, University of Missouri Office for Special Programs, Columbia.
- Ghani, A.N., Ahmad, F., Hamir, R. and Mohd, S.**, 2003. Shredded Tire Based Geocomposite as Drainage and Load Reduction Layers for Earth Retaining Structures, *In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **4**, 354-363.
- Ghani, A. N.**, 2003. Shredded Scrap Tire Based Lightweight Geomaterial for Civil Engineering Works, Japan: JICA.
- Giugliano, M., Cernuschi, S., Ghezzi, U. and Grosso, M.**, 1999. Experimental Evaluation of Waste Tires Utilization in Cement Kilns, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **9**, 1405-1414.
- Gönüllü, M.T.**, 2004. Atık Lastiklerin Yönetimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Heimdahl, T.C. and Drescher, A.**, 1999. Elastic Anisotropy of Tire Shreds, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **125**, 383-389.
- Humphrey, D.N., Fiske, A.J. and Eaton, R.A.**, 2002. Backcalculation of Thermal Conductivity of Tire Chips from Instrumented Test Section, *Transportation Research Board 81st Annual Meeting*, Washington D.C., USA, January 13-17.
- Humphrey, D.N. and Katz, L.E.**, 2000. Five Year Field Study of the Water Quality Effects of Tire Shreds Placed Above the Water Table, *Transportation Research Board 79th Annual Meeting*, Washington D.C., USA, January 9-13.

- Humphrey, D.N. and Katz, L.E.**, 2001. Field Study of the Water Quality Effects of Tire Shreds Placed Below the Water Table, *Proceedings of the International Conference on Beneficial Use of Recycled Materials in Transportation Applications*, Arlington VA, USA, November 13.
- Humphrey, D.N. and Manion, W.P.**, 1992. Properties of Tire Chips for Lightweight Fill, *Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Special Publication*, **30**.
- Humphrey, D.N. and Tweedie, J.J.**, 2002. Tire Shreds as Lightweight Fill for Retaining Walls - Results of Full Scale Field Trials, *Proceedings of the Workshop on Lightweight Geomaterials*, Tokyo, Japan.
- Humphrey, D.N., Whetten, N., Weaver, J. and Recker, K.**, 2000. Tire Shreds as Lightweight Fill for Construction on Weak Marine Clay, *Proceedings of the International Symposium on Coastal Geotechnical Engineering in Practice*, Balkema, Rotterdam.
- Khan, R.A. and Shalaby, A.**, 2002. Performance of a Road Base Constructed with Shredded Rubber Tires, *In Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*, Montréal, Québec, Canada, June 5-8.
- Kim, H.**, 2005. Spatial Variability in Soils: Stiffness and Strength, Georgia Institute of Technology, Georgia, USA.
- Lawrence, B., Humphrey, D.N. and Chen, L.H.**, 1999. Field Trial of Tire Shreds as Insulation for Paved Roads, *Proceedings of the 10th International Conference on Cold Regions Engineering: Putting Research into Practice*, ASCE, 428-439.
- Lee, J.H., Salgado, R., Bernal, A. and Lovell, C.W.**, 1999. Shredded Tires and Rubber-Sand as Lightweight Backfill, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **125**, 132-141.
- Lehmann, C.M.B., Abadi, M.R., Rood, M.J. and Sun, J.**, 1998. Reprocessing and Reuse of Waste Tire Rubber to Solve Air-Quality Related Problems, *Energy & Fuels*, **12**, 1095-1099.
- Lehmann, C.M.B.**, 1996. Activated Carbon Adsorbents from Waste Tires for Air Quality Applications, Urbana, Illinois.
- Limbachiya, M.C. and Roberts, J.J.**, 2004. Sustainable Waste Management and Recycling: Used/Post-Consumer Tyres: Proceedings of the International Conference, Concrete and Masonry Research Group, Thomas Telford Publishing, London, England.
- Lisi, R.D., Park, J.K. and Stier, J.C.**, 2004. Mitigating Nutrient Leaching with a Sub-Surface Drainage Layer of Granulated Tires, *Waste Management*, **24**, 831-839.

