

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

**KARAYOLLARINDA DOLGU VE DRENAJ  
YÖNTEMLERİ İLE UYGULAMAYA YÖNELİK  
İKİ PROJE ÇALIŞMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Yasin HARMANCI**

**Tezi Yöneten  
Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2009  
KAYSERİ**



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

**KARAYOLLARINDA DOLGU VE DRENAJ  
YÖNTEMLERİ İLE UYGULAMAYA YÖNELİK  
İKİ PROJE ÇALIŞMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Yasin HARMANCI**

**Tezi Yöneten  
Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2009  
KAYSERİ**

Yrd. Doç. Dr. H. Bekir KARA danışmanlığında **Yasin HARMANCI** tarafından hazırlanan “**Karayollarında Dolgu ve Drenaj Yöntemleri İle Uygulamaya Yönelik İki Proje Çalışması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

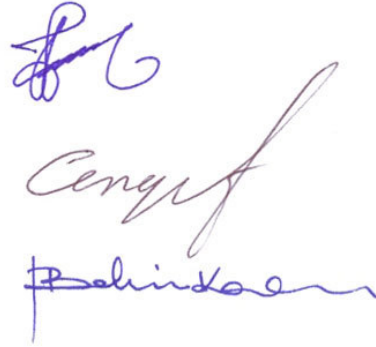
22.01.2009

**JÜRİ:**

Başkan : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye : Doç. Dr. Cengiz Duran ATIŞ

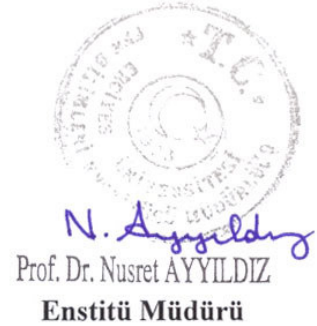
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/01/2009 tarih ve 2009/04-03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

28/01/2009



N. Ayyıldız  
Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ  
Enstitü Müdürü

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalıőmamda ve öğrenim hayatımda bilgilerini benimle paylaőan başta kıymetli Hocam Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA olmak üzere diğer tüm hocalarıma, Aileme ve değerli arkadaőım Nihan KARAKUŐ'a teőekkürü bir borç bilirim.

## KARAYOLLARINDA DOLGU VE DRENAJ YÖNTEMLERİ İLE UYGULAMAYA YÖNELİK İKİ PROJE ÇALIŞMASI

**Yasin HARMANCI**  
**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2009**  
**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA**

### ÖZET

Bu çalışmada Karayollarında dolgu yapımı ve drenaj yöntemleri ile uygulamaya yönelik iki proje çalışması hakkında bilgiler verilmiştir. Karayolu dolgularının tasarımı, dolgu yapımı sırasında uyulması gereken genel kurallar üzerinde durulmuştur. Dolgu malzemesinin niteliği, yapılan dolgunun sıkışmasının kontrolü için kullanılan arazi ve laboratuvar deneyleri, dolgu ve yarma şevlerinin yapımı, stabilitenin korunması amacıyla uygulanan yöntemler anlatılmıştır.

Karayollarında drenajın önemi, suyun yola etkileri ve drenaj yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Kent içi ve kent dışın yollarda uygulanmakta olan drenaj yapıları ve yapım koşulları hakkında bilgiler verilmiştir. Yüzey drenajı ve yüzey altı drenajı için uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

Kullanımı gün geçtikçe yaygın hale gelen geosentetik malzemeler, çeşitleri, geotekstillerin fonksiyonları ve Karayollarında kullanımı hakkında bilgiler verilmiştir. Geogrid kullanılarak dolgu duvarı yapımı anlatılmıştır.

Tez çalışmasının uygulama bölümünde; Kayseri Büyükşehir Belediyesi tarafından Kayseri il merkezinde yaptırılan mevcut Çevre Yolu ile Kuzey Çevre Yolu arası bağlantı yolu ve Aydınlar bölgesindeki yol, menfez ve istinat duvarı yapımı işleri incelenmiştir. Her iki yol çalışması da toprak işleri ve drenaj amaçlı inşa edilen yapılar yönünden incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karayollarında Dolgu, Drenaj Yöntemleri, Geosentetikler, Mevcut Çevre Yolu ile Kuzey Çevre Yolu Arası Bağlantı Yolu, Aydınlar Mevkii Yol, Menfez ve İstinat Duvarı Yapımı

**HIGHWAY FILLING AND DRAINAGE METHODS  
WITH TWO PROJECT APPLICATION FOR PRACTICE**

**Yasin HARMANCI**  
**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**  
**M.Sc.Thesis, January 2009**  
**Thesis Supervisor: Assist. Prof. Hacı Bekir KARA**

**ABSTRACT**

In this study, information is given about the two practical projects which are highway filling and methods of drainage. Design of filling highway and general rules to be obeyed during highway filling are also discussed. Also, quality of filling materials, land and labour experiments used for compaction control, construction of filling and scission slopes and methods applied for protection of stability are explained.

Information about importance of drainage in highways, effects of water on highways and methods of drainage is given. Drainage structures applied both urban and suburban roads and construction conditions are informed. Methods used in surface drainage and sub-surface drainage also explained.

Functions and types of geosynthetics the use of which is being common day by day and usage of geosynthetics in highways are explained. Construction of filling wall by using geogrid is also defined.

On practice part of study; linking road between existing belt highway and North belt highway in city center, and road, culvert and retaining wall construction in Aydınlar Place constructed by Kayseri Metropolitan Municipality also studied. Both highway projects are analyzed from the point of ground works and construction for drainage.

**Keywords:** Filling in highways, Drainage Methods, Geosynthetics, Road between existing belt highway and North belt highway in city center, Road, culvert and retaining wall construction in Aydınlar Place

**İÇİNDEKİLER**

KABUL VE ONAY.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiv
1. BÖLÜM	
GİRİŞ.....	1
1.1. Konunun Önemi ve Tanıtımı.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	2
1.3. Çalışmada Kullanılan Yöntem.....	4
2. BÖLÜM	
KARAYOLU DOLGUSU.....	5
2.1. Dolgu Tasarımı.....	6
2.1.1. Dolgu Malzemesi Seçimi.....	6
2.1.2. Dolgu Taban Zemininin Hazırlanması.....	8
2.1.3. Dolgu Yapımında Uygulanacak Genel Kurallar.....	9
2.1.4. Tabakaların Oluşturulması.....	11
2.2. Zeminlerin Kompaksiyonu (Sıkıştırılması) .....	12
2.2.1. Zemin Cinsine Göre Sıkıştırma yöntemleri.....	13
2.2.1.1. Kohezyonlu Malzemelerin sıkıştırılması.....	13
2.2.1.1.1. Kil ve Killi Malzemeler.....	14
2.2.1.1.2. Silt ve Siltli Malzemeler.....	15
2.2.1.2. Granüler Malzemelerin Sıkıştırılması.....	16
2.2.1.3. Kaya Dolguların Sıkıştırılması.....	16
2.2.2. Vibro Kompaksiyon.....	18
2.2.3. Arazide Kompaksiyon .....	20
2.2.4. Dolgularda Sıkışma Kriterleri.....	21
2.3. Kalite Kontrol Deneyleri.....	22
2.3.1. Elek Analizi ve Sınıflandırma .....	23



2.3.2.	Kıvam Limitleri.....	25
2.3.2.1.	Likit Limit Tayini.....	26
2.3.2.2.	Plastik Limit Tayini.....	27
2.3.2.3.	Büzülme (Rötre) Limit Tayini.....	27
2.3.3.	Proktor Deneyi.....	28
2.3.3.1.	Standart Proktor Deneyi.....	29
2.3.3.2.	Modifiye Proktor Deneyi.....	33
2.3.4.	Kaliforniya Taşıma Oranının Tespiti (CBR) .....	35
2.3.5.	Arazi Sıkışma Değeri Tayini .....	36
2.3.5.1.	Tepsi Metodu.....	36
2.3.5.2.	Kasnak Metodu.....	39
2.3.5.3.	Kum Konisi Metodu.....	42
2.3.5.4.	Balon Metodu.....	46
2.3.6.	Plaka Yükleme Deneyi.....	47
2.3.7.	Yassılık İndeksi Tayini.....	48
2.3.8.	Donma-Çözülme Analizi.....	50
2.4.	Dolgu ve Yarma Şevi Standartları.....	51
2.4.1.	Dolgu Şevleri.....	51
2.4.2.	Yarma Şevleri .....	52
2.5.	Dayanma Yapıları ve Şevlerin Desteklenmesi.....	53
2.5.1.	Gabion Yapılması.....	53
2.5.1.1.	Kutu/Sepet Gabionlar.....	54
2.5.1.2.	Gabion Şilteler.....	60
2.5.1.3.	Torba Şeklinde Gabionlar.....	61
2.5.2.	Donatılı Zemin Duvar (Toprakarme) .....	62
2.5.2.1.	Dolgu malzemesi.....	63
2.5.2.2.	Donatı elemanları.....	64
2.5.2.3.	Donatılı Zemin Duvar İnşası.....	65
2.5.2.4.	Donatılı Zemin Duvarların Problemleri ve Avantajları.....	66
2.5.3.	Kaya Bulonu Yapımı.....	66
2.5.4.	Zemin Çivili Duvar Yapımı.....	68
2.5.5.	Zemin Ankrajı yapımı.....	69
2.6.	Dolgularda Karşılaşılan Problemler .....	70

2.6.1.	Dolgu Şevlerinde Stabilite Bozukluğu.....	70
2.6.2.	Dolgunun Kendi İçindeki Oturması .....	72
2.6.3.	Dolgu Eteğinin İstinat Duvarı İle Tutulması .....	72
<b>3. BÖLÜM</b>		
<b>KARAYOLU DRENAJI.....</b>		
3.1.	Karayollarında Drenaj Hakkında Genel Bilgiler.....	74
3.1.1.	Genel Bilgiler.....	74
3.1.2.	Suyun Yola Etkileri .....	75
3.1.3.	Suyun Doğada Bulunuş Şekilleri.....	75
3.2.	Drenaj Tasarımı.....	76
3.2.1.	Yüzeysel Drenaj Tasarımının Esasları.....	77
3.2.2.	Menfez Tasarımı.....	79
3.2.3.	Kent İçi Yolların Drenajı.....	88
3.2.4.	Kent Dışı Yollarda Yüzeysel Drenaj.....	102
3.2.5.	Yüzey altı Drenajı.....	105
3.2.6.	Tutucu Yapıların Drenajı.....	115
3.2.6.1.	Beton ve Kargir İstinat Duvarları.....	116
3.2.6.2.	Sandık İstinat Duvarları.....	117
3.2.6.3.	Tutucu Yapılarda Drenajla İlgili Önemli Noktalar.....	118
3.3.	Drenaj Amaçlı Yapılar.....	119
3.3.1.	Yüzey Drenajı.....	120
3.3.1.2.	Menfezler.....	120
3.3.1.2.1.	Standart Kutu Menfezler .....	120
3.3.1.2.2.	Beton ve Kargir Kemer Menfezler .....	125
3.3.1.2.3.	Standart Kutu Menfez Tipleri ile ilgili bilgiler.....	126
3.3.1.3.	Tip Köprüler ( Tabliyeli Menfezler ) .....	128
3.3.1.4.	Hendekler.....	131
3.3.1.4.1.	Yarma Şevlerinde Drenaj Hendekleri.....	133
3.3.1.4.2.	Dolgu Şevlerinde Drenaj Hendekleri.....	134
3.3.1.5.	Prefabrik Düşüm Olukları.....	135
3.3.1.6.	Büzler.....	135
3.3.2.	Yüzey Altı Drenajı (Hendek Drenajı) .....	136
3.3.2.1.	Kör Drenler.....	136

3.3.2.2.	Önleyici Boru Drenler.....	137
3.3.2.3.	Boru Drenlere Konulacak Filtre Malzemesi ve özellikleri.....	139
3.3.3.	Kent İçi Drenaj Yapıları.....	141
3.3.3.1.	Rögarlar.....	141
3.3.3.2.	Bordür Oluğu.....	143
3.3.3.3.	Izgaralar.....	144
<b>4. BÖLÜM</b>		
<b>GEOSENTETİKLER.....</b>		
146		
4.1.	Geosentetiklerin Tanımı ve Çeşitleri.....	146
4.2.	Geotekstil.....	146
4.2.1.	Geotekstil Kullanım Yerleri.....	147
4.2.1.1.	Ayırma.....	147
4.2.1.2.	Filtrasyon.....	148
4.2.1.3.	Drenaj.....	148
4.2.1.4.	Güçlendirme.....	149
4.2.1.5.	Koruma.....	149
4.2.1.6.	Yalıtım.....	149
4.2.2.	Yol Yapımında Geotekstil Kullanımı.....	149
4.3.	Geogrid.....	151
4.3.1.	Geogrid Kullanılarak Duvar Yapımı.....	152
4.3.1.1.	Tasarım Esasları.....	153
4.3.1.2.	Tasarım İçin Gerekli Veriler.....	154
4.3.1.3.	Yapım Aşamaları.....	155
<b>5. BÖLÜM</b>		
<b>UYGULAMAYA YÖNELİK İKİ PROJE ÇALIŞMASI.....</b>		
158		
5.1.	Kayseri Mevcut Çevre yolu ile Kuzey Çevre Yolu Arası Bağlantı Yolu Yapım İşi.....	158
5.1.1.	Proje Kapsamında Yaptırılan İşler.....	158
5.1.2.	Projenin Uygulanması.....	159
5.1.2.1.	Yolun Toprak İşleri Bakımından İncelenmesi.....	159
5.1.2.2.	Yolun Drenaj Bakımından İncelenmesi.....	163
5.2.	Kayseri Aydınlar Mevkii Yol, Menfez ve İstinat Duvarı Yapım İşi.....	168

5.1.1.	Proje Kapsamında Yaptırılan İşler.....	168
5.1.2.	Projenin Uygulanması.....	170
5.1.2.1.	Yolun Toprak İşleri Bakımından İncelenmesi.....	170
5.1.2.2.	Yolun Drenaj Bakımından İncelenmesi.....	173
6. BÖLÜM		
SONUÇLAR.....		175
KAYNAKLAR.....		179
ÖZGEÇMİŞ.....		183

**KISALTMA VE SİMGELER**

- A : Yağış Havza Alanı
- $A_i$  : Drenaj Sahasındaki Farklı Yüzeysel Akış Katsayısına Sahip Alanlar
- B : Akış genişliği
- C : Yüzeysel akış katsayısı
- $C_0$  : Yüzeysel Akış Katsayısının Ağırlıklı Ortalaması
- $C_B$  : Bitki Örtüsüne Bağlı Katsayı
- $C_i$  : Drenaj Sahasındaki Farklı Yüzeysel Akış Katsayısı
- $C_t$  : Topoğrafik Yapıya Bağlı Katsayı
- $C_z$  : Zemin Cinsine Bağlı Katsayı
- $D_k$  : Kritik Yükseklik
- F : Rögar Aralığı
- H : Yükseklik
- $H_0$  : Geçirimsiz Tabaka Derinliği
- $h_a$  : Yağışın akışa geçen miktarı
- I : Yağış şiddeti
- j : Yolun boyuna eğimi
- K : Drenaj tabakasının permabilitesi
- $k_z$  : Zeminin permabilitesi
- L : Uzunluk, Dere tipi düşey karp uzunluğu, Yüzeysel akış uzunluğu
- $L_c$  : Yağış havza alanının ağırlık merkezinin dere yatağına olan izdüşümü ile menfez arasındaki mesafe
- $L_i$  : Etki mesafesi, [ =3,8 (H-H<sub>0</sub>) ]
- LL : Likit Limit
- n : Manning pürüzlülük katsayısı, (=0,015)
- N : Göz önüne alınan yıl veya risk aralığı ya da yapının ekonomik ömrü
- $n_e$  : Efektif Porozite ( Yaklaşık 0,80 e ) yani boşluk oranı %20 tavsiye olunur.
- P : T yıllık frekans periyodunda n yıllık yağış şiddetinin ( $I_n$ ) N yılda aşınma olasılığı veya taşkın riski
- PI : Plastisite İndeksi
- PL : Plastik Limit
- Q : Debi

- $Q_b$  : Bordür oluğunda toplanan suyun debisi  
 $q_p$  : 1 mm lik akışa nende olan izafi debi  
 $S_f$  : Eğim Faktörü  
 $t$  : Dren şilte kalınlığı  
 $T$  : Frekans periyodu veya ortalama tekerrür aralığı  
 $t_1$  : Arazi üstü akış süresi  
 $t_c$  : Konsantrasyon süresi  
 $T_f$  : Zaman Faktörü  
 $t_i$  : Ana Dere Yatağındaki Akış Süresi  
 $V$  : Arazi üstü akış hızı  
 $W$  : Dren Hendek Aralığı  
 $y$  : Bordürde Müsaade Edilen Su Yüksekliği  
 $1/T$  : T Yıllık Frekans Periyodunda Tahmin Edilen Yağış Şiddetinin Aşılma Riski  
 $1-1/T$  : T Yıllık Frekans Periyodunda Tahmin Edilen Yağış Şiddetinin Aşılmama Riski

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Dolgu Malzemesi Özellikleri .....	7
Tablo 2.2.	Don'a Hassas Olmayan Taban Malzemesinin Özellikleri.....	7
Tablo 2.3.	Koruyucu tabaka seçme malzeme özellikleri .....	8
Tablo 2.4.	Sanat Yapıları Yaklaşım ve Yan dolgularında kullanılacak malzeme....	10
Tablo 2.5.	Dolgularda Sıkışma Kriterleri .....	21
Tablo 2.6.	Arazide Kuru Birim Ağırlık Tayin Metotları .....	22
Tablo 2.7.	Kalite Kontrol Deneyleri .....	23
Tablo 2.8.	Elek Analizi Deneyine ait Föy Örneği .....	25
Tablo 2.9.	Toprağın Maksimum Dane Boyutuna Göre Kullanılan Metotlar .....	29
Tablo 2.10.	Yaklaşık Olarak Uygulanan Deney Metodları .....	30
Tablo 2.11.	En Büyük Dane Boyutuna Bağlı Olarak En Küçük Deney Çukuru Hacmi, Minimum Çukur Yüksekliği Ve En Az Rutubet Miktarı .....	44
Tablo 2.12.	Sıcaklığa Bağlı Olarak 1 g Suyun Hacmi (Sıcaklık - Hacim düzeltme Faktörü) .....	45
Tablo 2.13.	Minimum Deney Çukur Hacimleri ve Minimum Su İçeriği Numunesi Miktarları ( Mak. Dane Boyutuna Göre ) .....	47
Tablo 2.14.	Deneye Alınacak Minimum Malzeme Miktarı .....	48
Tablo 2.15.	Elek Analizi Sonuçları.....	49
Tablo 2.16.	Yassılık İndeksi Tayini.....	50
Tablo 2.17.	Gözenek Boyutuna Bağlı Tel Kalınlıkları .....	55
Tablo 2.18.	Tel kalınlıklarına Göre En Az Galvaniz ve Galfan miktarları.....	56
Tablo 2.19.	Çelik Tel ve Üzerine Organik Madde (PVC) ile Kaplanması .....	56
Tablo 2.20.	Gabion Yapımında Kullanılacak Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	57
Tablo 2.21.	Gözenek, Köşe ve Bağlama Tellerinin Uygulama Kalınlıkları.....	58
Tablo 2.22.	Kutu Gabionun Boyutları, Diyafram Sayıları ve Tolerans Değerleri ....	59
Tablo 2.23.	Gabion Şilte Boyutları ve Diyafram Sayıları ve Tolerans Değerleri.....	61
Tablo 3.1.	Tasarım Ömrü İçinde Taşkın Olma Olasılığı .....	78
Tablo 3.2.	Yolun sınıfına Bağlı Olarak Ortalama Tekerrür Aralığı.....	79
Tablo 3.3.	Yüzeysel Akış Katsayısı ( Rasyonel Metot) .....	83
Tablo 3.4.	Yüzeysel Akış Katsayısı (McMath Metodu ) .....	85

Tablo 3.5.	Eğri numarası (Sentetik metot) .....	87
Tablo 3.6.	Minimum Tasarım Frekansı .....	91
Tablo 3.7.	Drenaj Kriteri (AASHTO) .....	107
Tablo 3.8.	Zemin Cinsine Göre Oyulma Hızları .....	132
Tablo 3.9.	Beton Borulara Ait Kırılma Mukavemetleri.....	137
Tablo 3.10.	PVC Hammadde Özellikleri .....	138
Tablo 3.11.	Kaba Filtre Agregasının Gradasyonu .....	139
Tablo 3.12.	Kaba Filtre Agregasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	140
Tablo 3.13.	İnce Filtre Agregasının Gradasyonu.....	140
Tablo 3.14.	İnce Filtre Agregasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	141
Tablo 5.1.	Tosbağalık Ariyet Ocağı Araştırma Raporu .....	161
Tablo 5.2.	Aydınlar Mevkii Yol Yapım İşi Ariyet Ocağı Araştırma Raporu .....	171



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Köprü Yan Dolgusu ( İstifli Taş Dolgu ) .....	11
Şekil 2.2.	Keçi Ayaklı Silindir.....	13
Şekil 2.3.	Vibrasyonlu, Düz Bandajlı silindir.....	14
Şekil 2.4.	Kaya Dolgu Yapılması.....	17
Şekil 2.5.	Vibrokompaksiyon.....	19
Şekil 2.6.	Demir Bandajlı Silindir .....	20
Şekil 2.7.	Vibratör .....	21
Şekil 2.8.	Zeminlerde Su Muhtevası - Hacim Değişimi Davranışı ve Kıvam Limitlerinin Tanımlanması. ....	26
Şekil 2.9.	Proktor Deney Aleti.....	31
Şekil 2.10.	Kum konisi deney aletleri.....	42
Şekil 2.11.	Yol En Kesit Tiplerinde Dolgu Şevi Eğimlerinin (H) Dolgu Yüksekliğine Göre Değerleri.....	51
Şekil 2.12.	Yamaç Şevinin 5/1 Den Daha Dik Olduğu Yerlerde Teşkil Edilecek Kademe.....	52
Şekil 2.13.	Gabion kullanılarak duvar yapımı.....	53
Şekil 2.14.	Kutu Gabion ve Gabion Gözeneği.....	54
Şekil 2.15.	Gabionların Bağlama Teli ve Bağlama Halkaları İle Bağlanması .....	57
Şekil 2.16.	Kutu Gabionların Doldurulma Aşamaları .....	58
Şekil 2.17.	Gabionlarda İç Gergiler, Taşların Doldurulması ve İç Gergilerin Aşamalı Olarak Yapılması.....	60
Şekil 2.18.	Toprakarme yapı örneği (Kayseri Mimarsinan Kavşağı).....	63
Şekil 2.19.	Toprakarmede kullanılan dolgu.....	64
Şekil 2.20.	SN ve PG Kaya Bulonu Uygulama Detayı (Örnek Kesit) .....	67
Şekil 2.21.	Zemin Çivisi Uygulama Detayı (Örnek Kesit).....	69
Şekil 2.22.	Zemin Ankrajı Detayı (Örnek kesit) .....	70
Şekil 2.23.	Blong'a Göre Şev Hareket Tipleri .....	70
Şekil 2.24.	Dolgunun Kendi İçindeki Oturması.....	72
Şekil 2.25.	Dolgu Eteğinin İstinat Duvarı ile Tutulması.....	73
Şekil 3.1.	Menfezlerin Yatay Yerleşimi .....	80
Şekil 3.2.	Menfezlerin Düşey Yerleşimi.....	81

Şekil 3.3.	Giriş Kontrollü Menfez İşletme Şartları.....	82
Şekil 3.4.	Çıkış kontrollü Menfez İşletme Şartları.....	82
Şekil 3.5.	Bordür Su Oluğu.....	89
Şekil 3.6.	Bordür Oluğunda Yağmur Sularının Toplanması.....	90
Şekil 3.7.	Bordür Oluğu Debisi.....	93
Şekil 3.8.	Dere Düşey En düşük Kotundaki Rögar Izgara Debi Kapasitesi.....	94
Şekil 3.9.	Ø30 Büz.....	95
Şekil 3.10.	Ø40 Büz.....	96
Şekil 3.11.	Ø50 Büz.....	97
Şekil 3.12.	Ø60 Büz .....	98
Şekil 3.13.	Ø70 Büz.....	99
Şekil 3.14.	Ø80 Büz.....	100
Şekil 3.15.	Izgara ve Kontrol Bacası.....	102
Şekil 3.16.	Kent Dışı Yollarda Bordür Hendeği.....	102
Şekil 3.17.	Düşüm Oluğu.....	103
Şekil 3.18.	Yüzey altı Drenaj Hendek Uygulaması.....	106
Şekil 3.19.	Paralel Yüzey altı Drenlerde $K_z$ -y ilişkisi (Tunç) .....	107
Şekil 3.20.	Boyutsuz Oranlar Abağı.....	108
Şekil 3.21.	Zemin Sınıfına Göre Permeabilite Katsayısı.....	108
Şekil 3.22.	Yer Altı Su Debisinin Tayini (Tunç)v.....	111
Şekil 3.23.	%95 Drenaj İçin Zaman – Eğim Faktörü İlişkisi (Tunç) .....	112
Şekil 3.24.	Kapiler Sular için Dren Şiltesi Uygulaması .....	113
Şekil 3.25.	Dren Şiltesi Abağı (Tunç) .....	113
Şekil 3.26.	Beton veya Kargir İstinat Duvarı Drenajı.....	117
Şekil 3.27.	Beton Sandık İstinat Duvarı ve Drenajı Enine Kesiti.....	118
Şekil 3.28.	Menfezlerde Dilatasyon Derzi.....	121
Şekil 3.29.	Standart Kutu Menfez Detayları .....	124
Şekil 3.30.	Menfez Planı.....	127
Şekil 3.31.	Köprü Üzerinde Garguy Çukuru ve Korkuluk.....	129
Şekil 3.32.	Kesit içinde Tabliyeli Menfez.....	131
Şekil 3.33.	V Tipi üçgen hendek.....	132
Şekil 3.34.	Karayollarımızda kullanılmakta olan hendek tipi kesiti.....	133
Şekil 3.35.	Kafa hendeği tipi.....	134

Şekil 3.36.	Palyeli dolgu enkesit tipi .....	134
Şekil 3.37.	Büz Örneği.....	135
Şekil 3.38.	Fransız Tipi Kör Dren.....	147
Şekil 3.39.	Oluk ve Bordür İmalatı.....	144
Şekil 3.40.	Izgara Örneği.....	145
Şekil 3.41.	Yolda Enine Doğrultuda Izgara Örneği.....	146
Şekil 4.1.	Örgüsüz ve Örgülü Geotekstil.....	147
Şekil 4.2.	Geotekstillerin Fonksiyonları.....	147
Şekil 4.3.	Yol Yapımında Geotekstil Kullanımı.....	150
Şekil 4.4.	Stabilizasyon Amaçlı Geotekstil Kullanımı.....	151
Şekil 4.5.	Geogrid.....	152
Şekil 4.6.	Donatılı Duvarlarda Stabilite Bozuklukları.....	154
Şekil 4.7.	Donatılı Duvar Temeli.....	155
Şekil 4.8.	Donatılı Duvar İlk Sıra Geogrid Serilmesi.....	155
Şekil 4.9.	Donatılı Duvar Blok Yerleştirilmesi.....	156
Şekil 4.10.	Donatılı Duvar Kompaksiyonu.....	156
Şekil 4.11.	Donatılı Duvar İkinci Sıra Geogrid Yerleşimi.....	156
Şekil 4.12.	Geoduvar Uygulaması .....	157
Şekil 5.1.	Bitkisel Toprağın Kazılması.....	159
Şekil 5.2.	Tosbağalık Ariyet Ocağı Kaba Malzeme Kısmı.....	162
Şekil 5.3.	Tosbağalık Ariyet Ocağı İnce Malzeme Kısmı.....	162
Şekil 5.4.	Kaba Malzeme Üzerine İnce Malzeme Serimi.....	163
Şekil 5.5.	Yolun Şev Kenarından Görünümü.....	164
Şekil 5.6.	Hidrolik Sanat Yapıları İtineri.....	164
Şekil 5.7.	Km 1+400 Menfez İnşaatı.....	165
Şekil 5.8.	Yatay Drenaj Borusu Teşkili.....	166
Şekil 5.9.	Kanal Köprüsü Fore Kazık Temel Uygulaması.....	167
Şekil 5.10.	Drenaj Hendeği.....	167
Şekil 5.11.	Aydınlar Mevkii Yol Yapım İşinin Yapıldığı Yer.....	168
Şekil 5.12.	Aydınlar Mevkii Yol Yapım Çalışması Krokisi.....	169
Şekil 5.13.	Aydınlar Mevkii Yol Yapım Çalışması Plankotesi.....	169
Şekil 5.14.	Aydınlar Mevkii Ariyet Ocağından Görünüm.....	170
Şekil 5.15.	Aydınlar mevkii Yol Yapım İşİ Dolgu Çalışması.....	172

Şekil 5.16.	Dolgu Şevi Eteğinde İstinat Duvarı Teşkili.....	172
Şekil 5.17.	Aydınlar Mevkii Yol Yapım İşi Dahilinde Yaptırılan 3x3 Kutu Menfez.....	174

## 1.BÖLÜM

### GİRİŞ

#### 1.1. Konunun Önemi ve Tanıtımı

Sanayileşme ve kentleşmenin gereksinimi olarak ulaşım her geçen gün önem kazanmaktadır. Kara ulaştırma araçlarının gidiş gelişlerini sağlamak amacı ile ortaya getirilen yapının bütününe yol denir. Her yıl ülkemizde ve dünyada yeni yol yapım çalışmaları için kaynak aktarımı devam ederken, diğer yandan da eski yolların bakım ve onarım çalışmaları için büyük boyutlarda harcamalar yapılmaktadır. Yolun amaca uygun olarak kullanılabilmesi ve kullanım ömrünün arttırılabilmesi için proje aşamasından başlayarak, yapımı, kontrolü, bakımı, çevre etkilerinden korunması gibi konularda dikkatli ve özenli davranılması gerekir. Yolun kullanım ömrünün uzun kalabilmesi ve bakım onarım maliyetinin minimize edilmesi büyük ölçüde yolun projelendirilmesiyle ve iyi bir drenaj çözümlemesiyle mümkündür.

Mühendislik yapılarının tasarımında ergonomik (amaca uygun), sağlam ve ekonomik olma ön plandadır. Bunların yanında da kullanım süresi boyunca oluşabilecek deformasyonların istenilen sınırlar içerisinde kalması istenir.

Baraj ve liman inşaatından başlayıp karayolu inşaatına kadar uzanan mühendislik projelerinin pek çoğunda dolgular önemli bir yer tutar. Taban zemini, altyapının sınırını oluşturmaktadır ve yol güzergâhında kazılan ya da belirli bir depodan alınan uygun nitelikli zeminlerle inşa edilmektedir. Taban zemini, daha önceden yapılan sıkışma deney sonuçlarına göre hesaplanmış olan belirli bir birim kuru hacim ağırlığını ve su muhtevasını sağlayacak şekilde mekanik enerji uygulanarak sıkıştırılır. Ayrıca, taban zemininin, taşıma gücü, don dayanımı ve şişme özellikleri gibi çeşitli açılardan da uygun niteliklere sahip olması gerekmektedir.

Yol inşaatlarında kullanılan zeminlerin mühendislik açısından uygun koşulları yerine getirmesi amacıyla laboratuarda ve arazide yapılan çalışma ve incelemeler ile birlikte, geçmişte yapılan teorik çalışmalarla da uygun zeminlerin seçimi ve özelliklerinin belirlenmesi konusunda gelişmeler sağlanmıştır. Özellikle yol zeminlerinin önceden öngörülen özelliklerinin arazide ne ölçüde gerçekleştirildiği konusunda yapılan çalışmalar yol yapım inşaatlarında kaliteyi arttırmakta, yolun kullanılabilirlik özelliğini uzun süre korumasına olanak sağlamaktadır.

Eğer karayolu dolguları; zayıf ve yumuşak zeminlere oturuyorsa bu zeminlerde önemli problemler meydana gelebilmektedir. Bu tür problemlerin çözümü için ön çalışmaların, özellikle zemin etütlerinin yapılması gerekmektedir. Zemin etüdü ile dolgu yapılacak zeminin durumu, dolgu altındaki davranışı önceden bilinecektir. Ülkemizdeki karayollarından, T.C. Ulaştırma Bakanlığına bağlı olan Karayolları Genel Müdürlüğü sorumludur. Ancak Karayolları şartnameleri incelendiğinde bu konu ile ilgili çalışmaların yeterli olmadığı görülmektedir.

Yol inşaatlarında, yumuşak taban zeminlerinin yol açabileceği problemleri önlemek için, günümüze kadar çeşitli alternatif çözümler üretilmiştir. Bu kapsamda taban zemininin iyileştirilmesi ve mukavemet özelliklerinin artırılması amacıyla geliştirilen ve önerilen yöntemlerden birisi de geosentetik malzemelerin yol inşaatlarında kullanılmasıdır. Özellikle geotekstillere üstyapıdan zemine aktarılan yükü üzerine alarak bir donatı görevi üstlenmektedir. Bunun yanında yüksek dolgu gerektiren durumlarda; geogridler ile yüksek ve güvenli dolgu duvarları inşa edilebilmektedir. Geosentetiklerin yol mühendisliğinde kullanımı hem ekonomik çözümler sunmakta, hem de inşaat kalitesinin artırılması sağlanmaktadır.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Günümüzün gelişen ekonomik ve sosyal koşullarında yerleşim alanlarının büyümesi ve sanayi tesislerinin yapımının hızla artması paralelinde yol inşaatlarının da hızlı bir şekilde artmasını zorunlu kılmıştır. Yol inşaatları büyük maddi harcamalarla gerçekleştirilmektedir. İnşaatın en ekonomik biçimde tamamlanması için uygun nitelikteki dolgu malzemesinin seçimi, malzeme cinsine göre uygulanacak sıkıştırma

yöntemlerinin bilinmesi; yol inşaatında kaliteyi artıracak ve yolun kullanım ömrünün uzamasını sağlayacaktır.

Bu çalışmanın ana amacı, günümüzde dünyada ve ülkemizde uygulanan Karayolu dolgu yapım yöntemleri ile Karayollarında uygulanan drenaj yöntemlerinin tanıtılmasıdır. Uygulamada yapılan projeler ile ilgi genel bilgilerle projeler ve sonuçları sunulmuştur. Ayrıca uygulamaya yönelik olarak Kayseri il merkezinde Büyükşehir Belediyesince yaptırılan Mevcut Çevreyolu ile Kuzey Çevreyolu Arası Bağlantı yolu Yapım İşi ile yine Kayseri il merkezinde Büyükşehir Belediyesince yaptırılan Aydınlar Mevkii Yol, Menfez ve İstinat Duvarı Yapım İşi'nde yapılan dolgu ve drenaj uygulamaları anlatılmıştır. Çalışma kapsamında bu bölgelerde yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak verilmiş, yapılan araştırmalar, sonuç ve öneriler ilgili bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu çalışmanın amacı; medeniyetlerin gelişmesinde en etkili göstergelerden biri olan karayollarının yapımında uygulanacak dolgu yapım tekniklerinin araştırılması, dolgu yapımı sırasında kaliteyi arttırmaya yönelik uygulamaların belirlenmesidir. Bir karayolu yapısının kalitesi, kullanılacak olan dolgu malzemesi niteliği ve işletme sırasında yolun yapısına zarar verecek unsurların yoldan uzaklaştırılması ile artırılabilir. Karayolu Drenajı yolun konfor ve kullanım ömrünün artmasında en önemli noktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; Karayollarında kullanılan dolgu malzemesinin taşınması gereken özellikler, dolgu yapım teknikleri ve dolgunun kalitesinin araştırılmasına yönelik yapılması gereken arazi ve laboratuvar çalışmalarının nasıl ve ne şekilde yürütüleceğinden bahsedilmiştir. Günümüzde uygulanan dolgu yapım teknikleri, uygulamadan örneklerle anlatılmıştır. Yapılan dolguların stabilitesinin uzun süre varlığını sürdürmesi amacıyla alınması gereken tedbirler üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; Karayollarında drenaj konusu tanımlanmış, drenaj tasarımının nasıl yapılacağı, karayollarında drenaja yönelik yapılacak yapıların özellikleri, suyun yüzeydeki konumuna göre drenaj yapılarının tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. Kent içi yollarda ve kent dışı yollarda uygulanan drenaj yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın dördüncü bölümünde; son yıllarda kullanımı oldukça yaygın hale gelen Geosentetik malzemeler anlatılmıştır. Geosentetiklerin çeşitleri, fonksiyonları anlatılmıştır. Yol yapımında geotekstil kullanımına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde; Kayseri il merkezinde Büyükşehir Belediyesince yaptırılan Mevcut Çevreyolu ile Kuzey Çevreyolu Arası Bağlantı yolu Yapım İşi ile yine Kayseri il merkezinde Büyükşehir Belediyesince yaptırılan Aydınlar Mevkii Yol, Menfez ve İstinat Duvarı Yapım İşi'nde yapılan dolgu ve drenaj uygulamaları anlatılmıştır. Her iki yolun dolgu ve drenaj yönünden taşıdığı özellikler anlatılmıştır.

### **1.3. Çalışmada Kullanılan Yöntem**

Çalışma sırasında ülkemizde karayollarının yapımı ve bakımından sorumlu kuruluşlar olan Karayolları Genel Müdürlüğü ve Belediyelerin ilgili birimlerden yol yapım çalışmalarına ilişkin uygulanan yöntemler hakkında bilgilerden faydalanılmıştır. Karayolu yapımı ve drenaj konusunu işleyen kaynaklar incelenerek teoride ve uygulamada dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir.

Karayolu yapımı sırasında uyulması gereken kuralları konu alan yerli ve yabancı yapım şartnameleri incelenmiş, zemin cinsleri ve buna bağlı olarak uygulanan dolgu yöntemleri araştırılmıştır. Drenaja yönelik yapılması gereken çalışmalar ve sonuçları belirlenmiştir.

Uygulamaya yönelik olarak yaptırılan iki yol çalışması ile ilgili yapım süreci takip edilmiş, kullanılan malzeme cinsleri, bu çalışmalarda uygulanan drenaj yöntemleri anlatılmıştır.



## 2. BÖLÜM

### KARAYOLU DOLGUSU

Ulaşım yapıları ile ilgili proje ve uygulama çalışmalarının önemli bir bölümü toprak işleri olarak tanımlanan dolgu ve yarma çalışmalarıdır. Bu işler kapsamında yer alan sanat yapıları ve drenaj çalışmaları da sitemin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu çalışmalara yönelik olarak, bir yol projesine kesin şeklini vermeden önce güzergâh ve güzergâhın iki yanındaki arazilerin temel zemini mutlaka kontrolden geçirilmelidir. Arazi ve laboratuvar deneyleri ile zemin özellikleri belirlenmeli ve zeminler sınıflandırılmalıdır. Aynı zamanda yeraltı sularının derinliklerini, varsa bu suların yeryüzüne çıktığı noktalar, drenaj ve suları akıtmaya yönelik arazi topografyasının iyi belirlenmesi gereklidir. Karayolu yapımı ile ilgili özellikler dikkate alındığında karşılaşılan zeminleri dört grupta toplayabiliriz.

- Mukavemetli Zemin: Eğer zemin çakıllı ve az killi veya tamamıyla kilsiz ise, alınacak tedbirler de azdır. Burada zemin geçirgen olduğu için su içeriğindeki değişimler bir tehlike oluşturmaz.
- Kumsal Zemin: Kum, mevcut konumunu uzun süredir koruyor ise yol bakımından sağlam zemin sayılır. Bu tip zeminler sulanıp silindirilerek yeter derecede sıkıştırılabilir.
- Killi ve Siltli Zemin: Killi zeminler yapısal olarak problemlili bir zemin grubu oluşturduğundan özel olarak bir incelenmeli, fiziksel ve mekanik özellikleri hakkındaki bilgiler derinleştirilmelidir.

Eğer kil kuru ( su yüzdesi plastiklik sınırının altında ) ise mukavemetli bir malzeme olarak kabul edilebilir. Bunun şartı da; yola üstünde su toplanmasına engel olacak bir profil verilmeli, kaplama hiç su sızdırmayacak şekilde yapılmalı ve yolun iki

tarafına doğru derin bir drenaj sağlanmasıdır. Bununla beraber kil kuruda olsa killi zemin üzerine öncelikle bir tabaka kum, ya da kumlu çakıl veya demir cürufu döküp üstünden silindir geçirerek doğal zeminin plastikliğini azaltmak ve bu suretle kilin kılcal olaylarla yukarıya çıkmasına mani olmak gerekir. Eğer kil yerinde plastik kıvamda ise drenaj yapmak gereklidir. Ayrıca doğal zeminin üst tabakasını kararlı bir hale getirmek için oraya kum ve çakıl gibi iri daneli malzeme serilmelidir.

Silt ise kilden daha az plastik olup ve bu sebepten yol temellerinde daha az tehlikelidir. Fakat siltli zeminin orta bir geçirgenliğe sahip olması suyun kılcal olarak yükselmesine yol açar. Siltler dondan en fazla zarar gören zemin grubudur. Gerekli önlemlerin alınmadığı durumlarda donma ve çözülme etkisi ile yolda bozukluklar meydana gelebilir.

- Bataklık ve Turbalık Zemin: Yollar hiçbir zaman çok çok az mukavemetli olan bataklık ve turbalık zeminler üzerine yapılmamalıdır. Mecbur kalındığı takdirde; bu tip zeminler çeşitli yöntemler kullanılarak iyileştirilmelidir.

## **2.1. Dolgu Tasarımı**

Bir mühendislik yapısında inşaata başlamadan önce kullanılacak malzemelerin ve özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Karayollarında da yapılacak bir dolgu tasarlanırken aşağıdaki konulara dikkat edilmesi gerekir [1].

### **2.1.1. Dolgu Malzemesi Seçimi**

Dolgu yapımında kullanılacak malzeme içerisinde aşağıda belirtilen özelliklerin olmaması istenir ve dolgu malzemesi Tablo 2.1 de belirtilen özellikleri sağlamalıdır.

- Bitkisel toprak
- Ağaç, çalı, kök benzeri organik maddeler
- Kömür, kömür tozu dahil içten yanması söz konusu olan malzeme
- Bataklık veya suya doymuş hale gelmiş marnlı zeminler
- Enkaz vb. artık maddeler

- İnsan ve çevre sağlığına zarar verecek oranda toksin madde içeren endüstriyel atıklar
- Karlı, buzlu ve donmuş topraklar, suyla kolayca ufalanarak oturmaları neden olacak malzeme
- Ağırlıkça %20 den fazla jips ve kaya tuzu gibi çözünebilen madde içeren külteler
- İleri derecede serpantinleşmiş, ayrıştığında kil davranışı gösteren kayalar

Tablo 2.1. Dolgu Malzemesi Özellikleri [1].

Deney	Şartname Limiti	Deney Standardı
Likit Limit (LL),%	$\leq 60$	TS 1900 AASHTO - T 89
Plastisite İndeksi (PI),%	$\leq 35$	TS 1900 AASHTO - T 90
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (Standart Proctor)	$\geq 1.450 \text{ t/m}^3 *$	TS 1900 AASHTO - T 99
* $PI \leq 6$ ve $CBR \geq 10$ olan doğal cüruf ve tüflerde bu şart aranmayacaktır. Dolgu yüksekliğinin 5 m. yi geçmesi halinde cüruf ve tüflerin kullanılabilmesi için "Araştırma raporu" gereklidir.		

Don etkisi olan bölgelerde üstyapı tabanı, projesinde belirtilen derinliğe kadar Tablo 2.2 de özellikleri verilen malzeme ile bu kısımda belirtilen yapım şartlarına uygun olarak inşa edilmelidir.

Dolguların üstyapı tabanını oluşturan kısmında, Esnek Üstyapılar için  $CBR < 8$  olan malzeme kullanılmamalı ve Tablo 2.3 te belirtilen özellikteki Koruyucu tabaka seçme malzemesi kalınlığı üstyapı projelendirme raporunda verilmelidir.

Tablo 2.2. Don'a Hassas Olmayan Taban Malzemesinin Özellikleri [1].

Deney	Şartname Limiti	Deney Standardı
0,075 mm elekten geçen %	$\leq 12$	TS 1900 AASHTO - T 11
Likit Limit (LL),%	$\leq 25$	TS 1900 AASHTO - T 89
Plastisite İndeksi (PI),%	$\leq 6$	TS 1900 AASHTO - T 90
Kaba Ag.da, Su Absorpsiyonu	$\leq 3$	TS 3525 ASTM C - 127

CBR şartname limitlerini sağlamak koşulu ile 0,075 mm.den geçen malzeme oranı < 20 ise LL ve PI şartname limitleri değerlendirilmemelidir. CBR şartname limitlerini sağlamak koşulu ile PI<10 ise 0,075 mm.den geçen malzeme oranı şartname limitleri değerlendirilmez.

Dolgu yapımına uygun olmayan malzemeler gerektiğinde kimyasal ve mekanik stabilizasyon işlemleri ile özellikleri iyileştirilerek ve/veya özel yapım teknikleri uygulanarak kontrollü olarak kullanılabilirler.

Su ve basınç altında dağılan ayrışma eğilimli kayaçlar (Marn, Kil taşı ve Şeyl vb.) mekanik olarak ayrıştırıldığında dolgu malzemesi özelliklerine uygun ise yüksekliği 5.00 metreye kadar olan dolgularda kullanılırlar. Bu tür malzemelerin üstyapı tabanında kullanılıp kullanılmamasına laboratuvar incelemesi yapıldıktan sonra karar verilir.

Tablo 2.3. Koruyucu Tabaka Seçme Malzeme Özellikleri [1].

Deney	Şartname Limiti	Deney Standardı
0,075 mm elekten geçen %	< 50	TS 1900 AASHTO - T 11
Likit Limit (LL),%	< 40	TS 1900 AASHTO - T 89
Plastisite İndeksi (PI),%	< 15	TS 1900 AASHTO - T 90
Yaş CBR Esnek Üstyapılar, %	> 10	TS 1900 AASHTO - T 193

Yaş CBR deneyi sonucunda %3 ve daha yüksek oranda “şişme” veren malzemelerin dolguda ve üstyapı tabanında kullanılması gerekiyor ise kullanım şartları; dolgu yüksekliği, üzerine gelecek tabakaların kalınlığı, yapım tekniği vb. konular incelenerek, bu durum Araştırma raporu düzenlenerek belirtilir [1].

### 2.1.2. Dolgu Taban Zemininin Hazırlanması

Dolguların yapılmasına başlamadan önce taban zemini, Karayolları Teknik Şartnamesi’nde “ağaç kesme kök sökmeye ve temizleme işlerin” de belirtildiği şekilde temizlenir ve bitkisel toprağı sıyrılmış zemin kesimi 20 cm derinlikte kabartılıp

sıkıştırılır. Kökler nedeniyle oluşacak çukurların 20 cm den daha derin olması halinde bu çukurlar uygun malzeme ile doldurulacak ve dolgu yapımından sonra çöküntülere neden olmayacak şekilde sıkıştırılmalıdır.

Dolgu yapımını kış aylarına rastladığı zamanlarda dolgunun oturacağı kesimde bulunan kar ve buz temizlenecek, zeminde donma söz konusu ise don etkisi ortadan kalkıncaya kadar dolgu yapımına başlanmamalıdır.

Dolgun inşa edileceği sahada zayıf zemin, bataklık kesimler varsa bu kesimler; uygun iyileştirme yöntemleri belirlenerek dolgu yapımına başlanmalıdır. Bu gibi zeminlerde makine parkı ve diğer araçlar için gerekli servis yolu kontrol mühendisince uygun görülen malzeme ile zayıf zemin, bataklık zeminin bir ucundan başlanıp artarda malzeme doldurularak inşa edilmelidir. Bataklık olmamak şartı ile dolgu yapılacak sahada toplanmış su varsa, dolgu yapılmadan önce bu suyun drene edilerek uzaklaştırılması şarttır.

Yapılan etütler sonucu dolgunun oturacağı zeminin dolguyu taşıyamamasının söz konusu olduğu durumlarda alınacak önlemler, kullanılacak dolgu malzemesi özellikleri ve bu zeminin taşıyabileceği maksimum dolgu yüksekliği vb. konular incelenerek Araştırma Raporunda belirtilir.

Yarma-Dolgu geçişlerinde; dolgu tabakalarının yarma yüzeylerine yaslandığı yerlerde dişler açılarak dolgu ve yarma kesitlerinin uyumlu olarak birleşmesi sağlanmalıdır.

Dolgunun mevcut bir yol üzerine yapılması halinde dolgu yüksekliği 50 cm.den az ise, yeni dolgu malzemesi ile mevcut tabakalar arasındaki kaynaşmayı sağlamak üzere yüzey 15 derinlikte sürülerek, kabartılmalı, tamamen parçalanacak dolgu malzemesi cinsine göre tabaka kalınlığı seçilerek tabakalar oluşturulmalıdır [1].

### **2.1.3. Dolgu Yapımında Uygulanacak Genel Kurallar**

Dolgular; sıkışma, oturma ve reglajdan sonra bütün noktalarda projede belirtilen plan, profil ve en kesite uygun olarak ve dolgunun tüm genişliği boyunca yüzey suyunun rahatça drenajını sağlayacak enine eğimde inşa edilirler.

Dolguların yapılmasında uygulanan çalışma metotları herhangi bir sanat yapısının hasar görmesine neden olmamalıdır. Sanat yapılarının üzerine gelecek dolgu yapımına bu yapıların inşasının tamamlanmasından itibaren, hava sıcaklığı 5 derecenin üzerinde olan gün sayısı 21 i geçmeden başlanılmaz. Ancak üzerine veya yanlarına dolgu gelecek sanat yapısı elemanlarına ait betonlarda yapının her bir elemanından sertleşme kontrol numuneleri alınır ve basınç dayanım değerlerinin, projesinde öngörülen karakteristik basınç dayanım değerini sağlaması koşulu ile yukarıda belirtilen 21 günlük süre dolmadan da dolgu işlemine başlanılabilir.

Sanat yapıları yaklaşım, üst, yan ve arka dolgularında kullanılacak malzeme; bitkisel toprak, organik madde ( Ağaç Kökü, çim vb.) , buz parçaları, %0,02 den fazla klorür ve % 0,3 den fazla sülfid içermemeli ve aşağıdaki Tablo 2.4 te belirtilen özellikleri sağlayacak şekilde seçilmelidir.

Üstyapı projelendirilmesinde; üstyapı tabanı yaş CBR değerinin yüksek olmasından dolayı alt temel verilmemiş ise dolguların son tabakasının üstten 20 cm.lik kısmı içerisinde 75 mm den daha büyük çapta tane içeren malzeme bulunmamalıdır.

Tablo 2.4. Sanat Yapıları Yaklaşım ve Yan dolgularında kullanılacak malzeme [1].

Özellikler	Şartname Limiti
Tane Boyutu ( max ), mm	75
0,075 mm elekten geçen malzeme, (max) %	15
Likit Limit Değeri, (max) %	30

Tamamlanmasından veya üstüne bir üstyapı tabakası gelmeden belirli bir süre kış şartlarına maruz kalan dolguların yüzeyleri sıkıştırılmış ve en az %5 enine eğim verilerek su akışını sağlayacak şekilde bırakılmalı, bu yüzeyler işin yeniden başlamasında en az 20 cm. kabartılarak tekrar sıkıştırılmalıdır.



Şekil 2.1. Köprü yan dolgusu ( İstifli Taş Dolgu ).

#### 2.1.4. Tabakaların Oluşturulması

Dolgular; Tablo 2.1 de özellikleri belirtilen malzeme ile yapılmalıdır. Dolguların üst yapı tabanını oluşturan en üst kısmı üst yapılarda yaş CBR % < 8 olan malzeme ile oluşturulmalıdır. Yaş CBR yüzdesi bu değerlerden düşük olan kesimlerde, üst yapı tabanı üst yapı projelendirme raporunda belirtilen kalınlıkta ve Tablo 2.3 de özellikleri belirtilen koruyucu tabaka seçme malzemesi ile imal edilmelidir.

Dolgu sahasına malzeme taşınması, sahada yeterli serici ve uygun sıkıştırma ekipmanları olduğu takdirde sürdürülebilir. Dolgu malzemesi dozer, greyder, skreyper veya uygun görülen bir makine ile yayılır.

Dolgu sahasına depolanan malzeme miktarı sıkıştırma için ön görülen kalınlıktan fazla olursa, malzeme yayma veya saha dışına taşıma yolu ile istenilen kalınlığa getirilir. Bitmiş tabakanın, her hangi bir noktası ile tabakanın proje kotu arasında  $\pm 40$  mm den fazla kot farkı olmaması sağlanır.

