

T.C
BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



KARAYOLLARINDA ZAYIF ZEMİN PROBLEMLERİ VE ÖNLEMLER



Hazırlayanlar

Nefise AKÇELİK
İnşaat Yük. Müh.

Zuhal ETKESEN
İnşaat Yük. Müh.

Engin MISIRLI
İnşaat Müh.

İlkay TİMUR
İnşaat Yük. Müh.

TEKNİK ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI
ZEMİN MEKANİĞİ VE TÜNELLER ŞUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ

ÖNSÖZ

Karayolları teşkilatının kuruluşundan bu yana, yolun ve yol yapılarının zayıf zemine oturduğu kısımlarda oturmaların ve üst yapıda bozulmaların olmaması için alınması gerekli tedbirler yolun trafik güvenliği açısından daima önemli olmuştur.

Zemin Mekaniği ve Tüneller Şubesi Müdürlüğünce zayıf zemini tanımlayan, hangi durumlarda sıyrılması, hangi durumlarda sıyrılmadan diğer önlemlerle iyileştirilmesi gerektiğini, zayıf zemin yerine konulan malzemenin özellikleri, drenaj tedbirleri ve kriterlerini, uygulama örnekleri ile anlatan bu kitapçığın özellikle imalat sırasında araştırma ve yapım mühendisleri için yol gösterici ve yararlı olmasını umuyor, mühendislerimize başarılar diliyorum.



Münevver ATASARAL
Teknik Araştırma Dairesi Başkanı

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
1. ZAYIF ZEMİN NEDİR?.....	3
2. ZAYIF ZEMİNLERİN TESPİT EDİLMESİ.....	3
2.1. PROJE AŞAMASINDA.....	4
2.2. YAPIM AŞAMASINDA.....	5
3. ZAYIF ZEMİN GEÇİŞLERİNDE ALINACAK TEDBİRLERE..... ESAS OLAN PARAMETRELER	5
4. KARAYOLLARINDA KARŞILAŞILAN SIĞ ZAYIF ZEMİN..... GEÇİŞLERİ	6
4.1. YERALTI SUYU SEVİYESİNİN SIĞDA OLMASI.....	6
4.2. YERALTI SUYU YOK, YÜZEYDE GÖLLENME..... NEDENİYLE TAŞIMA GÜCÜ ZAYIF ZEMİN OLMASI	11
4.3.YARMA TABANLARINDA ŞİŞME ÖZELLİĞİ..... OLAN ZEMİN OLMASI DURUMU	12
5. YAPIM SIRASINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR.....	12
6. ZAYIF ZEMİN GEÇİŞLERİNE AİT UYGULAMA ÖRNEKLERİ....	14
7. İLERİ ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	20
EK-1 YERÜSTÜ VE YERALTI SULARININ ORTA REFÜJDE VE..... YANLARDA DRENAJ PRENSİPLERİ	23

1. ZAYIF ZEMİN NEDİR?

Tanım 1 : YFŞ'ye göre (Yollar Fenni Şartnamesi), 14. Kısım (dolgular) tablo 14/1'de verilen şartlara uygun olmayan bütün kazı malzemeleri «zayıf zemin» olarak nitelendirilmektedir.

<i>Deney Adı</i>	<i>Limit Değer</i>	<i>Standart No</i>
Likit Limit (LL)	≤ 70	TS1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi	≤ 40	TS1900 AASHTO T-89
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (standart proktor)	$\geq 1.450 \text{ t/m}^3$	TS1900 AASHTO T-89

Tablo 14/1 Dolgu Malzemesi Özellikleri

Tanım 2 : Zayıf zeminler, yol üst yapısını ve yol yapılarını (dolgu, yarma, köprü, viyadük, tünel vb.) işletme süresince problem çıkarmadan emniyetli ve ekonomik bir şekilde taşıyamayan zeminlerdir.