- Liu, H.S., Mead, J.L. and Stacer, R.G.**, 1998. Environmental Impacts of Recycled Rubber in Light Fill Applications, Chelsea Center for Recycling and Economic Development, University of Massachusetts Lowell, Massachusetts.
- Meyer, P.D., Brill, E.D. Jr.**, 1998. Method for locating wells in a ground water monitoring network under conditions of uncertainty, *Water Resource Research*, **24**, 1277-1282.
- Pierce, C.E. and Blackwell, M.C.**, 2003. Potential of Scrap Tire Rubber as Lightweight Aggregate in Flowable Fill, *Waste Management*, **23**, 197–208.
- Poh, P.S.H. and Broms, B.B.**, 1995. Slope Stabilization Using Old Rubber Tires and Geotextiles, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **9**, 76-79.
- Reddy, K.R., Marella, A. and Ala, P.**, 2002. Transmissivity Behavior of Shredded Scrap Tire Drainage Layer in Landfill Cover System, *In Proceeding of the 6th International Symposium on the Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development*, Seoul, Korea.
- Reddy, K.R. and Marella, A.**, 2001. Properties of Different Size Scrap Tire Shreds: Implications on Using as Drainage Material in Landfill Cover Systems, *The 17th International Conference on Solid Waste Technology and Management*, Philadelphia, PA, USA.
- Sengupta, S. and Miller, H.J.**, 1999. Preliminary Investigation of Tire Shreds for Use in Residential Subsurface Leaching Field Systems, University of Massachusetts Technical Report No: 12.
- Shalaby, A. and Khan, R.A.**, 2005. Design of Unsurfaced Roads Constructed with Large-Size Shredded Rubber Tires: A Case Study, *Resources, Conservation and Recycling*, **44**, 318–332.
- Sherwood, P.**, 2001. Alternative Materials in Road Construction, Thomas Telford Publishing, London, England.
- Skok, E.L., Johnson, E.N. and Brown, M.**, 2003. Special Practices for Design and Construction of Subgrades in Poor, Wet and/or Saturated Soil Conditions, Minnesota Department of Transportation Office of Research Services, Minnesota.
- Sugano, M., Onda, D. and Mashimo, K.**, 2006. Additive Effect of Waste Tire on the Hydrogenolysis Reaction of Coal Liquefaction Residue, *Energy & Fuels Journal*, **20**, 2713-2716.
- Şenol, A., Edil, T.B., Acosta, H.A. and Benson, C.H.**, 2003. Soft subgrades' stabilization by using various fly ashes, *Resources, Conservation and Recycling*, **46**, 365-376.
- Tatlisoz, N., Benson, C.H. and Edil, T.B.**, 1997. Effect of Fines on Mechanical Properties of Soil-Tire Chip Mixtures, Special Technical Publications of ASTM, **STP1275-EB**.

- Tatliso, N., Edil, T.B. and Benson, C.H.**, 1998. Interaction between Reinforcing Geosynthetics and Soil-Tire Chip Mixtures, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **124**, 1109-1119.
- Tunç, A.**, 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik Ve Uygulamaları, Atlas Yayın, İstanbul, Türkiye.
- Warith, M.A., Smolkin, P.A., Caldwell, J.G.**, 2001. Effect of Leachate Recirculation on Enhancements of Biological Degradation of Solid Waste: Case Study, *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, **5**, 40-46.
- Yang, H.S., Kim, D.J., Lee, Y.K., Kim, H.J., Jeon, J.Y. and Kang, C.W.**, 2004. Possibility of Using Waste Tire Composites Reinforced with Rice Straw as Construction Materials, *Bioresource Technology*, **95**, 61 – 65.
- Zornberg, J.G., Christopher, B.R. and Oosterbaan, M.D.**, 2003. Tire Bales in Highway Applications: Feasibility and Properties Evaluation, Colorado Department of Transportation Research Branch, Colorado, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Bilal EROL, 1983 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Trabzon Yomra Fen Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2000 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği'nden 2005 yılında mezun oldu. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen İstanbul Büyükşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü'nde çalışmaktadır.