Yamaçlarda ve karışık (miks) kesitlerde dolgu yapımında dolgu şevi ile yamaç şevi arasında yatay mesafenin 2,5 m ve daha az bulunduğu kısımlarda, dolgu şevinden en az 2.5 m uzaklaşmayı temin edecek şekilde proje düşey hattına paralel 40–80 cm yüksekliğinde sıkıştırılmış kademeler teşkil edilmesi gerekir.

Yamaç şevi ile dolgu şevi arasındaki mesafenin 2,5 m den fazla olduğu yerlerde ise proje düşey hattın paralel 40 – 80 cm yüksekliğinde sıkıştırılmış kademeler teşkil edilir. Yamaç şevinin 5/1 ve daha yatık olduğu yerlerde bu kademelerin oluşturulmasına gerek olmayıp, dolgu tabakalarının eğimleri, yamaç ve dolgu şevleri arasındaki yatay mesafenin 2,5 m olduğu yerlerde yatay hale getirilecek şekilde tedricen azaltılır. Kademenin boyuna eğimi yol eğimi ile aynı olmalıdır.

## **2.2. Zeminlerin Kompaksiyonu (Sıkıştırılması)**

Zemin kompaksiyonu, zemini, genel olarak, mekanik vasıtalarla zorlayarak boşluklardaki kaya hacminin azaltılması suretiyle danelerin birbirlerine daha yakın olarak kümelenmesini sağlama işlemidir. Bir başka ifadeyle zeminin tabaka tabaka serilerek, silindirme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına denir.

Bu işlemlerle zemin taneleri daha az boşluklu yerleşerek, zeminin boşluk oranı azaltılır. Zemin taneleri ve taneler arasındaki su pratik olarak sıkışmazdır. Sıkışma kısa sürede (ani) olur. Yol, havaalanı, toprak baraj, dolgu inşaatlarında, zemin belli bir kalınlıkta (birkaç desimetre) serilerek, belli bir su muhtevasında, uygun bir sıkıştırma aracı ve birkaç geçiş ile sıkıştırılır.

Son yıllarda bu konuda oldukça büyük ilerlemeler yapılmış ve böylece, arazide zeminleri sıkıştırmak için kullanılan makinelerle daha iyi neticeler elde edilmesi sağlanmıştır.

Zemin, kontrol edilmiş şartlar altında kompaksiyona tabi tutularak içindeki boşlukları hemen hemen ortadan kaldırılır ve sonraları meydana gelebilecek su muhtevası değişimine karşı az müsait bir duruma getirilir. İyi sıkıştırılmış bir dolguda, dolgu zeminin oturması ihmal edilebilecek mertebededir. Bununla beraber dolgunun üzerine oturduğu zeminlerde konsolidasyon oturması meydana gelebilir. Bu bakımdan bir dolgu, iyi bir şekilde sıkıştırıldığı zaman, eskiden olduğu gibi konsolidasyon oturması beklenmeden, üstyapı yapımı, toprak işi biter bitmez hemen başlayabilir. İyi sıkıştırılmış kompaksiyona tabi tutulmuş temeller ve alt yapılarda yüksek mukavemete ve deformasyonlara karşı dirence sahip olurlar. Bütün dolgular; oturduğu zemin



yüzeyinden itibaren yatay tabakalar halinde sıkıştırılarak yapılmalıdır. Sıkıştırma; yolun eksenine paralel olarak yapılacak düşük kotlu kenardan başlayarak eksene doğru kayarak yapılır. Yatay kurplarda kurbun içinden başlanmalı ve dışına doğru devam edilmelidir.

Kullanılan sıkıştırma makinesinin tip ve kapasitesine göre belirtilen kalınlıklarda serilen malzemenin sıkıştırma tekniği (silindirin hızı, geçiş sayısı vb.) deneme kesimi yapılarak tespit edilir. Kullanılacak sıkıştırıcı silindir adedi yapılan işin kapasitesine uygun olarak kontrol mühendisince saptanır.

Bindirmeler bandaj genişliğinin %10' undan az olmamalıdır. Şeritlerin tümünde ilk geçiş tamamlanmadan ikinci geçiş yapılmamalıdır.

Aşağıdaki bölümlerde belirtilen sıkıştırıcı kapasitelerinden daha düşük kapasiteli silindirlerin kullanılması, ancak zorunlu hallerde geçici süreler için, kontrol mühendisinin onayı ile mümkün olur.

Kompaksiyonla sağlanan yararlar:

- Zeminin taşıma gücü artırılır
- Zeminin geçirimsizliği azaltılır, zemine daha kararlı bir yapı kazandırılır. Böylece zeminin su alarak hacim değişikliklerine uğraması azaltılır.
- Zeminin sabit, hareketli, dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır [2].

### **2.2.1. Zemin Cinsine Göre Sıkıştırma Yöntemleri**

Zeminlerin sıkıştırılmasında zemin cinsi önemlidir. Zemin dane çapı deneylerle tespit edildikten sonra aşağıda belirtildiği şekilde zeminler sıkıştırılır.

#### **2.2.1.1. Kohezyonlu Malzemelerin Sıkıştırılması**

Kohezyon kuvvetinin hakim olduğu zemin türü kohezyonlu zemin olarak adlandırılır. Bu tip zeminler kil ve siltten oluşan ince daneli zeminlerdir.

### 2.2.1.1.1. Kil Ve Killi Malzemeler

AASHTO toprak sınıflandırma sistemine göre A-6 ve A-7 sınıfı killi malzemeler aşağıda belirtildiği şekilde sıkıştırılır. Sıkıştırma işleminde Tablo 2.5 de verilen sıkıştırma kriterleri esas alınır.

Bu malzemeler dolgu sahasına tercihen skreyperlerle taşınıp serilmeli, nakliye damperli kamyonlarla yapıldığında, malzemenin yayılmasında greyder, dozer veya kontrol mühendisi tarafından uygun görülen bir makine kullanılmalıdır.

Malzeme 20-25 cm kalınlığında tabakalar halinde; küt ayak, keçi ayağı, vibrasyonlu keçi ayağı, vibrasyonlu küt ayak ve lastik basıncı ayarlanabilen lastik tekerlekli silindirlerle sıkıştırılır. Sıkıştırma sırasında plastisite indeksi  $PI > 20$  olan malzemenin su içeriği, standart proktor metodu ile bulunan uygun değer su içeriği  $W_{opt} - (W_{opt} + 2)$  değerleri arasında,  $PI < 20$  olan malzemelerin su içeriği ise  $W_{opt} - (W_{opt} - 2)$  değerleri arasında olacak şekilde ayarlanmalıdır.

CBR şişme potansiyeli  $> \%3$  olan malzemelerde optimum su içeriğinin altındaki toleranslar kullanılmaz. Verilen su içeriği toleranslarının aralığı gerektiğinde araştırma raporu ile veya kontrol mühendisi tarafından değiştirilebilir.



Şekil 2.2 Keçi Ayaklı Silindir.

Sıkıştırma keçi ayağı silindir kullanılması halinde, ayakların yüksekliği 15 cm den az olmamalı, ayak kesiti 25–75 cm<sup>2</sup> arasında olacak ve ayaklara düşen basınç 14 kg/cm<sup>2</sup> den az olmamalıdır. Silindirin her bir ayağındaki yük bandaja düşen toplam yükün, bandaj eksenine paralel bulunan bir sıradaki en çok ayak sayısına bölünmesiyle bulunur.

Çekilir tip silindirler dolgu malzemesi üzerinde 5 km/saat civarında hızla hareket ettirebilecek güce sahip bir çekici ile çekilerek sıkıştırma işlemi yapılmalıdır.

Küt ayak ve Vibrasyonlu Küt ayak silindirlerin kullanılması halinde, ayak yüksekliği 10 cm den bandaj ağırlığı 6 tondan az olmamalıdır. Lastik tekerlekli sıkıştırıcılarda, her bir lastik başına düşen yük 3,5 tondan az olmamalı ve bu yük sıkıştırıcı ağırlığının tekerlek sayısına bölünmesi ile bulunmalıdır [1].

#### **2.2.1.1.2. Silt ve Siltli Malzemeler**

AASHTO toprak sınıflandırma sistemine göre A–4 ve A–5 sınıfı siltli malzemeler, silt ve siltli malzemeler sınıfına girer. Sıkıştırma işleminde Tablo 2.5 verilen sıkıştırma kriterleri esas alınacaktır.

Sıkıştırma sırasında siltli toprakların su içeriği, standart proctor metodu ile bulunan optimum su içeriği ( $W_{opt}+2$  ile  $W_{opt}-1$ ) değerleri arasında kalmalıdır. Malzeme 20–30 cm kalınlığında, tabakalar halinde, statik çizgisel yükü 30 kg/cm den az olmayan vibrasyonlu düz bandajlı silindirlerle sıkıştırılmalıdır.



Şekil 2.3. Vibrasyonlu, Düz Bandajlı silindir.

Dolgularda kullanılacak uçucu kül malzemelerine de siltlere uygulanan sıkıştırma tekniği uygulanır. Siltli topraklarda kil oranı arttığında, killi topraklarda uygulanan sıkıştırma tekniği kullanılabilir.

### **2.2.1.2. Granüller Malzemelerin Sıkıştırılması**

Granüller malzemeler, AASHTO toprak sınıflandırma sistemine göre A-1,A-2 ve A-3 sınıfı malzemelerdir. Bu sınıftaki malzemeler aşağıda belirtilen gibi ve Tablo 2.5 te verilen sıkıştırma kriterlerine uygun olarak sıkıştırılırlar.

Sıkıştırma sırasında, malzemenin su içeriği, standart proctor metodu ile bulunan optimum su içeriği  $W_{opt} \pm 2$  değerleri arasında kalmalıdır. Sıkıştırma işlemi statik çizgisel yükü 30 kg/cm den az olmayan vibrasyonlu düz bandajlı silindirlerle 20–30 cm kalınlığında tabakalar halinde yapılır. Silindir kapasitesinin artması durumunda tabaka kalınlığı 30–40 cm ye yükseltilebilir [1].

### **2.2.1.3. Kaya Dolguların Sıkıştırılması**

İçerisinde ağırlık olarak %50 den fazla miktarda 75 mm den büyük tane içeren malzemeler kaya dolgu olarak inşa edilirler.

Kaya malzemesi ile teşkil edilen veya üstyapı tabanı kaya malzemesi ile oluşturulan dolgularda düzgün bir yüzey elde edilememesi ve bu durum idare tarafından tespit edilmesi halinde ince tesviye tabakası olarak üstyapı projelendirme raporunda belirtilen kalınlıkta, fiziksel özellikleri alt temel malzemesi niteliklerine uygun malzeme getirilerek serilmeli, sulanıp sıkıştırılmalı ve düzeltme tabakası oluşturulmalıdır. Bu malzeme daha önceden belirlenmiş ocaklardan veya uygun bulunan kazı malzemesinden alınabilir.

Kaya dolgularda kullanılan malzemeler sağlam ve dayanıklı tanelerden oluşmalıdır. Su ve basınç altında dağılabilen kil taşı, marn, silt taşı, filiş vb. kayalarda Los Angeles aşınma kaybı %50 den fazla ise bu malzemeler ayrışma eğilimli kaya olarak değerlendirilmeli ve ileride oturmalar yaratmayacak şekilde dolgu malzemesi olarak kullanılmalıdır.



Şekil 2.4. Kaya Dolgu Yapılması.

Zayıf taneler serme ve sıkıştırma sırasında mekanik olarak parçalanarak toprak dolgu gibi maksimum 30 cm kalınlığında sıkışmış tabakalar elde edecek şekilde serilmelidir. Ayrışma eğilimli kayalar içinde boyutu 200 mm den daha büyük sağlam parçalar varsa maksimum tane boyutu 200 mm.ye küçültülerek 30 cm kalınlığında tabakalar halinde inşa edilecektir.

Kaya dolgularda maksimum tane boyutu 500 mm olacaktır. Kazı malzemesi içerisinde iri kayalar varsa dolgu tabakasına getirilmeden önce parçalanarak gerekli boyutlara indirilecektir. Bu dolgularda tabaka kalınlığı 750 mm. yi geçmemek üzere malzemenin en büyük tane boyutunun en fazla 1,5 katı olacak şekilde serilecektir.

Aynı dolgu kesitinde hem toprak hem kaya dolgu malzemesi kullanılması zorunlu ise kaya dolgu malzemesi dolgunun ilk tabakalarının, toprak dolgu malzemesi ise daha üst tabakalarının teşkilinde kullanılır.

Kaya dolgular, paletli dozerler kullanılarak serilebilir. Kaya dolgu malzemesi, yayılarak serilmeli ve boşluk oluşmaması için, iri kaya parçalarının arası ince kaya parçaları ile doldurulacak şekilde yerleştirme yapılmalıdır. Sıkıştırma için ihtiyaç duyulursa malzemeye su ilave edilmeli veya ince kısmın rutubeti fazla ise gerekli kurutma işlemi

yapılmalıdır. Sıkıştırma işleminde yeterli kapasitede vibrasyonlu düz bandajlı silindirler kullanılmalıdır.

Her tabakanın sıkıştırılması tamamlandıktan sonra yüzeyde oluşan boşluklar, kaya dolgu malzemesinin ince kısımları kullanılarak doldurulur.

Kaya dolgu yapımına başlandığında inşa edilen yolun 1000 m<sup>2</sup> lik bir kesiminde yeterli sıkıştırma için gerekli olan, silindir hızı ve geçiş sayısı ile tabaka kalınlığı belirlemek amacıyla deneme kesimi yapılır.

Deneme kesiminde belirlenen sıkıştırma tekniği mühendisin onayından sonra malzemenin cinsi ve gradasyonu değişmediği sürece aynen uygulanır. Dolguda kullanılacak her yeni malzeme için silindiraj tekniği ayrıca belirlenmelidir.

Kaya dolgularda sıkışma kontrolü, dolgu yapımında kullanılan malzemenin tabaka tabaka dökülüp, her bir tabakanın sıkıştırması sırasında, 15 ton statik ağırlığındaki silindirin son 2 geçişindeki toplam oturma miktarı 6 mm den az ise yeterli sıkışmanın elde edilmiş olduğu kabul edilir.

Sıkışmaya esas olacak kot okumaları yüzey boşluklarının doldurulmasından sonra ve en kesitte en az her beş metrede boy kesitte ise en az 20 mt. de bir alınır. Uygun görülen durumlarda kot okumaları daha sık aralıklarla da yapılabilir [1].

### **2.2.2. Vibro Kompaksiyon**

Vibro Kompaksiyon aynı zamanda Vibroflotasyon olarak da isimlendirilmektedir. Gevşek granüllü zeminlerin sıkıştırılması ile gerçekleşen işlemde 58 metreye (dünya rekoru) kadar sıkıştırma yapılabilmektedir. Bu zemin sıkıştırma yöntemi Hong Kong'da Chek Lap Kok Havaalanı için çok geniş bir alanın iyileştirilmesinde kullanıldıktan sonra popülerlik kazanmıştır. Diğer yöntemlere göre daha ekonomik ve yapım süresi daha kısadır. Vibro kompaksiyon özellikle deprem bölgelerindeki zemin akışkanlıkları dikkate alındığında derin temellere göre ekonomik bir alternatiftir.

Vibro Kompaksiyon derin granüllü zeminleri vibratörlü sondajlar ile sıkıştırma yöntemidir. Bu sıkıştırma yöntemi ile zemin gücü artırılır. Yerleşim alanı, zemin

makaslama gücü, zeminin akmaya karşı dayanımı artırılır. Vibro kompaksiyon gevşek granüllü zeminin vibrasyonlu sondajların belli bir sıra ve düzende yapılması ile sıkışık bir formasyona getirilmesini sağlar. Sondaj kalıplarının zemin ile penetrasyonu sondanın ucunda zemine uygulanan water-jetting ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.5. Vibro kompaksiyon.

Vibro kompaksiyon sığ temeller için güçlendirilen zeminlerde yüksek kapasitede dayanım sağlamaktadır. Eğimli yüzeye sahip ve de sismik yer hareketleri sonucu akışkanlık potansiyeli olan zeminlerin akışkanlıklarını önlemek ve güçlendirmek için etkili bir çözüm sunar.

Vibro Kompaksiyonun Avantajları; diğer zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla çok daha ekonomik ve kısa sürede uygulanabilme kolaylığı ile de yapım planında zaman kazanılmasını sağlamaktadır. Zemin daha iyi bir malzeme ile yer değiştirmeden veya nakil yolu ile uzaklaştırılmadan sıkıştırılarak iyileştirilmektedir. Etrafta mevcut yapılar varken de bu yöntem güvenle uygulanabilir.

Vibro kompaksiyon yönteminde dinamik kompaksiyon gibi şok dalgalar ile zemin sıkıştırma yapılmadığı için etraftaki mevcut yapılara zarar vermez. Kompaksiyon noktaları eşit aralıklı üçgen gridler şeklinde 2.5 m'den 4.5 m'ye kadar mesafelerde olur.

Bu mesafeler projelendirmede özel olarak detaylandırılmaktadır. Zeminin ne kadar güçlendirildiği testler ile ölçülebilmektedir.

Vibro Kompaksiyonun Dezavantajı; Vibro Kompaksiyon ile zemin en çok %12 ila %15 kadar sıkıştırılabilir. Vibro kompaksiyonun etkili olabilmesi için minimum dikey stresin olması gerekmektedir. Yüzeyde bu etki engellenemediği için zemin yüzeyinin silindir ile sıkıştırılması gerekmektedir.

### 2.2.3. Arazide Kompaksiyon

Sıkıştırma için belirlenen veya hazırlanan zemin, kullanılacak sıkıştırma aracına vb. bağlı olarak belli bir kalınlıkta (birkaç desimetre vb.) serilir. Zeminin su muhtevası laboratuarda belirlenen optimum su muhtevasına getirilir. Bunun için zemine bir miktar su katılır veya zemin bir sıkıştırma aracıyla uygun sayıda geçişlerle sıkıştırma yapılır. Arazide yapılan kompaksiyon rölatif (İzafi) kompaksiyonla kontrol edilir. Rölatif kompaksiyon,  $R_c$  aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\text{Rölatif Kompaksiyon} = \frac{\gamma_{k(arazi)}}{\gamma_{kmaks(lab)}} \times 100 \quad (2.1.)$$

İşin özelliğine göre uygulamada seçilerek ( %90-100 ) kontrol edilir. Arazide kompaksiyon, başkaca Proctor iğnesi ile de kontrol edilebilir. Bu aletin ucuna değişik uç alanlı uçlar takılabilir ve zemine batırmak için uygulanan yük, bir yay vasıtasıyla ölçülür.



Şekil 2.6. Demir Bandajlı Silindir.



Sıkıştırma araçları başlıca 3 tip olabilir;

Silindirler;

Düz, Keçi ayaklı, Lastik Tekerlekli vb.

Vibratörler;

Silindir, Plaka, Kiriş vb.

Tokmaklar;

Sıçrayan kurbağa, tokmaklar vb.



Şekil 2.7. Vibratör.

#### 2.2.4. Dolgularda Sıkışma Kriterleri

Kaya dolgular dışında kalan tüm dolgular su içeriği ve birim ağırlık kontrolü yapılarak inşa edilirler. Dolgularda istenilen minimum sıkışma kriteri Tablo 2.5 te verilmiştir.

Tablo 2.5. Dolgularda Sıkışma Kriterleri [1].

	<b>Minimum Sıkışma (%)</b>	<b>Deney Standardı</b>
Tesviye Yüzeyi Altındaki ilk 80 cm	100	Standard Proctor TS 1900 AASHTO T-99
80 cm altındaki dolgu tabakaları	95	Standard Proctor TS 1900 AASHTO T-100

Dolguların sıkışma kontrolünde kullanılacak olan arazi kuru birim ağırlığı tayin metodu dolgunun kontrol edilen kısmında kullanılan malzemenin içerdiği maksimum tane boyutuna göre Tablo 2.6 dan seçilir. Dolguların her tabakasının sıkışma değerleri saptanmalıdır. 75 mm den daha büyük taneler içeren malzemelerle yapılan dolgularda sıkıştırma kontrolü için geçerli bir metot olmamakla beraber sıkıştırılan tabakanın 75 mm den daha küçük tane içerdiği düşünülen kesimlerinde kasnak, kum konisi metodu ile sıkışma yapılabilir. 19 mm den daha büyük tane içeren malzemelerle yapılan dolgularda sıkışma kontrolünde AASHTO T-224 düzeltme metodu uygulanır.

Tablo 2.6. Arazide Kuru Birim Ağırlık Tayin Metotları [1].

Deney Adı		Malzemenin Maksimum Tane Boyutu		Deney Standardı
		inç	Mm	
Kum Konisi Metodu	6" çapında	2	50	AASHTO T-191
	12" çapında	3	75	AASHTO T-191
Kasnak Metodu	10" çapında	2 <sup>1/2</sup>	37.5	AASHTO T-181
	12" çapında	3	75	AASHTO T-181
Nükleer Metod		1 <sup>1/2</sup>	37.5	AASHTO T-238, T239

### 2.3. Kalite Kontrol Deneyleri

Yapım sırasında kullanılan malzemeyi ve oluşturulan tabakaları kontrol etmek amacıyla belirli aralıklarla yapılması gereken deneyler vardır. Kalite kontrol deneyleri en az tablo 2.7 de verilen sayıda olmak koşuluyla uygun görülen ara ve sıklıkta yapılmalıdır.

Deneyler laboratuarda yapılabileceği gibi arazide de yapılabilir. Deney yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus deneyde kullanılacak olan malzemenin alındığı yerdeki doğal özelliklerini yitirmeden deney tabii tutulabilmesidir. Deney sayısı ne kadar fazla olursa malzeme davranışı da o ölçüde daha yakın tespit edilebilir.

Tablo 2.7. Kalite Kontrol Deneyleri [1].

Deney	Minimum Deney Sayısı
Likit Limit - Plastik Limit TS1900, AASHTO T-89-90	Her 1000 m <sup>3</sup> de ve her farklı dolgu malzemesinde bir deney
Doğal Su İçeriği TS - 1900	Her 1000 m <sup>3</sup> de ve her farklı dolgu malzemesinde bir deney
Kuru birim Ağırlık - Su içeriği ilişkisi TS 1900, AASHTO T-193	Her farklı malzeme sınıfı için bir deney
Yaş CBR %, TS 1900, AASHTO T-193	Her farklı malzeme sınıfı için bir deney
Kum Konisi Metodu, AASHTO T-191	Her Tabakada 1000 m <sup>2</sup> de bir deney
Kasnak Metodu, AASHTO T-181	Her Tabakada 1000 m <sup>2</sup> de bir deney
Nükleer Metod,* AASHTO T-238, 239	Her Tabakada 250 m <sup>2</sup> de bir deney
* İşin başlangıcında en az 10 farklı noktada nükleer metod ile yapılan sıkışma deney sonuçları ile kum konisi veya kasnak metotları ile yapılan sıkışma deney sonuçlarının kolerasyonu yapılacaktır. Sıkışma kontrolünün nükleer metod ile yapılması durumunda, ayrıca her 2500 m <sup>2</sup> de bir, diğer metotlardan birisi ile sıkışma kontrolü yapılacaktır.	

### 2.3.1. Elek Analizi ve Sınıflandırma

Bu deney, agregaların granülometrik bileşimini veya diğer bir deyişle, agregaların dane dağılımlarını belirlemek amacıyla yapılır. Elek analizinde kullanılan elekler belirli boyutlarda, dairesel delikli veya kare şeklinde gözleri bulunan metal gereçlerdir.

Elek analizinde kullanılan elekler, pirinç veya paslanmaz çelikten üretilen, 200–300 mm çaplı ASTM, BS, TS veya EN standartlarında olan, belirli boyutlarda dairesel veya kare şeklinde gözleri bulunan gereçlerdir. Türk Standartlarına göre TS 1226 ve kare gözlü elekler en çok tercih edilenidir. Aslında dairesel delikli elekler daha gerçekçi sonuçlar vermektedir, ancak yapım kolaylığı açısından kare gözlü eleklerin kullanımı daha çok yaygınlaşmıştır. Ayrıca, eski TS'lerde dairesel delikli elekler kullanılırken, yeni TS'lerde kare delikli elek dizisinin kullanımı ön görülmüştür.

Bu deney ince agregada en az 1 kg, iri agregada ise 3 kg numune üzerinde yapılmaktadır. Bu hususta az miktarda alınan agregada örneklerinin, büyük agregada yığınlarını temsil etmesine dikkat etmek gerekir. Mesela agregada yığınlarının en alt ve en üst kısımlarından numune alınamaz. Numune alınırken, agregada yığını yaklaşık eşit

yükseklikli 3 bölüme ayrılır. Orta bölümdeki agreganın üst kısmı 5-10 cm atılarak, tercihen bir boru ile sondalanarak temiz bir torbaya alınır. Aynı işlem agreganın muhtelif yerlerinde tekrarlanır. Alınan örnekler, temiz bir yüzeye silindir şeklinde toplanır. Dört eşit dilime ayrılır, dilimlerin karşılıklı ikisi atılır. Geri kalan malzeme karıştırılıp, tekrar silindir haline getirilir. Yine dört eşit dilime ayrılıp karşılıklı ikisi atılır. “Çeyrekleme” adı verilen bu işleme, laboratuvar için gerekli agrega miktarı kalıncaya kadar devam edilir. Bu şekilde alınan en son numune, geçirimsiz olarak, temiz bir torbada laboratuvara getirilir. Agregalarla ilgili diğer deneylerde de bu şekilde bir örnek alma yöntemi uygulanmaktadır.

Örneğin alınmasından sonra eleme işlemine geçilir. Laboratuvara getirilen örnek değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde 24 saat boyunca fırın kurusu haline gelinceye kadar bekletilir. Daha sonra büyük delikliden küçük delikliye doğru sıralanmış ( 32-16-8-4-2-1-0.5-0.25 ) bir elek dizisinin üzerine konur ve sarsılarak elenir. Eleme işlemi genel olarak elde sarsma şeklinde veya özel elek sarsma makinelerinde yani “shaker” ile yapılmaktadır. Shakerler 200 ve 300 mm çaplı elekleri sallayabilen, zaman ve sallama şiddetini ayarlayabilmemize olanak sağlayan makinelerdir. Bu eleme işlemi ile üst elekten geçenler, sonraki daha küçük delikli elek üstünde toplanır ve bu elekten elenir. En küçük boyutlu eleğe kadar bu işleme devam edilir. Bu elekten geçenlerde bir tavada toplanır. Eleme işlemi sonucunda her elek ve en son elekten geçen malzeme miktarı 0.1 gram duyarlılıktaki terazide hiçbir numune kaybı olmadan titiz bir şekilde tartılır. Ayrıca, en alt tavada kalan malzeme de özenle tartılarak deney föyüne işlenir. Tablo 2.8 de örnek bir deney föyü verilmiştir.

Herhangi bir agreganın dane dağılımı, en iyi şekilde ‘granülometri eğrileri’ ile gösterilebilir. Granülometri eğrileri, logaritmik yatay eksenle dane çapı (elek açıklığı) , düşey eksenle ağırlıkça % geçen değerlerine göre çizilir [3]. Agregaların granülometrik bileşimleri deneylerle saptanıp belirli sınırlar içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir. Agregada danelerinin adlandırılması elek analizi deneyi sonuçlarına göre yapılmaktadır. Bunlar ise :

70 mm	- 31.5 mm	Balast
31.5 mm	- 4 mm	İri Agregada
4 mm	- 60 mikron	İnce Agregada

60 mikron - 2 mikron	Silt
2 mikron ve altı	Kil

Tablo 2.8. Elek Analizi Deneyine Ait Föy Örneği.

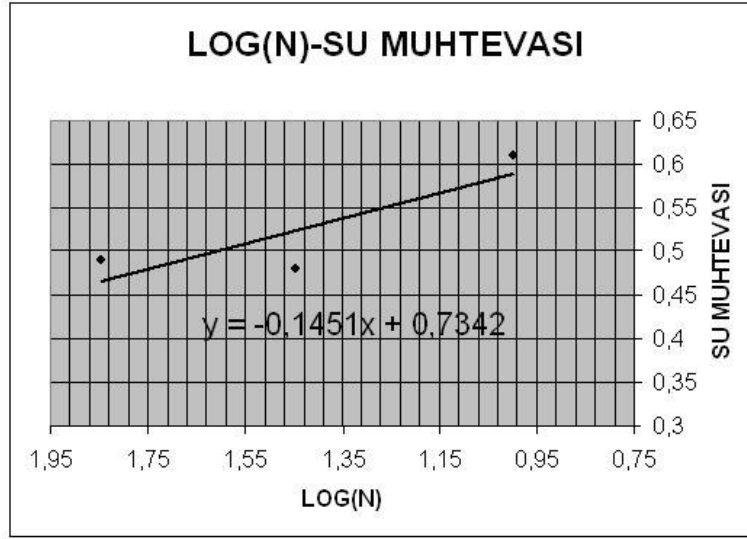
Numune Cinsi: 7- 15 Kırmataş		Miktar: 3004.6 gr	
Elek No	Elek Üstünde Kalan Gr.	Elekten Geçen	
		Gr.	%
32	0	3004.6	100
16	0	3004.6	100
8	1715,1	1289,5	42,92
4	1272	17,5	0,58
2	10,5	7,00	0,23
1	0,2	6,8	0,22
0,5	0,1	6,7	0,22
0,25	0,2	6,5	0,21
TAVA	6,5		

### 2.3.2. Kıvam Limitleri

Kıvam limitleri olarak bilinen Atterberg limitleri; zeminin tanecikleri ile su arasındaki ilişkileri ve değişen su içeriklerine göre zeminin durumunun tanımlanmasını yaparlar.

Zemine fazla su verilirse zemin likit (sıvı) hale gelmektedir. Bu durumda zemin akıcıdır ve kesme direnci yoktur. Kurumaya bırakılırsa belirli bir kesme direnci kazanır. Bu geçiş durumundaki su içeriğine Likit Limit denir (WL ile gösterilir) Eğer su kaybı daha fazla olursa zemin yavaş yavaş plastik özelliğini kaybeder ve düz bir satıhta yuvarlanırsa ufalanır Bu durumdaki su içeriğine plastik limit denir.(WL ile gösterilir) Daha da su kaybetmesi halinde artık hacim küçülmesi olmayacaktır. Bu haldeki su içeriğine ise büzülme veya rötre limit denir (RL ile gösterilir).

Likit limit zeminin sıvı halden plastik hale, plastik limit zeminin plastik halden yarı katı hale, büzülme limiti ise yan katı halden katı hale geçtiği sınır değerlerdir



Şekil 2.8. Zeminlerde Su Muhtevası - Hacim Değişimi Davranışı ve Kıvam Limitlerinin Tanımlanması.

### 2.3.2.1. Likit Limit Deneyi

Likit limit ve plastik limit için kullanılacak malzemenin seçiminde özen göstermek ve değişen plastisite deki zemin tabakalarını karıştırmak gerekir. Doğal su içeriğinde olan ve 200 No.lu elek altı malzeme kullanılmalıdır (özellikle temel zemini numuneleri için) 200 No.lu elek altına geçen malzeme iyice karıştırılarak 100 gr alınır. Bu malzeme üzerine damıtık su eklenerek macun kıvamına gelene dek derin bir kap içinde spatula ile karıştırılır. Hazırlanan bu macun kıvamındaki zeminden Casagrande aletinin vuruş kabına konur, spatula ile kap içine sıvanır.

Oluk açma bıçağı kullanılarak zemin belirgin bir biçimde iki eşit kısma bölünür. Saniyede iki dönme yapacak hızda yatay kol döndürülerek zeminin iki parçasının oluk tabanında 13 mm birleşmesini sağlayacak düşüş sayısı saptanır. Oluk tabanındaki kapanma, zeminin kayması biçiminde değil, zeminin akarak kapanması ile olmalıdır.

Su içeriği belirlenmesi için kapanan bölgeden numune alınır. Vuruş kabında kalan malzeme karıştırma kabına alınır ve su içeriği değiştirilerek yeni bir darbe sayısı saptanır. Bu işlemlere, 10–40 arasında en az 4 darbe sayısı saptanıncaya kadar devam edilir. Saptanan her darbe sayısı için su muhtevası hesaplanır. Bu elde edilen darbe sayısı ve buna karşılık gelen su muhtevası değerlerinden akış eğrisi

elde edilir. Akış eğrisinde darbe sayısını logaritmik olarak apsiste, su muhtevası aritmetik olarak ordinatta gösterilir. Akış eğrisinde 25 darbeye karşı gelen su muhtevası değeri o zeminin "likit limit" değeridir.

### **2.3.2.3. Plastik Limit Deneyi**

Likit limit için hazırlanan numuneden bir miktar alınır. Alınan bu malzeme kaba konur ve parmaklar ile yoğrulduğunda yapışmayacak şekilde ancak kolayca yuvarlanabilecek bir kütle elde edilmesini sağlayacak ölçüde arı su ile karıştırılır. Bu kıvamdaki malzemeye el ile elipsoidal bir biçim verilir ve düz bir plaka üzerine konarak el ayası ile yuvarlanır. Bu işlemi yaparken 3 mm çapında çubuklar elde edebilmek için yeterince bastırılır. Çubukların çapı 3 mm olduğu anda yüzeyde çatlama olmazsa, malzeme toplanır ve tekrar topak haline getirilerek yoğrulur

Bu yoğurma işlemine 3 mm çapındaki çubuk çatlayıp birkaç parçaya bölününceye kadar devam edilir. Bu ufalanan çubuğun parçalarının su muhtevası belirlemesi yapılır. Bulunan bu su muhtevası ortalamaları zeminin plastik limit değerini verir.

### **2.3.2.3. Büzülme (Rötre) Limit Tayini**

Likit limit deneyine benzer biçimde hazırlanan malzemedan 30 gr alınır. Geniş bir kaba konarak damıtık su katılır. Katılan bu su miktarı zeminin likit limit ya da bunun biraz üstündeki su içeriği değerindedir. Rötre kabının iç yüzeyi vazelin ya da kalın bir yağ kullanılarak ince bir tabaka ile yapışmayı önlemek için yağlanır. Rötre kabının yaklaşık üçte biri oranında malzeme alınarak, rötre kabının ortasına konur ve kap sert bir yüzeye vurularak malzemenin kabın kenarlarına yayılması sağlanır. Kabın tamamen dolması için numune eklenerek diğer iki tabaka içinde aynı işlemler yapılır. Malzemenin kabın üzerinden taşmasına olanak sağlanır. Fazla malzeme, rötre kabının üst yüzeyi çelik bir cetvel ile düzgün bir biçimde sıyrılarak alınır. Rötre kabı içindeki malzeme ile birlikte tartılır ve " kap+yaş numune" ağırlığı olarak yazılır. Bu ağırlıktan rötre kap ağırlığı çıkartılarak yaş numune ağırlığı (Wy) bulunur. Kaptaki numune rengi açılıncaya kadar açık havada kurutulur sonra etüve konur. Etüvden çıkartılan numune tartılır, kap+ kuru numune ağırlığı olarak yazılır. Rötre kabı ağırlığı çıkartılarak kuru numune ağırlığı (Wk) bulunur.

Rötre kabının hacmini tayin için, rötre kabı geniş bir kabın içine konur ve rötre kabının üzerine kenarlarından taşıncaya kadar civa doldurulur. Cam plaka rötre kabı üzerine bastırılarak fazla civa taşırılır, cam plaka kaldırılır. Rötre kabı civa ile birlikte tartılır. Bu ağırlıktan rötre kabı ağırlığı çıkartılır. Bulunan civa ağırlığı civa yoğunluğuna bölünerek ( $13,53 \text{ gr/cm}^3$ ) rötre kabının; diğer bir deyişle yaş numunenin hacmi bulunur.

Geniş bir porselen kap içine yerleştirilen cam kap içine taşıncaya dek civa doldurulur. Üç iğneli plaka cam kabın üst yüzeyine bastırılarak fazla civa taşırılır. Kuru numune rötre kabından alınarak civa dolu cam kap içine batırılır. Bu batırma işlemi üç iğneli cam plakayı numune üzerine bastırarak gerçekleştirilir. Temiz kap içine, cam kaptan taşan (numunenin hacmi kadar yer değiştiren) civa ağırlığı bulunur. Bu civa ağırlığı civa yoğunluğuna bölünerek taşan civa hacmi, diğer bir deyişle kuru numune hacmi (Vk) bulunur.

Sonuç olarak, Atterberg Limitlerinin bir zemin laboratuvarında önemi büyüktür. Özellikle zeminin özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Örneğin bir zeminin plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı veya yağsız oluşu belirlenir. Zeminlerin sınıflandırılması bu deneylerle olur. Likit limiti ve plastik limiti bilinen bir toprağın gurubu saptanabilir. Zeminin sıkışma indisi ( $C_c$ ) ile likit limit değeri arasında doğrusal bir bağıntı bulunmuştur. Böylece likit limit değeri kabaca toprağın sıkışma indisi hakkında da fikir verebilir. Eşit likit limite sahip topraklarda artan plastiklik limiti direncinin yüksekliğini, sıkışabilirlik (kompresibilite) ve geçirgenliğinin (permeabilite) düşük olduğunu gösterir.

### 2.3.3. Proktor Deneyi

Toprakların kuru birim ağırlık – su içeriği ilişkilerinin bulunmasındaki amaç, o toprağın belirli bir sıkıştırma enerjisinden maksimum kuru birim ağırlığını ve optimum su içeriğini bulmaktır.

Toprakların kuru birim ağırlık – su içeriği ilişkileri laboratuvarında 3 ayrı metotla bulunur;

- Standart Proktor Metodu
- Modifiye Proktor Metodu
- Titreşimli Tokmak Metodu



Modifiye proktor enerjisi, standart proktor enerjisinin 4.5 katıdır. Kohezyonsuz granüller malzemelerde modifiye proktor metoduyla bulunan maksimum kuru birim ağırlık standart proktor ile bulunan değerden % 5 fazladır. Kohezyonlu malzemelerde bu fark % 10, hatta daha fazladır.

Kohezyonsuz granüller malzemeler için standart proktor ile bulunan değerler arazi sıkıştırma şartnameleri için yetersiz bir dayanaktır. Çünkü, genellikle bu metotlar arazi için uygun olan su içeriğinin üzerinde bir optimum su içeriği değeri verirler. Ayrıca bulunan maksimum kuru birim ağırlık çoğu kez arazide kolaylıkla ulaşılabilen kuru birim ağırlığın çok altındadır.

Vibrasyonlu tokmak metodu, geçirgenliği yüksek granüller malzemelerde arazi ile iyi uyum sağlayan sonuçlar vermektedir [4].

### 2.3.3.1. Standart Proktor Deneyi

Toprakların dane büyüklüklerinin dağılımına göre kuru birim ağırlık - su içeriği ilişkileri Tablo 2.9'da gösterilen 4 ayrı metotla bulunur.

Tablo 2.9. Toprağın Mak. Dane Boyutuna Göre Kullanılan Metotlar [4].

Metot	Kalıp Çapı	Toprağın Cinsi
A	10.16 cm (4") lik	4.75 mm elekten geçen
B	15.24 cm (6") lik	4.75 mm elekten geçen
C	15.24 cm (6") lik	19.0 mm elekten geçen
D	16.24 cm (6") lik	19.0 mm elekten geçen (ikameli)

Bu deneyde kullanılan alet kalıplar, tokmaklar, numune çıkarıcısı, teraziler, kurutma fırını, aralık diski, çelik cetvel, elekler, karıştırıcı aletler ve karıştırma kapları, rutubet kutularıdır.

Bu deney, deney sırasında toprağın eğilme eğilimine göre iki şekilde yapılır. Malzeme tokmağın darbeleri altında ufalanabilecek yumuşaklıkta örneğin, kireçtaşı veya kumtaşı türünden taneler içeriyorsa, sıkıştırma sırasında ezilmeye eğitilmiş olarak nitelenmelidir.

Deney Sırasında Ezilme Eğilimi Olmayan Topraklar için; Deneyi yapılacak numune nemli ise kolayca ufalanabilecek duruma gelinceye kadar açık havada veya 60°C 'lik fırında kurutulur. Sonra agreganın esas yapısı bozulmadan toprağın içindeki iri daneler Lastik bir tokmakla havanda ezilir. Numune iyice ufalandıktan sonra Metot A ve B' de 4.75 mm elekten. Metot C ve D 'e 19.0 mm elekten elenir. Metot D uygulanacak ise, 19.0 mm üzerinde kalan malzeme kadar 19.0 mm - 4.75 mm arasında aşağıda verildiği şekilde ikame yapılır.

Hazırlanmış numuneden metot A için 5 kg. metot B,C ve D için 10 kg kadar numune alınır. Toprağın cinsine göre uygun bir miktar su ile iyice karıştırılır. Deneyin başlangıcında toprağa ilave edilecek su miktarı, toprağın cinsine ve uygulanan deney metoduna göre Tablo 2.10 de verildiği şekilde değişir.

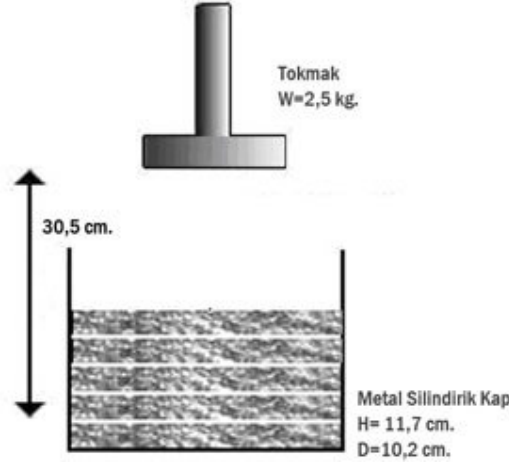
Tablo 2.10. Yaklaşık Olarak Uygulanan Deney Metotları [4].

Deney Metodu	Malzeme Cinsi	Başlangıç su İçeriği
Standart Proktor	Kumlu - Çakıllı	% 4 -%6
Standart Proktor	Kohezyonlu	% (PL-8) ile % (PL -10)
Modifiye Proktor	Kumlu - Çakıllı	% 3 - % 5
Modifiye Proktor	Kohezyonlu	% (PL - 12) ile % (PL - 16)

İlave edilen suyun toprağa iyice karıştırılması önemlidir. Yüksek plastisiteli malzemelerde suyun homojen bir biçimde dağılması sadece karıştırılarak sağlanamaz. Bu nedenle karıştırılmış numune deneyden önce kapalı bir kap içinde en az 16 saat bekletilmelidir.

Toprak su karışımı, yaka kısmı takılmış 10.16 cm (4") lik kalıpla 3 eşit tabakada ve her tabakaya 2.49 kg. tokmakla 25 darbe uygulanarak sıkıştırılır. 15.24.cm (6") İlk kalıpta sıkıştırma yapılıyorsa, 3 eşit tabakada ve aynı tokmakla her tabakaya 56 darbe uygulanacak şekilde sıkıştırılır. Sıkıştırma esnasında kalıp, düzgün bir beton kütle üzerinde bulundurulmalıdır. Sıkıştırmadan sonra kalıbın ilave yakası çıkartılır ve dikkatli bir şekilde kalıbın üst kenarına kadar çelik bir cetvelle düzeltilir. Kesilip atılan

bu zeminin yüksekliği 6 mm yi aşmamaladırdır. Kalıp ve içindeki yaş numune tartılarak ağırlığı kaydedilir.



şekil 2.9. Proktor Deney Aleti.

Sıkıştırılan toprak kalıptan çıkartılır ve malzemenin tümünü temsil edecek şekilde rutubet numunesi alınır. Alınacak olan numune kili topraklarda 300 g kumlu çakıllı topraklarda ise 500 g. olmalıdır. Rutubet numuneleri 110°C' lik fırında sabit ağırlığa gelinceye kadar (en az 12 saat) bekletilir. Kuru numune soğutulduktan sonra tekrar tartılarak ağırlığı deney formuna kaydedilir.

Sıkıştırma kalıbından çıkartılan numune, karıştırma kabı içine alınarak ufalanır ve uygulanan metoda göre 4.75 mm veya 19.0 mm elekten geçirilir.

Bu şekilde elde edilen numuneye uygun artımlarda su katılarak karıştırılır ve aynı işlemler tekrarlanır. Deney en az beş değer verecek biçimde yenilenmeli ve kullanılan su içerikleri, maksimum kuru birim ağırlığı veren optimum su içeriğini içine alan sınırlar arasında değişmelidir. Deneyin her evresinde eklenen su miktarı, optimum su içeriğini içine alan sınırlar arasında kalacak şekilde ayarlanmalıdır. Genellikle kumlu çakıllı topraklar için su içeriğini % 1 - 2, kohezyonlu topraklar içinde %2 - 3 miktarında artırmak yerinde olur. Sonuçların güvenirliğini artırmak için optimum su içeriği dolayında, katılan su miktarını daha da azaltmak gerekir.

Deney Esnasında Ezilmeye Eğimli Zeminler; Deneyi yapılacak numune nemli ise kolayca ufalanabilecek duruma gelinceye kadar açık havada veya 60°C 'lik fırında kurutulur. Sonra agreganın esas yapısı bozulmadan toprağın içindeki iri daneler Lastik bir tokmakla havanda ezilir. Numune iyice ufalandıktan sonra Metot A ve B' de 4.75 mm elekten. Metot C ve D 'e 19.0 mm elekten elenir. Metot D uygulanacak ise, 19.0 mm üzerinde kalan malzeme kadar 19.0 mm - 4.75 mm arasında aşağıda verildiği şekilde ikame yapılır.

Bu şekilde hazırlanan numuneden her biri metot A için 3kg. Metot B, C, D İçin 6 kg/ ağırlığında beş veya daha çok numune alınır. Numunelerin her biri maksimum kum birim ağırlığı veren optimum su içeriğini içine alan sınırlar arasında olmak üzere değişik bir miktar su ile iyice karıştırılır yukarıdaki işlemler aynen uygulanır. Sıkıştırılan her numunenin tamamı rutubet numunesi olarak alınır.

İkame; 19.0 mm elek üzerinde kalan malzeme % 30'dan fazla ise bu metotlarla optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığı tayin edilemez. Ancak 19.0 mm 4.75 mm arasında kalan çakıl miktarı çok az olan zeminlerde % 40 veya % 50 oranına kadar ikame yapılabilir.

Metot A ve B : 4.75 mm elek üzerinde kalan malzeme % 7 veya daha az ise bu metotlar uygulanır. 4.75 mm elek üzerinde kalan malzeme atılır ve düzeltme gerektirmez.

Metot C : 19.0 mm elek üzerinde kalan malzeme % 10 veya daha az ise bu metotlar uygulanır. 19.0 mm elek üzerinde kalan malzeme atılır, herhangi bir düzeltme yapılmaz.

Metot D: 19.0 mm elek üzerinde kalan malzeme % 10'dan fazla % 30'dan az ise bu metot uygulanır. 19 mm elek Özerinde kalan malzeme kadar19.0 mm - 4.75 mm elek arasına aynı boyutta malzeme ilave edilerek ikame yapılır. 19.0 mm etekte kalan malzeme miktarı % 30'dan fazla İse, deney 19.0 mm elek altına uygulanarak, bulunan maksimum kuru birim ağırlık değeri "Arazide iri Agrega Miktarına Göre Kuru Birim Ağırlık Düzeltmesi" kısmında belirtildiği şekilde düzeltilir.

75 mm elek üzerinde kalan malzeme atılır. 75 mm ile 19,0 mm arasında kalan malzeme kadar 19.0 mm - 4.75 mm boyutlarındaki malzemedan,19.0 mm ile 4.75 mm arasına ilave edilir. (İkame yapılmadan önce. 75 mm elekten geçen malzeme % 100 olacak şekilde gradasyonu ayarlanır.)

Örneğin; Malzemenin dane boyutu dağılımında

Elek Açıklığı (mm) :	37.5	19.0	9.5	4.75
% Geçen :	100	73	64	49

4.75 mm elek üzerinde kalan malzeme : % 51

37.5 mm - 19.0 mm arası malzeme : % 24

19.0 mm - 9.5 mm arası malzeme : % 9

9.5 mm - 4.75 mm arası malzeme : % 15

19.0 mm- 9.50 mm arası düzeltilmiş malzeme yüzdesi :  $((9 \times 51)/24) = 19$

9.5 mm – 4.75 mm arası düzeltilmiş malzeme yüzdesi :  $((15 \times 51)/24) = 31$

Malzemenin kuru birim ağırlık - su içeriği ilişkisinin bulunması için hazırlanacak numunenin % 19'u 19.0 mm - 9.5 mm arasından, % 32 'si 9.5 mm - 4.75 mm arasından, % 49'u ise 4.75 mm elek altından alınacaktır.

İkame bu şekilde hesapla yapılabildiği gibi pratik olarak da yapılabilir. Şöyle malzeme iki kısma ayrılır. Bir kısmı 19.0 mm elekten elenir, üstte kalan tartılarak atılır, alta geçen malzeme saklanır. Malzemenin diğer yarısının ise 19.0 mm ile 4.75 mm elek arasında kalan kısmı ayrılır. Bu aradaki malzemedan 19.0 mm elek üzerinde kalan kısım kadar ilk numunenin 19.0 mm elek altına ilave edilir.

### 2.3.3.2. Modifiye Proktor Metodu

Modifiye Proktor Deneyi de prensip olarak Standart Proktor Deneyi gibi yapılır. Her iki deney metodu arasındaki farklar aşağıda gösterilmiştir.

a = 45.7 cm yükseklikten serbest düşüş yapan 4.535 kg ağırlığında bir tokmak kullanılır.

Modifjye Proktor Deneyinde numune sıkıştırma kalıplarında 5 tabakada sıkıştırılır ve her tabakaya 10.16 cm(4")'lik kalıpta 25, 15.24 cm(6")'lik kalıpta 56 darbe vurulur.

Her bir deney için sıkıştırılmış numunenin su içeriği ve kuru birim ağırlığı şu formüllerden hesaplanır.

Su içeriği;

$$m = \frac{\text{su içeriği}}{\text{kuru..numunenin..ağırlığı}} \times 100 \quad (2.2.)$$

m : % Su içeriği

Kuru birim ağırlık;

$$\gamma_w = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad \gamma_w = \text{Yaş birim ağırlık, t/m}^3 \quad (2.3.)$$

W2 = Kalıp+yaş numune ağırlığı (gr.)

W1 = Kalıp ağırlığı (gr.)

V = Kalıbın hacmi (cm<sup>3</sup>)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w \times 100}{100 + m} \quad \gamma_d = \text{Kuru birim ağırlık, t/m}^3 \quad (2.4.)$$

Yukarıda verilen formüller ile sıkıştırılmış toprak numunelerinin her biri için su içerikleri ve kuru birim ağırlıktan hesaplanır. Aritmetik bölüntülü grafik kâğıdı üzerinde apsis su içerikleri, ordinata kuru birim ağırlıkları yazılarak noktalar işaretlenir ve elde edilen bu noktalar üzerinden düzgün bir eğri çizilir. Eğri üzerindeki maksimum noktadan (tepe noktası) optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığı bulunur. Karşılaştırma amacıyla aynı grafik üzerine sıfır, % 5 ve % 10 hava boşluğu yüzdelerini gösteren eğriler çizilir.

Deney sonrası hazırlanacak raporda;

- Kullanılan Metot (Metot A, B, C veya D)
- Optimum su İçeriği (0,1 yakınlıkla verilir)
- Maksimum kuru birim ağırlık (0,001 t/m<sup>3</sup> yakınlıkla verilir)
- 19.0 mm elek üzerinde kalan malzeme miktarı (% 1 yakınlıkla)
- Uygulanan işlemden "tek numune" veya "ayrı ayrı numuneler" diye belirtilmelidir.

#### **2.3.4. Kaliforniya Taşıma Oranının Tespiti (CBR)**

Bu deney kesit alanı 19.35 cm<sup>2</sup> olan silindrsel bir pistonun belirli bir hızla zemine itilerek elde edilen yük - penetrasyon bağıntısının (Kaliforniya taşıma oranı) bulunmasını kapsar. Penetrasyon herhangi bir değer için, ölçülen yükün standart bir yüke oranı olarak tanımlanan Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) genellikle 25 mm.lik bir penetrasyon için verilir Ancak, 50 mm.lik penetrasyondan daha büyük bir değer çıkarsa büyük olan değer seçilir.

Pistonun boyutları dolayısıyla deney, sadece tane büyüklüğü en çok 20 mm olan malzeme için uygulanır. Numunenin hazırlanışı, CBR deneyinden elde edilecek sonuçları büyük oranda etkiler. Su içeriğinin oldukça yüksek olduğu kohezyonlu zeminlerde (CBR değeri %5'den küçük) bu deneyin doğru sonuçları vermediği görülmüştür.

Bu yüzden; bu deney daha çok yolların ve hava alanlarının tabanını oluşturan zeminlerin oldukça kuru olduğu tropik ve yarı tropik bölgelerde uygulanmaya elverişlidir.