Tanım 3 : Zayıf zeminler, YASS'nin yüksek olduğu killi, siltli, organik madde içeren zeminler, gevşek ince kumlu alüvyon zeminler ile kontrolsüz şekilde oluşturulmuş yapay dolgular olarak adlandırılabilir.

2. ZAYIF ZEMİNLERİN TESPİT EDİLMESİ

Zayıf zeminler, genellikle enine ve boyuna yol eğiminin az olduğu, yüzey göllenmelerin olduğu, yer altı ve yüzey sularının deşarjının uzun tulte gerçekleştiği ova geçişlerinde bulunmaktadır.

Zayıf zemin problemi, gerek *proje aşamasında*, gerekse *yapım aşamasında* aşağıda bahsedilen yöntemlerle tespit edilmektedir.

2.1. PROJE AŞAMASINDA

Yol güzergahının belirlenmesi ve projelendirilmesi sırasında yapılan araştırma çalışmalarına göre (sondaj, araştırma çukuru, yüzey jeolojisi) yol ve yol yapıları altında yer alacak zayıf zeminlerin,

- niteliği (CL, CH, OH),
- kalınlığı,
- zamana bağlı oturma özellikleri,
- stabiliteyi etkileyecek kayma dayanım parametreleri,
- şişme potansiyeli belirlenmektedir.

Zayıf zemin tabakasının kaldırılıp atılamayacak kalınlıklarda olması (kazı stabilitesi, su altında çalışma zorluğu, uzun tulde kübaj artışı) durumunda ileri iyileştirme yöntemleri projelendirilmektedir.

Örnek: Dolgu tabanında zayıf zemin kalınlığı fazla ($>3m.$), sıyırma ekonomik değil.

Bu dolgu tabanında zayıf zemin taşıma kapasitesini artırmak için özel proje gerekli. Ön yükleme, düşey dren, enjeksiyon gibi ileri yöntemler projelendirilebilir. Kademeli dolgu ve oturmaların takibi gerekebilir.

Proje aşamasında, yarma veya dolgu tabanında veya sanat yapısı temelleri altında yer alan sığ kalınlıkta zayıf zeminler görülmektedir. Bu tür kalınlığı az olan ve yol boyunca uygulama boyu kesin olarak belirlenemeyen zayıf zemin geçişlerinde projede prensip olarak probleme işaret edilmekte ve kalınlığı az olan bu tür zayıf zemin geçişlerinde alınacak önlemler olarak genellikle:

- Kazı ile sıyırma,
- Yerine yeni malzeme koyma,
- Drenaj,
- Jeosentetik veya jeogrid ile destekleme önerilmektedir.

Örnek: Dolgu tabanında zayıf zemin kalınlığı az ($<3m.$), sıyırma ve zemini değiştirme ekonomik.

Bu dolgu tabanında zayıf zemin kaldırılarak YASS veya yüzeyde su göllenmesine bağlı olarak kaldırılan zeminin yerine konulacak malzeme özellikleri önem kazanmaktadır.

2.2. YAPIM AŞAMASINDA

Projede kesin olarak tam belirlenemeyen veya yol genişletmeleri sırasında, sığ kalınlıktaki alüvyon geçişlerinde Y.A.S.S'nin yüzeye yakın olduğu durumlarda veya yüzey göllenmeleri olan ova geçişlerinde, bitkisel örtü kazısı sırasında karşılaşılan bu tür zayıf zeminlerin özellikleri, kalınlıkları, kayma dayanım parametreleri sondaj ve/veya araştırma çukuru ile belirlenmektedir. Bu veriler doğrultusunda özel proje gerekip gerekmediği araştırılmaktadır.