Kalıp, taban plakası takılmış ancak üst yüzeyi açık olarak içindeki numune ile birlikte basınç aletinin plakası üzerine yerleştirilir. Numunenin üzerine gerekli görülen ağırlıklar konur penetrasyon pistonu, taşıma oranı %30'un altında olan zeminler için 45 kg.lık bir yükle, taşıma oranı %30'dan yüksek olan zeminler için ise 22.5 kg.lık bir yükle numunenin yüzeyine oturtulur ve dakikada 1.20 mm.lik hızla zemine itilir. 0.625, 1.25, 1.75, 250, 500, 750, 100, 12.50 mm.lik penetrasyonlar da alınır Piston kaldırılır ve numune yüzeyinde bırakılmış girintiler doldurularak ve çıkıntılar çelik cetvelle

kesilerek numunenin yüzeyi düzlenir. Numunenin her iki ucu da denenecekse, taba plakası kalıbın altında üst ucuna takılır ve kalıp, içindeki numune ile birlikte ters çevrilir ilk işlemler tekrar yapılır. Penetrasyon deneyleri tamamlandıktan sonra numunenin iki ucundaki yüzeylerin hemen altından her biri 350 gr dolayında olan numuneler alınıp su içeriği tespit edilir Ölçülen ve bulunan değerler deney formunda kaydedilir

Hesaplama işlemi, %100 CBR değerine karşılık olan standart yük- penetrasyon eğrisi şu değerlerle tanımlanır 1 25 mm.lik penetrasyonda 86 kg/cm<sup>2</sup> . 2.5 mm.de 1360 kg/cm<sup>2</sup> 5.0 mm.de 2040 kg/cm<sup>2</sup>, 7.5 mm.de 2585 kg/cm<sup>2</sup>, 10.0 mm.de 3130 kg/cm<sup>2</sup> 12.5 mm.de 3590 kg/cm<sup>2</sup> Belirli bir penetrasyonu sağlayan yükün, aynı penetrasyonu standart eğri üzerinde sağlayan yüke oranı, o penetrasyondaki CBR değeri olarak tanımlanır

Sonuçta; CBR, % 30'a kadar değerler için %1 yakınlıkla, %30 ile %100 arasındaki değerler için % 5 yakınlıkla, %100'den büyük değerler için % 10 yakınlıkla verilir.

### 2.3.5. Arazi Sıkışma Değeri Tayini

Sıkıştırma yüzdesi, malzemenin yerindeki kuru birim hacim ağırlığının ( $\gamma_d$ ) laboratuvar ve maksimum kuru birim ağırlığına ( $\gamma_{d \text{ maks}}$ ) göre yüzdesidir. Sıkışma yüzdesi tayininde laboratuvar maksimum kuru birim ağırlığının bulunduğu sıkıştırma yönteminin (Standart Proktor, Modifiye Proktor, Vibrasyonlu Tokmak) belirtilmesi gerekir.

$$\text{Sıkışma } \% \text{ si} = \frac{\text{yerindekuru birim ağırlık}(\gamma_k)}{\text{laboratuvar maksimum kuru birim ağırlık}(\gamma_{k \text{ maks}})} \quad (2.5)$$

Bir zeminin yerinde birim ağırlığını bulmak için birkaç yöntem olmakla birlikte en yaygın olanı, zeminin belli bir hacminden, hiçbir parçasını kaybetmeksizin çıkarılan malzeme ağırlığının ve kapladığı hacmin tespitidir [4].

#### 2.3.5.1. Tepsi Metodu

Bu metot maksimum dane boyutu 4.75 mm veya daha küçük olan ince daneli zeminlerin yerinde birim ağırlığının bulunmasında kullanılır.



Deneyde kullanılacak olan kumun segregasyon ve titreşim nedeni ile birim ağırlığının kolayca değişmemesi istenir. Bu yüzden kumun mümkün olduğunca tek boyutlu olması gerekir. 0.85 mm (No. 20 elek) ile 0.59 mm (No. 30) elek arasında kalan kum uygun kabul edilir. Kumun yıkanarak hazırlanması gerekir. Yıkanmış ve tek boyutlu eleklerden geçirilerek uygun hale getirilmiş olan standart kum fırında kurutulur. Kurutulan kum birkaç gün oda sıcaklığında laboratuarda bekletilerek, ortamın rutubetini alması sağlanır. Bu şekilde hazırlanan standart kumun gevşek birim hacim ağırlığını bulmak için kum arazide boşaltılacağı koşullara uygun koşullarda, bir huni yardımı ile yaklaşık 7-8 cm yükseklikten, hacmi belirli bir kap içerisine dökülür. Bu kabın boyutu arazide açılacak çukurun boyutlarına yakın olmalıdır. Kuru birim ağırlık su içeriği ilişkisinin tayininde kullanılan 10.16 cm (4") çapındaki kalıp bu iş için uygundur.

Hazırlanmış standart kum, hacmi önceden belirlenmiş kap içerisine bir huni içerisinden taşıncaya kadar doldurulur. Daha sonra taşan kısım bir çelik cetvelle sıyrılarak atılır. Kap içerisindeki kum hiç kaybedilmeden alınır ve tartılır. Kumun gevşek birim ağırlığı ;

$$\gamma_k = \text{Kumun ağırlığı (g)} / \text{Kabın hacmi (cm}^3\text{)}$$

bağlantısı ile bulunur. Kumun gevşek birim ağırlığı olarak bu şekilde yapılan en az 3 deneyin ortalaması verilir. Kumun zamanla rutubet alabileceği, böylece gevşek birim ağırlığını değiştirebileceği düşünülerek, gevşek birim ağırlığın, arazi deneylerinin yapılmasından hemen önce tayin edilmesi daha uygundur. Daha sonra bu kum deney sırasında açılacak çukur hacminden daha büyük bir hacme sahip olacak miktarda torbalar içerisine konular ve tartılır. Bu ağırlık ve kumun gevşek birim ağırlığının bir etiket üzerine yazılarak kum dolu torba içerisinde bulundurulması tavsiye edilir. Bu metod da yaklaşık 3 kg lık kum, bir deney için yeterlidir.

Birim ağırlığı tayin edilecek tabaka, tepsinin iyice oturacağı bir şekilde tesviye edilir ve yüzeydeki gevşek malzeme fırça ile süpürülerek atılır. Daha sonra tepsi bu yüzeye oturtulur ve yerinden oynamaması için köşelerindeki çivilerden çakılır. Bir burgu ya da uygun bir aletle kasnağın ortasındaki delik çapında (yaklaşık 10 cm) ve aşağı yukarı 15 cm derinliğinde bir çukur açılır. Açılan çukurdan çıkarılan hiçbir danecik kaybedilmeden tepsi içerisine alınır. Çukurda kalan son gevşek daneciklerde alındıktan

sonra tepsi kaldırılır ve deney çukurundan çıkarılan tüm malzeme alınarak tartılır. Bu ağırlık deney formuna kaydedilir. Böylece çukurdan çıkarılan rutubetli malzeme ağırlığı belirlenmiş olur.

Açılan çukurun hacmini bulmak için de daha önce gevşek birim ağırlığı belirlenmiş kumdan yararlanır. Bunun için, torba içerisindeki kum, kumun gevşek birim ağırlığının tayininde olduğu gibi huni içerisinden çukura boşaltılır. Çukur tabii zemin seviyesine kadar dolduktan sonra bir cetvel ile üzeri tesviye edilir, varsa fazla kum alınır. Torba bu şekli ile tartılır ve ağırlığı deney formuna kaydedilir.

Çukurdaki kum tekrar elenip kullanılmak üzere içerisine mümkün olduğunca az toprak karışacak şekilde alınıp ayrı bir torbaya konulur. Daha sonra çukurun bir yüzü temizlenerek keski ile su içeriğini tayin etmek üzere numune alınarak, rutubet kaplarına konur.

Çukurdan çıkan kuru malzeme ağırlığı ;

$$W_k = \frac{w_y \cdot 100}{100 + m} \quad (2.6.)$$

$W_k$  : Çukurdan çıkan kuru malzeme ağırlığı (g)

$W_y$  : Çukurdan çıkan yaş malzeme ağırlığı (g)

$m$  : Malzemenin su içeriği %si

Kumun gevşek birim ağırlığı;

$$\gamma_k = \frac{W_s}{V} \quad (2.7.)$$

$\gamma_k$  : Kumun gevşek birim ağırlığı;

$V$  : Kalıp hacmi (944 cm<sup>3</sup>)

$W_s$  : Kalıbı dolduran kum ağırlığı (g)

Çukur Hacmi;

$$V_{\phi} = \frac{W_1}{\gamma_k} \quad (2.8.)$$

$V_{\phi}$  : Çukur Hacmi (cm<sup>3</sup>)

$W_1$  : Çukura Dökülen kum ağırlığı (g)

Toprağın yerinde kuru birim ağırlığı;

$$\gamma_d = \frac{W_k}{V_{\phi}} \quad (2.9.)$$

$\gamma_d$  : Toprağın yerinde kuru birim ağırlığı (g/cm<sup>3</sup>)

Bu değer laboratuvar maksimum kuru birim ağırlığa oranlanarak sıkışma %si hesaplanır.

$$\% \text{ Sıkışma} = \frac{\gamma_{arazi}}{\gamma_{lab}} \times 100 \quad (2.10.)$$

### 2.3.5.2. Kasnak Metodu

Bu metot, maksimum dane boyutu 75 mm ve daha küçük olan iri taneli zeminlerin yerinde birim ağırlığının bulunmasında kullanılır.

Tepsi metodunda olduğu gibi standart kum hazırlanır ve gevşek birim ağırlığı bulunur.

Deneyin yapılacağı yerde zemin yüzeyi tesviye edildikten sonra, kasnağın rahatça girebileceği genişlikte ve kasnak yüksekliğinin 2/3 ü kadar derinlikte bir çukur açılır. (Çapı 30.5 cm olan kasnak kullanıldığında minimum deney çukur hacmi 7300 m<sup>3</sup>, çapı 25 cm olan kasnak kullanıldığında minimum deney çukur hacmi 4900 cm<sup>3</sup> tür) Açılan çukurun iç yüzeyinin ve tabanının olabildiğince düzgün ve pürüzsüz olmasına dikkat edilmelidir.

Açılan çukurdan çıkartılan bütün malzeme hiç daneciği kaybedilmeden bir kabın içerisine alınır ve hemen tartılarak ağırlığı kaydedilir. Deney formuna yazılır.

Daha sonra kasnak dikkatli bir şekilde çukura yerleştirilir. Gevşek birim ağırlığı önceden bulunmuş olan standart kum, bir huni yardımıyla yaklaşık 7-8 cm yükseklikten,

kasnağın dış kısmıyla zemin arasına, zeminle aynı yüksekliğe gelinceye kadar, ince bir tabaka oluşturacak şekilde de kasnağın iç kısmına dökülür. Daha önceden deney yerine getirilmiş olan kumun deneyde kullanılan kısmının ağırlığını bulmak için kumun deneyden önceki ve deneyden sonraki arasındaki fark 1 g hassasiyetle bulunur. Kullanılan kum miktarı ne kadar az olursa deney sonucu o kadar hassas olur.

Kum dökme işlemi bittikten sonra ölçü aleti kasnak içine yerleştirilir. Ölçü aletinin iç çubuğunun vidası gevşetilir ve kasnak içindeki kum, iç çubuğa bağlı olarak süpürücünün hafifçe yükselen seviyelerde kendi ekseni etrafında döndürülmesi ile tesviye edilir. Kasnağın içindeki kumun kasnağın alt kenarından olan yüksekliği, inç olarak bölümlendirilmiş iç çubuk üzerinden 0.01” hassasiyetle okunur ve “iç geyç okuması” olarak deney formuna yazılır. Kasnağın dışındaki üzeri bölümlendirilmiş iki çubuğun pabuçları zemin yüzeyine kadar indirilerek, pabuçların yüzeye tam temas etmesi sağlanır. Kasnağın çukur içerisinde kalan kısmının yüksekliği, çubuklar üzerindeki bölümlerden 0.01 inç hassasiyetle okunur ve deney formuna “dış geyç okuması” olarak yazılır. Ölçü aleti kasnak etrafında yaklaşık 90° çevrilir ve bu durumdayken iki tane daha dış geyç okuması alınır. Bu dört dış geyç okumasının aritmetik ortalaması “dış geyç okuması” olarak kaydedilir.

Ölçü aleti ve kasnak çukurdan çıkartılır ve çukurun içindeki kum kirletilmeden, kaşıkla alınarak bir torbaya konur. Deney yapılan yerde çukurdan çıkarılan malzemeye eşdeğer su içeriğinde numune, açılmış olan çukurun yan yüzeyinden alınabilir. Bunun için, numune alınacak yüzeye yapışmış olan kum tanecikleri temizlenir, çukurun tabanına bir bez konur ve yan yüzey kazılarak en az 500 g ağırlığındaki su içeriği numunesi, bezin üzerine alınır. Alınan bu numune, hava geçirmez bir kabın içerisine konur ve 0,1 g hassasiyetle tartılır. Su içeri için alınan numune çukurdan çıkan numuneyi tam olarak temsil etmiyorsa, çukurdan çıkan malzemenin içinden rutubet numunesi alınmalıdır. Bu durumda çukurdan çıkan malzeme hemen tartıldıktan sonra, bu malzemeyi temsil edecek şekilde bir rutubet numunesi alınır.

Kasnağın çukurda kalan kısmının hacmi

$$V_r = (\pi/4) \times D^2 \times H \times 2.54 \quad (2.11.)$$

$V_r$  : Kasnağın çukurda kalan kısmının hacmi,  $\text{cm}^3$

- D : Kasnağın çapı, cm  
H : Kasnağın çukurda kalan kısmının yüksekliği, inç

$$H=h-h' \quad (2.12.)$$

- h : Dış geyç okumaları ortalaması, inç  $h=(h_1+h_2+h_3+h_4)/4$   
h' : İç geyç okuması, inç

Çukura dökülen kumun hacmi,

$$V_s=m_s/\gamma_s \quad (2.13.)$$

- $V_s$  : Çukura dökülen kumun hacmi,  $cm^3$   
 $\gamma_s$  : Kumun gevşek birim ağırlığı,  $g/cm^3$   
 $m_s$  : Çukura dökülen kum ağırlığı, g

Su içeriğinin hesaplanması,

$$W=(m_1-m_2) \times 100/m_2 \quad (2.14.)$$

- W : Su içeriği, %  
 $m_1$  : Su içeriği numunesinin yaş ağırlığı, g  
 $m_2$  : Su içeriği numunesinin kuru ağırlığı, g

Çukurdan çıkarılan malzemenin kuru ağırlığı,

$$M_d = \frac{m}{100 + w} \times 100 \quad (2.15.)$$

- $M_d$  : Çukurdan çıkarılan malzemenin kuru ağırlığı, g  
m : Çukurdan çıkarılan malzemenin yaş ağırlığı, g  
w : Su içeriği, %

Toprağın yerinde kuru birim ağırlığı;

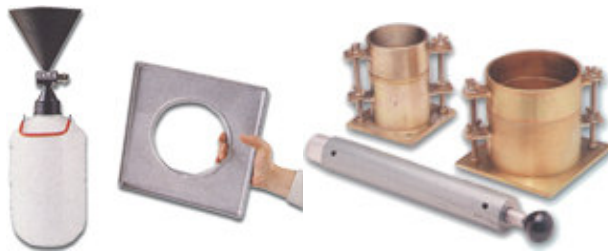
$$\gamma_d = \frac{M_d}{V_r + V_s} \quad (2.16.)$$

$\gamma_d$  : Toprağın yerinde kuru birim ağırlığı,  $g/cm^3$  veya  $t/m^3$

### 2.3.5.3. Kum Konisi Metodu

Bu metot zeminlerin birim ağırlıklarının yerinde tayinini kapsar. Burada tanımlanan kum konisinin çapı 15.24 cm (6") olup, en büyük dane boyutu 50 mm (2") ve daha küçük olan zeminler için uygulanır.

Vananın üst kısmında kalan huni ve bağlantı borusu dahil olmak üzere cam kabın hacmi (V) şöylece hesaplanır. Komple alet tartılır ve tartım  $W_1$  olarak kaydedilir. Daha sonra alet huni kısmı yukarıya gelecek şekilde yerleştirilir, vana açılır ve su doldurulur. Su tamamen dolduktan sonra vana kapatılır ve fazla su alınarak su dolu aletin ağırlığı kaydedilir. Bu arada yoğunluk düzeltilmesi yapmak üzere suyun sıcaklığı ölçülür. Aynı işlem en az 3 kere tekrarlanır. Sonunda Tablo 2.13 yardımıyla alet içerisindeki suyun ağırlığı (G) düzeltme yapılarak  $cm^3$  olarak hacme dönüştürülür. Üç deney ortalaması alınarak hacim hesaplanır. Bu hesaplar sonucunda bulunan hacimler arasında en çok 3  $cm^3$  sapma olmalıdır. Ayrıca cam kap ve bağlantısı aynı pozisyonda olduğu sürece yukarıda hesaplanan hacim sabittir. Bu parçalar birbirinden ayrılacak olursa yeniden bağlandıklarında aynı pozisyona getirilebilmeleri için bir işaret konmalıdır.



Şekil 2.10. Kum konisi deney aletleri.

Deneyde kullanılacak kumun gevşek birim ağırlığı şöylece bulunur. Alet sağlam bir zemin üzerine dik olarak yerleştirilerek vana kapatılır ve huni kum ile doldurulur. Daha sonra vana açılarak cam kap ve vananın altında kalan kısım tamamen doldurulur. Bu işlem sırasında kumun döküldüğü huni devamlı olarak yarı yarıya dolu olmalıdır. Kum

tamamen dolunca vana kapatılır ve fazla kum boşaltılır. Alet kum ile birlikte tartılır ve bu tartımdan boş alet ağırlığı ( $W_1$ ) çıkarılarak net kum ağırlığı bulunur.

Deney sırasında titreşim, kumun gevşek birim ağırlığının artmasına sebep olabilir ve bundan dolayı deneyin duyarlılığı azalabilir. Ayrıca, kumun gevşek birim ağırlığının tayini ve arazide kullanılması arasında fazla zaman aralığı olursa, kumun rutubetindeki değişim nedeni ile birim ağırlığında bir farklılık olabileceği unutulmamalıdır.

Kumun gevşek birim ağırlığı, arazi deneyi sırasında açılacak en büyük çukur hacmine yakın hacimdeki bir kap kullanılarak ta bulunabilir. Burada izlenecek yol tepsi metodunda anlatılan, kumun gevşek ağırlığının bulunması gibidir. Bu işlem uygulandığında bulunan gevşek birim ağırlık, kum konisi kullanılarak bulunan gevşek birim ağırlığa eşit olmalıdır.

Aletin hunisini doldurmak için gerekli kumun ağırlığı şu şekilde bulunur. Alet kum ile doldurularak tartılır, sonra huni kısmı aşağıda olmak üzere düz bir yüzeye konulan aletin vanası açılarak, kum akışı durana kadar beklenir ve akış durunca vana çabucak kapatılır. Kalan kum ve alet birlikte tartılır. Aradaki fark huniyi doldurmak için gerekli olan kumun ağırlığıdır ( $W_2$ ). Boşalan kum tekrar alete doldurulup vana sıkıca kapatılır.

Arazi deneyi sırasında en büyük çukur hacmi ile çalışılacaksa, kumun gevşek birim ağırlığı hesaplandıktan sonra, kum cam kaba vibrasyonla yerleştirilmelidir. Bu durumda kumun toplam ağırlığı yeniden tartılarak bulunmalıdır. Eğer taban plakası kullanılırsa, bu plaka huninin bir parçası olarak düşünölmelidir.

Deneyin yapılacağı yerin yüzeyi tesviye edilir ve ters çevrilmiş alet bu yüzeye yerleştirilir. Yüzeyin düzeltilmesinin mümkün olmadığı hallerde huni ile zemin yüzeyi arasında kalan hacmin bulunması için bir ön deneme yapılmalıdır. Bunun için kum ile dolu alet yüzeye yerleştirilerek vana açılır ve akma durunca kapatılarak alet tartılır. Aletin dolu haldeki ağırlığından son durumdaki ağırlığı çıkartılarak, yüzey şekline bağlı olarak huni için harcanan kum ağırlığı bulunur. Bu işlemden sonra yüzey dikkatle temizlenir ve deneye devam edilir. Huninin etrafı çizilerek işaretlenir. Bu işareti taşmayacak şekilde çukur açılır. En az çukur derinliği Tablo 2.11 de verilmiştir. Granüller zeminlerde bu işleme daha çok özen gösterilmelidir. Çukurdan çıkarılan bütün malzeme hiçbir daneciği kaybedilmeden bir kaba alınır ve tartılır. Ayrıca bu

malzeme dikkatle karıştırılarak su içeriği için Tablo 2.11 de verilen miktar kadar numune alınarak tartılır. Bu numune kurutulduktan sonra tekrar tartılır ve ağırlığı kaydedilir. Hazırlanmış çukuru üzerine alet yerleştirilir ve vana açılır, kum akışı durana kadar beklenir ve vana kapatılır. Alet içinde kalan kumla birlikte tartılır ve deney sırasında kullanılan kumun ağırlığı bulunur ( $W_3$ ).

Tablo 2.11. En Büyük Dane Boyutuna Bağlı Olarak En Küçük Deney Çukuru Hacmi, Minimum Çukur Yüksekliği Ve En Az Rutubet Miktarı [4].

En Büyük Dane Boyutu	Minimum Çukur Yüksekliği (cm)	En az rutubet numunesi (g)
4.75 mm. (No. 4)	10	100
(12.5 mm)(1/2")	10	250
(25 mm)(1")	15	500
(50 mm)(2")	15	1000

Cam kap ve küçük huni hacminin hesabı;

$$V=GxA \quad (2.17.)$$

V : Aletin hacmi ( $cm^3$ )

G : Aleti doldurmak için gerekli suyun ağırlığı, g

A : Tablo 2.12 nin 2.sütununda verilen su sıcaklığı-hacim düzeltme faktörü

Kumun gevşek birim ağırlığının hesabı;

$$\gamma_s = \frac{m_s}{V} \quad (2.18.)$$

$\gamma_s$  : Kumun gevşek birim ağırlığı, ( $g/cm^3$ )

$m_s$  : Aleti doldurmak için gerekli suyun ağırlığı, g

V : Aletin hacmi,  $cm^3$



Tablo 2.12. Sıcaklığa Bağlı Olarak 1 g Suyun Hacmi (Sıcaklık - Hacim düzeltme Faktörü) [4].

Sıcaklık	1 g suyun hacmi (cm <sup>3</sup> /g)
12	1.00048
14	1.00073
16	1.00103
18	1.00138
20	1.00177
22	1.00221
24	1.00268
26	1.00320
28	1.00375
30	1.00435
32	1.00497

Deney çukurundan çıkarılan malzemenin kuru ağırlığının ve su içeriğinin hesabı;

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (2.19.)$$

$$M_d = \frac{100 \times m}{(w + 100)} \quad (2.20.)$$

- w : Deney çukurundan çıkarılan malzemenin su içeriği % si  
m<sub>1</sub> : Su içeriği tayini için alınan numunenin yaş ağırlığı (g)  
m<sub>2</sub> : Su içeriği tayini için alınan numunenin kuru ağırlığı (g)  
m : Deney çukurundan çıkarılan malzemenin yaş ağırlığı, (g)  
M<sub>d</sub> : Deney çukurundan çıkarılan malzemenin kuru ağırlığı, (g)

Arazi kuru birim ağırlığı tayini;

$$V_s = W_3 / \gamma_s \quad (2.21.)$$

$$\gamma_d = M_d / V_s \quad (2.22.)$$

V<sub>s</sub> : Deney çukurunun hacmi (cm<sup>3</sup>)

$W_3$  : Çukuru dolduran kum ağırlığı (g)  
 $\gamma_d$  : Malzemenin arazi kuru birim ağırlığı (g/cm<sup>3</sup>)

$$\% \text{ sıkışma} = \frac{\gamma_{arazi}}{\gamma_{lab}} \times 100 \quad (2.23.)$$

#### 2.3.5.4. Balon Metodu

Bu deney metodu sıkıştırılmış zeminlerde kauçuk balonlu aleti kullanarak yerinde birim ağırlık bulunmasını kapsar. Deney aleti az bir basınç altında deformasyona uğrayan ya da çukur hacmi sabit kalmayan yumuşak zeminler için uygun değildir.

Arazide çukur açılacak zemin düzeltilir. Alet yerleştirilir. Kalibrasyon sırasındaki aynı basınç ve ilave ağırlıklar kullanılarak ilk okuma alınır. İlk okumadan sonra aletin zemindeki taban şekli çizilip, kullanılan basınç, ilave ağırlıklar ve ilk okuma değeri kaydedilir. Aletin kalibrasyonu sırasında taban plakası kullanılmışsa, arazi deneyi sırasında da taban plakası kullanılmalıdır.

Alet kaldırılır ve çizilen taban şekline göre çukur açılır. Çukuru açarken, çukurun üst kenarının bozulmamasına dikkat edilmelidir. Çukurdan çıkan tüm malzeme ağırlık ve su içeriği tayininde kullanılmak üzere hava geçirmez bir kap içine alınır. Deney çukurlarının minimum hacimleri Tablo 2.13 de verildiği şekilde olmalıdır. Daha büyük çukurlar deneyin güvenilirliğini artırır. Çukur boyutları aletin dizaynına ve basınca bağlıdır. Genellikle boyutlar kalibrasyon sırasındaki boyutlara yakın olmalıdır.

Çukur açıldıktan sonra alet, ilk okuma sırasındaki pozisyonunda olacak şekilde çukur üzerine yerleştirilir ve balon şişirilir. Kalibrasyon sırasındaki aynı basınç ve ilave yük kullanılır. Hacim değeri okunup kaydedilir. Bu okuma ve ilk okuma arasındaki fark çukurun hacmi olur.

Deney çukurundan çıkan tüm yaş malzeme, 1 g hassasiyetle tartılır. Bu malzeme iyice karıştırılarak, Tablo 2.13 e göre su içeriği numunesi alınır ve 0.1 g hassasiyetle tartılır. Bu numune, 110±5°C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur ve 0.1 g hassasiyetle tartılır.

Tablo 2.13. Minimum Deney Çukur Hacimleri ve Minimum Su İçeriği Numunesi Miktarları ( Mak. Dane Boyutuna Göre ) [4].

Maksimum Dane Boyutu	Minimum Deney Çukur Hacmi ft <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )	Minimum su içeriği numunesi (g)
(No. 4)(4.75 mm. )	0.025 (0.0007)	100
1/2 in (12.5 mm)	0.050 (0.0014)	250
1 in (25 mm)	0.075 (0.0021)	500
2 in (50 mm)	0.100 (0.0028)	1000
2 1/2 in (63 mm)	0.135 (0.0038)	1000

Su içeriği, w

$$w = (\text{Su ağırlığı} / \text{Kuru malzeme ağırlığı}) \times 100 \quad (2.24.)$$

Çukurdan çıkan malzemenin yaş birim ağırlığı,,  $\gamma_w$

$$\gamma_w = (\text{Yaş malzeme ağırlığı} / \text{Deney çukur hacmi})$$

Çukurdan çıkan malzemenin kuru birim hacim ağırlığı,  $\gamma_d$

$$\lambda_d = \frac{\gamma_w}{w + 100} \times 100 \quad (2.25.)$$

### 2.3.6. Plaka Yükleme Deneyi

Zeminin taşıma gücü ve sıkışma özelliklerinin arazide ölçülmesi için yapılan bir deneydir. Çapı en az 30cm olan rijit dairesel veya kare plakaların temel alt kotu seviyesinde yüklenmeleri ile gerçekleştirilir. Tahmin edilen taşıma gücünün 1/5 i kadar yük kademesi seçilerek her bir yükleme arası eşit ve en az 1 saat olacak şekilde yükleme gerçekleştirilir ve aynı hızla boşaltım yapılır. Kurulan deney düzeneğinin kapasitesi kadar veya 25 mm toplam oturma gerçekleşinceye kadar yüklemeye devam edilir. Deney sonucunda elde edilen oturma-yük eğrisi yardımı ile zeminin taşıma gücü hesaplanır.

Modellenen deneyin gerçek temel boyutundan çok küçük olması nedeniyle Terzaghi'nin teoreminde belirttiği kamanın temel boyutuna göre çok küçük olması

beklenir buda çok katmanlı zemin tabakalarında sorun yaratabilir. Bu hususa dikkat edilmesi gerekir.

### 2.3.7. Yassılık İndeksi Tayini

Kalınlığı ( en küçük boyutu), nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agregada danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasına dayanan bir metottur. İki elek arasında kalan danelerin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik ortalamasıdır. Agregada numunelerinin yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney, 63.0 mm elek üzerinde kalan ve 6.3 mm eleği geçen malzemeye uygulanmaz [4].

Yassılık indeksi yapılacak numuneye öncelikle elek analizi yapılır. Elek analizi sonucuna göre, malzemenin dane boyutu dağılımı 63.0 mm elekten geçip, 6.3 mm elek üzerinde kalacak şekilde ayarlanır.

Tablo 2.14 de verilen elekler kullanılarak her elek arasından en az yine tabloda belirtilen miktarlarda numune elenerek dene hazırlanır. Düzeltilmiş dane boyutu dağılımına göre iki elek arasında kalan malzeme %5'den az ise, o aralıktaki malzeme deneye alınmaz, yassı dane oranı sıfır olarak kabul edilir.

Her elek arasında kalan malzeme danelerinin, şablon üzerindeki kendi açıklığından geçip geçmediği, el ile teker teker denendir. Her fraksiyonun yassı danelerinin ağırlığı tartılarak kaydedilir.

Tablo 2.14. Deneye Alınacak Minimum Malzeme Miktarı [4].

Elek Açıklıkları, (mm)	Her Fraksiyon İçin Deneye Alınacak Minimum Malzeme Miktarı, (kg)
63.0-50.0	25
50.0-37.5	18
37.5-25.0	8
25.0-19.0	2.5
19.0-12.0	1
12.0-9.5	0.5
9.5-6.3	0.25

Her fraksiyonun yassı dane yüzdesi, aşağıdaki formülde belirtildiği gibi ayrı ayrı hesaplanır.

$$\text{Yassı dane yüzdesi} = (M_2 \times 100) / M_1 \quad (2.26.)$$

$M_1$  : Deneye alınan malzeme ağırlığı, (g)

$M_2$  : Denede bulunan yassı malzeme ağırlığı, (g)

Her fraksiyona ait yassı dane yüzdesi, o fraksiyonun düzeltilmiş gradasyon yüzdesi ile çarpılarak, gerçek yüzde hesaplanır. Her fraksiyona ait düzeltilmiş yassı dane yüzdelерinin toplamı, malzemenin yassılık indeksini verecektir. Sonuç tam sayı olarak verilir.

Elek analizi yapılan bir numunenin dane boyutu dağılımı bulunur.

Tablo 2.15. Elek Analizi Sonuçları [4].

Elek Açıklığı	Düzeltilmiş Gradasyon			
	%Geçen	%Kalan	%Geçen	%Kalan
37.5	100		100	
25	89	11	77	23
19	80	9	58	19
12	70	10	37	21
9.5	63	7	23	14
6.3	52	11	0	23
	TOPLAM :	48		100

Yassılık indeksi yapılacak malzeme, birkaç malzemenin karışımından oluşuyorsa, karışım oranları nisbetinde deneye alınacak malzemelerin miktarları hesaplanır.

Tablo 2.16. Yassılık İndeksi Tayini [4].

Elek Açıklığı, (mm)	Deneye alınan malzeme, (g)	Yassı Dane Ağırlığı, (g)	Yassı dane %'si	Düzeltilmiş Yassı Dane %'si
37.5-25	15000	1225	8,170	1,879
25-19	5000	390	7,800	1,482
19-12	2000	164	8,200	1,722
12-9.5	1000	107	10,700	1,498
9.5-6.3	500	139	27,800	6,394

TOPLAM : 12,975

Yassılık İndeksi = 13

### 2.3.8. Donma -Çözülme Deneyi

Hazırlanan her bir beton harç numunesinin,  $(110 \pm 5)$  °C' de sabit kütleye ulaşana kadar etüvde kurutulduktan sonra ölçülen ağırlığı  $W_1$  ve daha sonra 20 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle bekletilerek suya doymun hale getirilip tartılan ağırlığı  $W_2$  olmak üzere; numunenin su emme miktarı

$$S_a = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (2.27.)$$

bağıntısıyla bulunur. Suya doymun hale gelmiş numuneler dondurucu içersine yerleştirilerek -20 °C sıcaklıkta 14 saat süreyle dondurucuda bekletildikten sonra numuneler 20 °C oda sıcaklığında 10 saat süreyle çözülmeye bırakılır. Bu donma-çözülme işlemi 10 defa tekrarlandıktan sonra, numuneler  $(110 \pm 5)$  °C' de sabit kütleye ulaşana kadar etüvde kurutulur, daha sonra oda sıcaklığında soğutulup hemen tartılır ( $W_3$ ). Donma-çözülme devirleri sonunda numunelerde oluşan ağırlık kaybının hesabı için

$$W_k = \frac{(W_1 - W_3)}{W_1} \times 100 \quad (2.28.)$$

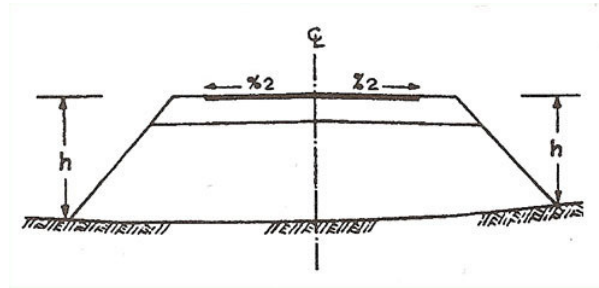
formülü kullanılır.

## 2.4. Dolgu ve Yarma Şevi Standartları

Dolgu ve yarma şevleri tasarlanırken aşağıda verilen standartlara uyulması gerekir.

### 2.4.1. Dolgu Şevleri

Dolgu şevi eğimi, üst yapı ve yol gövdesinde aynı olup, farklı değerler alınmaz.



Şekil 2.11. Yol en kesit tiplerinde dolgu şevi eğimlerinin (h) dolgu yüksekliğine göre değerleri.

Şekil 2.11 de verildiği gibi yol en kesit tiplerinde dolgu şevi eğimlerinin (h) dolgu yüksekliğine göre değerleri ise;

$0 < h \leq 2$  m. için 3:1 ( 3 yatay: 1 düşey )

$2 < h \leq 5$  m. için 2:1 ( 2 yatay: 1 düşey )

Zemin ve Ocak Etüt Raporlarında her yarmanın dolguda kullanılacağı göz önüne alınarak dolgu yüksekliğinin 5-10 m ve 10-15 m leri için dolgu şevi eğimleri ayrı ayrı belirtilmelidir.

Dolgu yüksekliğinin  $h > 15$  m olması halinde şev eğimi ve palye durumu ayrıca belirtilir.

Dolguların ariyet ocaklarından teşkil edilebileceği göz önüne alınarak ocaklar için dolgu yüksekliğine bağlı olarak 5-10 m.ler için dolgu şevi eğimleri araştırma birimlerince verilir.

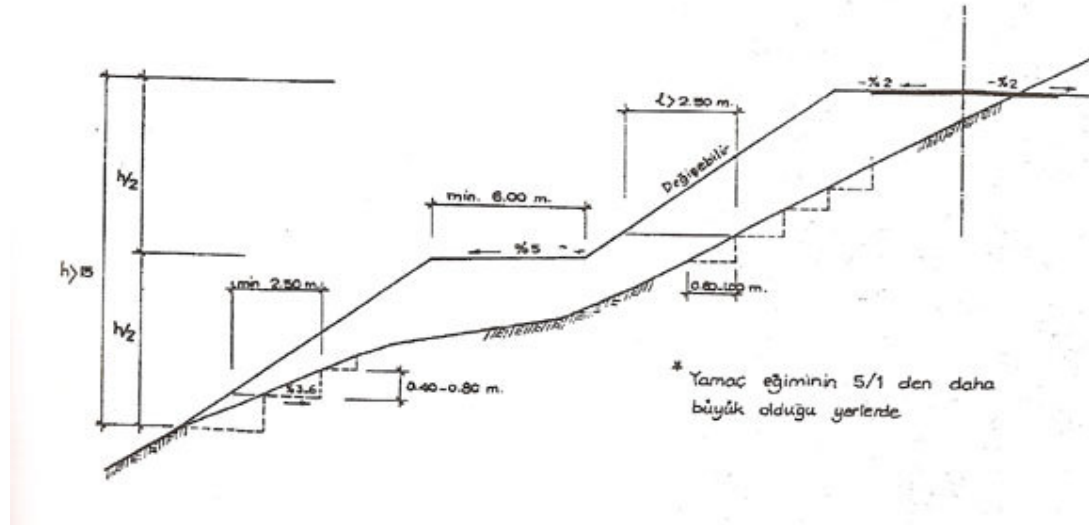
Dolgu Şevi eğiminin tespitinde, tüm dolgu uzunluğunca en yüksek dolgu yüksekliği esas alınmalı ve bu yüksekliğe göre verilen Şev eğimi tüm dolgu boyunca ( sağ ve sol dolgu yüksekliğinde ayrı ayrı değerlendirilerek ) kullanılmalıdır.

Yamaçlarda ve karışık (mix) kesitlerde dolgu teşkilinde dolgu Şevi ile yamaç Şevi arasında yatay mesafenin 2,5m ve daha az bulunduğu kısımlarda dolgu Şevinden 2,5 m uzaklaşmayı temin edecek Şekilde kırmızı hatta paralel 0.40–0.80 m yüksekliğinde sıkıştırılarak kademeler teşkil edilmelidir.

Yamaç Şevi ile dolgu Şevi arasındaki mesafenin 2,5m den fazla olduğu yerlerde ise 0.80–1.00m genişliğinde diŐ açılmalıdır

Bu kademeler yamaç Şevinin 5/1 den daha dik olduğu yerlerde teşkil edilecektir.

Kademe teşkili için yapılan kazılar yarma kazısına, projelendirme esnasında dahil edilip, yapım esnasında röleve edilerek ataŐmana geğirilip paçal fiyattan bedeli ödenir [5].



Şekil 2.12. Yamaç Şevinin 5/1 den Daha Dik Olduğu Yerlerde Teşkil Edilecek Kademe.

#### 2.4.2. Yarma Şevleri

Yarmalarda Şev eğimleri, palyeler araştırma dairelerince tespit edilerek Zemin ve Ocak Etüt Raporlarında belirtilir. Yarma Şevi eğimlerinin verilmesinde 1:5 (1 yatay – 5 diŐey) Şev eğimi kesinlikle kullanılmamalı, 1.4 eğimi ise ancak sağlam yapıdaki iyi



kalite kaya formasyonlarda açılacak sığ yarmalarda verilebilecektir. Toprak zeminlerde açılan yarmalarda minimum yarma şevi 3:2 (3 yatay -2 düşey ) olmalıdır. Yüksek yarma ve dolgularda palye teşkiline ait detaylara uyulacaktır [5].

## 2.5. Dayanma Yapıları ve Şevlerin Desteklenmesi

Karayollarında dolgu yapımı sırasında şevlerin teşkilinde ve stabilitesinin korunması sırasında destek sağlayan yapılara dayanma yapıları adı verilir. Şevler ilave yapı veya yapı elemanlarıyla desteklenerek güvenli bir şekilde oluşturulmalıdır [1].

### 2.5.1. Gabion Yapılması

Gabion; “Projelerde gösterilen veya idare tarafından belirtilen yerlerde, iksa ve istinat yapıları, yol gövdesinin ve sanat yapılarının akarsu etkilerinden korunması, akarsu yataklarının düzenlenmesi, su taşkınlarından korunma, kaya yarmalarda taş düşmelerinden koruma vb. işleri için yapılır. Bu iş; altıgen şeklinde çift bükümlü olarak imal edilmiş, gözenekli, örülmüş ağlardan oluşan tel kafeslerin kurulmasını, içerisinde kayaç blokları ile doldurulmasını ve yerleştirilmesini içerir [1].



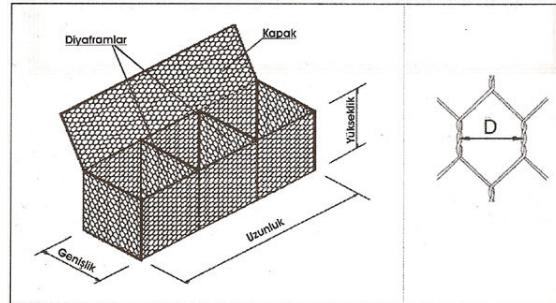
Şekil 2.13. Gabion Kullanılarak Duvar Yapımı.

Bu işler için kullanılan gabionlar;

- Kutu/Sepet
- Şilte
- Torba şeklinde olabilir.

### 2.5.1.1. Kutu/Sepet Gabionlar

Kullanılacak gabion boyutlarının projede gösterilmesi veya idare tarafından belirtilmesi gereklidir. Kutu/Sepet gabionlara ait malzemelerin teknik özellikleri ve uygulama esasları aşağıda belirtilmiş olup kutu gabionun; durumu Şekil 2.14 da gösterilmektedir. Gözenekler altıgen şekilde olup açıklık değeri D Şekil 2.14 da gösterildiği gibi iki çift büküm arasındaki açıklığı belirtir.



Şekil 2.14. Kutu Gabion ve Gabion Gözeneği.

Gabion kafeslerin imalatında kullanılan çelik tellerin nitelikleri ve özellikleri aşağıda belirtilmektedir.

Gözenek Teli; Gabionların çift bükümlü, altıgen şeklindeki gözenekleri ağır galvaniz yumuşak çelik tellerden, EN 10223-3 standardında belirtilen esaslara uygun şekilde imal edilir.

Köşe (Çerçeve) telleri; gabionların fabrikada imalatı sırasında köşeleri boyunca çerçevelenmesi için kullanılan ağır galvanizli veya galfan kaplı yumuşak çelik tellerdir.

Tablo 2.17. Gözenek Boyutuna Bağlı Tel Kalınlıkları [1].

Boyutlar (mm)	Kısa Yönde Gözenek açıklığı, D (mm)	Tolerans Değerleri	Tel Kalınlığı Q(mm)
60x80	60	+ %16, -%4	2.00 ( Şilte Gabion)
100x20	100		2.70 ( Kutu Gabion)

Bağlama Telleri; Gabionların tel kafes kutu/Sepet haline getirilmesi ve bu tel kafes Kutu/Sepetlerin birbirine köşeleri boyunca bağlanması için kullanılan ağır galvanizli veya galfan kaplı yumuşak çelik bağlantı telleridir.

Gözenek, Köşe (Çerçeve) ve Bağlama Tellerinin Özellikleri şöyledir;

Çekme Dayanımı: Gabion imalatında kullanılan gözenek teli ve gabionların birbirine bağlanmasında kullanılan bağlama teli EN-10223-3 standardında belirtilen esaslara uygun olarak deneye tabi tutulduğunda çekme dayanımı 35-50 kg/mm<sup>2</sup> olmalıdır.

Uzaması: Tellerin uzaması; kafes yapılmadan önce kullanılacak malzemedan 25 cm uzunluğunda bir numune alınarak bu numune üzerinde yapılan deney sonucunda tespit edilmelidir. Deney sonucunda tellerin uzaması en az %10 olmalıdır.

Galfan/ Galvaniz Kaplama ve Toleransları: Gabion üretiminde kullanılan teller korozyona karşı galfan ve galvaniz kaplama olarak 2 ana guruba ayrılmaktadır. Gabion üretiminde kullanılan tellerin Galfan kaplama ve galvaniz kaplama miktarları EN-10244-2 standardında belirtilmiştir. Tablo 2.18 de tel kalınlıklarına bağlı olarak kullanılacak en az kaplama miktarları ve tolerans değerleri verilmektedir.

Kaplamanın Çelik Tel ile Yapışması: Galvaniz veya galfan kaplanmış tel; tel çapının 4 katı büyüklüğünde bir çapa sahip silindire altı tur sarıldıktan sonra kaplama tırnak ucu ile kazılmaya çalışıldığında, kaplama üzerinde pullanma ve çatlama olmayacak şekilde kaplanır.

Gözenek, Köşe (Çerçeve) ve bağlama tellerinin galvaniz ve galfan ile kaplanması EN-10244-2 standardında, tel çekme mukavemetinin ise EN-10233-3 standardında belirtilen esaslara uygun olması gerekmektedir.

Tablo 2.18. Tel kalınlıklarına Göre En Az Galvaniz ve Galfan miktarları [1].

<b>Tel Kalınlığı Q (mm)</b>	2.00	2.20	2.40	2.70	3.00	3.40	3.90
<b>Tel Kalınlığı Q (mm) Toleransları +/-</b>	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.10
<b>Galvaniz Miktarı (gr/m<sup>2</sup>)</b>	240	240	260	260	275	275	290
<b>Galfan Miktarı (gr/m<sup>2</sup>)</b>	215	230	230	245	255	265	275

Tellerin Organik Madde ( PVC) ile kaplanması: Galvanizli veya galfan kaplamalı yumuşak çelik telin üzerine organik madde (PVC) kaplanması halinde tel çapı aşağıda, Tablo 2.19 de belirtildiği gibi artacak ve kaplama için kullanılacak organik madde (PVC) EN-10245-2 standardında belirtilen esaslara uygun olmalıdır.

Tablo 2.19. Çelik Tel ve Üzerine Organik Madde (PVC) ile Kaplanması [1].

<b>Çinko veya Çinko alaşımı kaplanmış (Galfan) Çıplak Tel Çapı (mm)</b>	<b>Organik (PVC) Kaplanmış Tel Çapı (mm)</b>
2.00	3.00
2.20	3.20
2.40	3.40
2.70	3.70
3.00	4.00
3.40	4.40
3.90	4.90

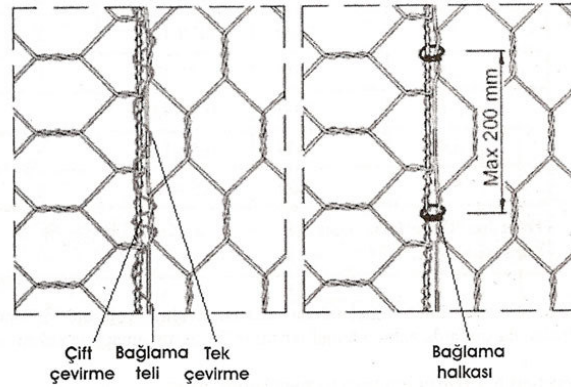
Gabion içerisinde dolusunda Kullanılan Kayaçların Özellikleri: Gabion içerisinde doldurulmasında kullanılan kayaçlar; doğal, sert, sağlam, hava etkilerine karşı dayanıklı az gözenekli ve temiz olmalıdır. Gabionların içerisinde kullanılan kayaçlar Tablo 2.20 de belirtilen niteliklere sahip olmalıdır.

Yapım Şartları: Gabion kutu/sepetleri iş yerine katlı halde getirilecek ve katlı halde gelen bu kutu sepetler düzgünce açılıp paneller ve diyaframlar dik hale getirilecek ve köşeleri boyunca bağlanarak kutu kafes haline getirilir.

Tablo 2.20. Gabion Yapımında Kullanılacak Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [1].

Deney	Deney Standardı	Şartname Limitleri
1. Doygun yüzey kuru birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	TS 699 - Ocak 1987 TS 2513 - Şubat 1977	3.00
2. Hacimce su emme oranı %		3.20
3. Kaba Agradada Los Angeles Aşınma Kaybı %		3.40
4. Tabii don dayanımı %		3.70
5. Don kaybı deneyi (Na <sub>2</sub> So <sub>4</sub> ile) %		4.00
6. Sürtünme ile aşınma kaybı		4.40

Gabion Kutu/Sepetler; üreticinin talimatlarına uygun şekilde kurulus. Bağlama işlemleri kesiksiz sürekli olmalı ve aşağıda Şekil 2.15 de gösterildiği gibi her iki gözenekte bir çift çevirme şeklinde yapılmalıdır. Bağlama sırasında tel sıkı bir şekilde sarılmış olacak Çit çevirme aralıkları 20 cm yi aşmamalıdır.



Şekil 2.15. Gabionların Bağlama Teli ve Bağlama Halkaları İle Bağlanması [1].

Gabionların bağlama teli ve bağlama halkaları ile bağlanması: Bağlama telleri yerine kalınlığı en az 3 mm, çekme dayanımı 170 kg/mm<sup>2</sup> olan ağır galvanizli veya galfan

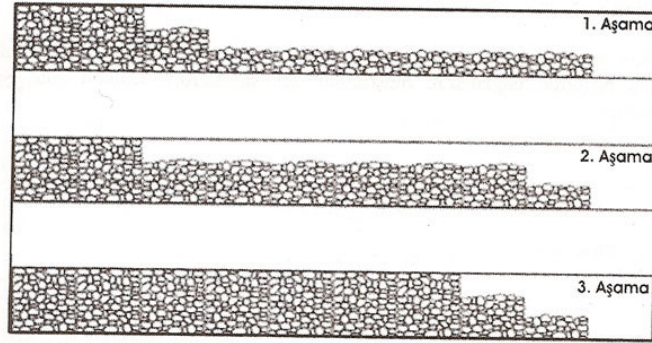
kaplı halkalar kullanılabilir. Galvaniz kaplı gabionlar için galvaniz kaplı bağlama halkaları, galfan veya PVC kaplı gabionlar için ağır galfan kaplı halkalar kullanılır.

Kutu gabionların daha dayanıklı olmaları için aşağıdaki Tablo 2.21 de belirtildiği şekilde gözenek teli ve bağlama teli kullanıldığında köşe teli daha kalın bir tel ile çerçevelenmelidir.

Tablo 2.21. Gözenek, Köşe ve Bağlama Tellerinin Uygulama Kalınlıkları.

Gözenek Teli Kalınlığı	2.00	2.70
Köşe ( Çerçeve ) Tel Kalınlığı (mm)	2.40	3.40
Bağlama Teli Kalınlığı (mm)	2.00	2.20
*Bağlama telleri herhangi bir gabionun ağırlığının en az % 5'i oranında kullanılacaktır.		

Gabion kutu-sepetleri hazırlanan bu temel üzerine kurulur. Kutu gabionlar Şekil 2.16 da gösterildiği gibi tabakalar halinde 3 aşamada doldurulur. Bu yöntem daha sonra ortaya çıkabilecek şekil bozukluklarının önüne geçer.



Şekil 2.16. Kutu Gabionların Doldurulma Aşamaları [1].

Kutu Gabionun boyutları diyafram sayıları ve tolerans değerleri, organik madde (PVC) kaplanmış dahil aşağıda tablo 2.22 de belirtilmektedir.

Gabionun kurulacağı yerde önce temel tabanı hazırlanmalıdır. Projesinde gösterilen veya idare tarafından belirtilen durumlarda gabion temeli tabanına filtrasyon amaçlı geotekstil serilebilecektir.

Tablo 2.22. Kutu Gabionun Boyutları, Diyafram Sayıları ve Tolerans Değerleri [1].

Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Diyafram (Adet)
1,50	1,00	1,00	-
2,00	1,00	0,50-1,00	1,00
3,00	1,00	0,50-1,00	2,00
4,00	1,00	0,50-1,00	3,00
2,00	2,00	1,00	1,00
3,00	2,00	0,50-1,00	2,00
4,00	2,00	0,50-1,00	3,00
5,00	2,00	0,50-1,00	4,00
Tolerans Değerleri : Uzunluk +/- %5, Genişlik; +/- %5, Yükseklik +/- %5			

Gabionların içerisi uygun büyüklükte taşlar kullanılarak ve minimum boşluk kalacak şekilde düzgün bir şekilde doldurulmalıdır.

Gabionların doldurulmasında kullanılacak taşların minimum boyutu 12 cm, maksimum boyutu ise 25 cm olmalıdır.

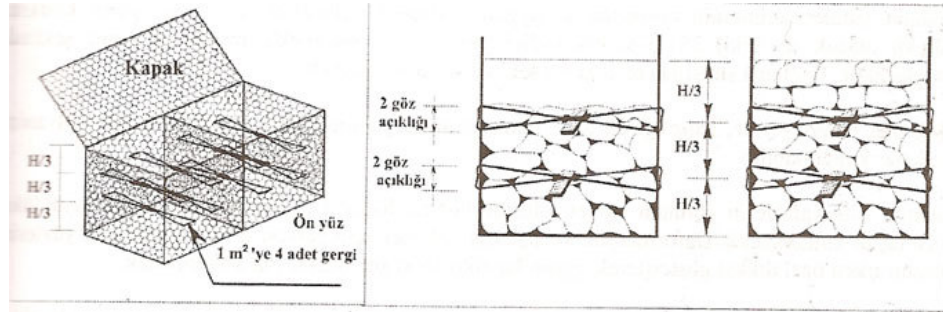
Deformasyon ve şişmeyi önlemek için gabion kafeslerin görünen yüzleri oluştururken özel dikkat gösterilmeli, uygun büyüklükte seçilmiş taşlar kullanılmalıdır.