3. ZAYIF ZEMİN GEÇİŞLERİNDE ALINACAK TEDBİRLERE ESAS OLAN PARAMETRELER

1- Yolun özellikleri

- Dolgu yüksekliği
- Miks kesit geçişleri
- Tünel
- Sanat yapıları temelleri, menfez üzerindeki dolgu yükseklikleri

2- Yolun geometrisi (enine, boyuna eğim, v.b)

3-Yolun oturduğu arazinin topoğrafik (apik) ve morfolojik (litolojik durum, havza) özellikleri

4- Killi, siltli, organik madde içeren alüvyon zeminlerin veya kontrolsüz yapay dolguların tanımlanması, ileri deneylerle şişme, oturma ve kayma dayanımı özelliklerinin belirlenmesi (dane boyutu dağılımı, kıvam limitleri tayini, şişme %, şişme basıncı, kapilerite)

5- Zayıf zemin kalınlığının belirlenmesi. (sığsa, genellikle araştırma çukuru ile; aksi halde dolgu yüksekliği veya yüküne göre sondaj yardımı ile)

6- YASS ve yüzey sularının durumunun belirlenmesi

- Yüzey göllenmesi var mı? Varsa nedenlerinin belirlenmesi (Üstte geçirimsiz tabaka mı var? Y.A.S.S. yüzeye kadar mı yükseliyor? Sulama yapılan tarım arazisi mi?)
- Yağış alan bölge mi?
- Mevsime bağlı Y.A.S.S. değişimi söz konusu mu?

7- Özellikle şehir geçişlerinde atık (suni dolgu) maddelerle oluşturulmuş dolguların tespiti gerekmektedir.

Bu parametreler incelenerek,

- Zayıf zemin kalınlığının az olduğu
- Dolgu yüklerinin az olduğu
- Suyun yol taban zemininde sınırlı bir bölgeyi etkilediği durumlarda

İleri ve pahalı iyileştirme yöntemleri yerine,

1. UZUN DÖNEMDE GÜVENLİ,
2. EKONOMİK,
3. YAPIM SIRASINDA İLERİ EKİPMAN VE TEKNOLOJİ GEREKTİRMİYEN BASİT EKİPMAN İLE İNŞA EDİLEBİLEN TEDBİRLER

yeterli olmaktadır.

4- KARAYOLLARINDA KARŞILAŞILAN SIĞ, ZAYIF ZEMİN GEÇİŞLERİ

4.1. Yeraltı Suyu Seviyesinin Sığda Olması

Yeraltı suyunun sığda olması durumunda drenaj şiltesi teşkil edilir. Drenaj amacı ile teşkil edilecek şilte veya drenaj malzemesinin iki kriteri sağlanması beklenir.

1- Filtrasyon Kriteri : Drenajı sağlanan zemin tanelerinin drenaj malzemesini tıkamaması,

2-Permeabilite Kriteri : Drenaj malzemesinin suyu geçirebilme özelliğinin olması,

Filtre malzemeleri için filtrasyon ve permeabilite kriterleri,

filtrasyon kriterleri :

$$\begin{aligned} D_{15}F &\leq 5 D_{85}Z \\ D_{15}F &\leq 20 D_{15}Z \quad F=\text{Filtre Malzemesi} \\ D_{50}F &\leq 25 D_{50}Z \quad Z=\text{Tabii Zemin} \end{aligned}$$

Dolgu tabanında üniform ($D_{60z} / D_{10z} \leq 1.5$ ise) tabii zeminler için;

filtrasyon kriterleri : $D_{15}F \leq 5 D_{85}Z$ $D_{15}F \leq 6 D_{85}Z$

Dolgu tabanında iyi derecelenmiş ($D_{60z} / D_{10z} \geq 4$ ise) tabii zeminler için;

filtrasyon kriterleri : $D_{15}F \leq 20 D_{15}Z$ $D_{15}F \leq 40 D_{15}Z$

permeabilite kriteri : $D_{15}F \geq 5 D_{15}Z$ kullanılabilir.

Karayollarında drenaj tabakası aşağıda belirtildiği gibi, gerekli malzemenin temini, ekonomikliği gözönüne alınarak çeşitli yöntemlerle teşkil edilmektedir.

- a) İnce ve kaba filtre malzemesi ile,
- b) Tip-I, Tip-II malzeme ve geotekstil ile,
- c) Kum şilte ile.

a) YFŞ'de gradasyonu verilen ince ve kaba filtre malzemeleri kullanılarak

İNCE FİLTRE MALZEMESİ

<u>Elek (mm)</u>	<u>Geçen Malzeme %'si</u>
3/8" (9.5 mm)	100
No:4 (4.75 mm)	95-100
No:16 (1.19 mm)	45-80
No:50 (0.297 mm)	10-30
No:100 (0.149 mm)	2-10

KABA FİLTRE MALZEMESİ

<u>Elek (mm)</u>	<u>Geçen Malzeme %'si</u>
1" (25.4 mm)	100
3/4" (19 mm)	80-90
3/8" (9.5 mm)	30-70
No:4 (4.75 mm)	15-45
No:8 (2.38 mm)	0-10
No:10 (2.00 mm)	0



Fotoğraf-1: Zayıf Zemin Sıyırma Kazısından Sonra
Drenaj Şiltesi Yerleştirilmesi

b) Doğal ince malzeme bulunamaması durumunda, ince filtre malzemesi yerine Tip-A drenaj amaçlı örgüsüz tip jeotekstil, kaba filtre malzemesi yerine Tip-I veya Tip II malzeme kullanılarak,

Drenaj amaçlı örgüsüz tip jeotekstil (Tip-A) kullanılması durumunda;

TİP-I

<u>Elek (mm)</u>	<u>Geçen Malzeme %'si</u>
2 1/2" (63 mm)	100
1 1/2" (37.5 mm)	85-100
3/4" (20 mm)	0-25
3/8" (10 mm)	0-5

Drenaj amaçlı örgüsüz tip jeotekstil (Tip-A) kullanılması durumunda;

TİP-II

<u>Elek (mm)</u>	<u>Geçen Malzeme %'si</u>
3" (74 mm)	100
1 1/2" (37.5 mm)	70-100
3/4" (20 mm)	40-100
3/8" (10 mm)	20-70
No:4 (5 mm)	0-40
No:8 (2.5 mm)	0-12
No:200 (0.074 mm)	0-3

•Yer altı suyu drenaj sisteminde, jeotekstil bohçasız, ince ve kaba filtre malzemesi olarak Yollar Fenni Şartnamesi'nde belirtilen gradasyona uygun *doğal malzeme (dere malzemesi v.b.) filtrasyon ve permeabilite açısından jeotekstil bohçalı kırmataşa göre daha avantajlı olup, tercih edilmelidir.* İnce filtre malzemesi temin edilememesi (ekonomik olmaması) halinde doğal kaba filtre malzemesinin jeotekstille bohçalanarak kullanılması düşünülmelidir.

•Jeotekstil bohçalı sistemde doğal kaba filtre malzemesi yerine kırmataş kullanılması durumunda ise, teknik bakımdan kırmataşın köşeli yapısı nedeniyle kenetlenmenin fazla olması, permeabilitenin düşmesi ve köşeli kırmataş malzemenin jeotekstile zarar vermesi gibi olumsuzluklar gözönüne alınmalıdır.

•Özellikle yüksek plastisiteli kil olan bölgelerde kırmataş drenaj sistemlerin tıkanmasına karşı ayırma amaçlı jeotekstilin kullanılması halinde jeotekstilin yırtılıp hasar görmemesi için jeotekstil üzerine dere malzemesi (20-30 cm) veya B tipi dayanımlı jeotekstil uygun olacaktır.

DENEY ADI	Drenaj Amaçlı Jeotekstil Tipi	
	TİP-A	TİP-B
Dar mesnetli çekme dayanımı (N)	450	900
Kopma uzaması (%)	50-80	50-80
Delinmeye karşı dayanım (N)	300	600
Permeabilite (lt/m ² /sn)	80	80
Permitivite (sn ⁻¹)	1	1
Görünür göz açıklığı (µm) (maks.)	150	150