Gabion yüksekliğinin her 1/3 kesimlerinde 2 adet olmak üzere şekil 2.17 de görüldüğü gibi gabion bağlama tellerinden 2 göz açıklığından geçecek şekilde kafes taş ile doldurulurken bağlanarak kafes içinden iç gergiler yapılır.

Gabion kafesinin doldurulması bu şekilde aşamalar halinde yapılır. Doldurma sırasında görünen yüzler arasında bağlama telinden tel kuşaklar oluşturulur. Ayrıca ahşap veya

başka malzeme ile germe şablonu oluşturularak ve bu şablona dışarıdan gerilme sağlanarak kutuların daha düzgün olması sağlanmalıdır.

Doldurma işleminin tamamlanmasından sonra gabionun üstü sıkıca bağlanmalı varsa alt gabion sepetleri köşe tellerinden şekil 2.15 de gösterildiği şekilde bağlanarak yapının bir bütün olarak davranması sağlanmalıdır [1].



Şekil 2.17. Gabionlarda İç Gergiler, Taşların Doldurulması ve İç Gergilerin Aşamalı Olarak Yapılması [1].

### 2.5.1.2. Gabion Şilteler

Özel yapılmış dikdörtgen şeklinde yüksekliği az, kaplama alanı ise geniş olan 1 m<sup>2</sup> lik ara diyaframlarla birbirine bağlanarak oluşturulan tel kafeslerdir.

Şilte gabionların yapımına kullanılan malzeme, Kutu-sepet gabionların yapımında kullanılan malzeme ile aynı niteliklere sahip olacaktır. Gabion şilte boyutları ve diyafram sayıları ve tolerans değerleri aşağıda Tablo 2.23 de belirtilmektedir.

**Yapım Şartları:** Gabion şilte sepetleri işyerine katlı halde balyalar halinde getirilecek ve katlı halde gelen bu sepetler düzgünce açılıp panellerle diyaframlar dik hale getirilmeli köşeleri boyunca gabion şilte haline getirilmelidir.

Gabion şilteler; üreticinin talimatlarına uygun şekilde kurulur. Bağlama işlemi kesiksiz, sürekli olacak ve Şekil 2.17 de belirtildiği gibi her iki gözenekte bir çift çevirme şeklinde yapılır. Bağlama sırasında tel sıkı bir şekilde sarılmış olmalıdır.



Bağlama telleri yerine, kalınlığı en az 3 mm, çekme dayanımı 170 kg/mm<sup>2</sup> olan ağır galvanizli halkalar da kullanılabilir.

Deformasyon ve şişmeyi önlemek için gabion şiltelerin görünen yüzlerini oluştururken özel dikkat gösterilerek uygun büyüklükteki seçilmiş taşlar kullanılmalıdır. Bu iş için kullanılacak taşların minimum boyutu 8 cm maksimum boyutu ise 15 cm dir. Şilte gabionların dolumu aşağıdan yukarıya doğru yapılır.

Tablo 2.23 Gabion Şilte Boyutları ve Diyafram Sayıları ve Tolerans Değerleri [1].

Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Diyafram (Adet)
		Gözenek Tipi 60x80	
3	2	0,17-0,23-0,30	-
4	2	0,17-0,23-0,30	1
5	2	0,17-0,23-0,30	2
6	2	0,17-0,23-0,30	3
3	3	0,17-0,23-0,30	1
4	3	0,17-0,23-0,30	2
5	3	0,17-0,23-0,30	3
6	3	0,17-0,23-0,30	4

Tolerans Değerleri : Uzunluk +/- % 3, Genişlik; +/- % 3, Yükseklik +/- % 3

Gabion şilte kafeslerin görülen yüzleri oluşturulurken dikkat edilerek sadece uygun büyüklükte olan taşlar kullanılmalıdır [1].

### 2.5.1.3. Torba/Silindir Şeklinde Gabion

Bunlar torba veya silindir şeklinde yapılan özel gabionlardır. Deniz kenarında dok marina yapımında ve nehir kenarlarında kıyı koruması amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca taşkın ve sellerde de acil kullanımlar için uygundur [1].

### **2.5.2. Donatılı Zemin Duvar (Toprakarme)**

Donatılı zemin duvar (Toprakarme); kamulaştırma alanının sınırlı olduğu yerlerde, köprü kenar ayakları çevresinde ve benzeri yerlerde, temel betonu üzerine prekast yüzey elemanlarının (panel), geri dolgu tabakalar içerisine yerleştirilen yüksek aderanslı sıcak daldırma galvaniz kaplamalı çelik şeritler veya yüksek çekme dayanımlı plastik şeritlerle bağlanması ile inşa edilen yapılardır.

Dolgular içine çeşitli tipte donatılar döşenerek zemin tabakalar halinde sıkıştırılır ve donatılar ön cephede duvar elemanlarına bağlanır. Duvar elemanları genelde betonarme ve prekast panolar şeklindedir. Benzer duvarlar geosentetik sürekli kumaş ile katlama sıkıştırma şeklinde de yapılmaktadır. Donan, plastik veya paslanmaz çelik şeritlerden oluşmaktadır. Şeritler yaklaşık 0.5-1.0 cm kalınlıkta 10 cm genişliktedir. Düz ve tırnaklı tipleri bulunmaktadır. Sadece çekmeye çalışan esnek şeritler, potansiyel kayma yüzeyi mofailize olmak istendiğinde (aktif bölge) arka tarafa (dayanma bölgesi) bağlı olduğundan dayanım vererek deformasyonları önlemekte ve duvarın stabilitesi sağlanmaktadır.

Donatı olarak grid şeklinde plastikler, bükülü çubuk ankrajlar ve fiber malzeme de kullanılmaktadır. 3 boyutlu hücrelerden oluşan donatı tipleri yeni uygulanmaya başlanmıştır. Dolgu malzemesi için şartnameler mevcuttur ve taneli karakterde malzeme istenmektedir. İnceler oranı en fazla % 10-15 tavsiye edilmektedir. Çoğu hesap yönteminde şeritlere tesir eden çekme kuvvetleri ile şeritin kopma direnci bir güvenlik sayısı kullanılarak karşılaştırılmaktadır.



Şekil 2.18. Toprakarme yapı örneği (Mimarsinan Kavşağı /Kayseri).

Donatılı zemin duvarlarda iç stabilite kontrolü dışında taban kayması, tabii zeminin taşıma gücü, devrilme ve özellikle eğimli arazide genel stabilite hesaplarına yapılması zorunludur. Halen literatürde donatılı duvarların analizi için on beş kadar yöntem bulunmaktadır [6].

#### 2.5.2.1. Dolgu Malzemesi

Dolgu malzemesinin üniformalık katsayısı  $Cu > 5$  ve plastisite indeksi  $PI < 6$  olmalıdır. Donatılacaktır olacak zeminin özellikleri duvarın uzun ve kısa süreli stabilitesini etkilemeyecek ve donatı malzemesinin ayrışmasına sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Sıkıştırıldıktan sonra, makaslama sonucu kabarma gösteren zeminler donatılacaktır için en elverişli türdür. Granüler dolgunun ağırlıkça %10'nu geçmeyen ince malzeme içermesi ve kayma direnci açısının toplam kesme kutusu gerilme analizine göre ( $25^\circ$ ), efektif gerilme analizine göre ise ( $20^\circ$ )'den büyük olması gerekir. Kohezyonlu-sürtünmeli dolgu malzemesinde kil yüzdesinin %10'u likit limitin (45) ve plastisite indisinin (20)'yi aşmaması ve her iki tip dolgu için 125 mm maksimum tane çapı ve ( $30^\circ$ )'lik kayma direnci açısı öngörülmüştür. Dayanımı yüksek donatılarda  $D_{max}$  250 mm'ye yükseltilebilir [7].



Şekil 2.19. Toprakarmede Kullanılan Dolgu.

#### 2.5.2.2. Donatı Elemanları

Donatı elemanı olarak, galvanizli çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, alüminyum alaşımları gibi düz yüzeyli veya sürtünmeyi artırmak üzere yüzeyinde enine çıkıntılar olan şeritler kullanılır. Bunlar tipik olarak 50 mm-100 mm genişlikte, 4 mm-10 mm kalınlıkla olabilir. Ancak metallerin pahalılığı ve zemin ortamında paslanmaları, ekonomik ömrü 50 yılın üstünde olan dayanma duvarlarında sorun yaratabildiğinden cam takviyeli plastik şeritler, plastik ızgaralar, plastik kaplı polyester liflerin kullanımı önerilmektedir. Yapay şeritler metallere oranla daha düşük çekme dayanımı göstermelerine karşın zeminle arasında oluşan sürtünmenin yüksek olması sebebiyle tercih edilebilir. Ancak plastiklerin uzun sürede performansı henüz incelenememiştir. Metal elemanlarda 1 mm-1.5 mm pas payı bırakılır. Donatılı zemin sistemi, bütün diğer sistemler gibi, uygun şartların sağlandığı hallerde ekonomik, estetik ve güvenli yapıların ortaya çıkarılması için son derece elverişlidir. Ancak bunu yaparken sistemin gerek projelendirme esaslarına uymak gerekse malzemelere ilişkin özellik ve şartlara tamamen uymak, denemeleri kısa süreli hizmet yapılarında uygulamak, uzun süreli yapılarda güvenilirliği ispatlanmamış malzeme ve yöntemlerden sakınmak gerekmektedir [7].

### 2.5.2.3. Donatılı Zemin Duvar İnşası

Genellikle toprak işlerinin ağırlıklı bulunduğu şantiyelerde donatılı toprak duvar yapılması ekonomik ve hızlıdır. Şayet civarında dolgu için uygun malzeme yoksa yapılması ekonomik değildir. Panel imalatı ve montajı için küçük - orta büyüklükte genellikle toprak işleri yapan şantiyenin normal ekipmanı kafidir.

Panel genişliği 2.00 m. yüksekliği tam panel 160 cm yarım panel için ise 80 cm dir. Panellerin üzerinde sistemi düşey olarak sabitlemeye yarayan 32 mm çapında 2 delik vardır. Panel montajında kullanılmak üzere aşağıda gösterilen şablon ve işkence imal edilir.

İlk sırada yarım paneller konur daha sonra aralara şekilde gösterilen büyük paneller konur. Taş Manilaları ile ayarlanır, kamalanır, işkenceler takılır.

Şeritlerin takıldığı ilk kanca yüksekliğine kadar toprak dolgusu yapılır. Filtresi konur ve drenajı yapılır.

Kamalama dolgu ile beraber yapılır. Küçük paneller 15 mm, büyük paneller 30 mm toprak tarafına yatacak şekilde kamalanır, işkencesi konur. Dolgu kenarlarda ilk 2 m'de RL kompaktörü geri kalan kısımda CA 25 veya muadili silindirle yapılır.

Silindirin panellere yaklaşması kesinlikle önlenmelidir.

Dolgu şerit yüksekliğine gelince, şeritler panel kancalarından geçirilir. Elde boşluğu alınır, projesine uygun şekilde düzeltilmiş olduğu toprağının üzerine demir parçaları ile tutturulur. Üstüne malzeme serilir ve dolgu yapılır. Dolgunun panellerin arasında herhangi bir nedenle aksamasını önlemek için panel düşey derzleme lastik bant yerleştirilir.

Dolgu yüksekliği her tabakada 40cm. şerit kancaları arasındaki mesafe de 80 cm.dir. Yani her 2 tabakada dolgudan sonra şerit çekilir. Panel konur. Şerit konulacak dolgunun üst yüzünün replasının iyi yapılmasına dikkat edilmelidir. Aksi halde kayışlar dolgu yüzüne uyar şeritlerin üzerine değişken yükler gelir. Şerit Dolgu-Panel-Dolgu-Şerit-Dolgu Panel üst sıralara yapının geometrisine uygun özel eğimli paneller de kullanılabilir. Kayışlar şeritleri betonarme demirinde olduğu gibi 2 m.lik bindirme payı

ile eklenebilir. Herhangi bir nedenle kesilmiş kayışların yüzüne bitüm sürülerek bozulması önlenir [8].

#### **2.5.2.4. Donatılı Zemin Duvarların Problemleri ve Avantajları**

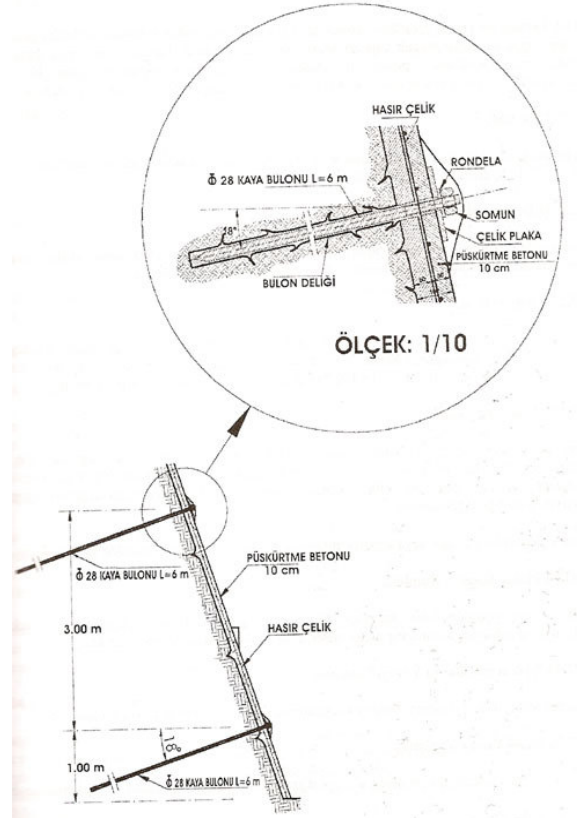
- Dolgu malzemesinin uygun evsafa olması lazımdır. Dolgu malzemesinin daha sonra hava şartlarından etkilenmesinin önlenmesi gerekir. Gerekli drenajların mutlaka tamamlanması, suyun bu malzeme üzerinde göllenmesinin önlenmesi lazımdır. Bunlar yapılmadığı takdirde tüm yapının kaldırılıp tekrar inşası gerekir.
- Şeritlerin zedelenmesi kontrol altına alındığı takdirde kaya dolgu da yapılabilir. Keskin köşeli sert malzeme kullanılmaması tavsiye edilir.
- Yağmurlu havalarda bile kaya dolgu ile donatılı toprak inşaatına devam edilebilir.
- Zayıf zeminlerde kazık inşaatına gerek kalmadan küçük bir zemin takviyesi ile günde 80 cm yükselecek şekilde inşaatı yapılabilir.
- Maliyeti klasik betonarme perdelerin %80'i kadardır.
- İstimlak sahasının problem olduğu kesimlerde ek temel hafriyatları yapmadan mevcut binaları muhafaza ederek donatılı toprak perdelerini yapmak mümkündür.
- Donatılı toprak perdesi inşaatı tamamlandıktan sonra 10 m. perde uzunluğunda 5 cm farklı oturmaya karşı dayanıklıdır. İnşaat süresince de oturmalar devam ettiği için sürekli değişiklik gösteren zeminlerde emniyetle kullanılabilir.
- Şekillerde görüldüğü gibi şeritin gerilmesi ve gerildikten sonra klobe edilmesi en mühim noktalar. Sıcak havalarda ikinci bir germe yapmak lüzumludur [8].

#### **2.5.3. Kaya Bulonu Yapımı**

Duraylı olmayan kaya blokların yerinde sabitlenmesi için tek olarak kayanın kesme dayanımının artırılması için sistematik olarak uygulanan, bir tür destekleme yöntemidir. Kaya bulonları uygulama şekline ve kullanılan malzemeye göre adlandırılmaktadır.

SN Bulonu; Kaya bulonu yapmak için açılan deliğinin bulon yerleştirilmeden önce enjeksiyonla doldurulması ve bulonun daha sonra yerleştirilmesi şeklinde yapılır.

PG Bulonu, kaya bulonu yapmak için açılan deliğe önce bulonun yerleştirilmesi daha sonra enjeksiyonun doldurulması şeklinde uygulanır (Şekil 2.20.).



Şekil 2.20. SN ve PG Kaya Bulonu Uygulama Detayı (Örnek Kesit) [1].

Swellex Bulonu; Mekanik olarak katlanmış çelik tüplerin deliğe yerleştirilmesinden sonra verilen yüksek su basıncı ile genişleyerek kendi şeklini, deliğin durumuna uyarlaması şeklinde uygulanır.

IBO Bulonu; Kaya bulonu ve delici uç'tan oluşan IBO bulonu içindeki boşluktan enjeksiyon yapılması şeklinde uygulanır. Bulonun delici ucu delik içinde kalır.

Kaya bulonları servis ömürleri boyunca gerekli güvenlik sayısı ile dizayn yüklerini taşıyıp taşıyamadıklarının kontrol edilmesi amacıyla çekme testine tabi tutulmalıdırlar.

Çekme testleri; yapım öncesi doğrulama ve yapım sırasında kanıt amaçlı olarak yapılır. Doğrulama testleri yapılan kaya bulonları destekleme elemanı olarak kullanılmazlar, fakat kanıt testleri uygun görüldüğü takdirde kalıcı destek elemanı olarak kabul edilirler [1].

#### **2.5.4. Zemin Çivili Duvar Yapımı**

Yukarıdan aşağıya kademeli olarak yapılan kazıda şev yüzeyinde açılan deliklere, çelik donatıların yerleştirilerek enjeksiyon yapılması ile oluşturulan yapım tekniği Zemin çivili duvar yapımı olarak adlandırılır. Bu işlem zemin veya ayrılmış kayacın kesme dayanımının artırılmasını sağlayan bir destekleme yöntemidir.

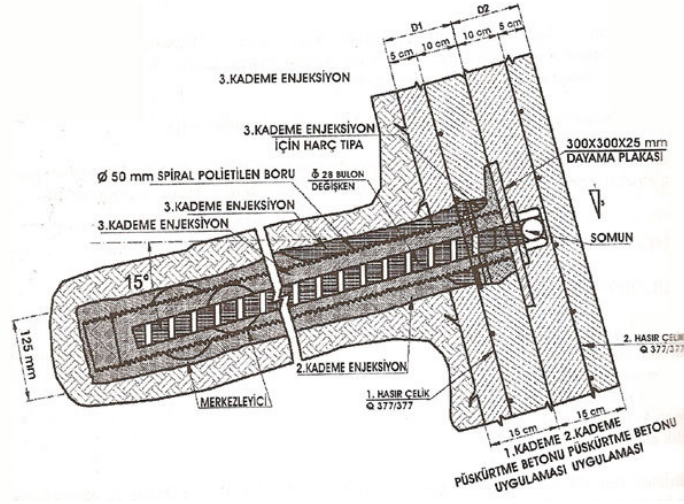
Bu iş için kullanılacak malzemeler donatı çeliği, enjeksiyon, plaka, somun, rondela, yüzey kaplamaları, çelik hasır, PVC veya HDPE borular ile PVC, çelik veya donatı çeliğine zarar vermeyecek nitelikte malzemelerden yapılmış merkezleyici adı verilen elemanlar kullanılacaktır. Kullanılacak elemanlara standartlara (Donatı çeliği TS 708, Enjeksiyonda kullanılan çimento TS EN-197/1 vb.) uygun şekilde inşa edilmelidir.

Yapım aşamaları başlıklar halinde belirtilecek olursa;

- Kazı yapılması,
- Deliklerin Delinmesi,
- Donatının Yerleştirilmesi,
- Enjeksiyon Yapılması,
- Nihai Yüzey Kaplama Betonunun Yapılması

şeklinde sıralanır. Zemin çivileri, servis ömürleri boyunca aşırı hareket olmadan, gerekli güvenlik sayısı ile proje yüklerini taşıyıp taşıyamadıklarının kontrol edilmesi amacıyla çekme testine tabi tutulurlar. Çekme testleri; yapım öncesi doğrulama ve yapım sırasında kanıt amaçlı olarak yapılır. Doğrulama testleri yapılan kaya bulonları destekleme elemanı olarak kullanılmazlar, fakat kanıt testleri uygun görüldüğü takdirde kalıcı destek elemanı olarak kabul edilirler [1].





Şekil 2.21. Zemin Çivisi Uygulama Detayı (Örnek Kesit) [1].

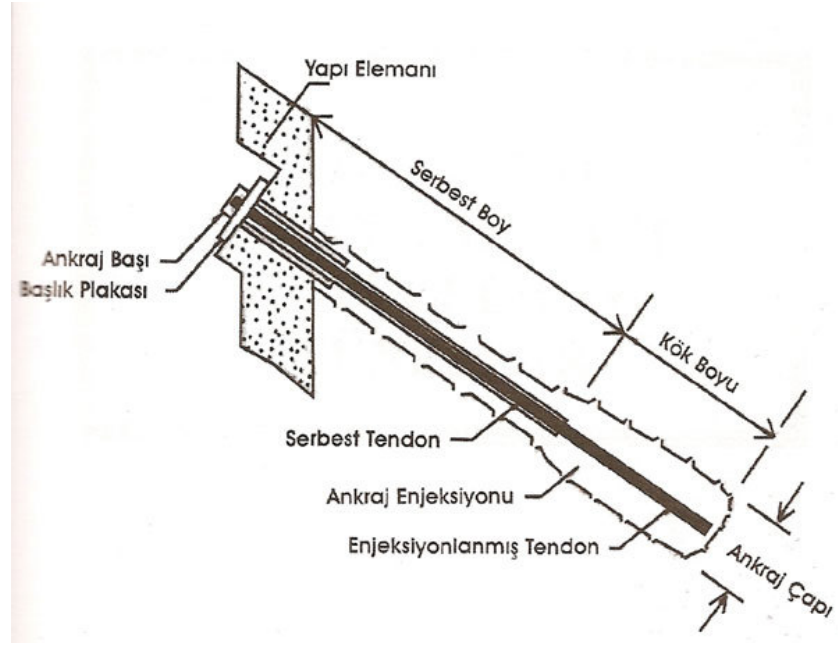
### 2.5.5. Zemin Ankraji Yapımı

Zemine uygulanan çekme yükünü yük taşıyan tabakaya aktaran yapı elemanı ankraj olarak tanımlanır. Projesinde belirtilen çapa uygun olarak nervürlü çelik veya çelik halatlardan tel veya demet şeklinde oluşturulan tendonlar ve bu tendonların ankraj başlıkları adı verilen elemanlarla gerdirilerek enjeksiyon yapılması suretiyle sabitlenmesi işlemidir. Kullanılacak malzemeler ilgili TS standartlarına ve projede verilen çekme dayanımlarını karşılayacak şekilde olmalıdır.

Zemin ankraji yapımı işi aşamalar halinde,

- Deliklerin delinmesi
- Tendonların yerleştirilmesi
- Enjeksiyon yapılması
- Gerilme

Şeklinde sıralanabilir. Kilit yükünde tendonun gerilmesi ankrajlanması ve ankrajın yük taşıma kapasitesinin belirlenerek kaydedilmesi için gerilme işlemi yapılır [1].



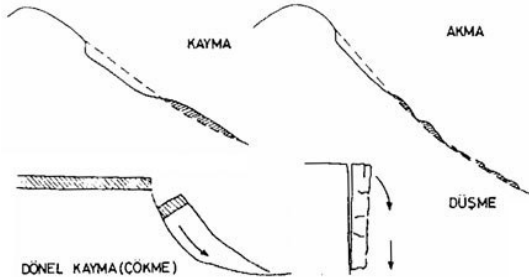
Şekil 2.22. Zemin Ankraji Detayı (Örnek kesit) [1].

## 2.6. Dolgularda Karşılaşılan Problemler

Dolgularda başlıca üç türlü problemle karşılaşılır.

### 2.6.1. Dolgu Şevlerinde Stabilité Bozukluğu

Skempton şev hareketlerini Derinlik/Uzunluk oranına göre 3 kategoride ele alır [9]. Oldukça basit ve kullanışlı sınıflandırma Blong tarafından önerilmiştir [10]. Buna göre şev hareketleri Şekil 2.23.'de gösterildiği gibi kaymalar, dönele kaymalar ve çökmeler, akmalar, düşmeler olmak üzere 4 gruba ayrılabilir. Bu 4 kategorili ayrımın basit olmasının yanı sıra birçok mühendislik uygulamaları için yeterli olduğu söylenebilir[11]



Şekil 2.23. Blong'a Göre Şev Hareket Tipleri

Dolgu şevinde başlıca üç türlü stabilite bozukluğu olur.

- Dolgunun dairesel bir kayma yüzeyi boyunca kendi içinde kayarak bir kısmının hareket etmesi halidir. Bunun sebebi; dolgunun iyi sıkıştırılmaması ve dik şev verilmesidir. Bunu önlemek için hesaplanmış bir şevde uygun sıkıştırma ile dolguyu inşa etmek.
- Dolgunun, alttaki temel zemini üstünde kayması halidir. Tabii zemin eğiminin 4/1den daha dik olduğu durumlarda genellikle dış yapılması gerekir. Sebebi; dolgunun dik bir yamaca oturması ve yüzeysel sularla beslenmesidir. Yamaçta, şekilde gösterildiği gibi dışlar açılması ve yamacın yukarısından gelen suların dolgu altına girmesinin önlenmesi ile problem çözülebilir.
- Dolgu şevinde yüzeysel akımlar meydana gelebilir. Bunun sebebi şevlerin genellikle iyi sıkıştırılmaması ve yağmur sularının banketlerden dolgu şevine sızmasıdır. Şevleri iyi sıkıştırarak ve gerekirse çim kaplanarak sorun çözülebilir [12].

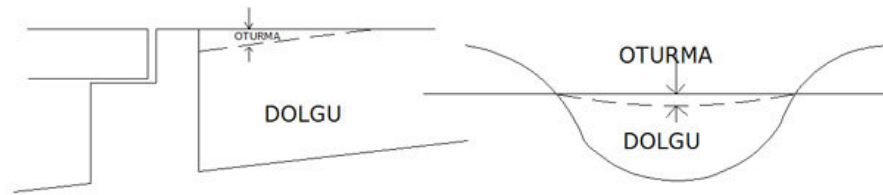
Doğal ya da yapay şevlerin analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Dairesel kayma yüzeyleri için geliştirilen yöntemlerden, İsveç dilim yöntemi; birim kalınlıktaki zemin kütlelerinin düşey dilimlere ayrılması ve bu dilimlerin her birinin 5 kuvvet etkisinde, belirli kabuller çerçevesinde incelenmesidir[13,14]. Basitleştirilmiş Dilim Yöntemi, Basitleştirmede her dilime etkiyen E kuvvetlerinin yaklaşık olarak her dilimde dengelendiği kabulüne dayanır.  $\Phi = 0$  Kabulü; Suya doymuş killerdeki kaymaların analizinde çoğu zaman, drenajsız kesme deneyindeki şartların yaklaşık olarak bulunduğu ve bu bakımdan  $\phi$  kayma mukavemeti açısının sıfır olarak alınabileceği kabul edilir[14].  $\Phi$  dairesi yönteminde; Taylor kayma yüzeyi üzerindeki P bileşke kuvvetinin, merkezi kayma yüzeyinin merkezi ile aynı olan  $R \sin \alpha$  yarıçaplı bir daireye teğet olması kabulüne dayanmaktadır [15]. Spencer tarafından geliştirilmiş olan bir başka yöntemde dilimler arası kesme kuvvetleri arasında bir bağıntı kurulmaktadır. Bu bağıntıya göre, dilimler arasında bulunan düşey kesme kuvvetlerinin, yatay normal kuvvetlere oranı bir sabit değere eşittir [16]. Janbu ve arkadaşları tarafından kayma yüzeyleri için dilimler arası kesme kuvvetlerinin (düşey kuvvetler) sıfır kabul ederek Janbu Basitleştirilmiş Yöntemini belirlemiştir. Dilimler arası kesme kuvvetlerini (düşey

kuvvetleri) bir noktadan etki ediyor olarak göz önüne alan ve bu noktaların bir araya getirilmesi ile bir kuvvet tepkisi doğrusu oluşturmasını öne süren Janbu Genelleştirilmiş yöntemi geliştirilmiştir [17,18]. Lowe ve Karafiath yöntemi, güvenlik sayısının değerini bir kuvvet denge denkleminde hesaplar. Dilimler arası kuvvetler dilimin kayma yüzeyinin ortasında bir noktada birbirlerine eşittirler. Dilimler arası kuvvetlerin yönü de göz önüne alınmaktadır [19]. Corps of Engineers yöntemi güvenlik sayısı değerini kuvvet denge denklemlerinden hesaplar. Morgenstern–Price Yöntemi; Her bir kayma dairesi diliminin tabanındaki merkez etrafındaki momentleri ve her bir dilimin tabanındaki normal ve teğet kuvvetlerin toplamını kullanarak güvenlik sayısı için çözüm getirmektedirler [20].

### 2.6.2. Dolgunun Kendi İçindeki Oturması

Bilhassa yüksek dolgularda ve köprü yaklaşım dolgularında meydana gelir. Rijit bir kaplama kullanıldığı zaman kaplamayı tahrip eder. Köprüye girişte tekerleklerin vurmasına sebep olur. Nedeni; Köprü yaklaşım dolgularında çalışma zorluğu ve yüksek dolgularda çabuk inşaat sebebiyle dolgunun yeteri kadar sıkıştırılmamasıdır.

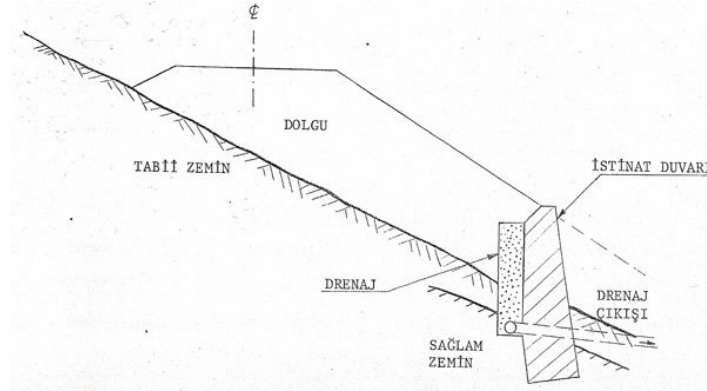
Uygun bir sıkıştırma ( 15 mtye kadar dolgularda, standart proctor sıklığının en az %90'ı, 20-30 mt.lik dolgularda ise modifiye proktor sıklığının en az %95 i olacak şekilde) yapılması ve özellikle köprü yaklaşım dolgularında mümkünse granüler malzeme kullanılarak problem ortadan kaldırılabılır [12].



Şekil 2.24. Dolgunun Kendi İçindeki Oturması.

### 2.6.3 Dolgu Eteğinin İstinat Duvarı İle Tutulması

Dolguların bir yamaca oturması halinde dolgu şev eğimi ile yamaç eğimi birbirine yaklaşık ise şev eteğinin çok aşağılara düşmesi ihtimali belirir. Bu halde dolgu eteğini



Şekil 2.25. Dolgu Eteğinin İstinat Duvarı İle Tutulması [12].

bir istinat duvarı ile tutmak gerekir. Ayrıca, meskun sahalarda yapılan yol inşaatlarında yer darlığı sebebiyle sık sık istinat duvarı ile şev eteklerinin sınırlandırılması yoluna gidilir.

Kaydırıcı kuvvetlerin önüne geçmek, etkilerini azaltmak için ilk yapılan iş topuğa ek bir yük koyarak hareketi durdurmaktır. Bundan sonra, hareket eden kitlenin, kısmen ya da tamamen alınıp, başka yere taşınmasına çalışılır. Hareket eden alanda kara yolu, demiryolu varsa bunlar ya düzeltilip kullanılır ya da bırakılıp yeni yol açılır. Eğer yeni yol için başka bir çözüm yoksa, heyelan bölgesi köprü yapılarak geçilir; Bütün bu çözümler için ayrıntılı çalışma, maliyet analizi ve zamanlama esastır.

Heyelanları önlemede en çok kullanılan yöntem topuğu ek bir yük koyma diğer bir deyişle bir Ağırlık Yapısı yapmadır.

Topuğa yük koymanın da en basit şekli, buraya kuru taş duvar yapmaktır. Daha iyisi beton, betonarme istinat duvarı yapma, beton ayaklar inşa etme ya da ahşap, beton, çelik kazık ya da palplanşlar çakmadır.

Bu tür yapılar iyi boyutlandırıldığı, yeteri kadar derine indirildiği, alt taraflarında kazılar yapılmadığı sürece yarar sağlamaktadır; aksi halde kaydırıcı kuvvetler bunları da bozmakta ve yıkmaktadır. Burada, kayma yüzeyi derinliğinin, yüzey ve yeraltı su durumunun ve miktarının, doğru olarak bilinmesi projelendirme için ilk koşuldur [12].

## 3. BÖLÜM

### KARAYOLU DRENAJI

#### 3.1. Karayollarında Drenaj Hakkında Genel Bilgiler

Drenaj, herhangi bir yapıdan, yapıya zarar verebilecek suyun doğal veya yapay yollarla uzaklaştırılmasına yönelik yapılan çalışmalardır. Yol inşaatı çalışmalarında zeminde suyun bulunması birçok olumsuz sonucu beraberinde getirir.

##### 3.1.1. Genel Bilgiler

İnsanlığın hayatta kalabilmesi, uygarlığın yayılması ve ekonominin gelişmesinde birinci derecede rol oynayan unsurların başında bulunan ‘yol’ un en büyük düşmanı hiç şüphesiz ki ‘su’ dur. Günümüzde iyi bir yol deyince tabanından kaplamasına kadar bütünüyle kuru olan, diğer bir deyişle, rutubet yüzdesi şartnamelerde belirtilen belirli ve ölçülü sınırlar içinde bulunan bir yol anlaşılır.

Çok fazla rutubetli ve gevşek zeminler üzerinde inşa edilen en kalın ve dayanıklı kaplama tiplerinden olan çimento betonu veya asfalt betonu kaplamaların bile trafik ve yüksek yeraltı suyu nedeniyle, pompaj veya don etkileri sonucu, zamanla geçit vermeyecek derecede bozulduğu görülmüştür.

Örneğin, ülkemizin en modern ve trafiği en yüksek olan Ankara-İstanbul yolunun Düzce-Hendek arasındaki asfalt betonu kaplama ile kaplı kısmı, bu duruma en güzel örneği teşkil etmektedir. İnşası tamamlandıktan sonra bir çok defa bu kesime dökülen asfalt betonu ancak bir mevsim dayanabilmiştir. Bunun yolun üst yapısının oturduğu taban toprağının kapilerite vs. nedenlerle çok fazla rutubetli ve gevşek olmasından ileri geldiği belirlenmiştir. İnşaat esnasında bu hususlara gereken önem verilmelidir.

Medeniyet ve yol birbirinden ayrılmaz iki unsur olarak geliştikçe, taşıt sayısı birdenbire artmış ve bu artışla orantılı olarak da 'trafik emniyeti' kendini şiddetle hissettirerek yolların yaz ve kış trafiğe emniyetle geçit vermesi hususunu doğurmuştur. Bu da yolla ilgili inşa ve bakım tekniğinde yeni ve büyük çözümler aranmasına yol açmıştır. Drenaj konusu bu çözümlerin başında gelmektedir.

Sonunda bütün ileri dünya ülkelerinde yolun hayatiyeti yönünden birinci derecede rol oynadığı kabul edilen 'drenaj' konusunun önemi bizde de anlaşılmış ve bu konu üzerinde önemle durulan, çalışılan ve iyi sonuçlar alınan bir konu haline gelmiştir. Yine son yıllarda zararları milyonlarca lirayı geçen 'heyelan' olaylarının başlıca kaynağının da su ve özellikle 'yeraltı suyu' dur [21].

### **3.1.2. Suyun Yola Etkileri**

Suyun yol üzerindeki zararlı etkileri çeşitli olup şu şekilde guruplara ayırmamız mümkündür:

- Yol dolgusunun veya üst yapının üzerinde oturduğu zeminin plastik hale gelmesine ve taşıma gücünün azalmasına sebep olmaktadır.
- Yarma şevlerinde veya bizzat yolun oturduğu arazide, zemin tabakaları arasında ' kayma yüzeyi' teşekkülüne yol açarak bu kütlelerin kaymasına sebep olmaktadır.
- Yol gövdesine sızarak don mıntıklarında donma olayına sebep olmakta, baharda erime sonucu ve trafik etkisiyle de yolun özellikle üst yapısının bozulmasına sebep olmaktadır.
- Erozyon olayı etkisiyle de yolun esasını teşkil eden kaplama, banket, yarma ve dolgu şevlerini aşındırmakta ve kullanılmaz hale gelmelerine sebep olmaktadır [12].

### **3.1.3. Suyun Doğada Bulunuş Şekilleri**

Bu suları yüzey suları ve yeraltı suları olmak üzere iki ana guruba ayırabiliriz.

Yüzey Suları:

- Yol alanına düşen yağmur suları
- Tabii mecralardan akan sular
- Birikinti haldeki zemin suları

Yüzey Altı ( Yeraltı) Suları:

- Serbest Yeraltı Suyu; Bunlar zeminin fiziksel özelliklerine ve hidrolojik süzülme konularına uygun hareket ederler. Cepler veya tablalar halinde ve çeşitli derinliklerde bulunurlar.
- Kapiler Su; ‘Kılcallık’ kanunlarına tabii olarak yerçekimine aykırı yönde hareket ederler ki, dolayısıyla hareket aşağıdan yukarıya doğru veya yanaldır.
- Yer Altı Mecra Suları; Yeraltındaki yarık veya büyük boşluklardaki sular olup, yer üstü suları ile aynı hidrolik kanunlara tabi olarak hareket ederler.

Yukarda belirtilen guruplardaki suların, yollara belirtilen zararları yapmasına engel olmak veya onları zararsız hale getirmek için alınan tedbirleri ve yapılan işlemleri ihtiva eden sistem veya metotların tümüne ‘drenaj’ diyoruz [21].

### 3.2. Drenaj Tasarımı

Drenaj tasarımı, yol tasarımının önemli bir aşaması olup suyun yola zarar vermeden uzaklaştırılması amacıyla yapılmaktadır. Zira yüzeysel yağmur sularının Kaplama üzerinden dren edilmediği takdirde trafiğin yavaşlamasına, hidroplan etkisiyle trafik kazalarının artmasına ve su sıçratma ile görüş kaybına, Yol gövdesine girmediği önlenemediği takdirde temel/ alt temel tabakaları ile dolguların kayma mukavemetinin azalmasına ve kaplamanın daha çabuk bozulmasına, dolgu kesimlerinde dere yataklarındaki suyun engellenmesi halinde suyun yol gövdesinden aşmasına veya yolun kapanmasına neden olmayacak şekilde drenaj yapıları tasarlanmalıdır.

Yolun bombe eğimi ile sular yol dışına dren edilebilse de yüksek kaliteli kaplamalara sahip yollarda boyuna eğimi minimum %0,30 ve düşük kaliteli kaplamalara sahip yollarda boyuna eğimin minimum %0,50 olmasına azami gayret sarf edilerek drenaj



hendeklerindeki suların dren olması sağlanmalıdır. Ayrıca ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda teker izi olukları oluşmakta ve bu olukta biriken yağmur suları yanal eğim ile dren edilemeyip boyuna eğim ile dren edilmek zorunda kalınmaktadır. Yüzeysel yağmur sularının yol gövdesine girmesi veya uzaklaştırılması yol hendekleri ile ve dere yataklarından gelen suların yol gövdesinin altından geçirilmesi ise menfezler ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla yağmur sularının yola zarar vermeden uzaklaştırılması için gerekli yerde gerekli boyutlarda drenaj yapıları yapılmalıdır. Drenaj yapıları, yüzeysel ve yüzey altı olmak üzere iki farklı şekilde yapılacağından dolayı tasarım esasları da farklı olacaktır. Zira yağmur sularından ötürü yüzeysel drenaj yapılırken yeraltı suyundan ötürü yüzey altı drenajı yapılmalıdır [23].

### 3.2.1. Yüzeysel Drenaj Tasarımının Esasları

Yüzeysel yağmur sularının yola zarar vermemesi için ;

- Dren hendekleri
- Menfezler
- Bordür ve Düşüm olukları
- Kolektörler

gibi drenaj yapıları uygun boyutta tasarlanmalıdır.

Belirli bir miktar yağışın veya daha fazlasının ortalama tekerrür aralığı (t), standart olasılık teorisine göre aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$P=1-(1-1/T)^N \quad (3.1.)$$

Burada;

P: T yıllık frekans periyodunda n yıllık yağış şiddetinin ( $I_n$ ) N yılda aşınma olasılığı veya taşkın riski

T: Frekans periyodu veya ortalama tekerrür aralığı

N: Göz önüne alınan yıl veya risk aralığı ya da yapının ekonomik ömrü

1/T: T yıllık frekans periyodunda tahmin edilen yağış şiddetinin aşılma riski

1-1/T: T yıllık frekans periyodunda tahmin edilen yağış şiddetinin aşılmama riski

Yukarıdaki formül ile yapılan hesaplamalar Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Tasarım Ömrü İçinde Taşkın Olma Olasılığı [12].

Ortalama Tekerrür Süresi (T)	Her Yıl İçin Ortalama Frekans (1/T)	N Yılda Bir Taşkın Olasılığı, $1 - (1 - 1/T)^n$						
		N=100	N=75	N=50	N=10	N=5	N=2	N=1
100	0,01	0,63	0,53	0,39	0,10	0,05	0,02	0,01
75	0,013	0,74	0,63	0,49	0,13	0,06	0,03	0,01
50	0,02	0,87	0,78	0,64	0,18	0,10	0,04	0,02
25	0,04	0,98	0,95	0,87	0,34	0,18	0,08	0,04
10	0,10	1,00	1,00	0,99	0,65	0,41	0,19	0,10
5	0,20	1,00	1,00	1,00	0,89	0,67	0,36	0,20

Buna göre ekonomik ömrü 75 yıl olan bir yolun n yıllık yağış şiddetinden daha fazla taşkın olma olasılığı

I100 den daha fazla taşkın olasılığı  $P_{100} = 0.53$  veya %53

I75 den daha fazla taşkın olasılığı  $P_{75} = 0.63$  veya %63

I50 den daha fazla taşkın olasılığı  $P_{50} = 0.78$  veya %78

I25 den daha fazla taşkın olasılığı  $P_{25} = 0.95$  veya %95

I10 den daha fazla taşkın olasılığı  $P_{10} = 1.00$  veya %100

olarak elde edilir.

Taşkın debisinin tayininde yolun ekonomik ömrü ve taşkın olasılığı dikkate alınacağından dolayı taşkın debisinin tayininde tablo 3.2 de verilen sürelerin esas alınması yeterli ve gereklidir.

$I_n$  yağış şiddeti yolun geçtiği en yakın meteoroloji istasyonunun verilerine dayalı olarak meteoroloji genel müdürlüğü tarafından hazırlanan frekans-yağış süresi –yağış frekansı adaklarının en son baskısı esas alınmalıdır [23].

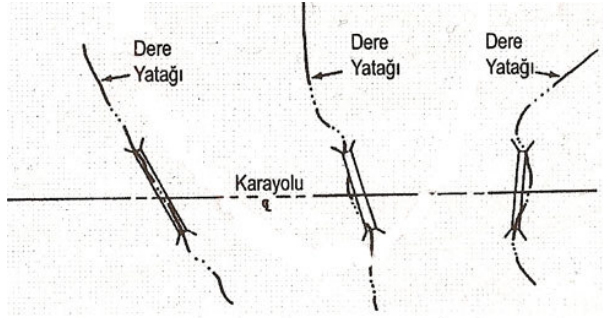
Tablo 3.2. Yolun sınıfına Bağlı Olarak Ortalama Tekerrür Aralığı [23].

Yolun Sınıfı	Ekonomik Ömür (Yıl)	T veya $I_n$
Otoyol	75-100	$I_{100}$
Bölünmüş Yol	50-75	$I_{75}$ veya $I_{100}$
Devlet Yolu	30-50	$I_{50}$ veya $I_{75}$
İl Yolu	25-35	$I_{25}$ veya $I_{35}$

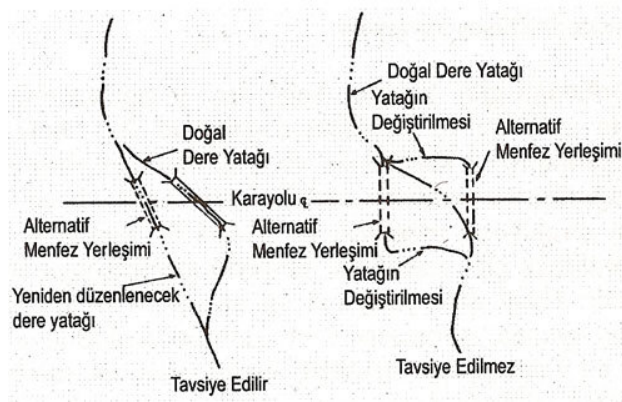
### 3.2.2. Menfez Tasarımı

Yağış ve yağışla akışa geçen doğal dere yataklarının ( Kuru derelerin ) yolu kesmesi halinde yağıştan dolayı yüzeysel akışa geçen yağmur sularının yola zarar vermeden yolun altından geçirilmesi için yapılan drenaj tasarımlarına menfez denir. Menfezler uygun boyutta tasarlanmaz ise aşırı yağışlardan sonra kuru dere yataklarında kabaran sular yol gövdesini aşarak yolun kapanmasına veya yol dolgusunun erozyona veya dolgu ya da dolgu altındaki zeminin taşıma gücü ve/veya stabilitesinin azalmasına neden olmaktadır. Menfez civarındaki kaplamalardaki oturma, deformasyon ve benzeri bozulmaların büyük çoğu yetersiz menfez tasarımından kaynaklandığı göz önünde bulundurulmalıdır. Menfezlerin yatay yerleşimi şekil 3.1. de görüldüğü gibi doğal dere yatağının sahip olduğu yatay eksen üzerine oturtulmasına gayret sarf edilmelidir.

Şekil 3.1.a da görüldüğü gibi, menfez doğal dere yatağı üzerine yerleştirilecek olursa menfezin girişinde ve çıkışında doğal dere akışı bozulmayacağından dolayı rüsubat birikimi, su kabarması vb. gibi sorunlar oluşmayacaktır. Eğer doğal dere yatağı üzerine menfezin yerleştirilmesi sırasında çok uzun bir menfez yapılması gerekiyorsa menfezin yol ekseni ile yaptığı açı yani çarpıklık şekil 3.1.b de görüldüğü gibi azaltılmak suretiyle menfez boyu daha kısa olarak yapılabilmektedir. Fakat derde yatağının eğimi çok fazla değiştirilecek olursa rüsubat birikimi, oyulma, su birikmesi, vb. sorunların olacağı göz önüne tutulmalıdır. Genel bir kaide olarak menfezin ekseni yolun ekseniye dik olarak yapılmalıdır. Aksi halde doğal dere yatağının çok keskin dönüşler yaptığı yerlerde yol gövdesinin erozyonuna neden olacağı ve rüsubat birikim potansiyelinin artabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.



a- Doğal Dere Yatağı üzerine menfezin yerleşimi.

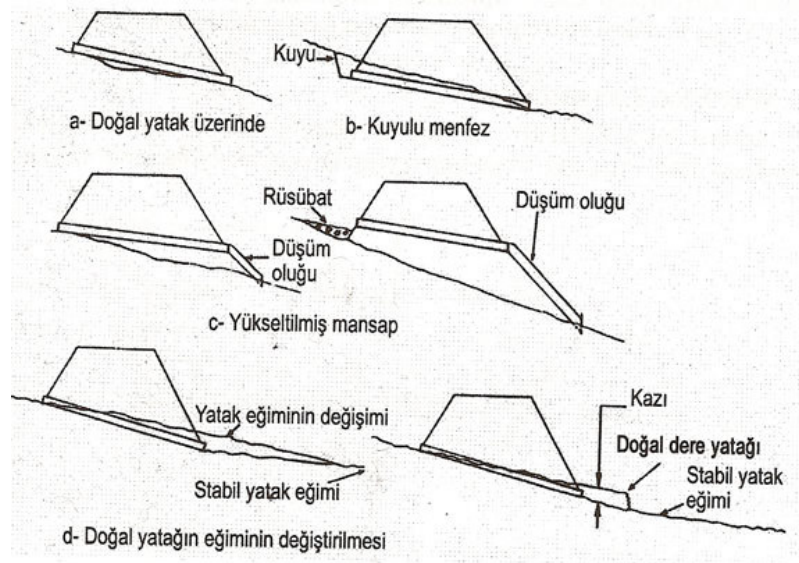


b- Doğal dere yatağı dışında menfezin yerleşimi.

Şekil 3.1. Menfezlerin Yatay Yerleşimi [23].

Menfezlerin düşey yerleşimi şekil 3.2. de görüldüğü gibi, doğal dere yatağının sahip olduğu düşey eksen üzerinde yapılmasına ve menfez tabanı doğal dere yatağı üzerine yerleştirilmesine gayret sarf edilmelidir. Aksi takdirde rüsubat birikimi, oyulma, vb. sorunların giderilmesi için gerekli ilave tedbirler alınmak zorunda kalınmaktadır.

Menfezler doğal dere yatağının ekseninde ve eğiminde yapıldığı ( yani dere yatağının doğal düşey ve yatay eksenine üzerine yerleştirildiği) takdirde menfezin memba ve mansap tarafında ilave herhangi bir şey yapmak gerekmeyecektir. Eğer doğal dere yatağının sahip olduğu yatay ve düşey eksen üzerine bir nedenden dolayı menfez oturtulamıyorsa ilave bir takım tedbirler alınmalıdır. Bu amaçla membada oyulmayı ve / veya mansapta rüsubat birikimini önleyecek ilave kazı ve beton veya anroşman kaplamalı dere yatakları inşa edilerek su akış yatağı sağlam bir zemine oturtulmalıdır.



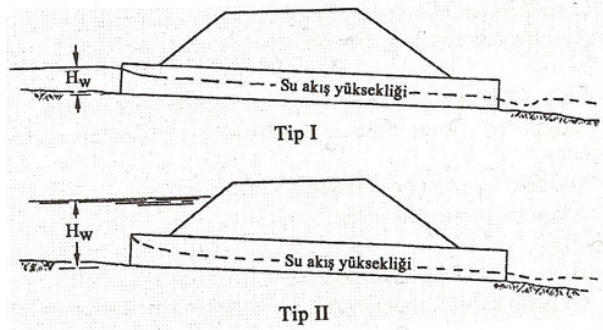
Şekil 3.2. Menfezlerin Düşey Yerleşimi [23].

Eğer doğal dere yatağı çok fazla eğimi  $\geq \%15$  ise su hızlı akacağından dolayı menfez tabanının aşınması göz önünde tutulmalıdır. Bu durumda menfez tabanı dayanıklı olacak şekilde yapılmalı ve memba kısmındaki dere yatağında dinlendirme çukuru, enerji kırıcı vb. tedbirler ile suyun akış hızının azaltılmasına çalışılmalıdır. Eğer doğal dere yatağının eğimi azaltılmak zorunda kalırsa menfezin mansabında dolgunun erozyona uğramaması için beton deşarj kanalları yapılmalıdır. Menfezin memba ve mansabında veya çok eğimli menfez tabanında alınacak ilave tedbirler detaylı bir şekilde etüt edilmelidir.

Menfezin boyutu ve menfezdeki suyun akış hızının tespit etmek için öncelikle menfez işletme koşulunu belirlemek gerekir. Menfez işletme koşulu;

- Menfez girişinde su kabarması ( veya giriş kontrolü)
- Menfez çıkışında su kabarması ( veya çıkış kontrolü)

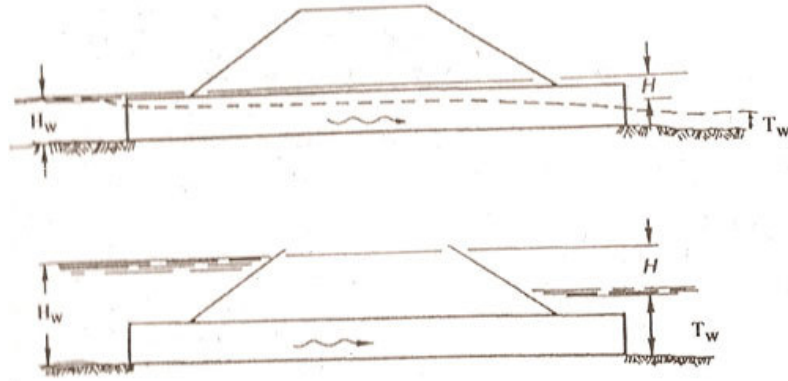
olmak üzere iki farklı şekilde seçilebilir. Ancak zorunlu kalınmadıkça giriş kontrolü yani menfezin girişinin su kabarmasına müsaade edilmeli fakat çıkış kontrolü yani menfezin çıkışında su kabarmasına izin verilmelidir. Menfez girişinde su kabarması şekil 3.3 te görüldüğü gibi, iki farklı tip olarak düşünülüp menfezin debi ve hız hesabı yapılabilmektedir.