KGM GEOTEKSTİL TEKNİK ŞARTNAMESİ
(DRENAJ AMAÇLI)

c) YFŞ'de gradasyonu verilen Kum Şilte kullanılarak; kum şiltenin gayri ekonomik olması halinde, drenaj malzemesi ve zeminin dane boyutu dağılımlarının tesbiti ile filtrasyon ve permeabilite kriterlerini sağlayan ekonomik drenaj malzemesi kullanılarak,

Kum Şilte Gradasyonu

<u>Elek (mm)</u>	<u>Geçen Malzeme %'si</u>
3/8" (9.5 mm)	80-100
No: 8 (2.4 mm)	5-50
No: 30 (0.6 mm)	0-20
No: 50 (0.3 mm)	0-5

drenaj şiltesi teşkil edilir.

4.2. Yeraltı Suyu Olmaması, Yüzeyde Göllenme Nedeniyle Taşıma Gücü Zayıf Zemin Olması Durumu

Tabanda zayıf zemin kazısından sonra, yer altı suyu olmayan fakat yüzey göllenmeleri nedeniyle oluşan taşıma gücü yetersizliklerini önlemek amacıyla zayıf zemin sıyrılır ve kazılan kısımda “Serbest Drenaj Malzemesi” kullanılır. Serbest drenej malzemesi yüzeyden itibaren dolgu tabanında 30-40cm. suyun iki tarafa geçmesini sağlamak amacıyla yükseltilir. Veya şev dibi geçirimsiz kil ile kaplanır. Dolgu malzemesi granüler nitelikli geçirimli ise, yüzeyden sonra serbest drenaj malzemesi kullanılmasına gerek yoktur.

SERBEST DRENAJ MALZEMESİ

<u>Elek (mm)</u>	<u>Geçen Malzeme %'si</u>
3" (76 mm)	100
1 1/2" (38 mm)	70-100
3/4" (19 mm)	40-100
3/8" (9.5 mm)	20-70
No:4 (4.75 mm)	0-40
No:8 (2.38 mm)	0-12
No:200 (0.074 mm)	0-3

Zeminin iyileştirme tabakası ile takviye edilmesi durumunda; iyileştirme tabakasının zemine gömülerek malzeme kaybının çok fazla olması ve zeminin çok yumuşak olması nedeniyle imalatı problem yaşanması durumunda geosentetikler kullanılmaktadır. Ayrıca; suni atıklardan oluşan yapay dolguların olması durumunda yeni inşa edilecek yol dolgusunu az kalınlıkta ve sadece üst yapı yüklerinin etkili olduğu durumlarda geosentetikler kullanılabilir.

Özellikle, dolgu imalatında geosentetikler yumuşak zayıf zemin üzerine serilip dolgu bunun üzerinde teşkil edildiğinde, geotekstil dolgu malzemesinin ve/veya eğer kullanılıyorsa dolgu altındaki granüler malzemenin zemine gömülmesini engelleyerek seperasyon görevi görürler, granüler malzemenin altında filtre olarak çalışırlar. Ayrıca yüksek çekme dayanımına sahip oldukları için dolgu ve altındaki zayıf zemin içeren bir kayma hareketini engelleyici donatı olarak kullanılabilirler. (**Örnek :** İstanbul Yarımburgaz Kavşağı. Bu uygulamada geogrid kullanıldı.)

4.3. Yarma Tabanlarında Şişme Özelliği Olan Zemin Olması Durumu :

Yarma tabanında şişme özelliği olan zemin olması durumunda, zeminin şişme yüzdesi ve şişme basıncı laboratuvar deneyleriyle tayin edilir. Uzun tülde, esnek üstyapı kullanılması durumunda yol trafiğe açıldıktan sonra üstyapının bozulmaması için, şişme nedeniyle oluşacak deformasyonun 5 cm olması beklenir.

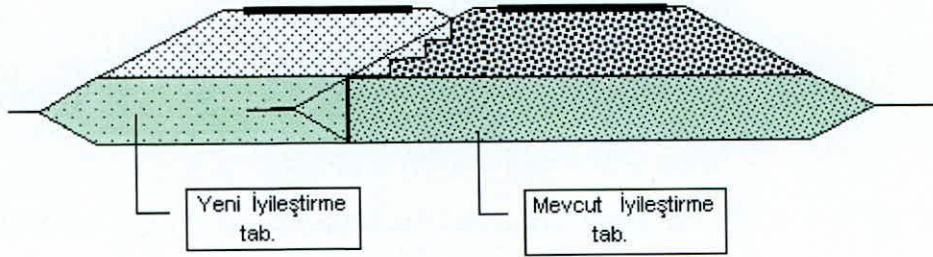
İzlenen Yöntem :

- a) Şişme özelliği olan zemin kalınlığı sondaj veya araştırma çukuru ile tesbit edilir.
- b) Elde edilen şişme basıncı ve şişme yüzdesi değerleri ve şişen zemin kalınlığı kullanılarak, bu zeminin su alması durumunda ne kadar şişeceği tesbit edilir.
- c) Şişmenin kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasına karşılık gelen şişme yüzdesi için gerekli, şişme basıncı bulunur
- d) Hesaplanan yüke göre üstyapı tabanında uygulanacak şişme özelliği olmayan malzeme (capping-layer) kalınlığı belirlenir.
- e) Su napının yol tabanında en fazla 1.5 m yaklaşmasına izin verilmesi esası gözönüne alınarak, yarma sevi dibi borulu hendek drenajı önerilir.

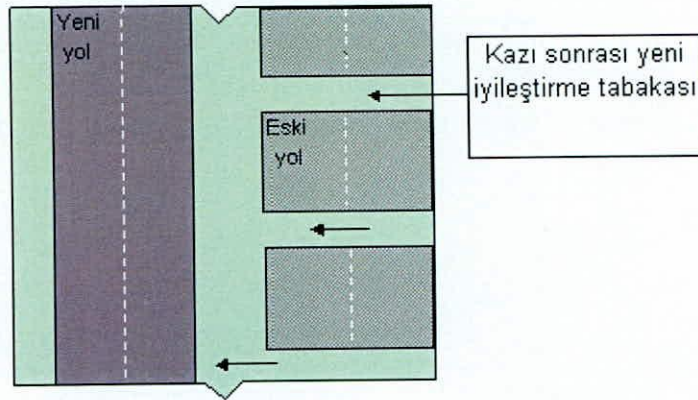
5. YAPIM SIRASINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR :

Zayıf zemin geçişlerinde gerek yer altı suyunun drenajı için drenaj tabakası teşkilinde, gerekse yüzey göllenmelerinden yolun etkilenmemesi için iyileştirme tabakası oluşturulmasında, sistemin tüm yol tabanında yekpare olarak çalışması sağlanmalıdır. Yeni yapılan yollarda, sözkonusu drenaj veya iyileştirme tabakası, problemli kesimin tamamında yaygın (şilte şeklinde) veya sistematik olarak (yolu enine kesen anolar şeklinde) uygulanabilir. Mevcut yolların standardının yükseltilmesi veya bölünmüş yollara dönüştürülmesi durumunda, mevcut yol altında bu tip bir drenaj veya iyileştirme tabakası olup olmadığı araştırılmalı, var ise, yeni yapılan kesimle bağlantısı yapılmalıdır. (Şekil-1) Yok ise; ya eski yol altında aralıklı kazı

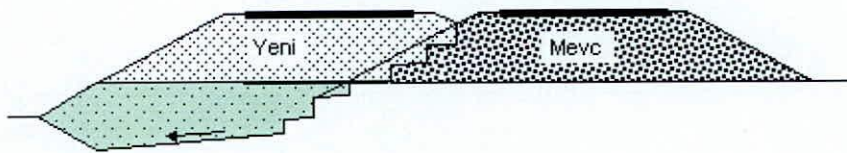
(Şekil-2) ile sistemin bütünlüğü sağlanmalı veya yeni iyileştirme tabakası tabanında yol dışına eğim verilerek (Şekil-3) eski yol altına suyun ulaşımı engellenmelidir.