Şekil 3.3. Giriş Kontrollü Menfez İşletme Şartları [23].

Menfez çıkışında su kabarmasına izin verilmesi halinde şekil 3.4 te görüldüğü gibi iki tip olarak menfez dibi ve su akış hızı hesabı yapılabilmektedir.

Şekil 3.3 ve 3.4 te görüldüğü gibi menfezde akan suyun yüksekliği değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik giriş suyu yüksekliği ( $H_w$ ) çıkış suyu yüksekliği ( $T_w$ ) ve akımın kritik yüksekliği ( $D_k$ ) tarafından belirlenmektedir. Ayrıca menfezin debisi ve akış hızına bağlı olarak sabit akış su yüksekliğine tekabül eden su yüksekliği ( $D_n$ ) belirlenmelidir. Menfez hidroliğine göre kritik kesitteki hız ( $V_k$ ) maksimum debide oluşmaktadır. Eğer  $D_n < D_k$  ise  $V_n > V_k$  olsa da menfez tam dolu akıyor demek değildir. Eğer menfez kesiti  $D_k \approx D_n$  veya  $a \geq D_n$  ise menfez en dolu şekilde akmakta ve dolayısıyla en ekonomik kesit elde edilmiş olacaktır.



Şekil 3.4. Çıkış kontrollü Menfez İşletme Şartları [23].

Yüzeysel akış katsayısı başlıca

- Zeminin topografyası (CT)
- Zeminin Cinsi (CZ)
- Zeminin Bitki örtüsü (CB)

gibi faktörlere bağlı olduğundan dolayı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$C = CT + CZ + CB \quad (3.2.)$$

CT, CZ ve CB katsayıları tablo 3.3 ten alınmalıdır.

Tablo 3.3 Yüzeysel Akış Katsayısı ( Rasyonel Metot) [23].

Ct		Cz		Cb	
Düz ( < %1 )	0,03	Kumlu- Çakıllı	0,04	Orman	0,04
Az Dalgalı ( %1-10 )	0,08	Kumlu Kil	0,08	Ekili Arazi	0,11
Çok Dalgalı (%10 - 20 )	0,16	Kil ve Löm	0,16	Çayır-Mera	0,21
Dağlık ( > %20 )	0,26	Kaya	0,26-0,36	Kıraç	0,28

Yağış havzası (veya drenaj sahası) büyük ve farklı zemin yapısına sahipse yüzeysel akış katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$C_0 = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.3.)$$

Burada;

$C_0$ : Yüzeysel akış katsayısının ağırlıklı ortalaması

$C_i$ : Drenaj sahasındaki farklı yüzeysel akış katsayısı

$A_i$ : Drenaj sahasındaki farklı yüzeysel akış katsayısına sahip alanlar

Yukarda bahsedildiği gibi

$I_{10}$  ve  $I_n$

C veya  $C_0$

Hesaplanan değerler ile  $Q_{10}$  ve  $Q_n$  değerleri formullerle belirlenir ve deneme yanılma ile menfez kesiti tayin edilmelidir. Seçilen menfez kesiti için  $Q_{10}$  esas alınarak belirlenen menfezdeki su kabarma miktarı eğer menfez yüksekliğinden en fazla 20 cm ise seçilen menfez kesiti  $Q_{10}$  için uygun demektir. Seçilen menfez kesiti için  $Q_n$  esas alınarak belirlenen menfezdeki su kabarma miktarı eğer kırmızı kotun yaklaşık 1,00 m altında ise seçilen menfez kesiti  $Q_n$  için uygun demektir. Seçilen menfez kesiti  $Q_{10}$  ve  $Q_n$  için istenilen şartları sağlıyor ise uygun olduğuna karar verilecek aksi halde daha büyük kesit seçilerek işlem tekrar edilecektir.

Tüm kuru dere yatakları üzerine yapılacak menfezler için rasyonel metot kullanılmalıdır. Ancak yağış havza alanı 100 km<sup>2</sup> den daha fazla ise

- McMath
- Sentetik

Metotları ile hesaplanan debi miktarları ile kontrol edilmeli ve büyük olanı menfez boyutunun tayini için kullanılmalıdır.

McMath metodu ile yağıştan dolayı doğal dere yatağındaki akış debisi aşığıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q = 0,0023 C I A^{4/5} S^{1/5} \quad (3.4.)$$

Burada;

Q: Doğal dere yatağının debisi, m<sup>3</sup> /san

C: yüzeysel akış katsayısı

I: Yağış şiddeti, mm/saat

A: Yağış havzası, hektar ( 10000 m<sup>2</sup>)

S: Doğal dere yatağı eğimi, m/km veya eğimin 1000 katı

Yüzeysel akış katsayısı aşığıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$C = C_B + C_Z + C_T \quad (3.5.)$$



Burada;

C: Yüzeysel akış katsayısı

CB: Bitki örtüsüne bağlı katsayı

CZ: Zemin cinsine bağlı katsayı

CT: Topoğrafik yapıya bağlı katsayı

CB, CZ ve CT katsayıları Tablo 3.4 ten alınacaktır.

Tablo 3.4. Yüzeysel Akış Katsayısı (McMath Metodu ) [23].

Akım Şartları	CB		CZ		CT	
Düşük	Çok İyi Örtülü	0,08	Kumlu	0,08	Düz	0,04
Düşük - Orta	İyi Örtülü	0,12	Hafif	0,12	Hafif Eğimli	0,06
Orta	Oldukça Örtülü	0,16	Orta	0,16	Dalgalı	0,08
Yüksek	Seyrek Örtülü	0,22	Ağır	0,22	Çok Dalgalı	0,11
Çok Yüksek	Çıplak,	0,30	Kaya	0,30	Dik	0,15

Yağış şiddetinin tayini için doğrudan formüller yardımıyla bulunan konsantrasyon süresi esas alınarak tasarım yapılan menfeze en yakın meteoroloji istasyonuna ait frekans – yağış süresi – yağış şiddeti abağından  $I_{10}$  ve  $I_n$  yağış şiddeti belirlenmelidir.

Yatak eğimi (S) doğal dere yatağı eğiminin 1000 katı veya yatağın 1 km.sindeki m cinsinden kot farkı ( veya düşü miktarı ) olarak alınmalıdır. Ancak dere yatağının harmonik eğimi ( yani aynı akış süresi ve uzunluğuna eşdeğer olan akış eğimi ) esas alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$S_h = \frac{ae}{\xi} \frac{10}{S1/\sqrt{S_i}} \frac{\delta^2}{\phi} \quad (3.6.)$$

Burada;

Sh: Dere yatağının harmonik eğimi, m/km

Si: Doğal dere yatağı uzunluğunu 10 eşit parçaya böldükten sonra her bir parçasının ayrı ayrı eğimi formül 3.4 ile  $Q_{10}$  ve  $Q_n$  ayrı ayrı hesaplanıp rasyonel metotta olduğu gibi menfez boyutları belirlenmelidir.

Sentetik metodu ile yağıştan dolayı doğal dere yatağındaki akış debisi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q = A q_p h_a \quad (3.7.)$$

Burada;

Q: Yağış havzasının maksimum taşkın debisi,

A: Yağış havza alanı, km<sup>2</sup>

$q_p$ : 1 mm lik akışa nende olan izafi debi, lt/san/km<sup>2</sup>/mm

$h_a$ : Yağışın akışa geçen miktarı, mm

Sentetik metot ile hesaplanan taşkın debisi;

- Yağışın şiddeti ve süresi
- Yağış havzasının bitki örtüsüne bağlı olarak yağışın akışa geçebilen miktarı
- Yağış havzasının topografyası

göz önüne alınarak belirlenmektedir.

$Q_p$  değeri yağış havza alanı (A) ve  $L L_c/\sqrt{S}$  ile abaklardan elde edilir.

Buradaki değişkenler;

L: Doğal dere yatağının uzunluğu, km

$L_c$ : Yağış havza alanının ağırlık merkezinin dere yatağına olan izdüşümü ile menfez arasındaki mesafe, km

S: Doğal dere yatağının harmonik eğimi % ve m/100m

Birim hidrograf kaidesine göre akışa geçen yağmur sularının akış yüksekliğinin (ha) sebep olacağı debi 1 mm lik akıştan bulunan debinin ha katı olduğundan dolayı “A qp ha” değeri maksimum taşkın debisi olacaktır.

Tablo 3.5. Eğri numarası (Sentetik metot) [23].

Arazi Kullanımı	Sızma Şartı	Toprak Gurubu			
		A	B	C	D
Nadas		77	86	91	94
Dizin ebadı ( Pancar Gibi)	Zayıf	70	79	84	88
	İyi	65	75	82	86
Ufak Taneli (Buğday Gibi)	Zayıf	63	74	82	85
	İyi	61	73	81	84
Sık Ekilmiş Bakliyat	Zayıf	64	75	83	85
	İyi	65	69	78	83
Çayırılık	Zayıf	74	67	81	88
	Orta	25	59	75	83
	İyi	6	35	70	79
Devamlı Çayır		30	58	71	78
Orman	Zayıf	45	66	77	83
	Orta	36	60	73	79
	İyi	25	55	70	77
Çiftlik Binaları		59	74	82	86

Qp esasen 2 saat süren ve yağış havzasında 1 mm lik akış yaratacağı kabul edilen bir yağıştan sonra taşkın debisinin maksimuma ulaştığı anda yağış havzasının her bir km2 sinden gelecek izafi debi miktarıdır. Bu durumda  $t=2\text{saat}=120$  dak için  $I_{10}$  ve  $I_n$  değerleri tasarımı yapılan menfeze en yakın meteoroloji istasyonuna air frekans-yağış süresi-yağış şiddeti abağından alınmalıdır. Bu durumda yağış yüksekliği mm cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$H_y (10) = 2 \times I_{10} \quad (3.8.)$$

$$h_y (n) = 2 \times I_n \quad (3.9.)$$

Hesaplanan yağış yüksekliği ve eğri no.su ile abaktan yağış yüksekliği (ha) belirlenmeli ve eğri no su ile Tablo 3.5 den alınmalıdır.

- A: Çok kumlu Zemin
- B: Çok kumlu bitkisel Toprak
- C: Az kumlu bitkisel toprak
- D: Ağır Kil

A,  $q_p$  ve ha belirlendikten sonra formül 3.7. ile  $Q_{10}$  ve  $Q_n$  debileri hesaplanmalı ve rasyonel metotta olduğu gibi menfez boyutlandırılmalıdır [12].

### 3.2.3 Kent İçi Yolların Drenajı

Kent içi yollarda kaldırım yapılması halinde yolun bombe eğiminden dolayı bordürlerde biriken yağmur suları uygun bir şekilde drene edilmelidir. Bu amaçla kaldırım kenarlarına yapılacak dikey ve yanal ızgaralar (veya rögarlar) ile yüzeysel yağmur suları toplanıp büzler ile uygun deşarj noktasına iletilerek dren edilmelidir. Şehir içi yolların yüzeysel drenajının tasarımı,

- Toplayıcı sistem ( veya ızgara veya rögar)
- Taşıyıcı Sistem ( veya büz veya boru)

olarak ayrı ayrı yapılmalıdır. Bordür oluşu debisi, yol kenarındaki bordürde üçgen şeklinde biriken sulardır. Yolun yanal eğiminden dolayı yol üstüne düşen yağmur suları üçgen şeklinde yol kaplaması üzerinde yayılmakta ve aynı zamanda yolun boyuna eğimiyle akışa geçmektedir. Bordür oluşundaki suyun debisi şekil 3.5 de görüldüğü gibi, suyun yayılma genişliği (  $G$  ) ve / veya suyun akış yüksekliği (  $y$  ) başta olmak üzere yolun yanal eğimi, yolun boyuna eğimi, kaplamanın Manning pürüzlülük katsayısı, yağış şiddeti, vb. faktörlere bağlıdır. Bordür oluşu debisi (  $Q_b$  ) aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q_b = 0,00175 \frac{1}{S_n} j^{1/2} y^{8/3} \quad (3.10.)$$

Burada;

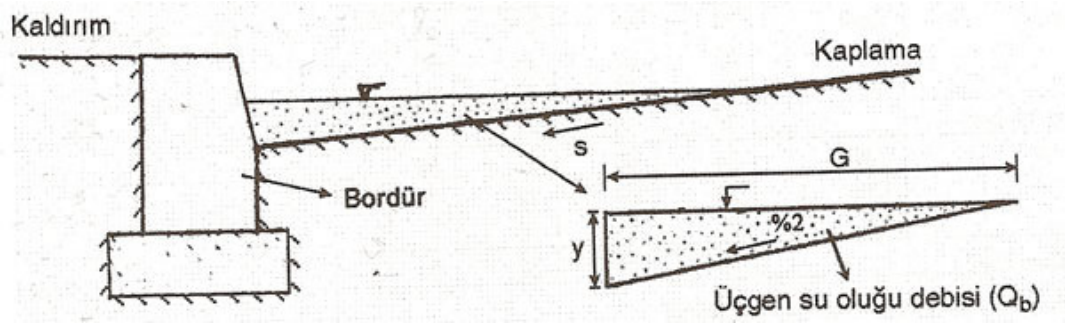
$Q_b$ : Bordür Oluğu Debisi, lt/San

$S$ : Yolun yanal eğimi (Aliymanda 0,02, deverde değişken)

$J$ : Yolun boyuna eğimi, %

$y$ : Suyun akış yüksekliği, cm

$n$ : Manning pürüzlülük katsayısı, 0,015



Şekil 3.5. Bordür Su Oluğu [23].

Yol üstüne gelen yağmur suları şekil 3.6 da görüldüğü gibi suyun yayılma genişliği ( $G$ ), suyun bordürde yükselme miktarına ( $y$ ) bağlıdır. Ancak suyun yayılma genişliği araçlara su sıçratması, kayma dreni, kavşaklarda karşıdan karşıya geçen ayaların suyun üzerinden atlama, vb. nedenlere bağlı olarak şerit genişliğinin  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , veya  $\frac{3}{4}$  ü kadar olmak üzere yolun önemi, yaya trafik yoğunluğu, vb. hususlar göz önüne alınarak tasarımcı tarafından belirlenmelidir. Ancak su yayılma genişliği azaldıkça, rögar ara mesafelerinin azalacağı göz önünde tutulmalıdır.

Yol yüzeyine düşen yağmur sularının debisi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q_b = \frac{CIA}{3600} \quad (3.11.)$$

Burada;

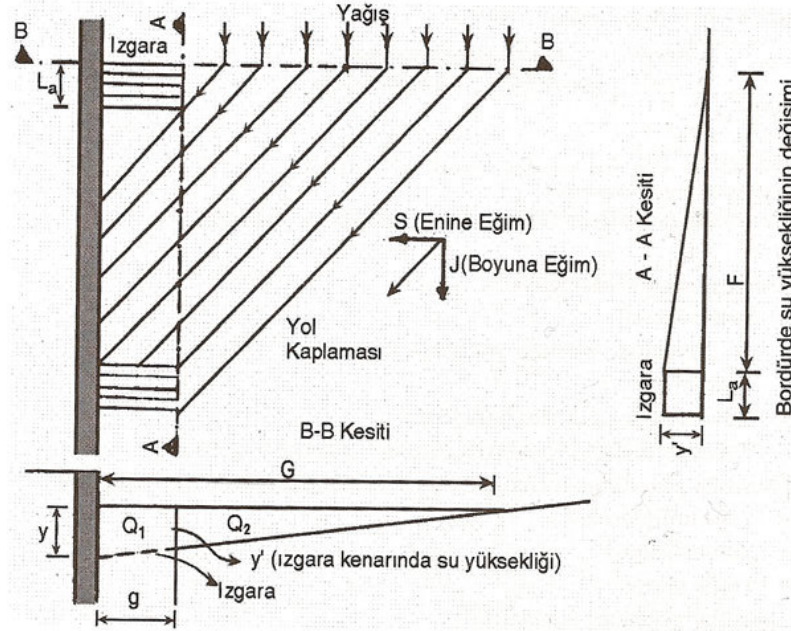
$Q_b$ : Bordür oluğunda toplanan suyun debisi, lt/san

$A$ : Su toplanma ( kaldırım ve kaplamadan gelen sular ) alanı, m<sup>2</sup>

$A$ : a F= su toplanma genişliği x logar aralığı

C: yüzeyel akış katsayısı ( Asfalt kaplama İçin  $0,90 \approx 0,95$ , sathi kaplama için  $0,85 \approx 0,90$ )

I: Yağış şiddeti, mm/saat



Şekil 3.6. Bordür Oluğunda Yağmur Sularının Toplanması [23].

Yağış şiddeti (I) bilindiğinden ve yağış süresi ile frekansa bağlı olarak belirlendiğinden dolayı optimum sağanak süresi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$t_c = \frac{300(H)^{1,5631}}{h^3} + \frac{0,1H}{h^{1/3}} \quad (3.12.)$$

Burada;

$t_c$ : Konsantrasyon süresi, dak

H: Yıllık ortalama yağış, mm

h: aylık maksimum yağış

H ve değerleri tasarımı yapılan yola en yakın meteoroloji istasyonu için meteoroloji genel müdürlüğü tarafından yayınlanan “ortalama, ekstrem sıcaklık ve yağış değerleri bülteni” adlı yayınından alınacaktır. Bunun için yukarıda bahsedilen bülten

- H= yıllık ortalama yağış miktarı
- Aylık ortalama yağış miktarlarının en büyüğü olarak alınmalıdır.

Yağış şiddetinin tayini için gerekli frekans Tablo 3.6'daki gibi önerilmektedir.

Tablo 3.6. Minimum Tasarım Frekansı [23].

Yol	Frekans (Yıl)	Suyun Kaplamada yayılması	
		Emniyet Şeridi	Sağ Şeritte ( 1/4, 1/2, 3/4)
< 70 km/saat	10	√	√
≥ 70 km/saat	≥ 10a		b
Düşey Kurbda	50		√

Not : a) 10 veya 25 yıl olarak ta alınabilir

b)  $V_t \geq 70$  km/saat için kaldırım yapılmayacak fakat yüksek dolgular için bordür yapılabilir.

Tasarım frekansının seçiminde;

- Yolun Önemi
- Yol güvenliği ve benzer yollardaki kaza sayısı
- Tasarım Hızı
- Mevcut Ve Gelecekteki Trafik Hacmi
- Yolun Gelecekteki Önemi Ve Çevresinin Potansiyel Gelişimi

gibi hususlar göz önüne alınmalıdır. Suyun kaplamada yayılma genişliği ise

- Yaya Trafiği Hacmi
- Yolun Önemi
- Trafik Hacmi

gibi hususlar göz önüne alınmalıdır.

Rögar sıklığı (F) aşağıdaki gibi bulunmalıdır.

$$F = \frac{3600Q_b}{aCI} \quad (3.13.)$$

Burada;

F: Rögar aralığı, m

Q<sub>b</sub>: Bordür oluşu su debisi, lt/san

a: Rögarın suyu toplama genişliği, m

C: Yüzeysel akış katsayısı

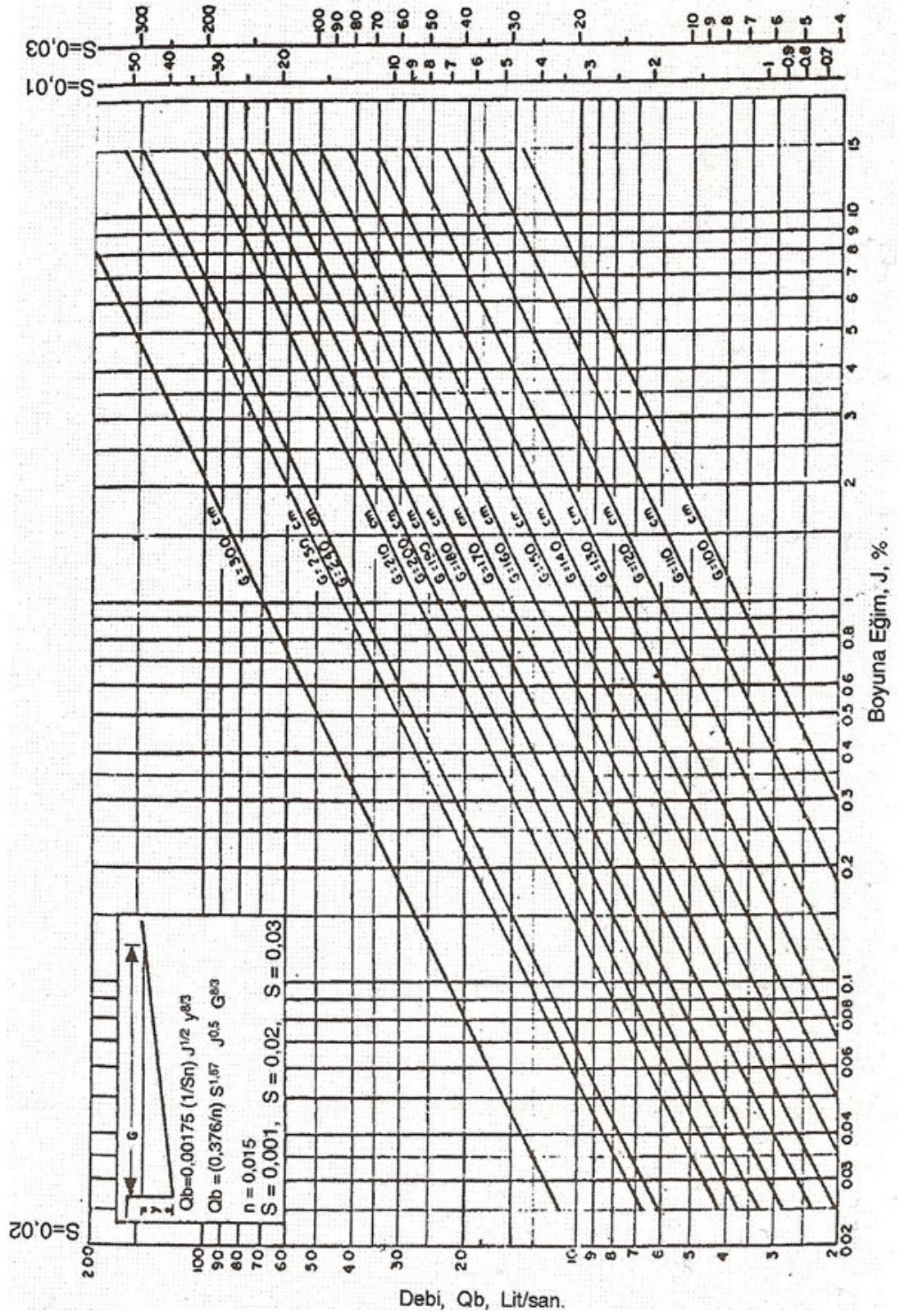
I: Yağış şiddeti, mm/saat

Rögar aralığının 50 ila 125 m arasında olması işletme ve bakım yönünden uygun olacaktır. Şekil 3.6 dan görüldüğü gibi rögar ızgara debisi, Q<sub>b</sub> = Q<sub>1</sub> + Q<sub>2</sub> yani ızgara üstündeki suyun debisi ile kaplama üstündeki suyun debisinin toplamıdır. Q<sub>2</sub> debisi her ne kadar aşağıdaki gibi bulunsun da dikkate alınmamalıdır.

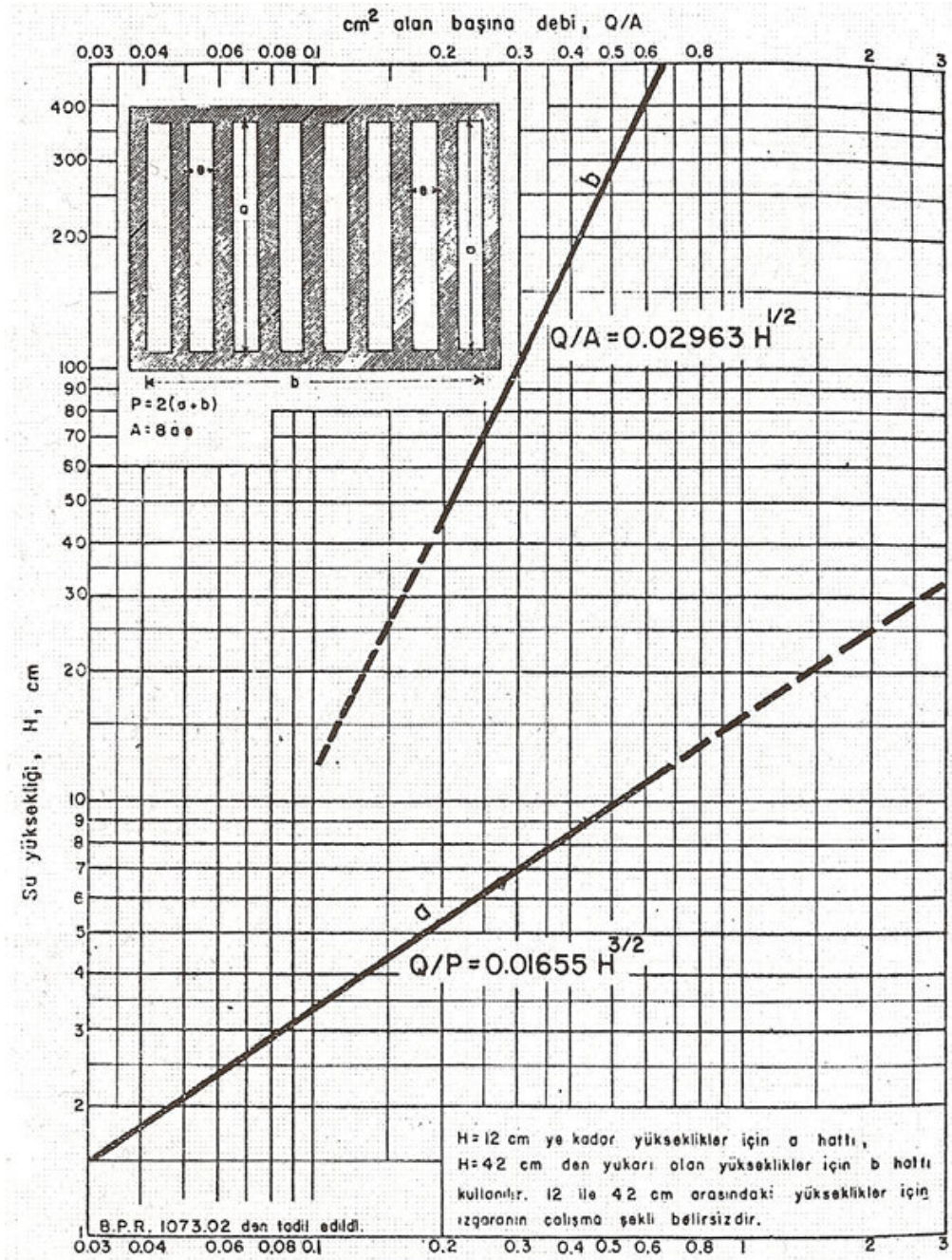
$$Q_2 = La 0,00387 y^{3/2} \quad (3.14.)$$

Burada; La Rögar ızgara uzunluğu ve y, bordür oluşundaki su yüksekliğidir. Şekil 3.7 den veya formül 3.10. ten su yayılma genişliği (G) için Q<sub>b</sub> ve (G-g) için Q<sub>2</sub> debileri belirlendikten sonra Q<sub>1</sub> = Q<sub>b</sub> - Q<sub>2</sub> ile rögar ızgara debisi belirlenerek buna göre rögar aralığı (F) hesaplanmalıdır.

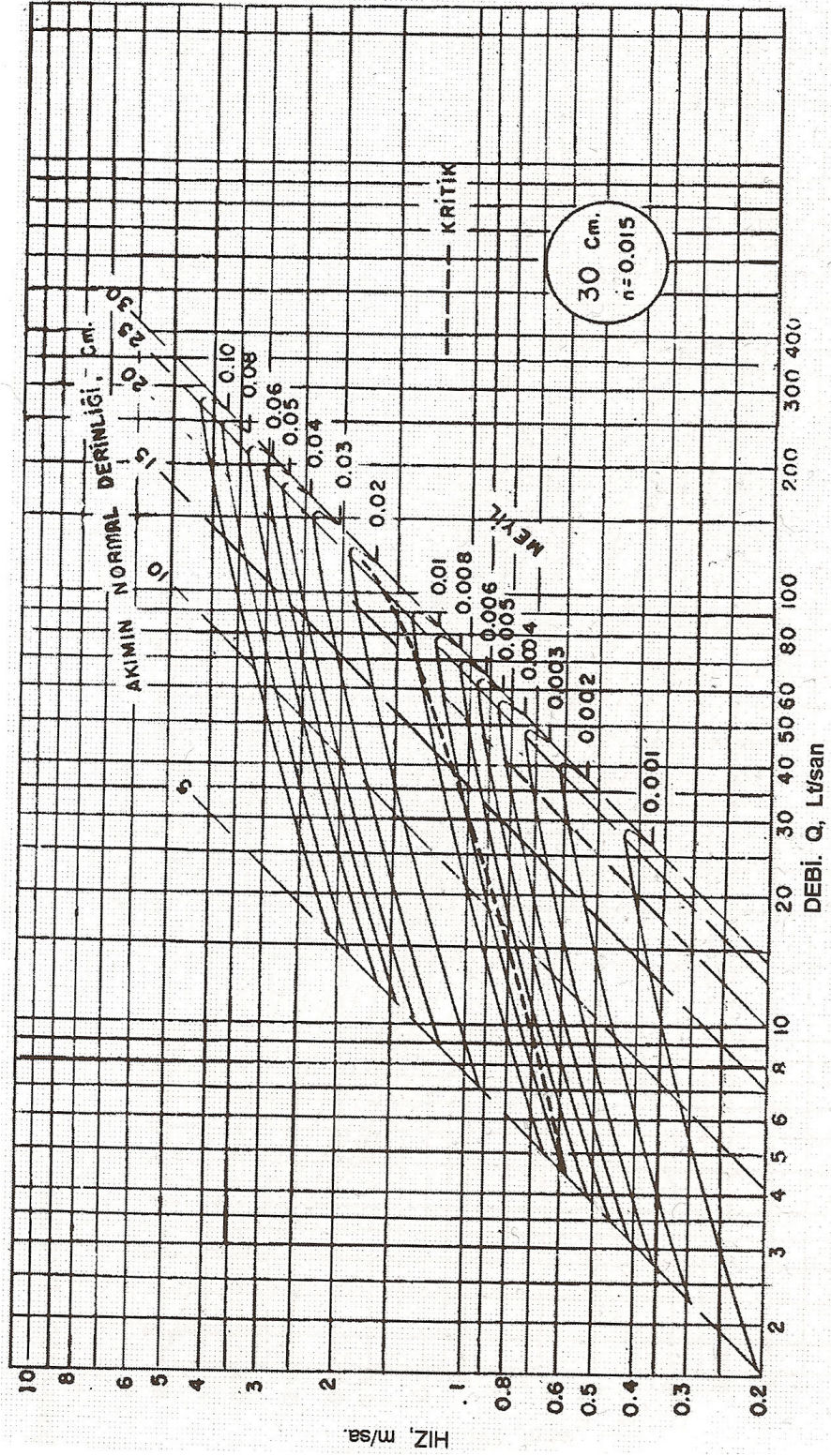




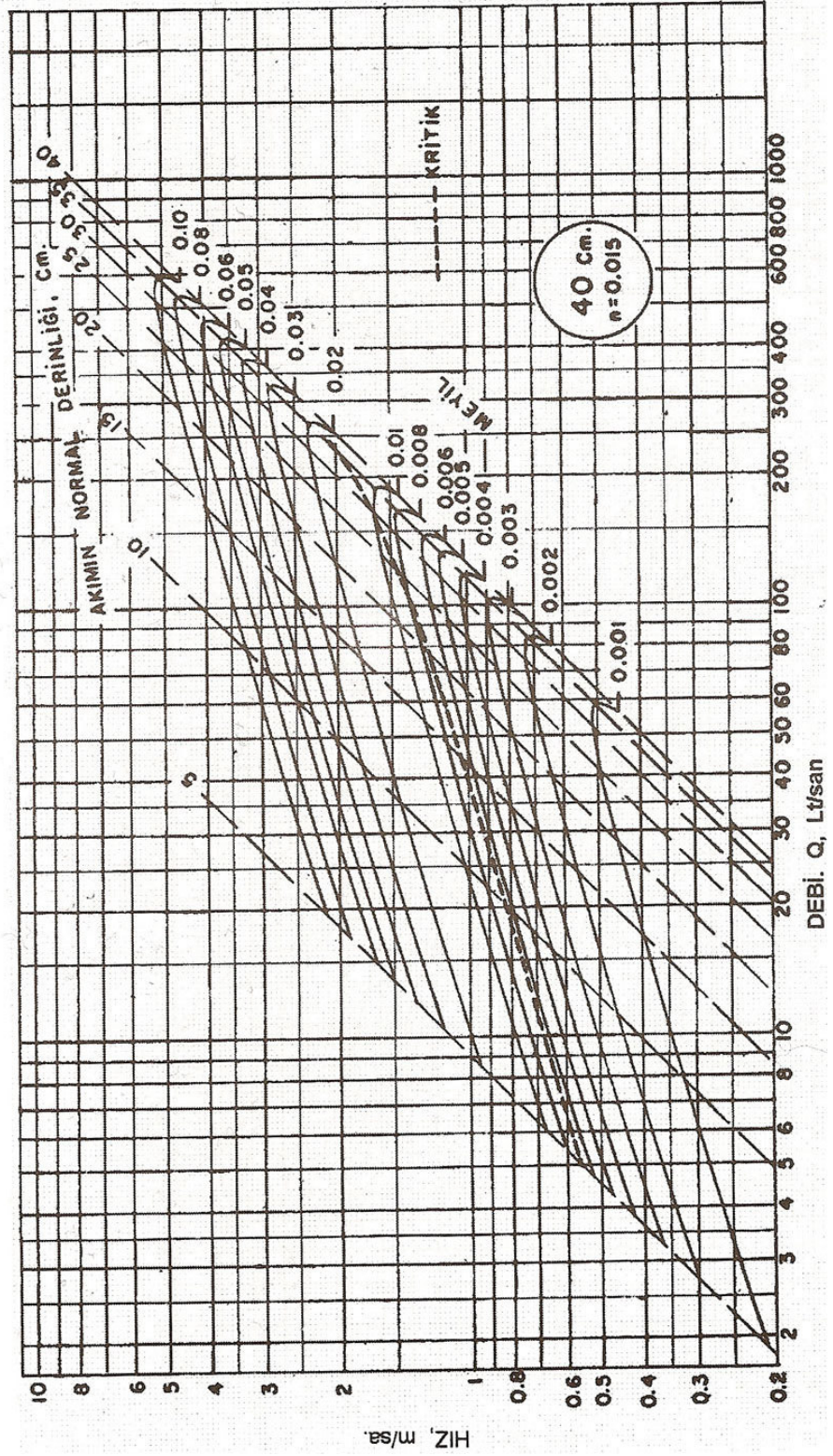
Şekil 3.7. Bordür Oluğu Debisi.



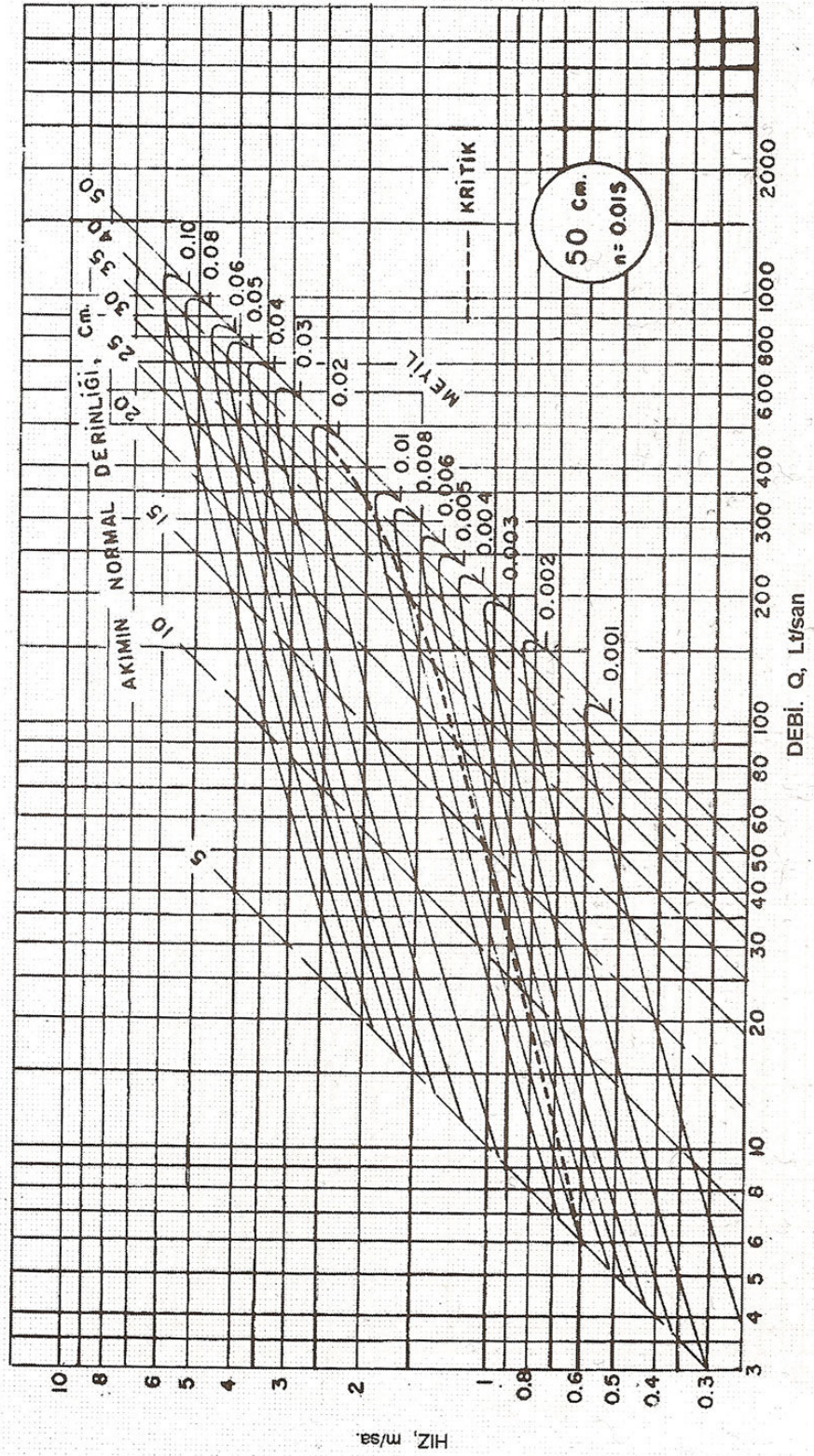
Şekil 3.8. Dere Düşey En düşük Kotundaki Rögar Izgara Debi Kapasitesi.



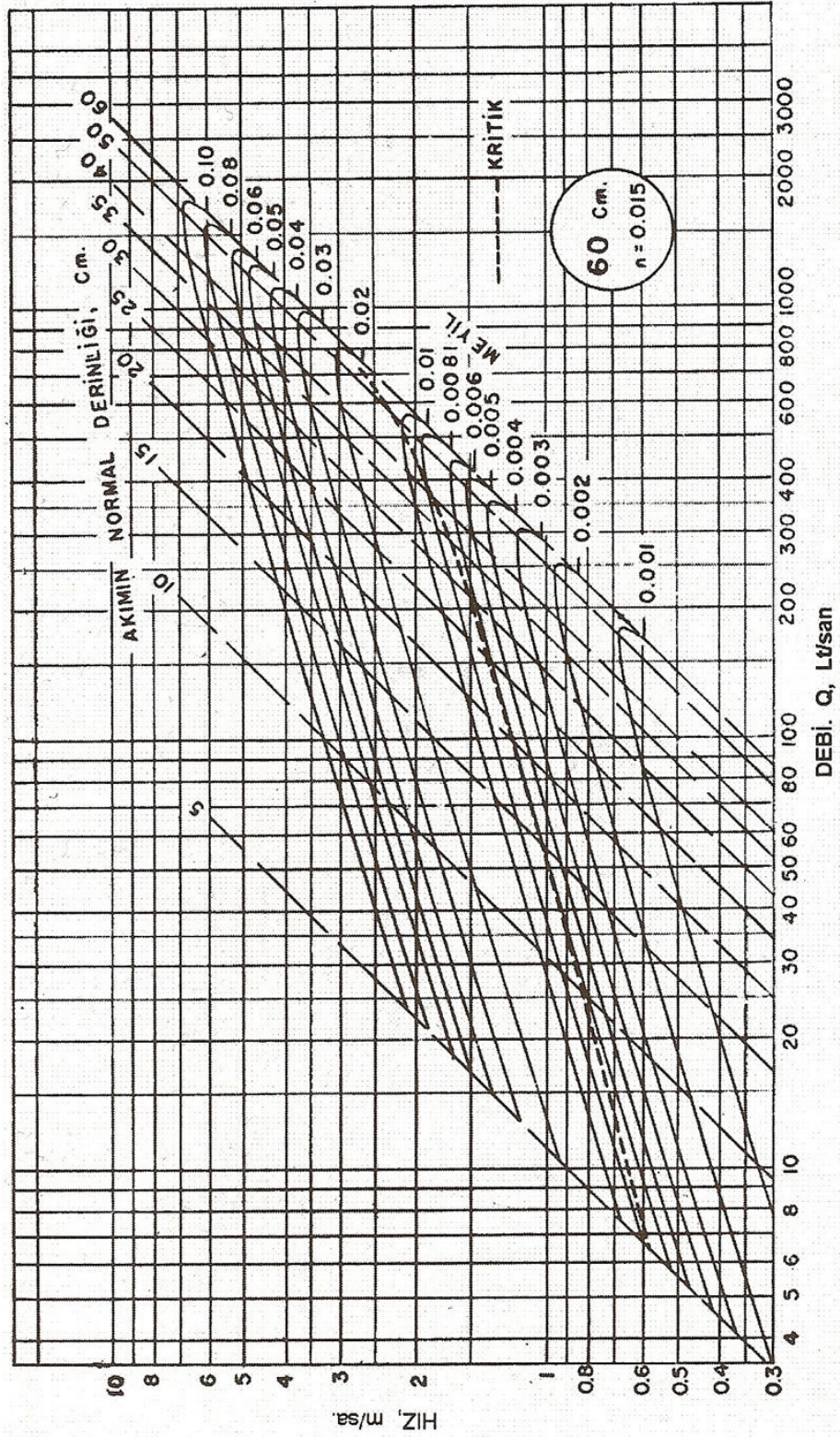
Şekil 3.9. Ø30 Büz.



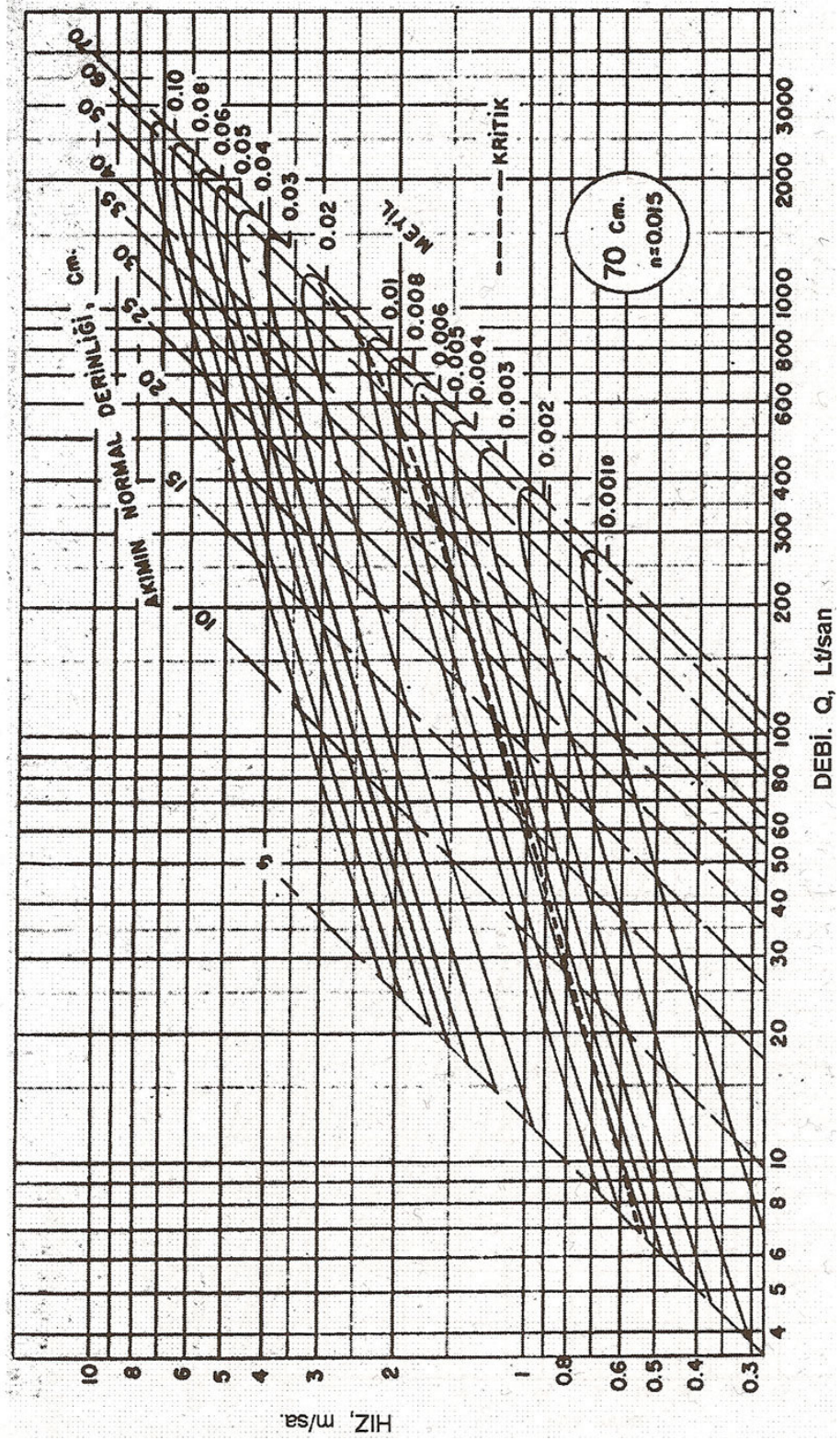
Şekil 3.10. Ø40 Büz.



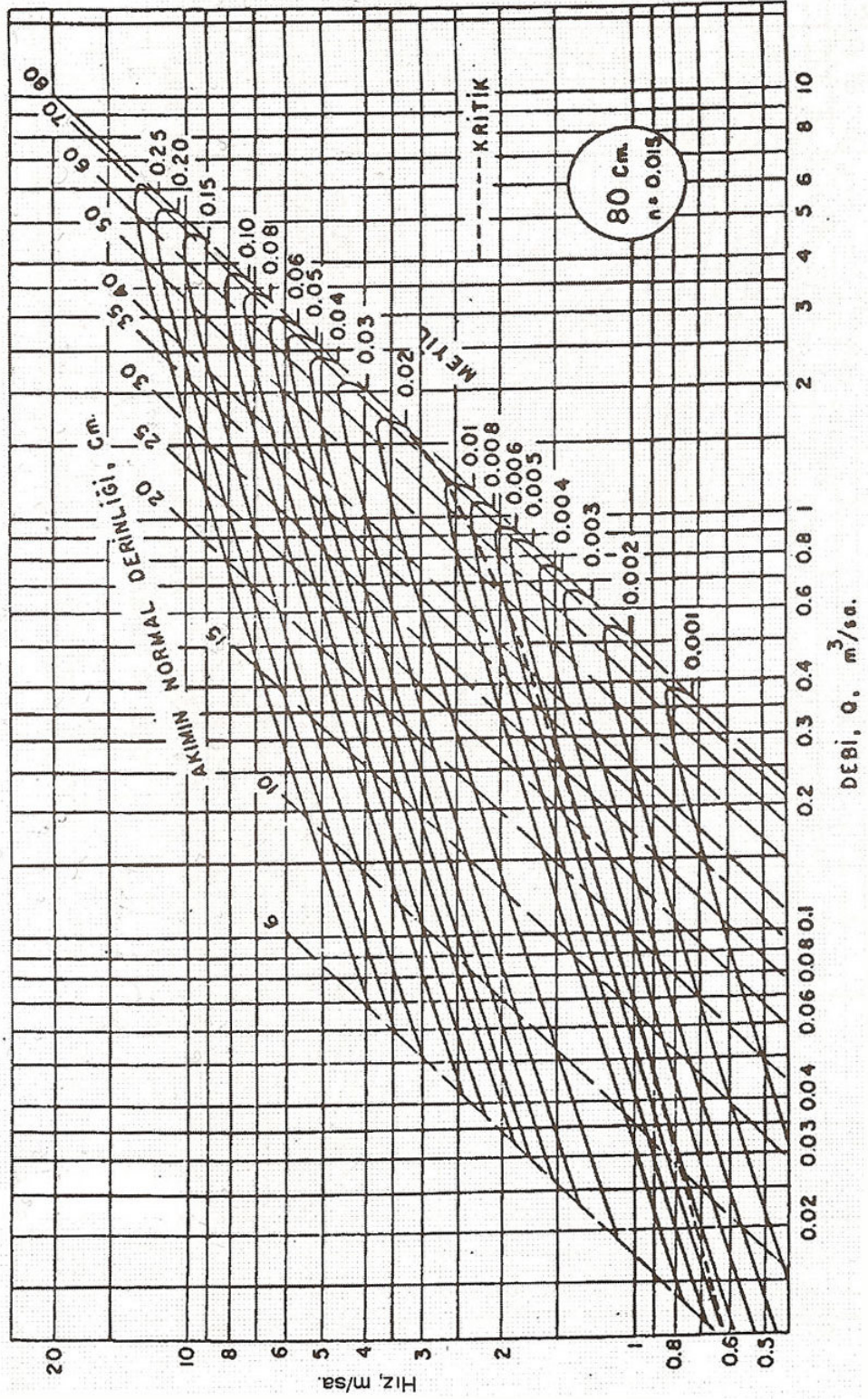
Şekil 3.11. Ø50 Büz.



Şekil 3.12 Ø60 Büz.



Şekil 3.13. Ø70 Büz.



Şekil 3.14. Ø80 Büz.



Dere düşey kurplarının bulunduğu yerdeki en düşük noktadaki 15 metre içinde yolun boyuna eğimi, yeterli drenaj için minimum %0,3 olmalıdır.

Bu nedenle dere tipi parabolik düşey karp uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$L = K A \quad (3.15.)$$

Burada;

L: Dere tipi düşey karp uzunluğu, m

A: Eğimlerin cebrik farkı, %

K: Düşey karp katsayısı

Dere (Çanak) tipi düşey kurplarda kaplama üzerindeki suların uygun drenajı için  $K \leq 51$  olacak şekilde düşey karp uzunluğu belirlenmelidir. Dere tipi düşey kurpların en düşük noktasındaki biriken suların rögar ızgaraları tarafından deşarj edilecek suyun debisi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$H < 12 \text{ cm ise } Q/P = 0,01655 H^{1,5} \quad (3.16.)$$

$$H < 42 \text{ cm ise } Q/P = 0,02963 H^{0,5} \quad (3.17.)$$

Burada;

Q: Rögar deşarj debisi, lt/san

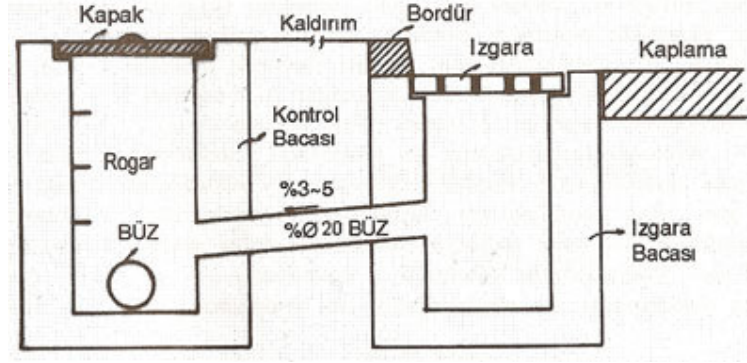
P: Islak Çevre , (=2a+2b)

A: Islak Alan, cm<sup>2</sup>

H: Rogar ızgarasının üstündeki su yüksekliği, cm

$H < 12$  cm alınacağından dolayı a, ızgara genişliği ve b, ızgaralar arasındaki toplam uzunluk olarak alınmalıdır.

Şekil 3.15. de görüldüğü gibi bordür oluklarında biriken sular, hesaplanan aralıkta yapılacak ızgaralar vasıtasıyla önce ızgara bacasına sonra kontrol bacasına itilmelidir.



Şekil 3.15. Izgara ve Kontrol Bacası [23].

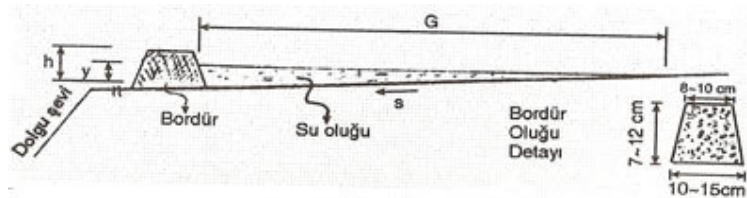
Kontrol bacaları;

- Büz çapının değiştiği yerde
- Kolektörün eğim değiştirdiği yerde
- Maksimum 150 mt aralıkta

yapılmalıdır. Kontrol bacalarından gelen sular, yola paralel olarak döşenen kolektör ile yol boyunca iletilerek uygun yerlerde yüzeye deşarj edilmelidir. Kolektörler minimum Ø30 cm çapında beton büz olmalı ve artan debi ile büz çapı değiştirilmelidir. Büzlerdeki su akış hızı maksimum 4 mt/san ve çökelmeyi önlemek için minimum 0,5 mt/san olmalıdır. Kolektör büz çaplarının tayini için şekillerdeki abaklar kullanılmalıdır [23].

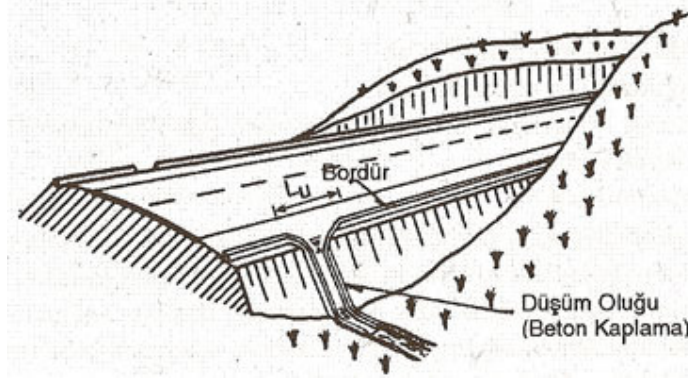
### 3.2.4 Kent Dışı Yollarda Yüzeysel Drenaj

Kent dışı önemli yollarda özellikle yüksek dolgularda yol yüzeyinden yanal akışa geçen yağmur sularının dolgu şevini erozyona uğratması söz konusu olabilir. Bunu önlemek için Şekil 3.16 da görüldüğü gibi, bordürler ile yüzeysel yağmur suları yol platformunda tutulmalı ve belli aralıkta yapılacak düşüm olukları ile araziye deşarj edilmelidir.



Şekil 3.16. Kent Dışı Yollarda Bordür Hendeği [23].

Bordür yüksekliği (h) mühendisin talimatı doğrultusunda 7 ila 12 cm ve suyun yayılma genişliği (G) 200 cm veya suyun yüksekliği (y) 5 ila 7 cm olması için gerekli genişlikte olmalıdır. Bordür oluşunda biriken suların debisi yine formül 3.10 ile hesaplanabilmektedir. Bordür oluşunda toplanan yağmur suları geçirimsiz kaplamalar üzerinde akışa geçmelidir. Aksi takdirde bordür oluşunda toplanan yağmur sularının bir kısmı yolun boyuna eğimi ile iletilirken bir kısmı da yolun gövdesine sızarak yol gövdesinin stabilitesini olumsuz yönde etkilemesi söz konusudur. Bordür oluşundaki su (y) yüksekliğine eriştiği noktalarda şekil 3.17 de görüldüğü gibi, düşüm olukları yapılmalıdır. Dolayısıyla düşüm oluğu, bordürlerden gelen yağmur sularını dolgu şevine zarar vermeden deşarj eden yüzeysel drenaj yapılarıdır.



Şekil 3.17. Düşüm Oluğu [23].

Düşüm oluklarının ara mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$L = \frac{6,3J^{1/2} y^{8/3}}{CBISn} \quad (3.18.)$$

Burada ;

L: Düşüm oluklarının ara mesafesi, m

C: Akış katsayısı (=0,90 ila 0,95)

B: Su toplanma genişliği, m

I: Yağış şiddeti, mm/saat

S: Yolun yanıl eğimi, %

n: Manning pürüzlülük katsayısı, (=0,015)

j: Yolun boyuna eğimi, %

y: Bordürde müsaade edilen su yüksekliği, cm

Bu formülün esası L aralığındaki toplam yağış miktarının (Q) bordür oluğundaki su miktarına oranı, düşüm oluklarının ara mesafesine eşit olmalıdır. Buna göre aşağıdaki eşitlik sağlanmalıdır.

$$Q_b/L = Q/L \quad (3.19.)$$

Burada  $Q_b$ , bordür oluğu su debisi iken Q yoldaki yağış alanına düşen yağış debisidir. Yağış debisi rasyonel metot kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q = \frac{CIA}{3600} \quad (3.20.)$$

Burada ;

Q: yağış debisi, lt/san

I: Yağış şiddeti, mm/saat (Formül 3.12. ile hesaplanmış  $t_c$  ile bulunan )

A: Yağış alanı,  $m^2$

Bordür oluğundan iletilen yağmur sularının düşüm oluğuna girişinde ( veya ağızda) suyun kolaylıkla alınabilmesi için Lu genişlikte yapılacaktır. Lu genişliği aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$L = \frac{Q}{0,386(a + y)^{1,5}} \quad (3.21.)$$

Burada ;

Lu: Düşüm oluğu giriş ağız genişliği, m

y: Bordür oluğundaki su yüksekliği, m

a: Banket kotu ile rekortman kotu arasındaki fark ( yani depresyon derinliği ), m ( genel olarak 0,06 m)

Q: Deşarj debisi, m<sup>3</sup>/saat

Düşüm oluğu girişi ağızı, (Lu ) ile düşüm oluğu genişliği ( b) arasında uygun bir rekortman eğrisi uygulanarak suyun düşüm oluğuna yönlendirilmesi sağlanmalıdır. Ancak yolun boyuna eğimi fazla olan yerlerde düşüm oluğunun giriş ağızından suyun tamamı alınmadığından ötürü tasarım aşamasında suyun %80 i ila 90 1, deşarj edilebileceği göz önünde tutulmalıdır.

Yarma kesitlerdeki dren hendeklerinden dren edilecek suyun debisi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q = Av = A(R^{2/3} S^{1/2} / n) \quad (3.22.)$$

Burada;

Q: Hendek dren kapasitesi, m<sup>3</sup> /san

A: hendek kesit alanı, m<sup>2</sup>

v: Su akış hızı, m / san

R: Hidrolik yarıçap ( =ıslak alan/ıslak çevre)

S: Eğim, %

n: manning pürüzlülük katsayısı ( =0,030 ve beton kaplama ise 0,013 ) [12]

Hendek dren kapasitesi hesabında hendekte 0,15 ila 0,25 m hava payı göz önünde tutulmalıdır. Ayrıca dren edilecek suyun debisi yine rasyonel metotla bulunmalıdır.

### 3.2.5 Yüzeyaltı Drenajı

Karayollarındaki yüzey altı drenajı yapıları;

- Yeraltı su seviyesinin yüksekliğini
- Yeraltı su seviyesinin düşey hareketini

Kontrol altına almak amacıyla yapılacaktır. Bu amaçla;

- Uygun yüzey altı drenaj sisteminin seçimi
- Uygun dren malzemesinin seçimi
- Yeterli boyutlandırma

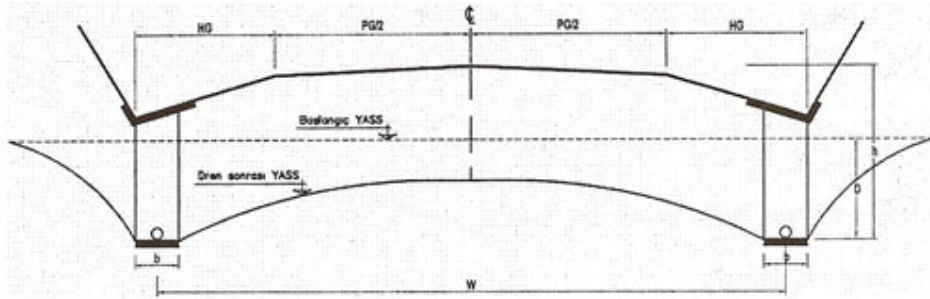
birlikte ele alınarak yüzey altı drenaj yapılarının tasarımı yapılmalıdır.

Karayollarındaki sandık yarma kesitlerde veya karışık kesitlerde yeraltı suyundan ötürü zemin taşıma gücü önemli ölçüde azalarak kaplamanın çabuk bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle belirli derinlik ve aralıkta yüzey altı dren hendekleri yapılarak su tablasının seviyesi düşürülerek yani su tablasının yüksekliğini istenilen derinlikte

tutarak kontrol altına alınabilecektir. Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi amacıyla yapılacak yüzey altı dren hendekleri için;

- Yeraltı su seviyesi
- Zeminin permeabilite katsayısı ( $k_z$ )

Geoteknik raporlarından temin edilmeli ve Şekil 3.18 den gerekli parametreler alınmalıdır. Seçilen dren hendekleri ara mesafesi (  $W$  ) ile dren hendek derinliği (  $h$  ) , yeraltı su seviyesini kaplamanın en az 30 cm altına kadar düşmesini sağlayabiliyorsa yeraltı dren yapısı yeterli olarak kabul edilmelidir.



Şekil 3.18. Yüzey altı Drenaj Hendek Uygulaması[23]

Dren hendekleri ara mesafesi aşağıdaki gibi bulunmalı ve  $W \geq (PG + 2HG - b)$  ise yeraltı su seviyesinin istenilen seviyeye düşürülmüş olduğuna karar verilmelidir.

$$W = \sqrt{\frac{tk_z D}{y}} \quad (3.23.)$$

Burada;

W: Yüzey altı dren hendek büz eksenleri ara mesafesi, m

t: Yer altı su seviyesinin düşürülmesi için gerekli süre, gün

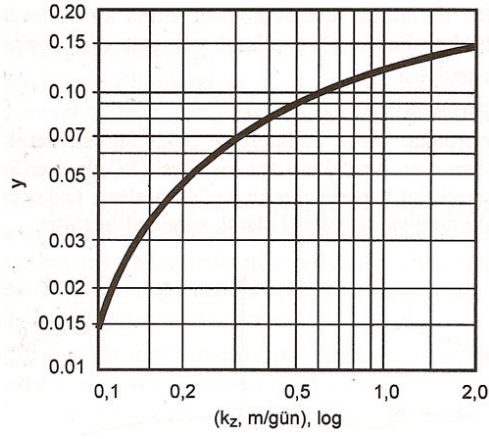
$k_z$ : Zemin permeabilite katsayısı

y: Dren olabilen porozluk ( Şekil 3.19. dan )

Yer altı su seviyesinin düşürülmesi için gerekli süre veya drenaj kriteri için kaplama kalınlık hesaplamalarında kullanılan değerler tablo 3.7. deki gibi önerilmiş olması nedeniyle formül 3.23 de ki t değeri olarak kullanılmalıdır.

Tablo 3.7. Drenaj Kriteri [23].

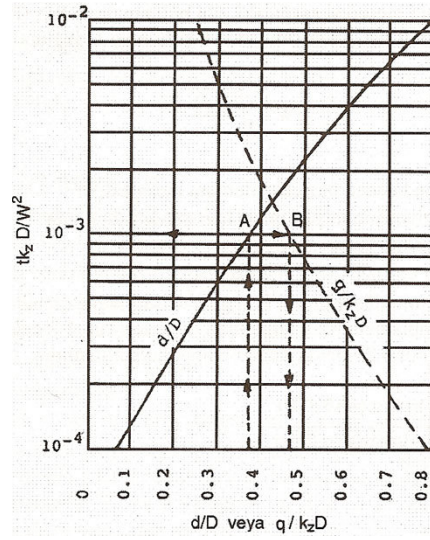
Drenaj Kalitesi	Suyun Uzaklaştırma Süresi
Mükemmel	< 2 saat
İyi	1 gün
Orta	1 hafta
Zayıf	1 ay
Çok Zayıf	Dren yok

Şekil 3.19. Paralel Yüzey altı Drenlerde  $K_z$ - $y$  ilişkisi [23].

Buna göre  $t$  süresi;

- Otoyollar için 2 saat- 1 gün
- Bölünmüş yollar için 1-3 gün
- Devlet yolları için 3-7 gün
- İl yolları için 7-15 gün

olarak alınması uygundur.



Şekil 3.20. Boyutsuz Oranlar Abağı [23].

Şekil 3.20 de verilen abak ile yüzey altı dren tasarımı için gerekli hesaplamalar kolaylıkla yapılabilir. Bunun için  $d/D$  oranı ile dik çıkılarak  $d/D$  eğrisi kestirildiğinde elde edilen A noktasından sola gidildiğinde  $t_kz D/W^2$  ve sağa gidilerek  $q/kz D$  eğrisi kestirildiğinde elde edilen B noktasından aşağı inildiğinde  $q/kz D$  değeri elde edilebilecektir. Burada  $q$ , dren debisi/birim zaman / birim uzunluk olarak yani birim zaman içinde birim dren uzunluğunda dren edilebilecek su miktarı  $m^3/gün/m$  cinsinden olmalıdır.

Geoteknik raporunda zeminin permeabilite katsayısı belirtilmemiş ama zemin sınıfı belirtilmiş ise şekil 3.21 den yüzey altı dren tasarımı için yeter yaklaşımda permeabilite katsayısı elde edilebilir.

$10^2$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
İYİ DRENAJ						KÖTÜ DRENAJ				PRATİK OLARAK GEÇİRİMSİZ	
Çok Hızlı Dren			Hızlı Dren			Yavaş Dren		Çok Yavaş Dren		Dren Beklenmez	
GW,SW			GP,SP			ML,OL,GM,SM		GC,SC,CL,MH		CL,CH,OH,PT	
Temiz çakıl		Temiz Kum, Temiz Kum ve Çakıl Karışımı		Çok İnce Kum, Organik ve İnorganik Siltler, Kum-Silt-Kil Karışımı, Kil Tabakaları						Geçirimsiz Zeminler	
$10^2$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$

Şekil 3.21. Zemin Sınıfına Göre Permeabilite Katsayısı [23].



Yeraltı su seviyesinin aşağıya çekilme miktarı yani  $d$  değeri;

- Kaplamanın korunması için kaplama alt kotundan en az 30 cm daha aşağı,
- Dona duyarlı zeminlerde donma kabarması ve çözülmesinin zararlı etkilerini önlemek için kırmızı kottan 1,40 m daha aşağı

olması gereklidir. Planlama sürecinde kaplama kalınlığı bilinmiyor ise 75 cm olarak kabul etmek yeterlidir.

Belirli bir  $W$  ve  $D$  boyutlarında yüzey altı dren yapısının tasarımı yapıldığında uygun olup olmadığı  $W$  sabit iken  $D$  derinliğinin ne olacağıın tayin edilebilmesi için formül 3.12 de dren sürecinde ( $d$ ) yeraltı su seviyesinin yağmur suları tarafından beslenmediği kabulü yapılmıştır. Her ne kadar kaplama üzerindeki yağmur suları yolun yanal eğimi ile bir kısmı dren hendeklerine ve banket kaplamalı değilse bir kısmı da temel/alt temel tabakasına sızmakta fakat temel / alt temel tabakasının yüksek yanal permabilitesinden ötürü yol yan dren hendeklerine dren olsa da ve ayrıca yarma şevlerinden gelen sularda yol yan dren hendeklerine dren olsa da ve dren hendeklerindeki suların beton kaplamadan ötürü yol gövdesine sızmasa da emniyetli tarafta kalmak için yağmur sularının yol gövdesine sızdığı kabul edilebilir. Bu durumda dren süresince yeraltı su seviyesi  $I$  (mm/saat) cinsinden yağmur şiddeti ile beslendiği kabul edilerek dren derinliği aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$D = d + \frac{W}{2} \sqrt{I/k_z} \quad (3.24.)$$

Bu formülden görüleceği gibi  $I=0$  ise  $D=d$  olacağından dren süresi sonsuz olacaktır. Yani  $t$   $kz D/W^2$  değeri sonsuza giderken  $d/D$  değeri 1 e yaklaşacaktır. Fakat  $I > 0$  ise  $D>d$  olacaktır. Ayrıca yağmur suyunun zemindeki süzülme hızının zemin permabilitesinden daha fazla olamayacağından ötürü bir kere daha emniyetli tarafta kalınmış olacaktır. Eğer zemin granüller malzeme ise limit değer olarak  $I = kz$  olacak ve  $\max D = d + W/2$  olabilecektir ki pratikte bunun mümkün olması söz konusu bile değildir.

Yol gövdesinin altındaki yer atı su seviyesinin düşürülmesi amacıyla yukarıda bahsedilen yöntem bugüne kadar başarı ile uygulanmış olsa da aşağıda bahsedilen 2. yöntemde kullanılabilir. Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi amacıyla yapılacak yüzey altı drenaj yapısının tasarımı için şekil 3.22 de görülen abak kullanılmalıdır. Bu abak daha ziyade belirli derinlikte geçirimsiz bir tabakanın olması halinde kullanılmaktadır. Burada  $q_1$  debisi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$q_1 = \frac{k_z (H - H_0)^2}{2L_i} = \frac{k_z (H - H_0)^2}{2[3,8(H - H_0)]} \quad (3.25.)$$

Burada;

$q_1$ : Dren hendeği debisi, m<sup>3</sup>/gün/m

$k_z$ : Zeminin permabilitesi m/gün

H: Yeraltı su seviyesine başlangıç yüksekliği, m

$H_0$ : Geçirimsiz tabaka derinliği, m,

$L_i$ : Etki mesafesi, [ =3,8 (H-H<sub>0</sub>) ] , m

Zemine sızan yağmur sularının bir kısmı yüzey altı dren hendeği tarafından dren ( $q_1$ ) edilirken bir kısmı da ( $q_2$ ) kaplama altına sızmaya çalışmaktadır.  $Q_2$  debisi abak ile tayin edilmelidir. Temel veya alt temel tabakasındaki suyun debisi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$q_s = \frac{2q_2}{W} \quad (3.26.)$$

Burada ;

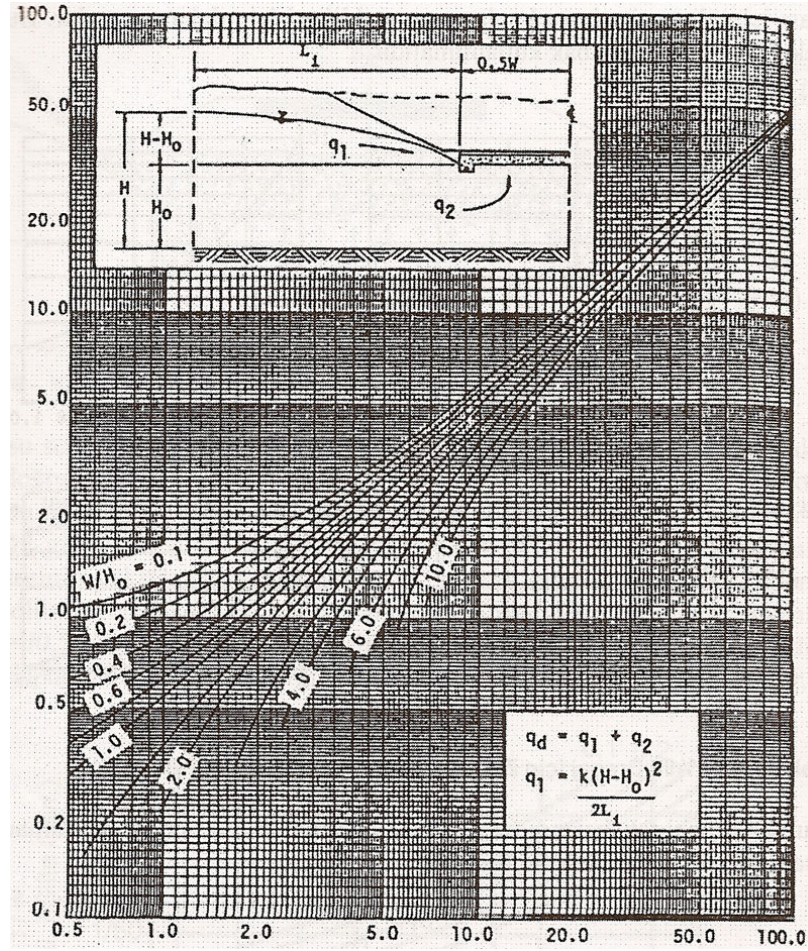
$q_s$  : drenaj tabakasındaki ( temel veya alt temel ) her birim alan için debi miktarı, m<sup>3</sup>/gün/m

W: Dren hendekleri ara mesafesi, m

Yarma şevi yolun tek tarafında ise dren borusu sadece yarma şevinde olacağından dolayı dren borusunun birim uzunluğunun yatay debi miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$q_L = 2(q_1 + q_2) \quad (3.27.)$$

$$q_s = \frac{q_1 + 2q_2}{W} \quad (3.28.)$$



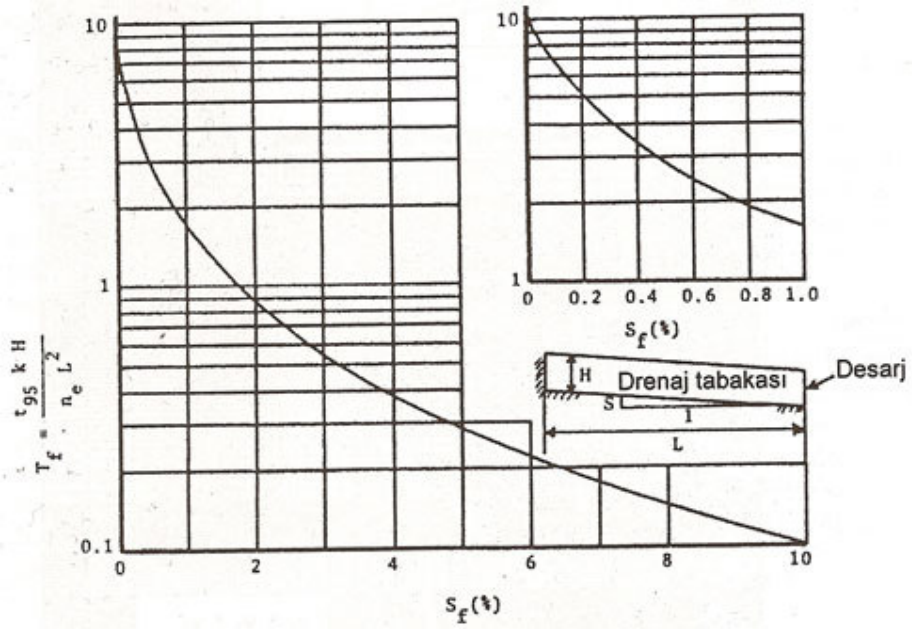
Şekil 3.22. Yer Altı Su Debisinin Tayini.

Temel ve alt temel tabakasının dren süresi yolun sınıfına göre daha önce bahsedildiği belirtildiği gibi alınmalıdır. Ancak bu süreler %95 drenajın tamamlanması için alınacak olursa kaplamanın stabilitesi için daha uygundur. Bu amaçla Şekil 3.23 de verilen abak kullanılmalıdır.

Burada drenaj tabakasının ( Temel veya Alt temel) eğim faktörü ve zaman faktörü aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$S_f = \frac{Ls}{H} \quad (3.29.)$$

$$T_f = \frac{kHt}{n_e L^2} \quad (3.30.)$$



Şekil 3.23. %95 Drenaj İçin Zaman – Eğim Faktörü İlişkisi [23].

Burada;

Sf: Eğim Faktörü

Tf: Zaman Faktörü

L: Uzunluk, m

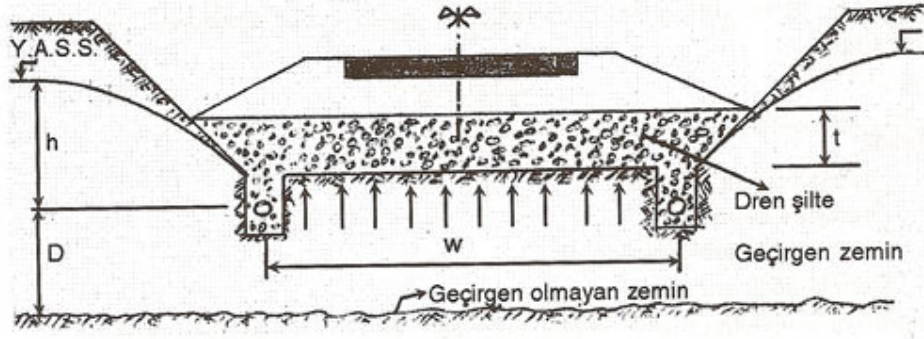
H: Yükseklik, m

S: Eğim, %

K: Drenaj tabakasının permabilitesi, m/gün ( 6 m / gün tavsiye olunur. )

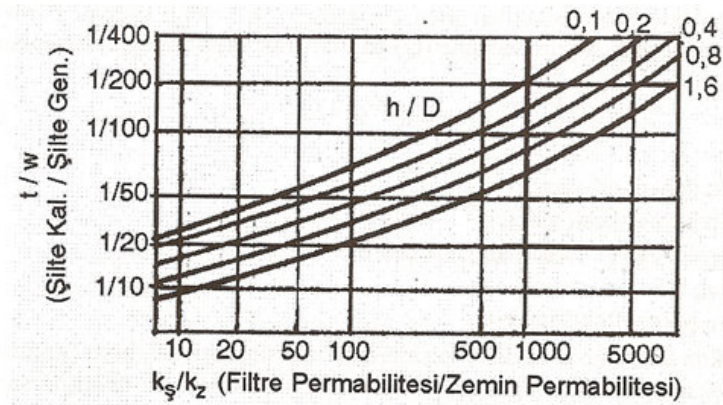
t: Süre

$n_e$ : Efektif Porozite ( Yaklaşık 0,80 e ) yani boşluk oranı %20 tavsiye olunur.



Şekil 3.24. Kapiler Sular için Dren Şiltesi Uygulaması [23].

Yer altı su seviyesi yarma kesitli yollarda kapilarite ile zeminin alt kısmından yukarı doğru suyun ilerlemesi sonucu beslenerek düşey yönde beslenecektir. Yer altı su seviyesinin düşey hareketini kontrol altına alabilmek için şekil 3.25 de görüldüğü gibi dren şiltesi uygulanmalıdır. Den şiltesine gelen Kapiler sular dren şiltelinin yüksek yatay permabilitesi ile dren borularına yönlendirilerek deşarj edilir. Dren şiltelinin suyu uzaklaştırabilmesi için yeterli bir hidrolik eğime ( $=t / 0,5 W$ ) yani yeterli bir kalınlığa ihtiyaç vardır. Bu nedenle dren şiltelinin fazla kalın olmaması için dren hendeklerinin ara mesafesi kısa olmalıdır.



3.25. Dren Şiltesi Abağı [23].

Özellikle derin sandık yarma kesitlerde yüksek yer altı su seviyesi mevcut ise kapilarite ile yol kaplamasına önemli miktarda su gelebilmektedir. Kapiler su ile beslenen su tablasının yükselmesine kontrol altına alınabilmesi için gerekli şilte kalınlığı ( $d$ ) şekil 3.25 de verilen abak ile belirlenmelidir. Burada;  $k_s/k_z$  (dren şilte permabilitesi/Zemin

permabilitesi ) ve  $h/D$  ( dren üstündeki su yüksekliği / dren altındaki geçirimsiz tabaka yüksekliği ) ile  $d/W$  ( dren şilte kalınlığı / dren hendek ara mesafesi ) oranı bulunduğundan sonra seçilen  $W$  için dren şilte kalınlığı belirlenmelidir. Dren şiltesinden dren edilecek suyun debisi aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$q = 2t^2 k_s / W \quad (3.31.)$$

Burada;

$q$ : dren debisi, m<sup>3</sup>/gün/m

$t$ : Dren şilte kalınlığı, m

$k_s$ : Zeminin permabilitesi, m/gün

$W$ : Dren hendek aralığı, m

Yeraltı su seviyesinin dren şiltenin üzerine çıkması istenmiyorsa dren şilte kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$t = 0,5W \sqrt{(k_z h / D) / k_s} \quad (3.32.)$$

$$t^3 = 0,5W \sqrt{(I / k_s)} \quad (3.33.)$$

Burada;

$t$ : Dren şilte kalınlığı, m

$k_z$  ve  $k_s$  : Zemin ve Şilte permabilitesi, m/gün

$H$  ve  $D$ : Şekil 3.25

$I$ : Yağış şiddeti m/saat

Dren hendeklerinde kullanılan dren borusunun çapı sahip olduğu pürüzlülük, eğim ve taşıyacağı suyun debisine ( $Q$ ) bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q = AR^{2/3} S^{1/2} / n \quad (3.34.)$$

Burada;

$Q$ : Dren debisi, m<sup>3</sup>/saat

$A$ : Dren borusu kesit alanı, m<sup>2</sup>

R: Hidrolik ap ( = ıslak alan / ıslak evre )

S: Eğim, %

n: Boru pürüzlülük katsayısı

Kritik akım teorisine göre daire kesitlerdeki maksimum debi, boru çapının 2/3 ü kadar yükseklikte oluşacağından dolayı kritik hız (m/san) ve debi (m<sup>3</sup>/san) olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q = 1,42D^{1/5} \quad (3.35.)$$

$$V = 2,47D^{1/2} \quad (3.36.)$$

Burada D boru çapıdır.

Dren borularında rüsubatın birikmesini önlemek amacıyla kritik hızın ve kritik eğimin üzerinde su akışının sağlanmasına çalışılmalıdır. Kritik hızla eğim aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$V_K = \sqrt{6,10D} \quad (3.37.)$$

$$S_K = 31,12n^2 / D^{1/3} \quad (3.38.)$$

Hızın 0,75 m/san den fazla olması halinde dren borusunda rüsubatın öknelmesi önlenmektedir.

### 3.2.6 Tutucu Yapıların Drenajı

Bilindiği gibi karayollarında tutucu yapılar aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır:

1. Yolun heyelan ve kaymalardan korunmasında
2. Kamulaştırma sınırının yeter derecede geniş olmadığı hallerde,
3. Akarsulara yakın dolguların erozyona karşı korunmasında.

Yine bilindiği gibi tutucu yapılar:

- I. Beton istinat duvarları
- II. Kargir istinat duvarları;
- III. Beton, ahşap ve madeni sandık duvarlar;
- IV. Kazık sistemler ve palplanşlar,

olmak üzere başlıca 4 tiptir.

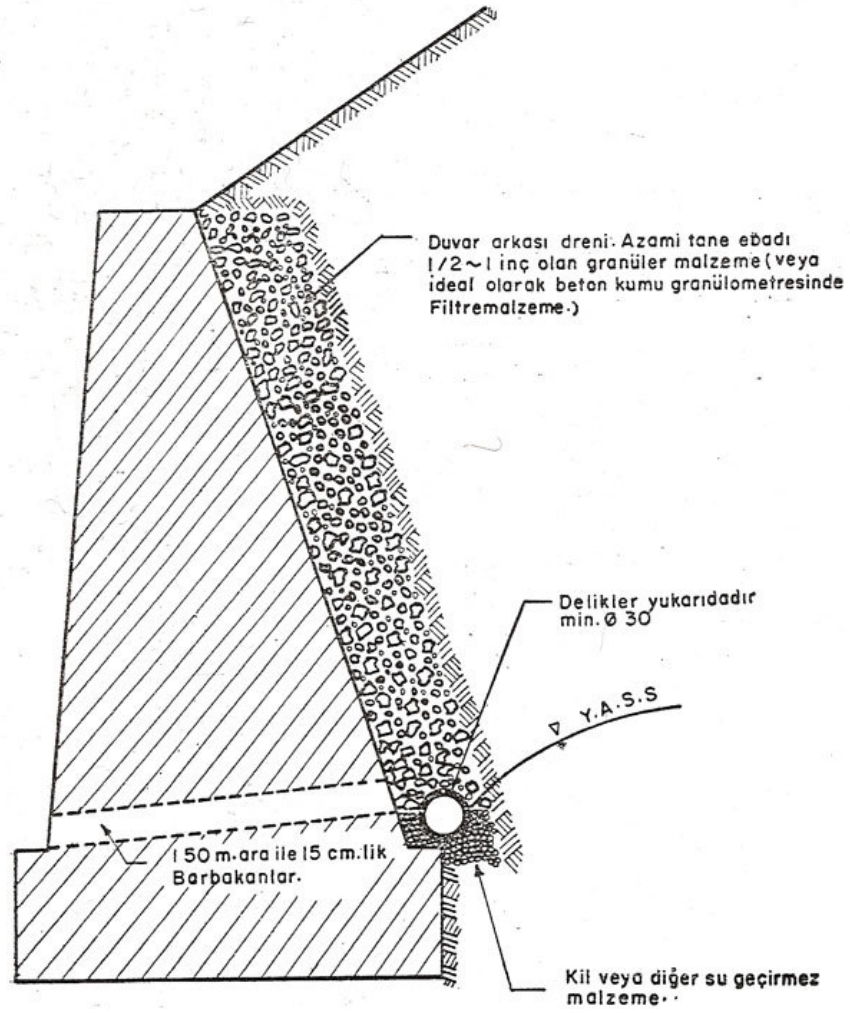
Özellikle yolun heyelan ve kaymalara karşı korunması amacıyla yapılan istinat duvarlarında, fonksiyonun tam yerine getirebilmesi için birinci planda drenaja önem vermek gerekir. Heyelan ve kaymaları önlemek için yapılan istinat duvarları ilk bakışta yalnızca bir toprak etkisine maruz kalacak gibi görünüyorsa da, iyi bir drenaj yapılmadığı takdirde arkasında birikecek suyun hidrostatik etkisine de maruz kalacağı gibi suyun temele sızması ile mesnet durumu da tehlikeye girecektir.

Klasik anlayıştaki, drenajın sadece “barbakanlar” la temini bugünkü modern anlayışa göre eksik bir işlemdir. Barbakanları kullanmakla beraber, duvarın arkasına boyuna boru dren mutlaka uygulanmalıdır. Bu boyuna drenlerin teşkilinde, yukarıda boyuna boru drenlerden bahsederken anlattığımız hususlara aynen uyulması gerekir. Perfore madeni veya plastik boruların kullanılması özellikle tıkanma ve elastikiyet yönünden tercih nedeni ise de ülkemiz realiteleri yönünden beton büzlerin kullanılması da şimdilik problemi çözümlenmektedir [21].

### **3.2.6.1. Beton ve Kargir İstinat Duvarları**

Genel olarak, drenaj şartlarının kötü olduğu yerlerde heyelanların önlenmesi için beton ve kargir duvarlar tavsiye edilmezler. Bunun başlıca nedeni ise, hidrostatik basınç kuvvetlerinin tespitinin güç olması; duvarın yapımı sırasında kayan toprak kitlesinin minimum ölçüde tutulmasının güçlüğü; üniform sağlamlıkta bir temelin bulunması güçlüğü ve duvarın içinde ve etrafında, uygun drenaj sisteminin tesisi ve bakımındaki güçlüktür.

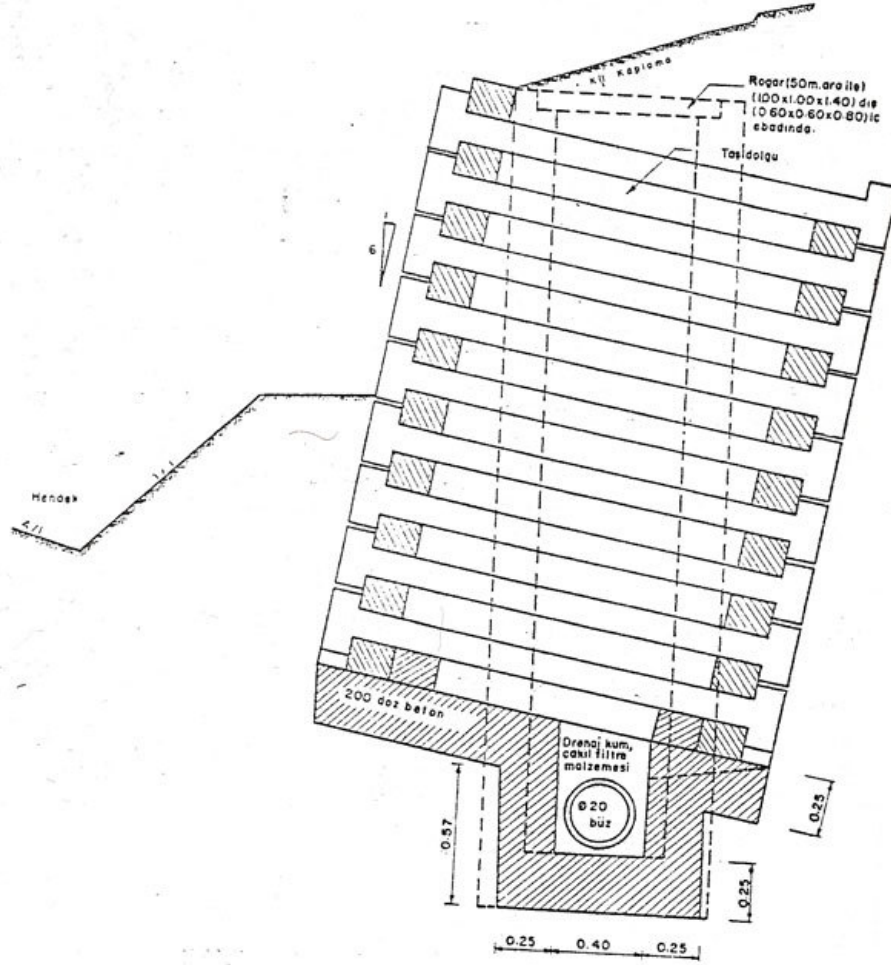




Şekil 3.26. Beton veya Kargir İstinat Duvarı Drenajı [21]

### 3.2.6.2 Sandık İstinat Duvarları

Özellikle heyelanlı arazide ve kötü temel ve drenaj şartlarının hakim olduğu yerlerde sandık tipi istinat duvarlarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Memleketimizde henüz tanınmayan bu sistem, ilk defa Ankara- İstanbul yolunun Sapanca kuzey kesimindeki heyelanlı bir şevde kullanılmış ve iyi sonuç alınmıştır. Drenajı kolaylaştırmaları, sökülebilir oluşları ufak çaptaki tasmalardan etkilenmeyişi (Yani esnek oluşları) yapımı için kalıp, özel araç, ekipman ve kalifiye işçiye ihtiyaç göstermemeleri, tamamlanır tamamlanmaz yük taşıyabilmeleri, elemanların önceden hazırlanıp prefabrike olarak stok edilmesi, bu sistemi cazip hale getiren başlıca faktörler olarak ileri sürülebilir [21].



Şekil 3.27. Beton Sandık İstinat Duvarı ve Drenajı Enine Kesiti [21].

### 3.2.6.3 Tutucu Yapılarda Drenajla İlgili Önemli Noktalar

Beton ve kargir istinat duvarlarını yapımında, drenaj en önemli yeri işgal eder. Alınacak tedbirler kısaca şu şekilde sıralayabiliriz;

- Sık sık barbakanlar konulmalı;
- Duvarın arkasına daha önce bahsettiğimiz, uygun granülometrilik filtre malzemesi ihtiva eden boyuna boru dren tesis edilmelidir; bu drenin kalınlığı en az 75 cm olmalıdır.

- Derz ve çatlaklardan suyun sızması, drenajın iyi ve yeterli olmadığına işaret olup hemen gerekli tedbirler alınmalıdır; ( iyi drene edilmiş bir duvarın dış yüzü, yağışsız havalarda kuru olmalıdır.)
- Drenlerin iyi çalışıp çalışmadığı sık sık kontrol edilmeli ve gerekirse drenler tamamen kapanmadan temizlenmelidir,
- Tıkanmaları önlemek için minimum Ø 30 cm lik büzler kullanılmalıdır. ( Delikli büz kullanıldığı hallerde bu çap düşürülebilir )

Sandık duvarların kendileri, içlerine konan; suya ve don etkisine dayanıklı, çakıl, kırma taş veya iri kumdan teşkil edilen dolgu taşları nedeniyle iyi bir drenaj imkanı sağlamakla beraber fazla su görülen yerlerde, alt tarafta, suları toplayıp akıtacak minimum Ø 20 lik boru dren teşkili mutlaka gereklidir ( Şekil 3.26.).

O halde sonuç olarak, karayollarımızda drenajla ilgili sorun ne olursa olsun, en önemli nokta suyun nereden geldiğini, ne miktarda ve nitelikte olduğunu bilmek, zemini “geçirimsizlik” ve “ tabakalaşma” yönünden iyi tanımak ve buna göre en uygun projeyi yapıp süratle uygulamaktır.

Son zamanlara kadar ülkemizde uygulaması az olan bu hususa verilen önem gittikçe artmaktadır. Artık drenaj, yol projelerinde güzergah tayininde başta gelen faktörlerden biri olarak ele alınmakta ve işlenmektedir. Son olarak karayollarımızda yıllık yağış ortalaması 300 mm nin üstünde olan kesimlerdeki bütün yarmalara yeraltı dreni uygulama prensibi drenaja verilen önemi belirten memnuniyet verici bir olaydır. Ayrıca ümit verici bir diğer hususta kullanılan metotların en ileri ülkelerin tekniği ile boy ölçüşebilecek nitelikte ve kapasitede oluşudur [21].

### **3.3. Drenaj Amaçlı Yapılar**

Suyun yola herhangi bir şekilde girişini engellemek veya yol üzerine gelen yağmur sularının yoldan uzaklaştırılmasını temin etmek amacıyla yapılan yapılara drenaj amaçlı yapılar olarak isimlendirilir.

### **3.3.1. Yüzey Drenajı**

Sağanak yağışlar, sel suları, sulama suyu kanallarından akan sular gibi nedenlerle yol yüzeyinde biriken zararlı suyun çeşitli yapılar yardımıyla yoldan uzaklaştırılmasına "yüzey drenajı" diyoruz. Yüzey drenajı için inşa edilen yapılar şunlardır.

#### **3.3.1.2. Menfezler**

Karayolları Standartlarına göre mesnet açıklığı (L) 10.00 m ye kadar olan (10.00 m dahil) yapılara Menfez, 10.00 m den yukarı açıklıktaki yapılara Köprü denir. Orman yolların da ise 6.00 m açıklığa kadar (6.00 dahil) menfez, 6.00 m den yukarı olan yapıya köprü denilecektir [1].

Menfezlerde büzler gibi dolgu altlarında kullanılırlar.

##### **3.3.1.2.1. Standart Kutu Menfezler**

Karayollarımızda kutu menfez tipleri standart hale getirilmiştir. Bu tiplere ait detaylı bilgiler Karayolları Genel Müdürlüğüne hazırlanmış olan standart kutu menfez tipleri adlı kitapta mevcuttur.

Serbest açıklığı: 1.00, 2.00, 2.50, 3.00 metre ve yüksekliği: 0.60, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00 metre olan “ Tek gözlü” standart kutu menfezden serbest açıklığı (1.00 – 1.50 mt.) arasında olanlar en fazla 15 metre ve serbest açıklığı ( L=2.00, 2.50, 3.00 ) olanlar en fazla 9 metre yüksekliğindeki bir dolgu altında uygulanabilirler.

“İki gözlü kutu menfezler” en çok 6 mt dolgu yüksekliğine kadar uygulanabilirler aynı zamanda “üç gözlüler” de en çok 6 metre dolgu yüksekliğine kadar uygulanabilirler. Standart kutu menfez tiplerinin inşası ile ilgili şu hususlara dikkat edilmelidir:

A: Kutu menfezler 250 kg/m<sup>3</sup> dozajda olacaktır.

B: Taban betonarmesinin temiz bir yüzeyde olabilmesi için, zemine 5 cm kalınlığında ve 150 kg/m<sup>3</sup> dozlu bir grobeton dökülecektir.

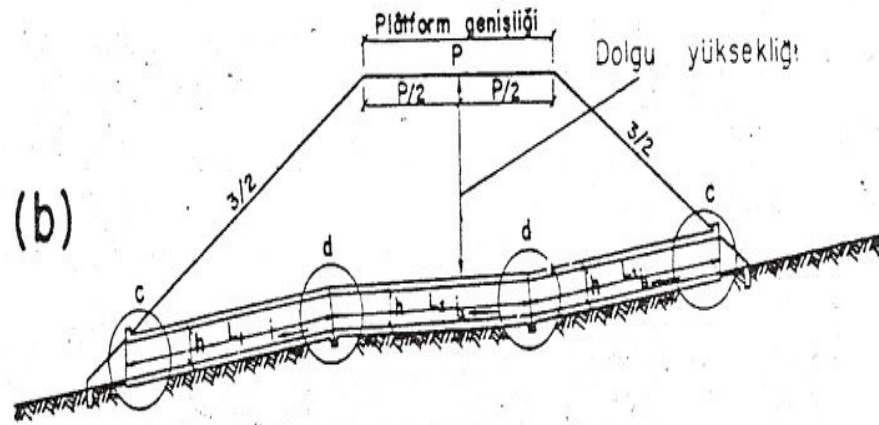
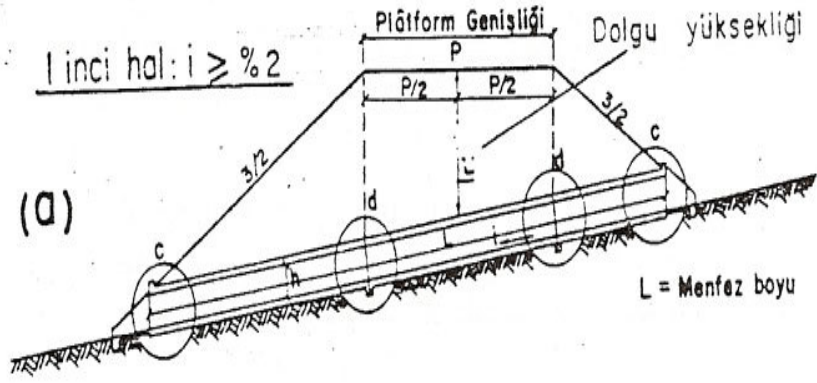
Tek gözlü menfezin taban ve tavanı ile yan duvarları arasında projesinde gösterildiği şekilde inşaat derzleri tertip edilecektir.

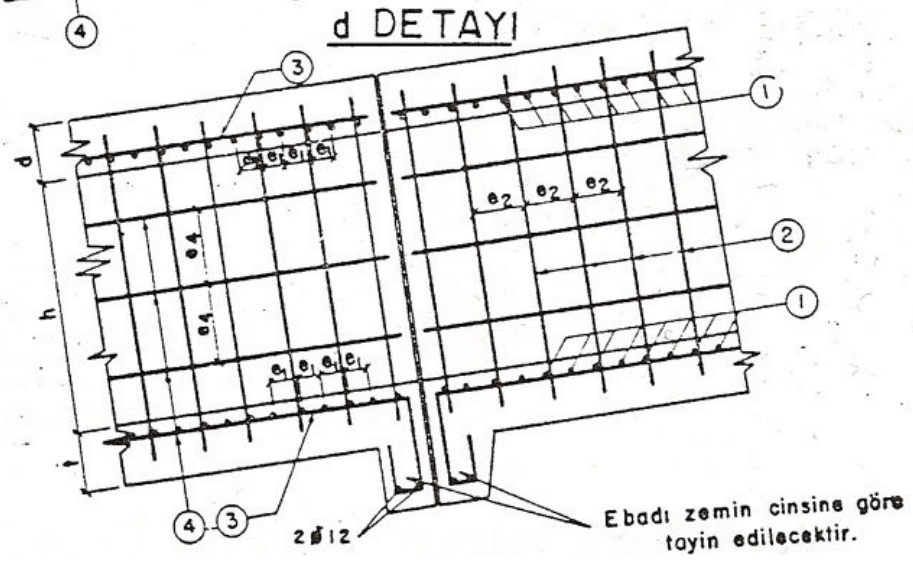
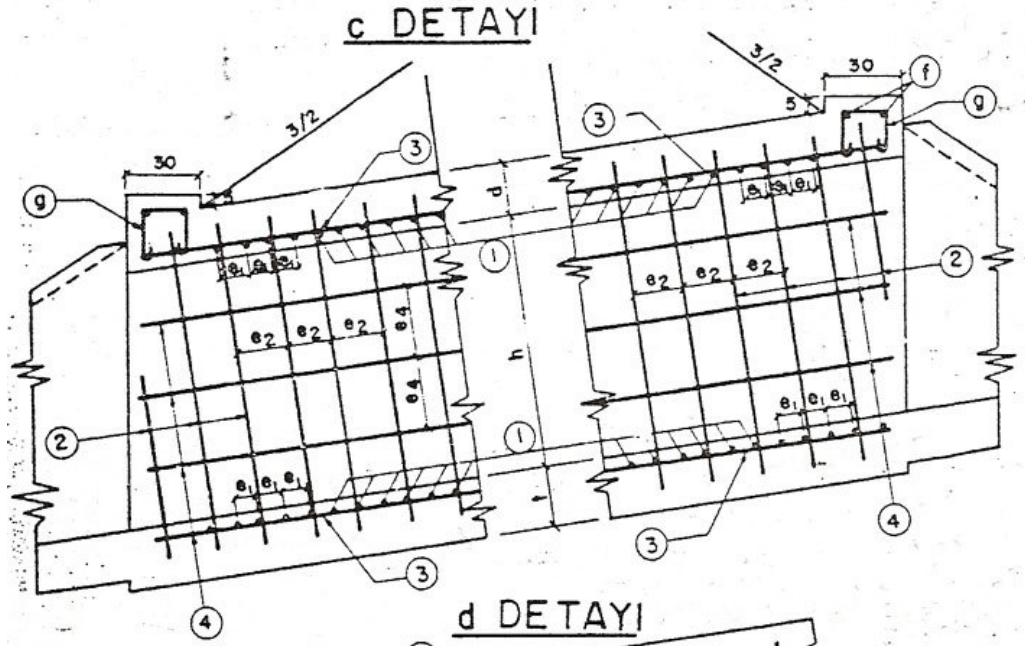


Şekil 3.28. Menfezlerde Dilatasyon Derzi.

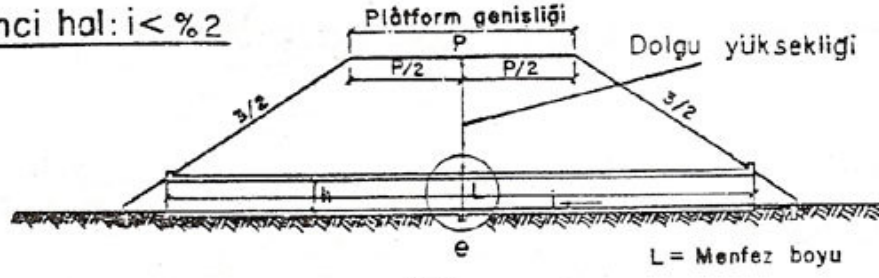
Taban uzunluğu 15 mt yi geçtiği zaman bir dilatasyon derzi yapılacaktır. Bu derz 30 mt radye uzunluğuna kadar taban ortasına gelmek şartıyla 1 tane, 30 mt den fazlası için dolgunun banket uçlarından inen düşey üzerine gelmek şartıyla 2 tane yapılacaktır. Dolu sevi altına rastlayan menfez uzunluğu 15 mt yi geçtiği zaman dolgu ucu ile banket ucundan inen düşey arasına bir derz daha yapılacaktır. Bu derzlerin tabandaki kısımlarında 0.02 den daha az eğimler için betonarme “ yastık “ , 0.02 m ve daha fazla eğimler için betonarme “brit” yapılır.

Yukarıda işaret edildiği gibi menfez ekseninde arazi fazla eğim değişikliği gösteriyor ve menfezin tek eğimde yapılması halinde fazla kazı icap ediyor ise veya menfez tabanı bazı yerde dolguda kalıyor ise işte o zaman menfez tabanı araziye uydurularak birden fazla eğimde yapılır. Eğimin değiştiği yerlerde dilatasyon derzi konur [25].

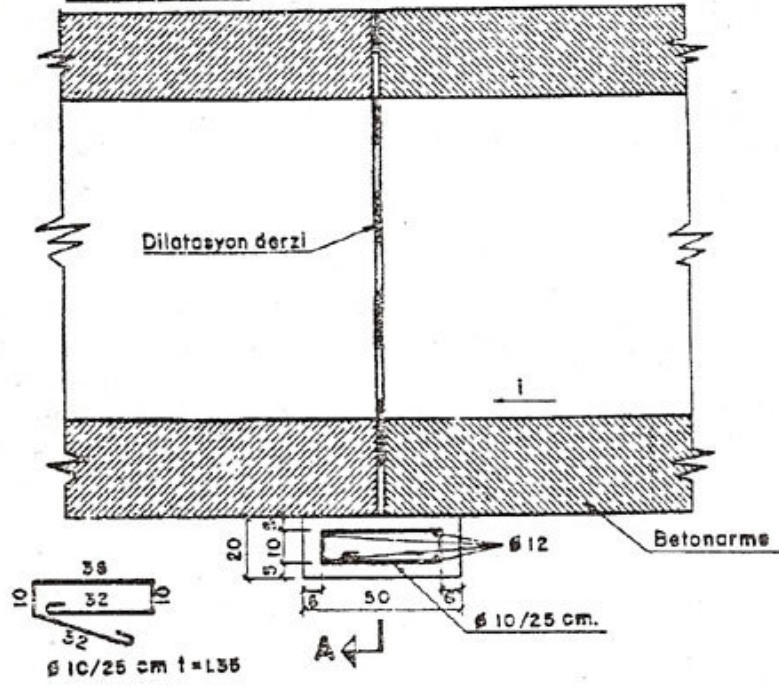




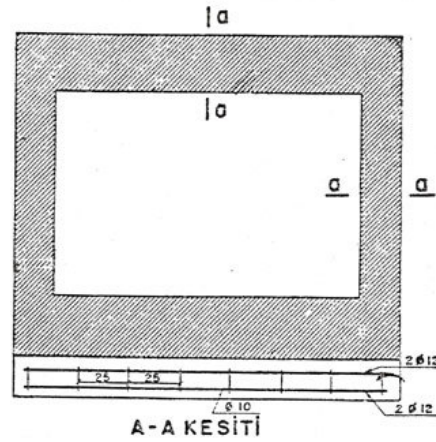
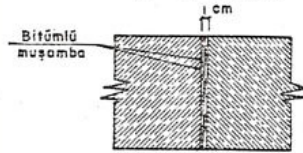
2 inci hal:  $i < \%2$



e DETAYI A←



a-a KESİTİ



Not : Derz dolgusu menfezin iç düzleminden dışarı çıkmayacaktır.

Şekil 3.29. Standart Kutu Menfez Detayları.



Menfez üzerindeki dolgu aynı zamanda 2 taraftan birden yapılacaktır. Su akım hızı fazla olan ve taş sürükleyen derelerde “kutu menfez” tiplerinin uygulamasından imkan nispetinde kaçınılacaktır.

Bu gibi şartlarda kutu menfez tiplerinin uygulanması zorluğu varsa, menfezin radye üstü taşla kaplanacak ve yan duvarların aşınma etkisinde olan kısımlarının demir teçhizat dışında kalan beton et kalınlıkları 8 cm ye çıkarılacaktır [21].

### 3.3.1.2.2. Beton ve Kargir Kemer Menfezler

Karayollarımıza “kemer menfezler” için standart tipler hazırlanmıştır. Bu tiplere ait detaylı bilgiler Karayolları genel müdürlüğü tarafından yayınlanan standart köprü tipleri adlı kitapta verilmiştir.

Tipler: Serbest açıklık ( L = 0,70, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00 metre ) ve (L= 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00 metre ) olmak üzere tertiplenmiştir. Ayak yükseklikleri ( 0.60, 1.00, 1.50 m ) olarak alınmıştır. Çok gözlü olarak ta uygulanabilirler. Buna duruma göre projeyi yapan mühendis, şantiye şefi veya kontrol mühendisi karar verecektir. Bu tipler 3 şekilde inşa edilebilirler.

- i. Tamamı beton olarak
- ii. Kemerin görünen yüzeyleri kaba yonu, korniş rampan ve “D taşları” beton ve kesme taş diğer kısımlar moloz taşı olarak
- iii. Kemer kısmı beton diğer kısımlar madde 2 deki gibi, kaba yonma ve moloz inşaat 300 kg/m<sup>3</sup> dozajda çimento harcıyla kemer elevasyon ve kuruda temel, beton 200 kg/m<sup>3</sup> dozajda yapılır.

(L= 0.70- 5.00 m) olan menfezlerde boyuna eksen doğrultusunda, en çok 15 m de bir (L=5.00 – 10.00 m ) olan menfezlerde ise en çok 8.00 metrede bir fuga yapılmalıdır.

Zemin emniyet gerilmesi 2 kg/cm<sup>3</sup> ten az olan çürük ve taşıma gücü uygun olmayan yerlerde bu kemer menfez tipi uygulanır [21].

### 3.3.1.2.3. Standart Kutu Menfez Tipleri İle İlgili Bilgiler

Bordür içinde bulunan 2 adet 1 no.lu demirler, cetvelde gösterilen aralığa bakmaksızın şekilde gösterildiği gibi konulacaktır.

Taban ve tavandaki 3 no lu demirlerden köşelere gelen 3 tanesi şekilde gösterildiği gibi kenarlara konacaktır, diğer demirler ise cetveldeki (e3) değerine en yakın aralıkta yerleştirilecektir.

3 ve 4 no.lu demirlerin boyu 6 mt den küçük olmayacak ve 50 Ø bindirmek suretiyle eklenecektir.

Menfezin inşaatına ait kalıp, betonarme demiri, beton ve diğer bütün işler için “Karayolları Genel Müdürlüğüne kabul edilen fenni şartname” ve yürürlükteki standartlar uygulanacaktır. Beton dozajı 350 kg/m<sup>3</sup> olacaktır.

Taban betonarmesinin temiz bir satıhta olabilmesi için zemine 5 cm. kalınlığında ve 150 kg/m<sup>3</sup> dozlu bir grobeton dökülecektir.

Menfezin taban ve tavanı ile yan duvarları arasında projede gösterildiği şekilde inşaat derzleri tertip edilecektir. Önce taban sonra yan duvarlar ve nihayet tavan betonu dökülecektir.

Menfezin yan ve üst yüzeylerine katran sürülecektir.

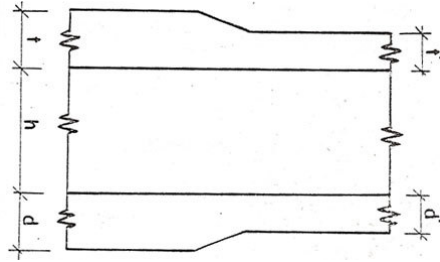
TCK tarafından yayınlanan standart menfez tipleri tablodan çeşitli dolgu yükseklikleri için menfezin 1 mt uzunluğunun beton, betonarme demiri ve kalıp miktarları, aynı zamanda çeşitli dolgu yükseklikleri için menfezin bir tarafındaki bordürünün beton, betonarme demiri ve kalıp miktarları alınarak metraj yapılabilir.

Menfez boyutu 12,12 m den daha uzun olduğunda her 12.00 m için betonarme demiri miktarına cetvelde ek payı kg olarak gösterilen miktar eklenecektir.

Katran, tesviye betonu ve dilatasyon derzlerindeki betonarme britler ( veya yastıklar ) ve bitümlü müşamba ayrıca metraja konacaktır.

Bu tipler meyilli arazide tatbik edildiği takdirde ( Şekil 3.29 de gösterildiği gibi 4 no lu demirler menfez tabanına paralel, 2 no lu demirler menfez tabanına dik olarak

konulacaktır. Meyilden dolayı bordürlerin memba tarafındaki (g) demiri, mansap tarafındakinden daha küçük olacaktır. Fakat mansap tarafındaki (g) demirlerinin boyları toplamı, tablodaki demirin 2 katı olacak şekilde tespit edilir. Memba ve mansap bordürlerinin beton, betonarme demiri ve kalıp miktarlarının toplamı tablodaki değerlerinin 2 katı alınarak bulunacaktır.



Şekil 3.30. Menfez Planı [21].

Menfez ekseninde arazi esaslı olarak meyil değişikliği gösteriyor ve menfezin tek meyilde yapılması halinde fazla kazı gerekiyorsa veya menfez tabanı bazı yerde dolguda kalıyorsa o zaman menfez tabanı araziye uydurularak birden fazla meyilde yapılacaktır. (Şekil 3.29 b ) Meyilin değiştiği yerde dilatasyon derzi konulacaktır.

Yukarıda belirtildiği gibi, taban uzunluğu 15.00 mt yi geçtiğinde şekil 3.29 de gösterildiği gibi 1 dilatasyon derzi yapılacaktır, bu derz 30 mt radye uzunluğuna kadar taban ortasına gelmek şartıyla 1 tane 30 mt den fazlası için dolgunun banket uçlarından inen düşeyler üzerine gelmek şartıyla 2 tane yapılacaktır. Dolgu sevi altına rastlayan menfez uzunluğu 15 mt yi geçtiği zaman dolgu ucu ile banket uçlarından inen düşey arasına bir derz daha yapılacaktır. Bu derzlerin tabandaki kısımlarında 0.02 den daha az meyiller için şekil 3.29 deki betonarme yastık, 0.02 ve daha fazla meyiller için betonarme brit yapılacaktır.

Menfez yüksek dolgu altında olursa menfezin dolgu etekleri altında kalan kısımlarında dolgu yüksekliğinin 3.00, 6.00, 9.00 m. Olduğu yerlerde tablodaki değerlere göre taban, tavan ve cidar kalınlıkları ve teçhizatı değiştirilebilir. Bu değişiklik şekil 3.29 de görüldüğü üzere 2/1 meyil ile birbirine birleştirilir. 13. maddede yazılı dilatasyon derzleri bu kesit değişikliği yapılan yerlerin civarına geldiği yerlerde dilatasyon derzleri buralarda yapılacaktır.

Menfez üzerine gelen dolgu aynı zamanda 2 tarafta birden yapılacaktır.

Menfez boyuna – meyli, 0.15 i geçtiği takdirde yalnız cidarlardaki demirler aynı aralıkla düşey olarak konacaktır. Bu demirlerin tablodaki boyları  $\text{Cos}\phi$  (  $\text{tg } \phi = i$  ) ile bölünerek bulunacaktır. Demir boyunun artmasından dolayı aradaki fark hesaplanıp betonarme demiri miktarına eklenecektir. Kalıp ve beton miktarı aynen kalmaktadır. Kanat duvarları ve radyenin ölçüleri, demir teçhizatı ve metrajı ile ilgili bilgiler ilgili kitapta verilmiştir [21].

### 3.3.1.3 Tip Köprüler ( Tabliyeli Menfezler )

Tip köprü projeleri standart olarak (1.20-15.70 m ) arasında değişen serbest açıklıklar için tertiplenmişlerdir. Akarsu, diğer bir yol, demiryolu ve benzeri manialarını geçmek üzere inşa edilen ve imla altında olmayan; gözlerinden her hangi birinin mesnet eksenleri arasındaki açıklığı, köprü eksenı boyunca 10 metreden büyük olan yapılarıdır.

Bu tarif dolgu altında olmayan kutu menfezleri de içine alır. Köprü sınıfındaki köprü genişlikleri ( Bordürler arasındaki açıklık ) yolların önem derecesine göre:

- Tali köy yolları üzerindeki köprüler için 4 m;
- İşlek köy yolları ile tali il yolları için 6.00 m;
- Birinci sınıf il yollarında 7.00 m,
- Devlet yolları ile ilerde devlet yolu olması düşünülen birinci sınıf il yollarında 8.00 m olarak tespit edilmiştir.

Menfezlerde yolun cinsi ne olursa olsun menfez uzunlukları yol platformunun her iki tarafında 30 cm fazla genişlik payı olacak şekilde tespit edilir.

Köprülerde yaya kaldırımı ve korkuluk yapılması zorunludur. Menfezlerde ise korkuluk ve yaya kaldırımı söz konusu değildir.

Köprü ve menfezlerde “ tabliye” betonu mutlaka beton yapımına ara vermeksizin sürekli olarak dökülecektir.

Suların tabliyeden uzaklaştırılması için “garguylar” yapılır. Garguylar beton dökümünden önce tabliyeye yerleştirilir. Kenar ayakları arasındaki açıklık 6.00 mt veya daha fazla olduğu zaman korkuluk yapılır.



Şekil 3.31. Köprü Üzerinde Garguy Çukuru ve Korkuluk.

“Huni” ile su içinde beton dökümü esnasında hiçbir şekilde su boşaltılmayacaktır. Su boşaltılarak temel betonu dökümü esnasında tulumbaların arızası dolayısıyla temele su dolduğu takdirde 24 saat geçmeden tekrar suyun boşaltılmasına başlanılmayacaktır. Bu yapılar, genellikle beton veya kargir “kenar ayak” ve “Ric’at” duvarları ile “Üst tabliye” den ibarettirler. Tabliyenin kenar ayaklara oturduğu mesnetlerde betonarme “mesnet bantları” yapılır

Gerek alt ve üst yapı betonu dökümünde vibratör kullanılır. Kenar ve orta ayak temel ve elevasyon betonları 25-30 cm kalınlığında olarak yatay tabakalar halinde dökülecektir.

Kemer ayaklarda, elevasyon ve ricatlar aynı zamanda tek bir parça olarak beraber dökülecektir. Elevasyon betonu biter bitmez 5 cm yüksekliğinde 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı mesnet betonu dökülecek ve bu beton sertleşmeye başlayınca mesnet ve “gergi girişi” demirlerinin montajı yapılarak mesnet bandı betonuna devam edilir. Kiriş demirleri “takoz” konularak askıya alınır ve kiriş betonu 25–30 cm yatay tabakalar şeklinde kirişin yarısına kadar dökülür ilk alt tabaka betonu en çok 2 cm lik agrega ile yapılır. Kirişe dökülmek üzere gelen beton önce sac veya kontrplak üzerine dökülecek ve

buradan kürekle itmek suretiyle kiriş içine atılacaktır. Kiriş betonunun dökümünden sonra kalıp içerisindeki pislikler temizlenecek ve bozulmamış olan döşeme demirleri işaretli yerlerine konarak, tabliye demir montajı yapılacak, tabliye betonu sürekli olarak dökülecektir.

“Korkuluk demirleri”, projesine göre yerine konduktan sonra takozla tabliyede bırakılan boşluk harçla doldurulmak suretiyle tespit edilir ve icabında kalaslarla dikmelerin kendi pozisyonlarında durabilmesi sağlanır ve bordür betonu bundan sonra dökülür.

Ricatlar arası el ile istif edilmiş en az 20 kg lık taş dolgu ile doldurulur beton kenar ayak ve ricatlarda, temel betonu kuruda 200, su çıktığı ve tulumba ile boşaltıldığı takdirde alttan 0.50 mt lik kısmı 250 kalan kısmı 200; elevasyon ve ricatlar 200, mesnet bandı bordürler ve gergiler 350 kg/m<sup>3</sup> dozajla yapılır.

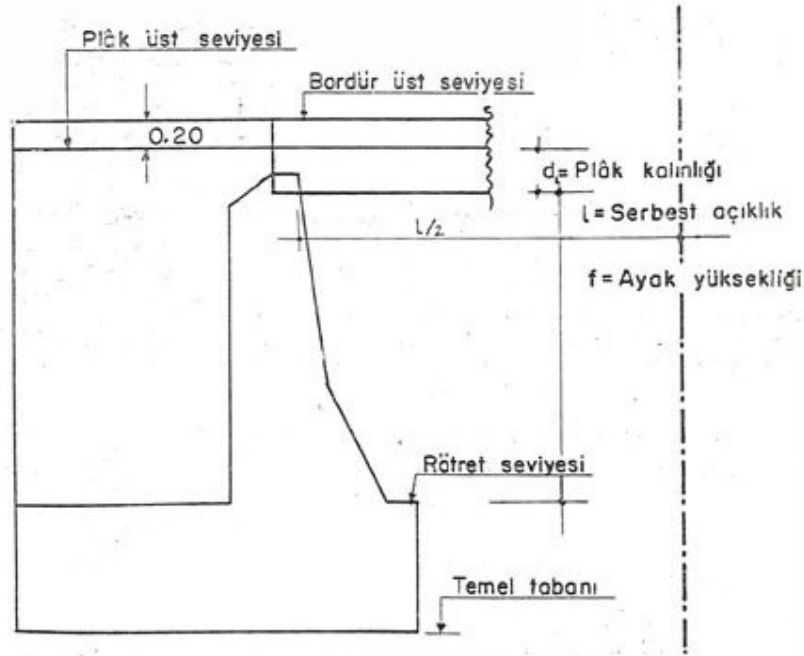
Zorunlu hallerde su içinde özel tertibat ve huni ile dökülen betonlarda temelin alttan 0.75 lik kısmı 300 kg dozajda; geri kalanı ise su boşaltılarak 200 kg/m<sup>3</sup> dozajda yapılır.

Kargir kenar ayak ve ricatlarda temel kuruda olduğu zaman su seviyesi rötretten aşağıda ise su seviyesine kadar, rötretten yukarda ise temelin tamamı beton olacaktır. Tulumba ile su boşaltıldığı takdirde alttan 0.50 mt lik kısmı 250 geri kalanı 200 kg/m<sup>3</sup> dozajda, zorunlu hallerde su içinde özel tertibat ve huni ile döküldüğünde temelin alttan 0.75 m lik kısmı 300, geri kalanı su boşaltılarak 200 kg m<sup>3</sup> dozajda yapılır. Kargir 300 kg/2m<sup>3</sup> dozaj çimento harcıyla örülecektir. Kargir kenar ayaklarda, tasman yapmayan zeminler için ricatlarla kenar ayaklar arasında derz bırakılmayarak temel tabanından bordürlere kadar temel betonu beraber dökülecek,, kargirler yekpare örülecektir.

Ricatların içindeki dolgu, üstyapının hitamından sonra yapılacaktır. Adi dolgu malzemesi ile yapılacak dolgunun, ricatlar içinde kalan kısmı ile ricatların dışındaki kardikonların yapımına aynı zamanda yapılacak ve her ikisi birlikte yükseltilmelidir.

Elevasyonun araka yüzeyleri ile ricatların iç yüzeylerine ve gergi kirişlerine 2 kat, en iyisi “ bitüm” , bulunmadığı takdirde “katran” sürülmelidir.

Menfez ve köprüler icap eden yerlerde verevine yapılırlar. Verev menfez ve köprülere ait demir boy ve miktarları ve boyutlarda yapılması gereken değişiklikler Karayolları Genel Müdürlüğünde hazırlanan cetvellerde yer alır [21].



Şekil 3.32. Kesit içinde Tabliyeli Menfez

#### 3.3.1.4. Hendekler

Yolun enine eğimi nedeniyle ve şevlerden gelen sular, yarmalarda, yarma şevi ile banket kenarı arasında yer alan hendekler yardımıyla doğal mecralara verilir.

Fazla su akıtmak bakımından eski yollarda daha ziyade trapez kesitler kullanılmıştır. Ancak makineli yol bakımına müsait olması, şevlerin yatırılmasından müteessir olmaması ve trafiğe karşı tehlikeli bir durum arz etmemesi bakımından V tipi üçgen hendekler 1950 den bu yana yollarımızda uygulanmaktadır. Kar mücadelesi yapılan bölgelerdeki yollarda özellikle bu tip hendekler zorunlu olmaktadır [12].



Şekil 3.33. V Tipi üçgen hendek

Hendek ebadının taşıyabileceği maksimum debi vs. nedenlerle hendek uzunluğunun 150 m yi geçmemesi gerekir. Boyuna eğimleri normal hallerde, yol eğimi olmakla beraber minimum eğim, iksalı hendeklerde % 0,2 ve iksasız hendeklerde % 0,5 tir. Zeminin cinsine bağlı olarak genellikle %3 boyuna eğimden sonra erezyon başlamaktadır.

Tablo 3.8. Zemin Cinsine Göre Oyulma Hızları [21].

Zemin Cinsi	Oyulma Hızı (M/Saniye)
Üniform gradasyonlu kum ve kohezyonsuz siltler	0,20-0,45
İyi granülometrilili siltler	0,45-0,75
Siltli Kum	0,75-0,90
Killer	0,90-1,50
İri çakıl ve Taşlar	1,50-2,50

Eğim fazlalığından doğan erezyonu önlemek için yer yer kademeler (şutler) yaparak eğim azaltılabilir. Bu kademeler, ahşap, beton veya taş duvar olarak yapılır. Bu



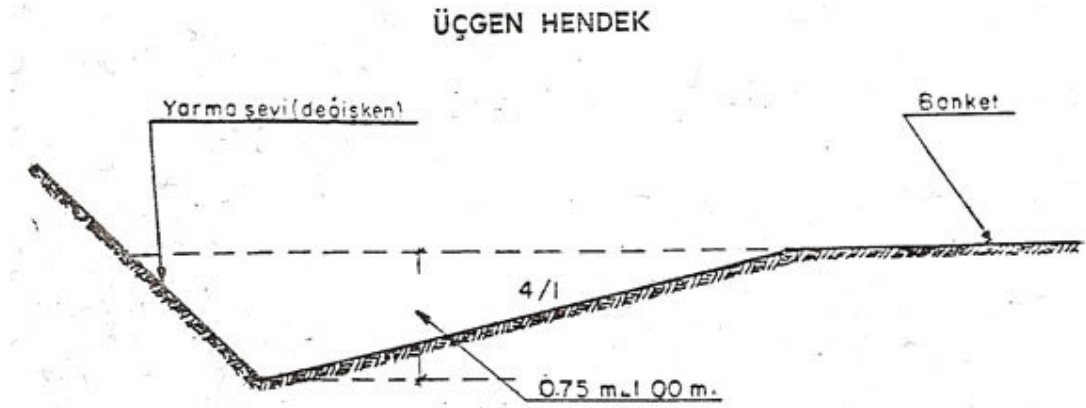
kademeler düşüm yüksekliği 30-90 cm arasında ve yeni su yüzeyi eğimi ise %2-4 arasında bulunacak şekilde teşkil edilirler.

$$\text{Kademe ağırlığı} = (100 h)/(a-b) \quad (3.39.)$$

Burada;

- h : Düşüm yüksekliği, m  
a : Yol ekseninin eğimi, %  
b : Su akış yüzeyi eğimi, %

Yol eğiminin fazla, hendek zemininin oyulmaya karşı mukavemetinin az olduğu hallerde, çok sık şut yapmak icap edeceğinden, hendeğin kaplanması cihetine gidilmelidir. Bunun için beton, kagir pere gibi malzeme kullanılır. Kaplama olarak beton seçilmesi halinde aşınmaya karşı dozajın minimum 300 olması gerekir.



Şekil 3.34. Karayollarımızda Kullanılmakta Olan Hendek Tipi Kesiti.

#### 3.3.1.4.1. Yarma Şevlerinde Drenaj Hendekleri

Özellikle erezyona müsait arazide, yamaçlardan gelen yağmur ve sızıntı sularının yarma şevlerini bozup, yol hendeğini ve yüzeyi birikinti malzemesi ile doldurmasını önlemek, heyelanlara kısmen engel olmak, için yarma şevinin üst çizgisine 5-10 mt mesafede buna paralel olarak kafa hendeği diye adlandırılan drenaj hendeği açılır.

Kafa hendeklerinin iyi bir şekilde yapılandırılması ve gerekli bakımın yapılması ile şev erezyonu ve stabilitesi vs. gibi bir çok önemli problemler halledilmiş olur. Kafa





Beton ve betonarme büz işlerinde kullanılan çimento, agrega, su ve beton kimyasal maddeleri standartlara uygun şekilde imal edilir. Beton ve betonarme büz üretiminde kullanılacak agregaların granülometrisi büz cidar kalınlığına göre değişiklik arz eder. Betonarme büzlerde kullanılacak boyutlar ve kullanılacak donatı çeliği miktarları karayolları teknik şartnamesinde tablo halinde verilmiştir.

Yol yüzeyine düşen yağış suları, enine eğime bağlı olarak yol kenarlarına doğru akarlar ve yarmalarda yol eksenine boyunca paralel devam eden yan hendeklerde toplanarak uzaklaştırılır. Hendek sonları doğal bir mecrada son bulur veya büz ve menfezlerle birleşir [21].

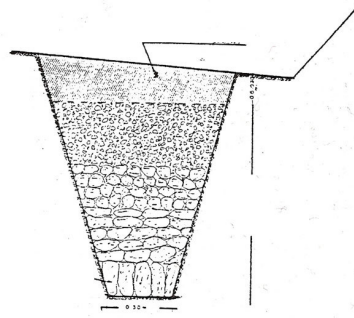
### **3.3.2. Yüzey Altı Drenajı (Hendek Drenajı)**

Orta refüj ve yarma hendeği altında sızıntı sularını almak ve yer altı su seviyesini düşürmek için yapılan drenaja yüzeyaltı drenajı denir. Yüzeyaltı drenajın verimli bir şekilde çalışması için her 50-100 metrelik mesafede bir bakım amaçlı kontrol bacaları teşkil edilmelidir. Yüzeyaltı drenaj işlerinde kullanılan yapı elemanları; beton borular, PVC esaslı tünel tipi drenaj borusu, kontrol bacaları, drenaj amaçlı geotekstil malzemeler ve filtre malzemeleridir. Yüzeyaltı drenajı iki tipte inşa edilir.

#### **3.3.2.1. Kör Drenler**

Yer altı su seviyesinde istenilen indirme miktarı az olduğunda şekil 3.38 de ebadı ve dolgu malzemesi gösterilen klasik tipte drenler yapılabilir.

Drenin altındaki 20-25 cm lik iri taşlar dikine olarak elle sıralanır. Onun üzerine 20-40 cm kalınlığında 2-8 cm lik granüler malzeme konur. Bu tabakanın üstüne de yüzey sularının drenaj sistemine sızıp tıkanmaya yol açmasını önlemek için 20-30 cm kalınlıkta kil vs. gibi geçirimsiz zemin tokmaklanarak konur. Bu tip drenlere “Fransız Tipi Drenler” de denir. Ülkemizde uygulamaları yapıldıysa da zamanla tıkanıdığı için çok fazla kullanılmamıştır.



Şekil 3.38. Fransız Tipi Kör Dren.

### 3.3.2.2. Önleyici Boru Drenler

Gerek üstyapının yeraltı sularından korunması ve gerekse şevlerin stabilitesinin temini için yapılan yeraltı drenajında en çok kullanılan sistem boru drenlerdir.

Önleyici boru drenlerde beton boru veya PVC esaslı tünel tipi drenaj borusu kullanılır.

Beton borular kullanıldığı takdirde; bu borular üç eksenli yükleme deneyine tabi tutulmalı ve mukavemet değerleri aşağıdaki tabloda verilen değerlerde olmalıdır.

Tablo 3.9. Beton Borulara Ait Kırılma Mukavemetleri [21].

Boru İç Çapı	TİP-1		TİP-2		TİP-3	
	Min. Et kalınlığı (mm)	Min. Kırılma Muk. (kg/m)	Minimum Et kalınlığı (mm)	Min. Kırılma Muk. (kg/m)	Min. Et kalınlığı (mm)	Min. Kırılma Muk. (kg/m)
100	15.9	2190	19,0	2920	22,2	3500
150	15.9	2190	19,0	2920	25,4	3500
200	17.9	2190	22,2	2920	28,6	3500
250	22.2	2330	25,4	2920	31,8	3500
300	25.4	2630	34,9	3280	44,5	3790
380	31.8	2920	41,3	3790	47,6	4220
460	38.1	3210	50,8	4380	57,2	4810
530	44.5	3500	57,2	4810	69,9	5620
610	43.0	3790	76,2	5250	95,3	6420

PVC esaslı tünel tipi drenaj borusu kullanılacaksa, yer altı borulu hendek drenajında kullanılacak drenaj boruları yumuşatıcısız polyvinil Klorürden (PVC) ekstrüzyon

yöntemi ile imal edilecektir. PVC hamuru DIN 7748 Kısım 1 de belirtilen esaslara uygun olup, tablo 3.10 da verilen hammadde özelliklerine sahip olmalıdır. Bu boruların üretiminde; bileşimi belli olmayan malzemeler, dolgu malzemesi ve imalat artıkları kullanılmayacaktır.

Tablo 3.10. PVC Hammadde Özellikleri [21].

Malzeme Özelliği	Şartname Limiti
Vicat Yumuşama Derecesi	$>77^{\circ}$
Çentiğe darbe mukavemeti	$> 3 \text{ kJ/m}^2$
Elastisite Modülü	$\geq 2500 \text{ N/mm}^2$

Drenaj hendekleri tespit edilen sınırlar içerisinde belirli eğim ve genişlikte açılır. Hendek genişliği borunun tabanının teşkili, borunun yerleştirilmesi, boruların bağlantılarının yapılması ve boru yanlarının doldurulması için yeterli olabilecek genişlikte açılmalıdır. Bu da boru dış çapı üzerinden minimum 40 cm ilave edilerek elde edilen genişliktir. Hendek genişliği projede gösterilmişse projedeki değer uygulanmalıdır. Drenaj hendeklerinin açılmasına mansab tarafından başlanıp, menba tarafına doğru ilerlenir. Ancak arazi şartlarına göre değişen durumlarda projedeki kazı yönü uygulanır. Drenaj borularının oturtulacağı taban 10 cm kalınlığında grobeton ile teşkil edilir. Grobeton dökülürken gerekli eğim sağlanmalı ve bütün hendek boyunca dökülmelidir. Drenaj borularının bir dolgu içinde veya dolgu altında inşa edileceği durumlarda drenaj endeğinin hazırlanmasından önce dolgu, geçirgen yan dolgunun üst seviyesine kadar inşa edilir. Bundan sonra borunun yerleştirilmesi ve iyi bir yan dolgunun sağlanması için gerekli genişlikte olmak üzere hendek açılır.

Delikli beton drenaj boruları delikler alt tarafa simetrik olarak gelecek şekilde grobeton yatak üzerine yerleştirilir. PVC esaslı tünel tipi drenaj borularında ise borunun düz tarafı alta gelecek şekilde yerleştirilir.

Açılan hendeğe drenaj boruları yerleştirildikten ve bağlantıları yapıldıktan sonra drenaj borusunun üzerine boru çapı kadar ve açılan hendek yan yüzeylerine temas etmeyecek şekilde kaba filtre malzemesi drenaj borusuna zarar vermeyecek şekilde yerleştirilir.

Bu malzeme üzerine konulacak ince filtre malzemesi ise 15 cm lik tabakalar halinde serilip sıkıştırılmalıdır. Drenaj hendeği içerisine konulan kaba ve ince filtre malzemesinin toplam kalınlığı 70 cm olmalıdır.

Beton hendek kaplama yapılmaması durumunda, filtre malzemesinin yerleştirilmesi açılan hendeğin derinliğinin zemin yüzeyinden itibaren 50 cm lik derinliğe kadar devam ettirilmesi, yüzey sularının hendeğe girmesini önlemek amacıyla bu 50 cm lik en üst kesim kil tabakası ile doldurulup sıkıştırılarak geçirimsizlik sağlanmış olur [12].

### 3.3.2.3. Boru Drenlere Konulacak Filtre Malzemesi ve Özellikleri

Drenaj borularının yataklarının teşkilinde, boru yan kısımlarının ve üstlerinin doldurulmasında kullanılacak agrega temiz olmalı ve boru malzemesine zarar verecek derecede alkali ve organik maddeler içermemelidir. Filtre malzemesi olarak kullanılacak agreganın No.40 elekten geçen malzeme örneği, TS 1900 de belirtilen esaslara göre deney yapıldığında, deney sonucu non-plastik olmalıdır. Drenaj borusu tabanının teşkilinde kullanılacak kaba filtre agregasının gradasyonu Tablo 3.11 de belirtilen esaslara uygun olacaktır.

Tablo 3.11. Kaba Filtre Agregasının Gradasyonu[1].

Elek Boyutu	% Geçen
1"	100
3/4"	80-90
3/8"	30-70
No.4	15-45
No.8	0-10
No.10	0

Kaba filtre agregasının fiziksel ve mekanik özellikleri ise tablo 3.12 de belirtilen esaslara uygun olacaktır.

Tablo 3.12. Kaba Filtre Agregasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [1].

<b>Deney</b>	<b>Deney Standardı</b>	<b>Şartname Limiti Max. %</b>
Yumuşak parçalar, kömür, linyit ve şist gibi diğer yabancı malzemelerin toplam oranı	AASHTO T 113	% 2,5
Kil Topakları	ASTM C - 142	% 1,0
Magnezyum Sülfat kütlece kayıp Değeri (Don Mukavemeti)**	TS EN 1367 - 2	≤ % 18 (MS <sub>18</sub> )
Kaba Agregada Los Angeles Aşınma Direnci %	TS EN 1097 - 2	≤ % 30 (LA <sub>30</sub> )
İnce - Uzun kısımlar		
** Bu limiti aşan agregalarda en az 5 sene evvel kullanılmış, doğal hava şartları altında aşırı derecede yıpranma göstermemiş kısımlar varsa; kontrol mühendisinin tasvibi ile o malzemenin kullanılmasına müsaade edilebilir.		

Yukarıda gradasyonu verilen boru yatak malzemesi ile yatağın teşkilinden sonra yerleştirilen drenaj borusunun 15 cm üzerine kadar ve açılan drenaj hendeğinin yan yüzeylerine temas etmeyecek şekilde aynı malzeme konulmalıdır.

Kaba malzeme üzerine yerleştirilecek olan ince filtre agregasının gradasyonu Tablo 3.13 de belirtilen esaslara uygun olacaktır.

Tablo 3.13. İnce Filtre Agregasının Gradasyonu [1].

<b>Elek Boyutu</b>	<b>% Geçen</b>
3/8"	100
No.4	95-100
No.16	45-80
No.50	10-30
No.100	2-10

İnce filtre agregasının fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.14 de belirtilen esaslara uygun olacaktır.



Tablo 3.14. İnce Filtre Agregasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [1].

Deney	Deney Standardı	Şartname Limiti Max. %
Yumuşak parçalar, kömür, linyit ve şist gibi diğer yabancı malzemelerin toplam oranı	AASHTO T 113	1,0
Kil Topakları	ASTM C - 142	1,0
No.40 elekten geçen malzemenin plastisite İndeksi	TS 1900	Non Plastik

### 3.3.3. Kent İçi Drenaj Yapıları

Ülkemizde yağmur suyu drenaj sistemlerinin mevcut durumu incelendiğinde düzenli bir yağmur suyu drenaj şebekesine sahip olan yerleşim alanlarının yok denecek kadar az olduğu görülür. Mevcut sistemlerin büyük bir bölümü ise projersiz olarak, yerel yönetimlerce yapılmıştır. Projersiz olarak yapılan bu sistemler, yetersiz olduğu için kendilerinden beklenen fonksiyonu yerine getirememekte, ülkemizde her yıl can kaybı ve büyük maddi zararlarla sonuçlanan taşkınlar yaşanmaktadır [26].

Kentiçi drenaj yapıları, şebeke boruları, rögarlar, ızgaralar, kontrol bacaları, bordürler ve bordür oluklarıdır.

#### 3.3.3.1. Rögarlar

Yağmur suyu drenaj sistemi alıcı sistem ve taşıyıcı sistem olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Alıcı sistemi yolun enine eğimi sayesinde bordürlere iletilen ve bordür oluklarından akıtılan suların toplandığı rögarlar, taşıyıcı sistemi bu suyun derelere akıtılmasını sağlayan taşıyıcı borular oluşturur.

Rögarlar yol üstüne ve yanlarına düşüp de en son bordür oluğunda toplanan suları yoldan uzaklaştıran tesislerdir. Bu tesislerin bir ağız kısmı birde ağızdan giren suları toplayan hazne kısmı vardır. Rögarda toplanan sular büzlerle yol boyuna döşenmiş ana taşıyıcı sisteme ve oradan da en yakındaki dereye akıtılır.

Rögarlar genellikle sokak sonlarına inşa edilir. Rögarlarda toplanan sular, sokak şebekesine oradan da genellikle ana caddede bulunan ana taşıyıcı şebekeye iletilir. Bu nedenle drenaj sisteminin hesabı yapılırken yol civarına ait mevcut durumu gösteren planlarla imar planlarının ve şehir sokaklarındaki kanalizasyon şebekesini gösteren projelerin elde bulunması gerekir. Ayrıca suların verileceği derelerde planlarda işlenmelidir. Rögar ağızlarının büyüklüğü ile rögar sıklığının hesabında ise yola ait boyuna kesit, plan, enine kesit tipi ile yol üzerindeki meydan planlarının temin edilmesi gerekir.

Rögarlar yatay veya yataya yakın ağızlı olup yol kaplaması üzerinde ve bordürün bitişiğinde inşa edilmişlerdir. Bir de bordürün içinde yüzü bordür düşey yüzü ile bir olan ağızlarla teşkil edilen rögarlar vardır. Bu tip rögarlar daha çok trafiğe kolaylık sağlamak ve pislikten tıkanma riskini azaltmak için uygulanmakta olsa da, inşalarının biraz komplike olmaları nedeniyle çok fazla uygulanmamaktadırlar.

Rögarlar inşa edilirken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır [21].

1. Rögarların sıklığı, yolun ne kadar kısmının su altında kalmasının kabul edileceği görüşüne göre hesaplanır. Su altında kalması kabul edilen kısım yolun önemine göre değişir; yol üstünden giden trafiğe bordür oluşu kenarından akan suların engel olmaması gerekir. Ana kavşaklarda yolun bir yanından öteki yanına geçmek isteyen yayalar bordür oluşundaki su üzerinden karşıya atlayabilmelidirler. Yola yandan çıkan sokakları keserken de yayalar suya batmamalıdır. Bunun için de yan sokaklara yayaların yürüdüğü şeridin biraz gerisine rögar koymak gerekir.

2. Belirli boyuttaki bir rögar ağzının (ızgaranın) su alışı kapasitesi sabit değildir. Kapasite, ızgara üstündeki suyun derinliği arttıkça, yani bordür oluşundaki suyun genişliği arttıkça artar. Bu sebeple, ızgaraların bir kısım suyu içeriye almayıp ilerideki rögar tarafından alınmak üzere aşırımlarına müsaade edilmesi rögar randımanını ( $Q/Q_b$ ) artırır. Yolun enine eğimi düşük olan tiplerde rögar randımanı çok düşük olur. Randımanı arttırmak için yolun bordüre bitişik olan kısmının (örneğin ızgara genişliği kadarının) daha dik eğimde yapılması yoluna gidilebilir. Veya ızgara ve civarına depresyon yapılır, yani ızgara yol kaplama yüzeyinden bir miktar çukurda olmak üzere yerleştirilir.

3. Bordür oluğundaki aynı genişlikte bir su için yolun boyuna eğimi arttıkça rögarların su alış kapasitesi artar. Dik eğimlerde rögarlar daha seyrek olur. Yalnız bir aşamadan sonra eğim artsa da kapasite sabit kalır.

4. Yol profilindeki iki inişin arasında kalan çukur yerlerde en düşük kot hizasına bir sıra rögar konduktan sonra ikinci sıra rögarların kot itibarı ile mümkünse 6 cm yukarıya gelecek şekilde konulması uygun olur.

### **3.3.3.2. Bordür Oluğu**

Kaldırım ve refüjleri yoldan ayırmak ve yol yüzeyine gelen suları rögara iletmek vb. amaçlarla, kaldırım ve refüj kenarlarına dizilen çeşitli boy ve kesitlerde betondan imal edilen yapı elemanlarına bordür adı verilir. Bordürler renkli ve renksiz olarak üretilebilir. Bordürler prefabrik olarak üretilip yol üzerinde inşa edilirler.

Prefabrik beton bordür tipleri aşağıdaki şekillerde olabilir [1].

Tip 1: Farklı seviyelerdeki yüzey kaplamalarını ayırmak ve fiziki çizgi meydana getirmek veya tutmak için imal edilmiş hazır beton bordür taşları.

Tip 2: Genellikle aynı kottaki yüzeyleri ayırmak veya görsel çizgi meydana getirmek veya tutmak için kullanılan hazır beton bordür taşları.

Tip 3: Genellikle eşit seviyedeki yüzeyleri ayırmak veya görsel çizgi meydana getirmek veya tutmak için tek başına veya diğer bordür taşları, drenaj kanalları ile birlikte kullanılan hazır beton bordür taşları.

Tip 4: Drenaj kanalı meydana getirmek, eşit seviyedeki yüzey kaplamalarını ayırmak ve fiziki çizgi meydana getirmek veya tutmak için imal edilen hazır beton bordür taşıdır.

Tip 5: Yaya alanları ve/veya trafiğe kapalı alanlar arasında fiziki veya görsel çizgi meydana getirmek veya ayırma için kullanılan hazır beton bordür taşları.



Şekil 3.39. Oluk ve Bordür İmalatı.

Bordürler yerine konulmadan önce istenilen eğim yön ve kot değerlerinde sıkıştırılmış ve sağlam bir taban hazırlanmış olmalıdır. Bütün gevşek ve taban malzemesi olarak kabul edilmeyen malzeme kaldırılarak yerine, seçilmiş iyi malzeme konulmalıdır.

Bordür taşları asfalt ya da sathi kaplama üzerine konulacaksa bordür altına tesviye betonu atılmalıdır. Bordürlerin birleşim yerleri (derzler) en az 300 dozlu harç ile düzgün bir şekilde kapatılacaktır. Bordürlerin ön ve arkaları seçilmiş malzeme ile doldurularak sıkıştırılacaktır. Gerekli hallerde beton atılacaktır.

### 3.3.3.3. Izgaralar

Bordür olukları vasıtasıyla toplanan suların rögar ağzında bulunan ızgaralar içerisinden akarak rögar toplama haznesine iletilir. Izgaralar pik döküm demirden imal edilirler. Izgara tipleri kullanım amacına göre çeşitli şekillerde olabilmektedir. Karayollarında kullanmış olduğumuz ızgaralar tek yönde paralel demir çubuklardan imal edilen ızgara tipidir. Izgaraların rögar ağzlarındaki konumu ve yerleştirilmesi ile ilgili olarak şu hususlara dikkat edilmelidir.



Şekil 3.40. Izgara Örneği

1. Bir ızgara iyi çalıştırılmak isteniyorsa parmaklıkları bordüre paralel olarak konulmalıdır. Parmaklıklar arasındaki boşluk en az parmaklık genişliği kadar olmalıdır. Bisiklet geçen yollarda parmaklıklar bordüre dik yönde konulabilirse de ızgaranın tıkanma ihtimali artar. Buna karşı mümkünse tedbir alınmalıdır. Parmaklıkların üst yüzlerinin yuvarlak yapılması, bordür içine düşey ağız eklenmesi gibi.
2. Parmaklıkları bordüre paralel duran bir ızgara, oluktaki suyun kendi üstüne düşen kısmını tamamen alır. (Çok dik eğimler müstesnadır). Bordüre dik parmaklıklı ızgaraların fazla eğimli yollarda hiç su almayıp bütün suları aşırarak geçmek ihtimali vardır.
3. Izgara boyu 100 cm den kısa olan hallerde, ızgaraya yandan giren su ihmal edilebilir. En temiz yollarda bile az da olsa tortu geleceğinden, bu, yandan giren suyu tortuya karşı emniyet payı olarak ayırmak uygun olur. Tortu ve pisliği fazla olan yollarda oluk debilerini bir miktar arttırmak yerinde olur [21].



Şekil 3.41. Yolda Enine Doğrultuda Izgara Örneği.

## 4. BÖLÜM

### GEOSENTETİKLER

#### 4.1 Geosentetiklerin Tanımı ve Çeşitleri

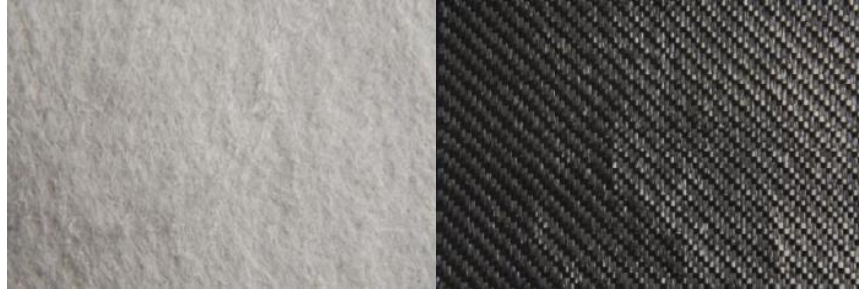
Bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan, polimerik malzemelerden üretilen düzlemsel ürünler geosentetik olarak tanımlanmaktadır [27].

Geosentetiğin çeşitleri; geotekstil, geogrid, geonet, geomembran, geosentetik kil kaplama, geoboru, geokompozit, geofoam, geotüp, geohücre, geo diğerleri olarak gruplandırılabilir. Bu malzemelerden en çok kullanılanları geotekstilller, geogridler ve geomembranlardır [27].

#### 4.2. Geotekstil

Geotekstil; bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünleridir. Son yıllarda kullanımı giderek artmıştır. Üretim tekniği açısından temel olarak iki tip geotekstil yapısı vardır. Bunlar: örgülü geotekstilller ve örgüsüz geotekstillerdir.

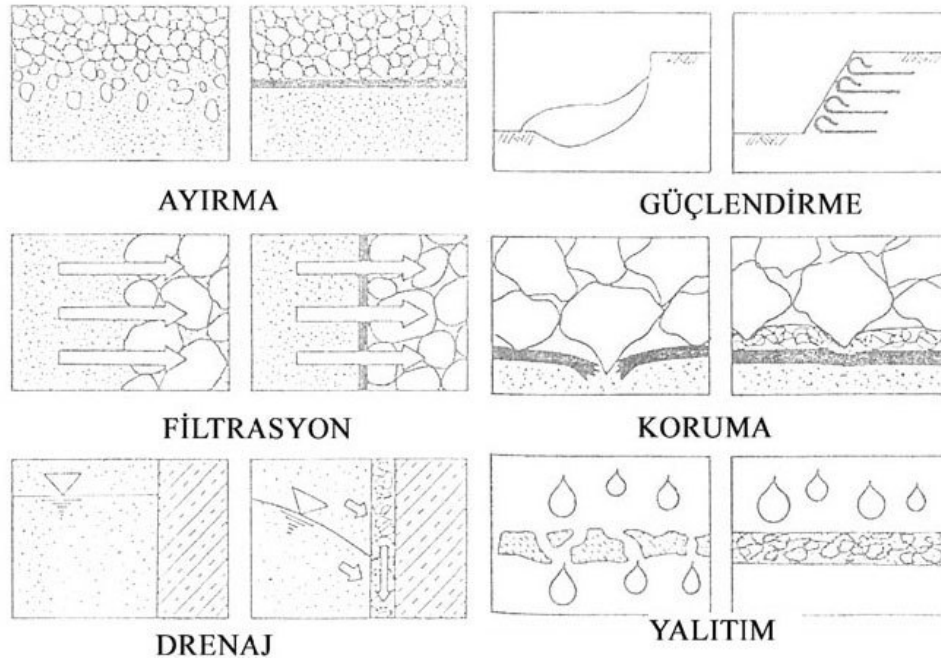
Ayrıca elyafların bir araya getirilme yöntemlerine göre mekanik, ısıl ve kimyasal birleştirme gibi özel işlemler görmüş geotekstilller de mevcuttur. Geotekstillerin 100'den fazla özel uygulama alanı bulunmaktadır; ama genelde geotekstilller aşağıda belirtilen altı fonksiyonu göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Örgüsüz ve Örgülü Geotekstil.

#### 4.2.1. Geotekstil Kullanım Yerleri

Geotekstiller Şekil 4.1 de görüldüğü gibi temel olarak 6 fonksiyonu karşılamak için kullanılırlar.



Şekil 4.2. Geotekstillerin fonksiyonları [27].

##### 4.2.1.1. Ayırma Fonksiyonu

Geotekstil, ince daneli zemin ile kaba daneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde ayırma fonksiyonu görür. Böylece, üst yapıdan gelen dinamik veya statik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımını önlemiş olur. Geotekstiller, süreklilik, esneklik, deforme

olabilme, permeabilite ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinin sonucu olarak suyun doğal sirkülasyonuna engel olmadan değişik geoteknik özelliklere sahip iki zemini birbirinden ayırır [28].

Ayırma amacıyla kullanılan geotekstilin, bu fonksiyondan başka birçok ikincil faydası olmaktadır. Bunlara örnek olarak; dinamik yükler altındaki ince daneli zeminlerin hareketini engellediği ve fazla suyun drenajına izin verdiği için, yolların servis ömrünün ve taşıma kapasitesinin artması verilebilir. Kaliteli malzeme ile ince daneli zeminin birbirine karışmasını önlediği için, inşaatın durabileceği hava şartlarında bile inşaatın devam etmesi, özellikle yol inşaatlarında daha az agrega kullanılması ve daha iyi sıkışma oluşmasını sağlaması da örnek gösterilebilir [29].

#### **4.2.2. Filtrasyon Fonksiyonu**

Geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın belirlenmiş en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Filtrasyon işinde kullanılacak geotekstilin uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan az etkilenme ve yüksek poroziteye sahip olması istenir. Geotekstilin yerleştirilmesinden sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince daneli zemin de taşınır. İlk etapta taşınan bu malzeme geotekstilden mutlaka geçmelidir. Böylece, geotekstilin karşısında içerisinde ince daneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu doğal olarak elenmiş filtre tabakası işlevi görerek küçük parçacıkların geotekstile doğru hareketini önler. Eğer bu ince daneler geotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akışına engel olmamak ve boşluk suyu basıncı oluşumunu önlemek için, geotekstilin geçirgenliği en az zeminin geçirgenliği kadar olmalıdır. Tıkanma riskini ve geotekstilin sıkışabilirliğini de göz önüne alarak güvenlik faktörü 10 - 100 olarak alınır.

#### **4.2.3. Drenaj Fonksiyonu**

Geotekstil, kendi düzlemi boyunca (bünyesindeki) sıvı veya gazı istenilen çıkışa doğru taşır. Bu iletim sırasında, sıvı ya da gaz geotekstilin bünyesinde toplanır ve kendi düzlemi içersinde aktarılır. Geotekstiller zemine nazaran, çok geçirgendir. Özellikle gözenekli olduklarında ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde su akımı



sağlanabilir. Tünel, düşey dren, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi suyun tahliye edilmesi gereken inşaatlarda bu nedenle kullanımı faydalı olmaktadır. Drenaj amacı ile kullanılacak geotekstiller, kendi düzleminde yüksek geçirgenlik, basınca karşı yüksek dayanım ve iyi filtre özelliklerine sahip olmalıdır [27].

#### **4.2.4. Güçlendirme Fonksiyonu**

Noktasal yüklerin eşit olarak geniş bir alana yayılması ve oluşan gerilme kuvvetlerine direnerek, zemin kütlelerini güçlendirmesidir. Zeminlerin aksine, geotekstiller çekme direncine sahiptir. Çekme direncini ve kopmadan önce deformasyon kabiliyetini arttırarak, zeminin güçlendirilmesini sağlarlar. Güçlendirme sayesinde yumuşak zeminlerde, önemli derecede agrega tasarrufu yapılarak yol yapımı gerçekleştirilebilmektedir [27].

#### **4.2.5. Koruma Fonksiyonu**

Geotekstil, deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak ya da yayarak istenilen malzemeyi korur. İki malzeme arasına yerleştirilen geotekstil (örneğin asfalt kaplama ile eski yol kaplaması arasına veya geomembran ile agrega arasına) malzemelerden birini korur[27].

#### **4.3.6. Yalıtım Fonksiyonu**

Geotekstil, geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilir. Bir çeşit membran görevi görür. Özellikle yeni kaplama yapılacak eski kaplamalı yolların üzerine serilir. Geotekstilin, yeterli miktarda bitümü tutma özelliği olması gerekir [27].

#### **4.2.2. Yol Yapımında Geotekstil Kullanımı**

Geosentetiklerin, yollarda kullanımı ile sağlanan faydaları aşağıda sıralanan 10 maddede özetlemekte olup, geosentetiğin hangi fonksiyonlarının etkin olduğunu ayrıca belirtmektedir:



Şekil 4.3. Yol Yapımında Geotekstil Kullanımı.

- Doğal zeminde oluşan gerilme değerinin azaltılması ve temel tabanı agregasının doğal zemine karışmasını önlemek (Ayırma fonksiyonu)
- Doğal zeminin ince malzemesinin temel zemini içine su etkisi ile pompalanmasını (taşınmasını önlemek) (Ayırma ve Filtrasyon fonksiyonları),
- Zamanla doğal zemin mukavemetinde artış sağlanması (Filtrasyon fonksiyonu),
- Yol üst yapısının bütünlük ve üniformluğunu korumasını sağlamak üzere farklı oturmaları önlemek (Donatı fonksiyonu) (Not: Toplam ve konsolidasyon oturmaları geosentetik donatı kullanımı ile azaltılamaz. Karışık kesitlerde dolgu ve yarma bölümlerinde oluşabilecek oturmaların farkını azaltır.),
- Dona duyarlı zeminlerde kapilarite nedeniyle oluşabilen etkileri azaltır (Drenaj fonksiyonu) şişebilen killi ortamlarda mevsimsel su seviyesi değişimlerinin etkilerini azaltır,
- Serbestçe drene olabilen agregaların tasarımda kullanılmasına müsaade ederek temel malzemesinin karışmasını önlemek (Filtrasyon fonksiyonu),
- Uygun olmayan doğal zemin malzemesinin kaldırılması için gereken hafriyat derinliğini azaltmak (Ayırma ve Donatı fonksiyonları),
- Temel zeminini stabilize etmek üzere serilecek agreganın kalınlığı azaltmak (Ayırma ve Donatı fonksiyonları),

- Yapım esnasında doğal zeminde oluşabilecek örselenmeyi en aza indirmek (Ayırma ve Donatı fonksiyonları),
- Kaplamanın hizmet ömrünü arttırmak ve bakım maliyetlerini en aza indirmek (Tüm fonksiyonlar )



Şekil 4.4. Stabilizasyon Amaçlı Geotekstil Kullanımı.

Yol imalatı için gerekli olan agreganın kalitesi ve miktarındaki azalma ile hafriyat ve dolgu maliyetlerinin azalması direkt kazanımlar; sayılan diğer kazanımlar ise indirekt kazanımlar olarak kabul edilmektedir [30,31,32].

### 4.3. Geogrid

Geogridlerin yüksek mukavemetleri ve yük dağıtma özellikleri ile donatılı zemin olarak kullanılma esasları aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Donatılı duvar uygulamalarında zemin özellikleri tam olarak belirlenip, tasarım mutlaka uzman mühendislerce yapılmalıdır. Donatılı duvarlar kalıcı ve geçici süreli olarak

tasarlanabilirler. Kalıcı duvar tasarımlarının ömrü 120 yıla kadardır. Bundan dolayı, zemin ve geogrid özellikleri tam olarak bilinerek tasarım yapılmalıdır.

Geogridli donatılı duvar komposit bir malzeme olup iki ana bileşenden oluşur. Bunlar zemin (kesme ve sıkışmaya karşı koyabilir) ve geogrid (çekme dayanımını sağlar). Bu kombinasyonla oluşan donatılı duvarın sağladığı dayanım betonarme duvarlarınkine eşittir.

Geogridlerin başlıca özellikleri; esnek, yüksek dayanımlı, düşük sünmeli, kimyasal-biyolojik ve U.V. etkilerine karşı korumalı, ve yapım aşamasındaki olumsuz koşullardan minimum etkilenen bir yapı malzemesidir. Geogridler ISO 9001 kalite kontrol yönetimi ile üretilmeli EN 13251'e uygun CE belgesine sahip olmalıdır.



Şekil 4.5. Geogrid Örneği.

#### 4.3.1. Geogrid Kullanılarak Duvar Yapımı

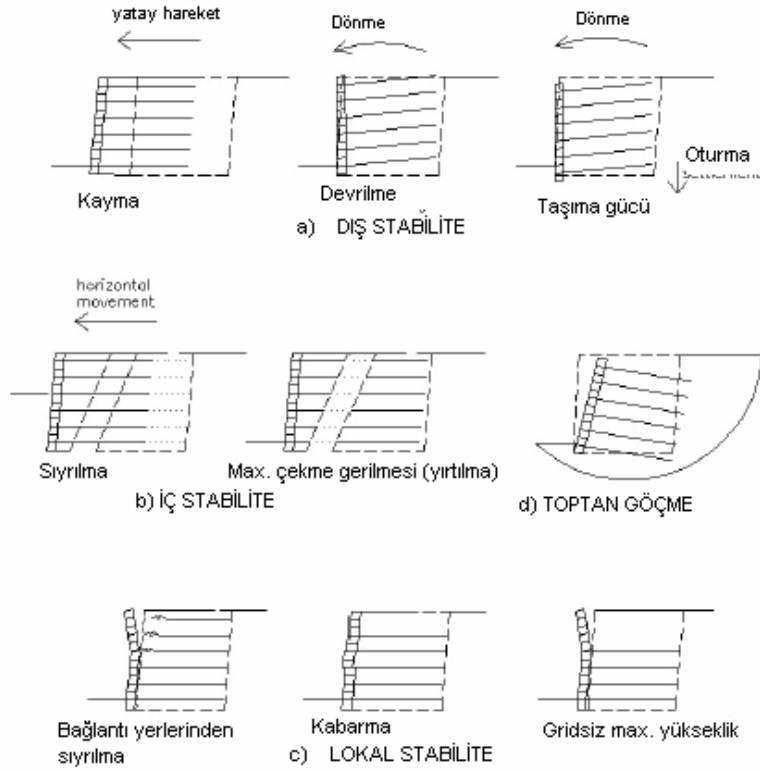
Geosentetik donatılı zemin duvarların ve donatılı dolgu şevlerin inşası Türkiye'de ve dünyada giderek yaygınlaşmıştır. Bu duvarların ekonomik olması; yapımın kolaylığı ve sağladığı diğer avantajlar geleneksel duvarlara göre popülaritesini arttırmıştır. Ayrıca fleksibl olması, oturmalara ayak uydurabilmesi, iyi bir enerji adsorblayıcısı olması, depreme karşı iyi bir performans sergilemesine de neden olmaktadır. Son 20 yılda

giderek artan kullanımı diğer tip geleneksel duvarlar üzerinde kesin bir üstünlük sağlaması nedeniyle olmuştur [27].

#### **4.3.1.1. Tasarım Esasları**

Dolgu şevlerinin sabit hale getirilebilmesi için kayma kaması esas alınarak limit denge kabulü ile çözüm yapılır. Tasarım prosedürü dört farklı göçme çeşidi esasına göre yapılır.

- a) Dış stabilite tahkiki; Burada zemin ve geogrid beraber rijit bir duvar oluşturduktan sonra meydana gelebilecek göçmelerin tahkiki yapılır.
  - Kayma
  - Devrilme
  - Taşıma kapasitesi
- b) İç stabilite tahkiki; Bu adımda grid aralığı ve uzunluğu seçilmiş olan grid mukavemetine göre bulunur. Bu analiz aşağıdaki hesapları kapsar.
  - Grid aralığı ve uzunluğunun belirlenmesi
  - Maksimum taşıma kapasitesinin belirlenmesi
  - Geogrid 'in sıyrılması
- c) Lokal stabilite tahkiki, Grid önüne konulan taş bloklarının stabilitesi incelenir.
  - Grid – taş blok bağlantı yerinden kopması
  - Kabarma
  - Gridiz maksimum yükseklik
- d) Toptan göçme tahkiki; Bu adımda sistemin toptan göçme analizi yapılır.



Şekil 4.6. Donatılı Duvarlarda Stabilite Bozuklukları [33].

Yapılan tahkikler sonucunda güvenlik katsayısı ( $F_s$ ) istenilen değerlerde ise tasarım tamamlanmış olur [33].

#### 4.3.1.2. Tasarım İçin Gerekli Veriler

##### 1. Mevcut zemin özellikleri

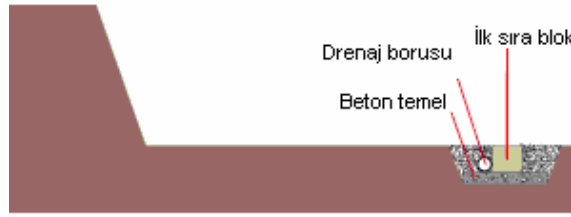
- Zemin tabaka özellikleri:
  - a) Zemin birim hacim ağırlığı
  - b) İçsel sürtünme açısı
  - c) Kohezyon değeri
- SPT verileri

## 2. Kullanılacak Dolgunun Özellikleri

- Zemin birim hacim ağırlığı
- İçsel sürtünme açısı

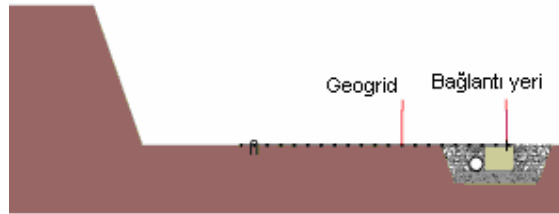
### 4.3.1.3. Yapım Aşamaları

Yüksekliği 0,30 genişliği 0,70 olan bir hendek kazılır. Hendeğin dibine küçük bir temel ya da çakıl sıkıştırılarak konulur (0,10m. Yüksekliğinde). Üzerine ilk sıra bloklar dizilir (0,20m. Yüksekliğinde). Blokların iç tarafına drenaj borusu konularak hendek granüller malzeme ile doldurulur.



Şekil 4.7. Donatılı Duvar Temeli.

1) İlk sıra geogrid duvara yatay bir şekilde serilir. Geogridin ucu bloğun üzerine yerleştirilir.



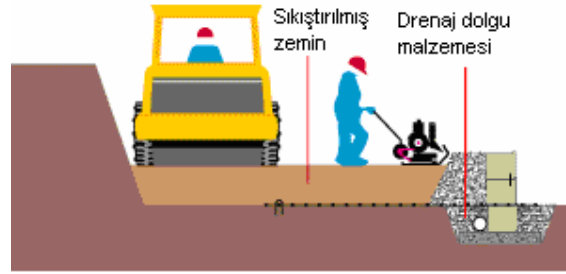
Şekil 4.8. Donatılı Duvar İlk Sıra Geogrid Serilmesi.

2) Yerleştirilen gridin üzerine 2. sıra bloklar yerleştirilip, drenaj dolgusu yapılır. (0,30m. genişliğinde) ve bu dolgu sıkıştırılır. Yapılan projeye bağlı olarak 2 blokta bir 1,00- 2,00m.'lik ara geogridler koyulabilir, aynı şekilde grid sıklığı ve uzunluğu da projeye göre belirlenir.



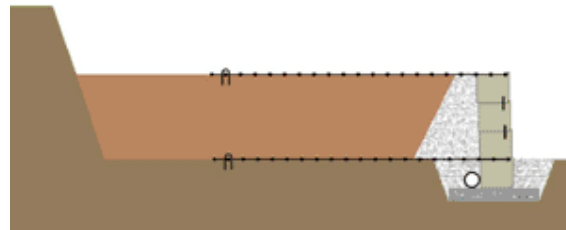
Şekil 4.9. Donatılı Duvar Blok Yerleştirilmesi.

3) Gridin üst dolgusu yapıp 0,20m. oluncaya kadar sıkıştırılır. (Sıkıştırma kıstası olarak Standart Proktor %95 civarı olmalı) Blok çevresindeki sıkıştırma (1m.'ye kadar) el kompaktörü ile yapılmalıdır.



Şekil 4.10. Donatılı Duvar Kompaksiyonu

4) Projeye göre ana gridler konularak aynı işlemler (2,3,4) tekrarlanır.



Şekil 4.11. Donatılı Duvar İkinci Sıra Geogrid Yerleşimi

Kayseri de Erciyes Dağı üzerinde bulunan, Erciyes Üniversitesi tarafından yaptırılan sosyal tesiste bu yöntem kullanılarak geosentetik donatılı duvar yaptırılmıştır [33].





Şekil 4.12. Geoduvvar Uygulaması  
(Erciyes Dağı Erciyes Üniv. Sosyal Tesisleri / Kayseri ).

## 5. BÖLÜM

### UYGULAMAYA YÖNELİK İKİ PROJE ÇALIŞMASI

#### 5.1. Kayseri Mevcut Çevre Yolu ile Kuzey Çevre Yolu Arası Bağlantı Yolu Yapım İşi

Bu proje Kayseri-Ankara yolu üzerindeki Belsin Kavşağından (Kayseri Yeni Otobüs Terminali yanından) başlayıp Kayseri Kuzey Çevre yoluna uzanan güzergâh üzerinde yapılmaktadır. Yolun proje uzunluğu 4100 metredir. Yol çift yol olarak inşa edilmekte olup geliş ve gidiş istikametlerinde 10'ar metrelik (3'er şerit) yol genişliği, 4 mt orta refüj genişliği olmak üzere toplam 24 mt. üst genişliğe sahip olup; şevler ve diğer yaklaşma bölgelerini de içine alan toplam 40 mt. kamulaştırma genişliğine sahiptir.

##### 5.1.1. Proje Kapsamında Yaptırılan İşler

Proje dahilinde yapılan imalatlar Toprak işleri, Üstyapı işleri, Sanat yapıları, Kavşak düzenlemeleri, Orta refüj sulama tesisatı olup tamamı birlikte ihale edilmiştir.

Toprak İşleri ; Projenin uygulandığı bölge zemin yapısı itibarıyla bataklık zeminlerden oluşmaktadır. Yapım işine doğal zeminden 70 cm. derine inilerek bitkisel ve oynak toprak tabakasının temizlenmesiyle başlanmıştır. Bitkisel toprak tabakasının üzeri kayalar ve daneli kumlu zeminlerin birleştirilmesiyle inşa edilmekte, bu tabakalar yeterli sıklığa ulaşmaya kadar sulanmakta ve silindirlerle sıkıştırılmaktadır. Dolgu yüksekliği ortalama 2,5-3 mt civarındadır.

Üstyapı işleri; Yolun üstyapısında Büyükşehir Belediyesinin Gürpınar Konkasör tesislerinde üretilen 2" lik alt temel ve 1" lik temel malzemesi kullanılmaktadır. Tabaka kalınlıkları alt temelde 30 cm. temelde 20 cm.dir. Temel tabakası üzeri yeterli kalınlıklarda asfalt tabakalarıyla kaplanmıştır.

Sanat yapıları; Proje güzergahı üzerine gelen akarsular, tarımsal sulama kanalları ve kavşak düzenlemeleri için 2 adet köprü, 4 adet menfez ve 2 adet doğalgaz hattı koruma yapısı inşa edilmektedir.

### 5.1.2. Projenin Uygulanması

Projenin uygulamasına kazı işleri ile başlanılmış, sanat yapıları ve diğer yapılarda yol yapımına paralel olarak inşa edilmiştir.

#### 5.1.2.1 Yolun Toprak İşleri Bakımından İncelenmesi

Yol güzergahının tamamına yakını yolun inşasına başlamadan evvel tarım arazisi olarak kullanılmaktaydı. Bu nedenle ağaçlar, bitkiler ve çeşitli organik maddelerin temizlenmesi ile işe başlanmıştır. Projede belirtildiği şekilde mevcut zemin kotundan ortalama 70 cm derinliğinde bitkisel toprak kazısı yapılmıştır.

Bu sayede zemin içerisinde kalan bitkisel artıkların zaman içerisinde çürüyerek zemin içerisinde boşluk oluşturmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yapılan kazı sonucu oynak zemin kaldırılarak, sağlam zemine ulaşılmıştır.



Şekil 5.1. Bitkisel Toprağın Kazılması.

Bitkisel toprak temizliği yapılan yerlerde silindirlerle sıkıştırma işlemleri yapılarak zemin dolguya hazır hale getirilmiştir. Bitkisel toprak temizleme çalışmaları devam ederken, diğer yandan boşaltılan yerler için ariyet ocağında kazı çalışmaları başlamıştır.

Projenin uygulanmasında, dolgu malzemesi temini için Tosbağalık Ocağı ismi verilen ariyet ocağı kullanılmıştır. Kullanılan ariyet ocağı ile ilgili bilgiler şu şekildedir.

Ocağın Yola İrtibat Km.si	:	900 m.
Servis Yolu Durumu	:	Gereksinme Yoktur
Cinsi	:	Siltli kum , Silt-Kum-Kil Karışımı
Rezervi	Görünür	:300 000 m <sup>3</sup>
	Muhtemel	: 75 000 m <sup>3</sup>
	Toplam	:375 000 m <sup>3</sup>

Malzemenin Cinsi, Yapısal Durumu ve Jeoteknik İncelemesi sonucu Ocak malzemesinin zayıf-çok zayıf dayanımlı, tamamen ayrıışmış silt taşından oluştuğu anlaşılmış ve yağışlı zamanlar dışında ocakta suya rastlanmamıştır.

Ocakta toplam derinliği 7.90 mt olan 3 adet araştırma çukuru açılmıştır. Bu deney çukurlarından alınan numunelere yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.1 deki gibidir.

Ocağın genelleştirilmiş kazı sınıfları , %40 toprak, %10 Küskülük, %10 yumuşak kaya olarak tespit edilmiştir. Sıkışma kabarmaya eşittir.

Tosbağalık ariyet ocağında getirilen malzemeler 30 cm lik tabakalar halinde serilmiştir. Malzeme ocağın iki farklı bölgesinden getirilmiştir. İlk tabaka kaba daneli malzeme ile oluşturulmuştur. Kaba malzeme nakliyesi yapılmasına müteakip dozer vasıtasıyla yatırılmıştır. Her serilen tabakada mutlaka sulama ve sıkıştırma işlemleri muntazaman yaptırılmıştır.

Ocaktan çıkarılan malzeme Siltli Kum, Silt-Kum-Kil karışımı olup, karayolu dolgusunda kullanılabilir olduğu onaylamıştır.

Tablo 5.1. Tosbağalık Ariyet Ocağı Araştırma Raporu.

Ocak Adı		Tosbağalık Ariyet Ocağı
Projeye ulaştığı istasyon		4+100
Malzeme Cinsi		Siltli Kum, Silt-Kum-Kil karışımı
Rezervi, m <sup>3</sup>		375 000
Kullanım yeri		Dolgu
Elek Analizi ( % Geçen )	75.00 mm (3")	100.0
	50.00 mm (2")	100.0
	37.50 mm (1 1/2")	100.0
	25.00 mm (1")	100.0
	19.10 mm (3/4")	98.0-100.0
	9.50 mm (3/8")	90.4-100.0
	4.75 mm (No:4)	77.2-95.4
	2.00 mm (No:10)	64.1-95.6
	0.425 mm (No:40)	40.6-78.9
	0.075 mm (No:200)	19.7-65.5
Atterberg Limiti	Likit Limit (LL), %	25-27
	Plastik limit (PL), %	22-23
	Plastisite İndeksi (PI), %	3-4.
Zemin Sınıflaması		SM
Proktor Deneyi	Optimum su İçeriği, %	15.45-17.66
	Max birim hacim ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	1.68-1.76
Yaş CBR		5.07-9.53
Sıkışma (S) / Kabarma (K) Oranı		S=K
Kazı Klası		%40 Toprak, % 50 Küskülük, %10 Yumuşak Kaya
Dolgu Şev Oranı,-(Yatay/Düşey)		2/1
NOTLAR		Bu ocaktan elde edilecek malzeme ariyet olarak dolguda kullanılabilir.



Şekil 5.2. Tosbağalık Ariyet Ocağı Kaba Malzeme Kısmı.

İkinci tabaka ince malzeme ile oluşturulmuştur. İnce malzeme daha önceden serilmiş ve sıkıştırılmış kaba malzeme üzerine greyderler vasıtasıyla serilerek sulama, sıkıştırma işlemleri yapılmıştır. Dolgu yapım aşamalarında nükleer alet ile sıkışma kontrolü yapılmış ve gerekli sıkışma değeri elde edilinceye kadar silindirleme işlemi sürdürülmüştür.



Şekil 5.3. Tosbağalık Ariyet Ocağı İnce Malzeme Kısmı.



Şekil 5.4. Kaba Malzeme Üzerine İnce Malzeme Serimi.

#### 5.1.2.2 Yolun Drenaj Bakımından İncelenmesi

Yaptırılan yol güzergahının büyük bir bölümü üzerinde herhangi bir yapılaşma söz konusu olmayıp yolun tamamına yakını doğal arazi üzerinden geçmektedir. Yolun Mevcut Çevre yoluna bağlandığı noktada Kayseri Şehir Terminali mevcuttur. Yolun enine eğimi aliymanda % 2.5 olarak inşa edilmiş olup, bunda yağmur sularının yol yüzeyini kısa sürede terk edebilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Yol yüzeyinden akan sular doğrudan şev yüzeyine ulaşmakta ve araziye drene olmaktadır.

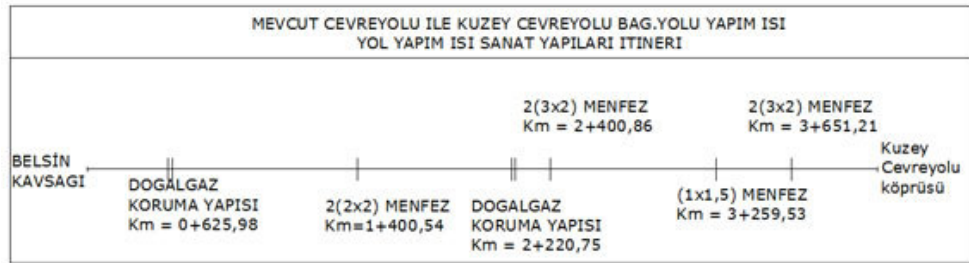
Yolun KM 1+500 lük kısmından sonra yatay kurp başlamaktadır. Bu kurbun iç noktasında deverden dolayı oluşan bölgede su toplanmasını engellemek için logar inşa edilip ızgara konulmuştur. Izzaralardan alınan su her ızgaradan bireysel olarak enine yönde yol dışına çıkarılarak doğal araziye drene edilmiştir.

Yolun km 0+100 üncü kısmında demiryolu ile karayolu kesişmiş olup bu noktada bir hemzemin geçit inşa edilmiştir. Hemzemin geçitte ray kısmında toplanan suların drenajı yol üzerinde iki taraflı yapılan enine ızgaralarla sağlanmaktadır.



Şekil 5.5. Yolun Şev Kenarından Görünümü.

Yol güzergahı boyunca farklı noktalarda yolu enine kesen akarsu kanalları mevcuttur. Bunların pek çoğu sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yolun 2+150 km. sinden sarımsaklı kanalı adı verilen büyük bir kanal geçmektedir. Proje dahilinde bu su kanallarının kesintiye uğramamaları için çeşitli noktalarda bir veya daha fazla açıklıklı kutu menfezler inşa edilmiştir. Bu menfezlerin konumuna ilişkin itiner şekil de verilmiştir.



Şekil 5.6. Hidrolik Sanat Yapıları İtineri.



Menfezlerin yapımında projede verilen açıklık değerleri ve göz sayılarına riayet edilerek Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan Kutu menfez tipleri ile ilgili abaklardan yararlanılmış olup, ilgili dökümanda verilen miktarlar kadar donatılandırma yapılmıştır. Toplam 4 adet menfez inşa edilmiştir.

Menfezlerin yapımı yol yapım işi içerisinde ihale edilmiş olduğundan, menfezlerin yapımı yol yapımına paralel olarak sürdürülmüştür. Yol yapımı sırasında menfez yapılacak yerler boş bırakılmış, menfezlerin tamamlanmasına müteakip kenar dolguları yapılarak yol yapımı tamamlanmıştır.



Şekil 5.7. Km 1+400 Menfez İnşaataı.

Ayrıca yol güzergahı üzerinde 4 farklı noktadan Ø500 lük sulama boruları geçirilmiştir. Bu borular hem drenaj amaçlı hem de tarımsal sulamanın kesintiye uğramadan sürdürülebilmesi için tarlaları birbirine bağlamak amacıyla yaptırılmıştır. Bölgenin imar durumuna göre tarımsal kullanımın sona ermesi, bölgenin konutlaşması halinde bu borular tesisat kanalı olarak ta kullanılabilir.



Şekil 5.8. Yatay Drenaj Borusu Teşkili.

Yolun 2+150 'nci km. sinde Sarımsaklı Kanalı geçmektedir. Bu kanal büyük bir toplayıcı kanal niteliğindedir. Bu kısımda öngermeli prefabrik kirişler kullanılarak 30 m. genişliğinde 1 adet kanal köprüsü inşa edilmiştir. Köprünün oturduğu zemin şartlarına uygun olarak köprü temeli fore kazıklar üzerine oturtulmuştur. Kazıklar 40 mt derinliğe çakılmış olup, toplam 40 adet yapılmıştır.

Yapılan kanal köprüsünün köprünün özellikleri şu şekildedir:

Açıklık Adedi	: 1
Verevlik Açısı	: 0
Açıklık	: 22,00 m.
Tabliye Genişliği	: 14 m.
Bordürler Arası Mesafe	: 11 m.
Prefabrik Kiriş Yüksekliği	: 1,2 m.
Prefabrik Kiriş Adedi	: 9,00 m.



Şekil 5.9. Kanal Köprüsü Fore Kazık Temel Uygulaması.

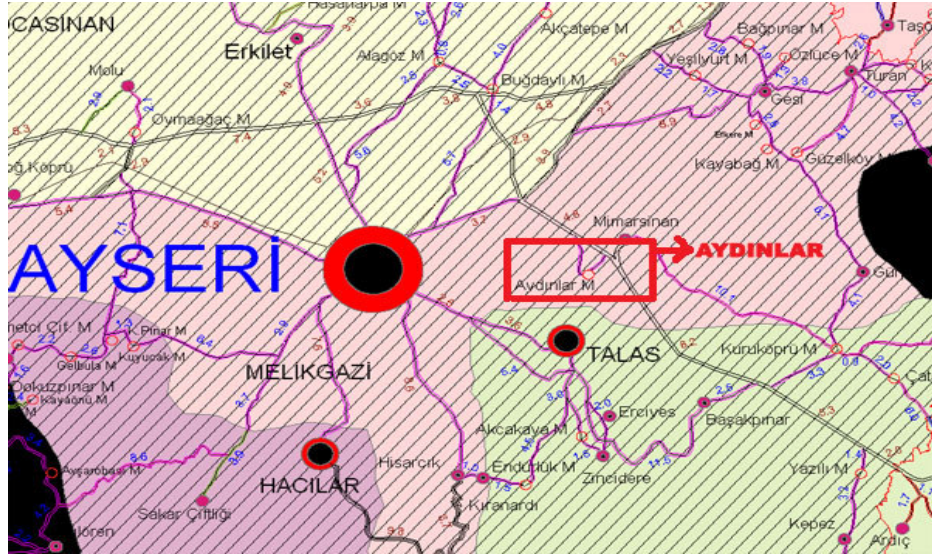
Yolun Kuzey Çevre Yolu ile kesiştiği noktada yarım yonca diye tabir edilen katılım kolları oluşturulmuştur. Bu kolların eğimi içe doğru olup bu kısımda toplanan suların yola zarar vermesini önlemek amacıyla boyuna hendekler inşa edilmiştir. Hendekler beton kaplamadır. Hendekte toplanan su kavşak kollarında hendeğin bittiği noktada açılan toplama çukuruna, aliymanda ise Km: 3+651 de bulunan menfez içerisine aktılmaktadır.



Şekil 5.10. Drenaj Hendeği.

## 5.2. Kayseri Aydınlar Mevkii Yol, Menfez ve İstinat Duvarı Yapım İşi

Aydınlar mevkii Kayseri - Malatya karayolunun 10. km sine tekabül eden bölgede, (Mimarsinan beldesinin geçtikten sonraki rampanın sonunda) yer almaktadır. Bölge yeni imara açılmış bir yerleşim yeri olup, proje kapsamında imar yollarının altyapısı hazırlanmıştır. Projeye, 2007 yılı içerisinde Kayseri Büyükşehir Belediyesi tarafından ihale edilerek yapımına başlanılmış ve 2008 yılı içerisinde tamamlanarak asfaltlama aşamasına getirilmiştir. Yapılan işin ihale bedeli 940.157,71 YTL dir.

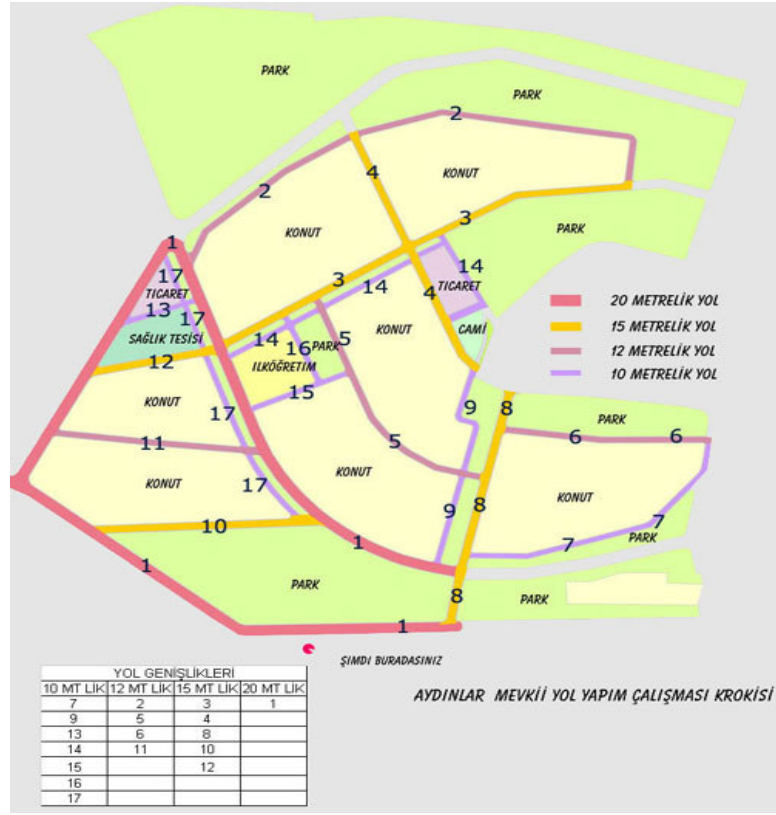


Şekil 5.11. Aydınlar Mevkii Yol Yapım İşinin Yapıldığı Yer.

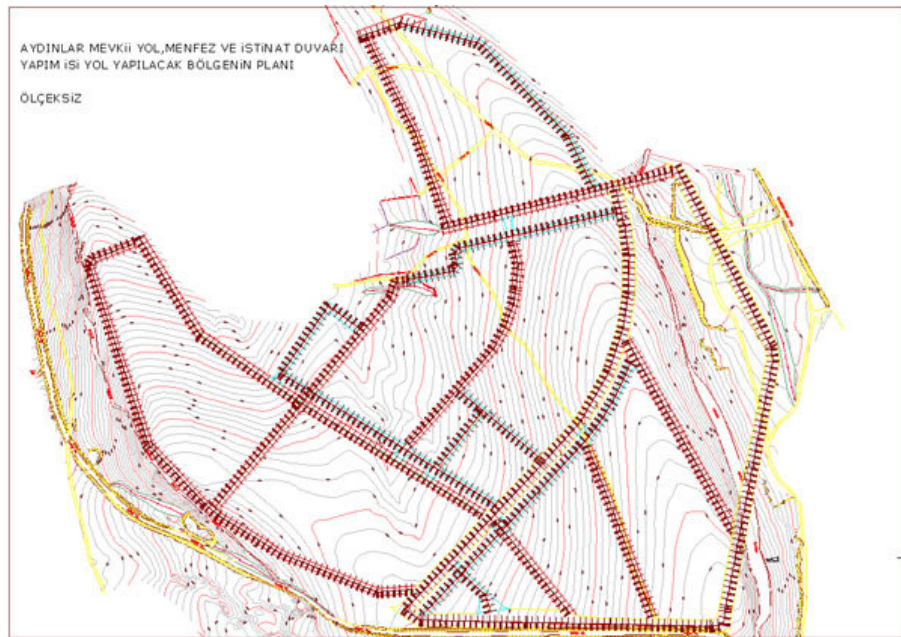
### 5.2.1. Proje Kapsamında Yaptırılan İşler

Bu iş kapsamında yol, menfez ve istinat duvarı yaptırılmıştır. Yaptırılan yollar imar yolu niteliğinde olup yol genişlikleri 30, 20, 12 ve 10 mt olmak üzere 5 tipte inşa edilmiştir. İnşa edilen toplam yol uzunluğu 8670 metredir. Yolun yapımında 285.094,096 m<sup>3</sup> dolgu malzemesi kullanılmış olup, dolgu üzerine toplam 37.522 ton alttemel ve temel malzemesi serilmiştir.

Yolun ana yola bağlandığı noktada 1 adet 3x3 boyutlarında, 50 mt uzunluğunda betonarme kutu menfez inşa edilmiştir. Yolun yüksek dolgu ile geçilen kısımlarında İstinat duvarı teşkil edilmiştir.



Şekil 5.12. Aydınlar Mevkii Yol Yapım Çalışması Krokisi.



Şekil 5.13. Aydınlar Mevkii Yol Yapım Çalışması Plankotesi.

### 5.2.2. Projenin Uygulanması

Projenin uygulamasına kazı işleri ile başlanılmıştır. İstinat duvarı yapımı ve Menfez yapımı işleri de dolgu işlerine paralel olarak devam edilmiştir.

#### 5.2.2.1. Yolun Toprak İşleri Bakımından İncelenmesi

Yolun inşa edildiği bölge dağlık arazidir. Yola 20 metrelik yolların inşası ile başlanmış daha sonra ara yollar inşa edilmiştir. 20 m. lik yolun 0+000 ila 0+700 m. leri arası en çok dolgu ile geçilen bölgedir.

Yolun yapımında ariyet ocağı olarak yola 5 km. uzaklıkta bulunan bölge kullanılmıştır. Kullanılan ariyet ocağına ait rapor Tablo 5.5. de verilmiştir.



Şekil 5.14. Aydınlar Mevkii Ariyet Ocağından Görünüm.

Ariyet ocağından getirilen malzeme tabakalar halinde serilmiştir. Bir tabakada serilen malzeme kalınlığı maksimum 30 cm.dir. Malzeme serme işlemi sırasında bütün tabakalar sürekli olarak sulanıp sıkıştırılmıştır.

Tablo 5.2. Aydınlar Mevkii Yol Yapım İşi Ariyet Ocağı Araştırma Raporu.

Ocak Adı	Kayseri - Pınarbaşı - Gürün Yolu Km: 13+800 Ariyet Ocağı	
Projeye ulaştığı istasyon	8+800	
Malzeme Cinsi	Konsolide Tüf	
Rezervi, m <sup>3</sup>	100 000 m <sup>3</sup>	
Kullanım yeri	Dolgu	
Elek Analizi ( % Geçen )	75.00 mm (3")	100.0
	50.00 mm (2")	100.0
	37.50 mm (1 1/2")	100.0
	25.00 mm (1")	100.0
	19.10 mm (3/4")	99
	9.50 mm (3/8")	95
	4.75 mm (No:4)	88.7
	2.00 mm (No:10)	82
	0.425 mm (No:40)	50
	0.075 mm (No:200)	26
Atterberg Limiti	Likit Limit (LL), %	N.P
	Plastik limit (PL), %	---
	Plastisite İndeksi (PI), %	N.P
Zemin Sınıflaması	A 2-4	
Proktor Deneyi	Optimum su İçeriği, %	23.5
	Max birim hacim ağırlık, t/m <sup>3</sup>	1.315
Yaş CBR	13.6	
Sıkışma (S) / Kabarma (K) Oranı	S=K	
Kazı Klası	% 90 Toprak, % 10 Küskü	
Dolgu Şev Oranı,-(Yatay/Düşey)	2/1	
NOTLAR	Ocağın maksimum kesafeti düşük olmasına rağmen, volkanik tüf olmasından dolayı kullanılmasında sakınca yoktur.	



Şekil 5.15. Aydınlar mevkiî Yol Yapım İşi Dolgu Çalışması.

Şev eğimi 2 yatay 1 düşey olmak üzere 2/1 olarak inşa edilmiştir. Dolgu şevi kenarlarına şev stabilitesinin artırılarak şev toprak kaymalarının önlenmesi amacıyla ortalama 3 mt yüksekliğinde istinat duvarı yaptırılmıştır. Yaptırılan duvar uzunluğu yaklaşık 700 metredir.



Şekil 5.16. Dolgu Şevi Eteğinde İstinat Duvarı Teşkilî.



İstinat Duvarı yapımı ile amaçlanan faydalar şunlardır.

- Yolun 0+600 km. sinden sonra şev kenarı sağlam zemine ulaşınca kadar orta eksenden 36 ila 39 m. arasında uzaklaşmaktadır ve şev stabil konumunu kaybetme noktasına ulaşmaktadır. Duvar yapılarak şevin eksenden mesafesi ortalama 10 mt. kısaltılmakta stabilitesi artırılmaktadır.
- İstinat Duvarı yapılacak olan yolda dolgu yüksekliği 5 ila 10 mt arasında değişmekte olup 2/1 oranında dolgu şevi oluşturulmaktadır. Dolgu yüksekliği fazla olması nedeniyle istinat duvarı ile şev stabilitesinin artırılması, şev kaymalarının önlenmesi amaçlanmıştır.
- Yolun 0+200 ile 0+400 km. arasında kalan kısmın kenarından doğal olarak oluşmuş dere geçmekte olup, yolun yapımı ve kullanımı süresince yoldan dere yatağı üzerine malzeme akması önlenmiş olacaktır.

Diğer yolların yapımı sırasında yol geçirilen bölgede 15-20 cm civarında bitkisel toprak kazısı yapılmış, ve dolgu malzemesi yola serilmiştir. Yol kayalık bir zemin üzerine oturmaktadır. Bu yüzden yolun tamamına yakını dolgu ile geçilmiştir. Çok az bir kesimde yarma yapılmıştır. En büyük yarma 20 m. lik yolun en yüksek kota ulaştığı noktadadır.

#### **5.2.2.2. Yolun Drenaj Bakımından İncelenmesi**

Aydınlar mevkiinde yaptırılan yollar imar yolları niteliği taşıdığından yol güzergâhının tamamında kanalizasyon altyapısı oluşturulacaktır. Bu nedenle yağmur suyu drenajına yönelik geçici tedbirler alınmakla yetinilmiştir. Şev yüzeyinden akan sular doğal araziye dökülmektedir. Gerekli yerlerde drenaj hendekleri oluşturulmuştur.

20 mt lik yol, Kayseri – Malatya yoluna yakın paralellikte devam etmekte olup, iki yolun arası eski bir dere yatağıdır. İki yolu birbirine bağlayan 30 m. genişliğinde bir bağlantı yolu yaptırılmıştır. Dere yatağından gelecek suların yola zarar vermemesi amacıyla, 50 mt. uzunluğunda 3x3 açıklığında tek gözlü betonarme kutu menfez inşa edilmiştir.



Şekil 5.17. Aydınlar Mevkii Yol Yapım İşi Dahilinde  
Yaptırılan 3x3 Kutu Menfez.

## 6. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Karayolları ulaşım için vazgeçilemez yapılardır. Bu yapıların fonksiyonunu en iyi şekilde yerine getirebilmesi, uzun süre kendinden beklenen faydayı sağlaması istenir. Yol yapımı yoğun işgücü gerektiren zahmetli bir iştir. Karayolu yapımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus yolun kalitesi yönünden dolgu yapımı, yolun uzun ömürlü kalabilmesi yönünden de suyun ortamdan uzaklaştırılması faktörüdür. Depremler karayollarına kısmi zararlara yol açarken suyun yola verdiği zarar, karayolu için depremden daha büyük bir etki olarak düşünülebilir.

Yapılan araştırmadan yolun kendisinden beklenen faydayı en uzun süre verebilmesi, kullanım ömrünün uzun kalabilmesi için dolgu malzemesi seçimi ve dolgu yapım aşamalarının oldukça önemli olduğu açığa çıkmıştır. Dolgu malzemesinin seçimi ve dolgu teşkili arazi ve laboratuvar deneyleriyle yol yapım sürecinin başından sonuna kadar sürekli olarak desteklenmelidir. Zemin danelerinin sıkışması, dolgunun kalitesi; dolgu malzemesinin sıkışmış haldeki kuru birim hacim ağırlık değerinin maksimum değere yakın olması ile ölçülür. Bunun yanında dolgu malzemesinin dane dağılımı, dolguda kullanılan malzemenin nem oranı ve yapım aşamasında verilen su miktarı önemlidir. Bunun yanında sıkıştırma vasıtalarının da gücüne göre dolgunun kalitesi artmaktadır.

Karayolu yapımında dolgu ve yarmalar sıkça yapılan uygulamalardır. Dolgu ve yarma yapımında amaç yolda seyreden araçların konforlu bir şekilde seyir edebilmeleri, yolun ergonomik hale getirilmesi ve güvenli olarak seyahat edilebilmesidir. Kimi zaman çok büyük dolgular ve çok büyük yarma kesitleri karşımıza çıkar. Bu durumda düşünülmesi gereken şey, en ekonomik biçimde en uygun yöntemin nasıl bulunacağıdır.

Dolgu ve yarma kesiti büyüdükçe stabilite problemleri ortaya çıkar. Stabilitenin korunması ve dolguların güçlendirilmesi amacıyla dayanma yapıları yapılarak veya zemin içerisinde ankraj yapıları oluşturularak şevler güçlendirilir.

Özellikle Köprülü kavşaklar gibi yüksek dolgu yapılacak hallerde toprakarme adı verilen donatılı zemin duvarlar tercih edilir. Toprakarme son yıllarda sıkça uygulanan dolgu tekniğidir. Toprakarme dolgu yapımında şevler prekast panellerle kapatıldığından şev problemi oluşmamaktadır. Bu yapılar şehir içi dolgu yapımı için idealdir.

Kışın oluşabilecek don etkisi sonucunda zemin içine sıkışmış su, donduktan sonra hacim değiştirerek yol üst ve alt yapısına zarar verebilmektedir. Ayrıca su ile karşılaştığında fiziksel değişim gösteren malzemelerin varlığı yol üst ve alt yapısına ciddi zararlar verir. Zemin daneleri arasına dolan su, boşluk suyu basıncının doğmasına da neden olabilir. Bu tip etkileri ortadan kaldırmak için inşası yapılacak araziden suyun uzaklaştırılması gerekmektedir.

Drenaj konusu yolun kullanım ömrü ve konforu açısından son derece önemlidir. Drenaj sorununun çözümü için suyun yüzeydeki konumuna göre yöntemler geliştirilmiştir. Drenaj tasarımı çoğu zaman projelerde ihmal edilse de yolun diğer öğeleri kadar önemle düşünülmesi gereken bir konudur. Drenaj tasarımında meteoroloji verileri, yıllık yağış miktarları, yol genişliğine göre yüzeyde oluşacak su debileri hesaplanmalı ve buna göre drenaj yapıları seçilmeli ve boyutlandırılmalıdır.

Karayollarında drenaj suyun yoldan ve yolu destekleyen tüm yapı elemanlarından uzaklaştırılması ile tam anlamıyla sağlanmış olur. Örneğin; yol üzerinde yaptırılan köprülerde drenaj boşlukları unutulmamalı, şev eteklerine yaptırılan istinat duvarlarında barbakanlar düzenlenmeli ve diğer tedbirler alınarak suyun ortamdan uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

Yüzey drenajı için inşa edilen başlıca yapılar; menfezler, hendekler, köprüler, düşüm olukları ve büzlerdir. Menfez tasarımı suyun menfeze ve yola zarar vermeden bir an evvel ortamı terk etmesi için gerekli boyutlandırma ve konumlandırma işlemidir. Menfezi tasarımında giriş ve çıkış ağızlarında maruz kalacağı etkiler en aza indirilmesi, suyun menfezi tamamen terk edebilmesi, menfezin yerleştiği konumda suyun yol altından kolaylıkla deplase edilebilmesi amaçlanır. Drenaj hendekleri yarma ve dolgu

şevlerinde teşkil edilirler. Drenaj hendeklerinde önemli nokta eğim ve sıkça konulması gereken su tahliye kanalıdır.

Yüzeyaltı drenajı için boru drenler kullanılır. Bu şekilde yapılan drenajda dren borularının cinsi ve dren boruların üzerine konulacak filitre malzemesinin özellikleri önemlidir. Şehir içi yollarda drenaj yolun enine eğimi, bordür olukları ve rögarlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Rögar boyutlandırması, sıklığı ve konumu şehir içi yollarda drenaj tasarımında en önemli önemlidir. Eğimin düşük olduğu yerlerde, sokak bağlantılarında rögarlar konulmalıdır. Rögar üzerine yapılacak ızgaraların açısı da suyun rögara ulaşmasında ve yolun konfor yönünden önem taşımaktadır.

Geosentetikler gerek yolun dolgusunda gerekse drenajında kullanımı günden güne yaygınlaşan malzemelerdir. Bunlar içerisinde geotekstiller, taşıma gücü zayıf zeminlerde olumlu ve ekonomik sonuçlar vermektedir. Geotekstillerin doğru yerde, doğru şekilde uygulanması gerekir. Geogrid vasıtasıyla dolgu duvarlar teşkil edilebilir. Geogrid kullanılarak duvar yapımı basit, estetik ve güçlü bir çözüm olarak düşünülebilir.

Kayseri Büyükşehir belediyesi tarafından yaptırılan Mevcut Çevre Yolu ile Kuzey Çevre Yolu Arası Bağlantı yolu dolgu ve drenaj yönünden incelenmiştir. Yol henüz yapılanmamış bölgede olduğundan rahatlıkla dolgu işlemi yaptırılabilmiştir. Kullanılan malzemeye ilişkin deneylerle malzemenin kullanılabilirliği denetlenmiş ve malzemenin dolgu için yeterli özellikte olduğu anlaşıldıktan sonra dolgu işlemleri başlatılmıştır. Yolun yapıldığı bölgede imar planı yeni oluşturulmuş olup, henüz tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Pek çok noktada sulama kanalları mevcuttur. Bu hususlar da gözetilerek pek çok noktada menfezler ve pvc esaslı borular yolun enine doğrultusunda drenaj amaçlı olarak kullanılmıştır. Yolda drenaj hendeklerinin menfezlere bağlandığı görülmektedir. Bölgenin imara açılması nedeniyle yakın zamanda kanalizasyon ve yağmur suyu deşarj hattı oluşturulacağından yol yüzeyindeki sular şevlerden arazi üzerine akmakta ve tabana emilmektedir.

Kayseri Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan Aydınlar Mevkiinde yapılan incelemelerde de dolgu malzemesinin yeterli şartları sağladığı anlaşıldıktan sonra kazı işlemi başlatılmış ve dolgu kademeler halinde yaptırılmıştır. Şev eteğine şev koruma

amaçlı istinat duvarları yaptırılmış ve istinat duvarları üzerinde barbakanlar teşkil edilmiştir. Bölgede yaptırılan yüzey suları yakın zamanda yaptırılacak olan kanalizasyon şebekesi vasıtasıyla drene edilecektir. Drenaj amaçlı olarak yol kenarından geçen dere üzerine 3x3x50 boyutunda tek gözlü menfez yapılması, yolun yanından geçmekte olan derenin yola vereceği zararlı etkileri azaltmıştır.

**KAYNAKLAR**

1. Karayolu Teknik Şartnamesi, KGM yayınları, Yayın no:267, Ankara, 2006.
2. Uzuner, B. A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, 5. Baskı, Trabzon, 2001.
3. Kaya, F., Murat, Ş., Yılmaz, O., ve ark., İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı Deney Raporları, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2004.
4. Demirel, Z., Aray, S., Kadioğlu, M., ve ark., Toprak ve Stabilizasyon El Kitabı, KGM Teknik Araştırma Dairesi Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, Ağustos 2003.
5. Kiper, T., Karayolu Projesi Temel Bilgileri, Yollar Türk Milli Komitesi Yayını, Yayın no 23, Ankara, Ocak 2002.
6. Ergun, T., 5. Ulusal Zemin Kongresi, 1994.
7. TS 7994, Zemin Dayanma Yapıları, Sınıflandırma Özellikleri ve Projelendirme Esasları, 1994.
8. Ermek, E., Yollar Türk Milli Komitesi Yayını, Karayolları Genel Müdürlüğü, 1991.
9. Skempton, A. W., Soil Mechanics in Relation to Geology, Proc. Yorkshire Geological Society 29(1), 33-62, 1953.
10. Blong, R. J., A Numerical Classification of Selected Landslides of the Debris Slide-Avalanche -Flow Type Engineering Geology, 7, 99-114, 1973.
11. Walker, B., Feel, R., Soil Slope Instability and Stabilisation Proc. University of New South Wales, Sydney, 1987.
12. Balkır, T., Zemin Mekaniği Yönünden Karayolu Problemleri, Karayolları Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü, Ankara, 1974.
13. Fellenius, B., Calculation of the Stability of Earth Dam, Trans. 2nd. Congr. On. Large Dams, Washington, 4, 445-459, 1936.

14. Bishop, A. W., The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes Geotechniques, 5, 7-17, 1955.
15. Taylor, D. W., Fundamentals of Soil Mechanics, Jhon Wiley and Sons, Inc., N.Y., 406-479, 1948.
16. Spencer, E. A., Method of Analysis of the Stability fo Embankments, 1967.
17. Janbu, N., Bjerrum, L., ve Kjaernsl, B., Veiledning Ved Losning Av Fundamentering Soppgaver, Norwegien Geotechnical Institute, Pub. No.16, Oslo, 1956.
18. Janbu, N., Application os Composite Slip Surfacu for Stabiliyt Analysis, European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm Sweeden, 1954.
19. Lowe, I., Karafiath, L., Stability of Earth Damps Upon Drawdown, Proc., 1. Panamerica Conf. On Soil Mech. And Found. Eng., Mexico City, 1960.
20. Morgenstern, N. R., Price, V. E., The Analysis of The Stability of General Slip Surfaces, Geotechnique, XV, 79-93, Nonlinear Failure Criteion International Journal, 1965.
21. Atalay, F. İ., Arıca, Ş., Kalender, N., ve ark., Karayolları Yapım Mühendislerine Yol Yapım Notları, KGM matbaası.
22. Yıldırım, S., Şevlerin Dönel Göçmelerinde Drenaj Hendeklerinin Stabiliteye Etkisi, İstanbul.
23. Tunç A.,Yol Tasarımının Esasları ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, 1. Baskı, Ankara, Haziran 2004.
24. Soysal, S., Drenaj, Yol Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Konu 8, Karayolları Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü, Ankara, 1974.
25. Standart Kutu Menfez Tipleri, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 2005.



26. Karahan, H., Çatalbaş, S., Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Tasarımı ve Denizli Organize Sanayi Bölgesi İçin Bir Uygulama, s. 259-270, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11312.pdf>
27. Yılmaz, R., Eskişar, T., Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı ve Sağlanan Faydalar, 2. Geoteknik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Kasım 2007
28. Aksoy, M., Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
29. Öztekin, A., Geotekstil Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
30. Yılmaz H.R., Uygun Bir Geotekstil Kullanımı ile Yol İnşaatında Maliyetlerin Düşürülmesi Üzerine Bir Uygulama, TMMOB İstanbul Şubesi, 3. Ulaştırma Kong., İstanbul, 1995.
31. Yılmaz H.R., Eskişar T., Aklık P., Kaplamasız Yollarda Geotekstil Kullanımının Yararları Üzerine Çeşitli Uygulamalar ile Maliyet Fayda Analizleri, İkinci Ulusal Geosentetikler Konf., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 16-17 Kasım 2006.
32. Yılmaz H.R., Aklık P., Yol üst Yapısında Geotekstil ve/veya Geogrid Donatılarının Kullanım İmkanları, Yöntem ve Kriterleri ve Sağlanan Yararlar Üzerine Bir İnceleme, TRODSA, III. Yol Güvenliği Kong., Gazi Üniversitesi, Ankara, 2005.
33. İstanbul Teknik, Geoarme, Geogrid Donatılı İstinat Yapı Sistemi, <http://www.istanbulteknik.com/geoarme.htm>.
34. Terzaghi, K., Soil Mechanics in Engineering, Wiley International Edition, 1967.
35. Capper V.L., Cassie W.F.Ç. Kumbasar V. Kip F., İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitabevi, 1963.
36. Bordest J.P., Experimental Soil Mechanics, 1997.

37. Altun S., Sezer A., Göktepe A.B., Okur, V., Sıkıştırılmış Yol Zeminlerinin Kompaksiyon Parametrelerinin Kontrolü, 2. Geoteknik Sempozyumu, Adana, 22-23 Kasım, 2007.
38. Çiçek, E., Yetimoğlu, T., Güler, E., Zeminlerin Sıkıştırılabilirliğine Geosentetiklerin Etkisi, 2. Geoteknik Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, 22-23 Kasım, 2007.
39. Göktepe A.B., Altun S., Lav A.H., Esnek Üstyapılarda Taban Zemini Dinamik Davranışın Geosentetiklerle İyileştirilmesi, 6. Ulaştırma Kongresi, İMO İstanbul Şubesi, İstanbul, Mayıs 2005.
40. Arslan, H., Yumuşak Zeminler Üzerine İnşa Edilen Dolgulardaki Problemler Ve Önleyici Çözüm Yolları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Eylül 2006.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kayseri de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kayseri’de tamamladı. Lise öğrenimini 1999 yılında Kayseri Lisesinde tamamlayarak 2000 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. Bir yıl yabancı dil eğitimi de dahil olmak üzere 2006 yılında İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu ve aynı yıl Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

Özel sektörde çeşitli taahhüt işlerinde Şantiye Şefliği, Metraj çalışmaları, Hak ediş ve kesin hesap düzenlemesi, İhale dosyası hazırlanması gibi işlerde çalıştıktan sonra 2006 Mayıs ayında Kayseri Büyükşehir Belediyesinde Kontrol Mühendisi olarak göreve başladı. Halen bu görevi sürdürmektedir.

### İletişim:

Kayseri Büyükşehir Belediyesi,  
Fen İşleri Dairesi Başkanlığı,  
Yol Yapım Şube Müdürlüğü.  
M.K.P. Bulvarı Kocasinan / KAYSERİ

Telefon : 0 352 - 207 15 54

E-Posta : yharmanci@gmail.com

Web : <http://yasinharmanci.sitemynet.com>