Şekil - (1) : Yol Genişletilmesi



Şekil - (2) : Eski yolun aralıklarla kazılmasıYol Genişletilmesi



Şekil - (3) : Eski yolun altına su girişinin engellenmesi

6. ZAYIF ZEMİN GEÇİŞLERİNE AİT UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ÖRNEK-1

Proje : Kalkan-Fethiye Yolu KM:26+600-27+000 Arası
H_{dolgu} : 2.00 m

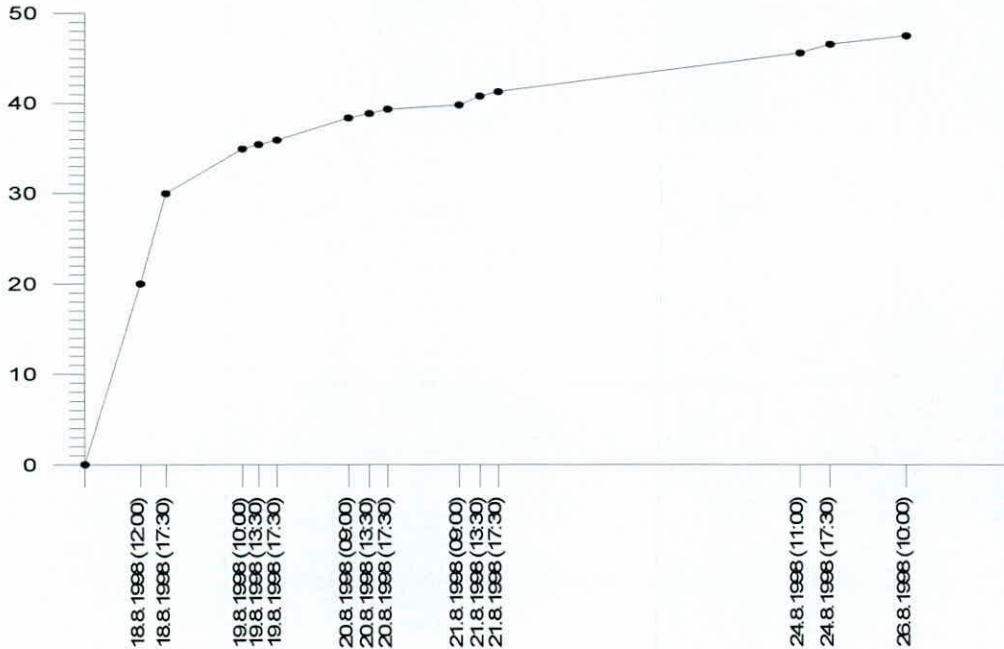
Zemin Koşulları :

Tanım : CL, düşük plastisiteli KİL
MH, yüksek plastisiteli SİLT
SM-GM, siltli kum-çakıl (2 m derinlikten sonra)
Y.A.S. Seviyesi 2 m.

Problem : Sığ yer altı suyu mevcudiyeti ve dolgu tabanında taşıma gücü zayıf zemin

Yapılan Çalışmalar :

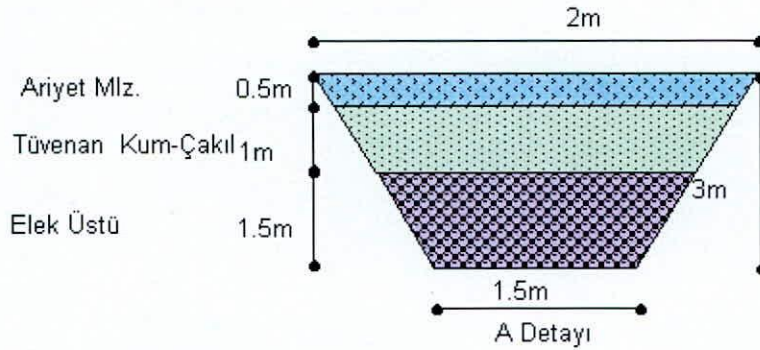
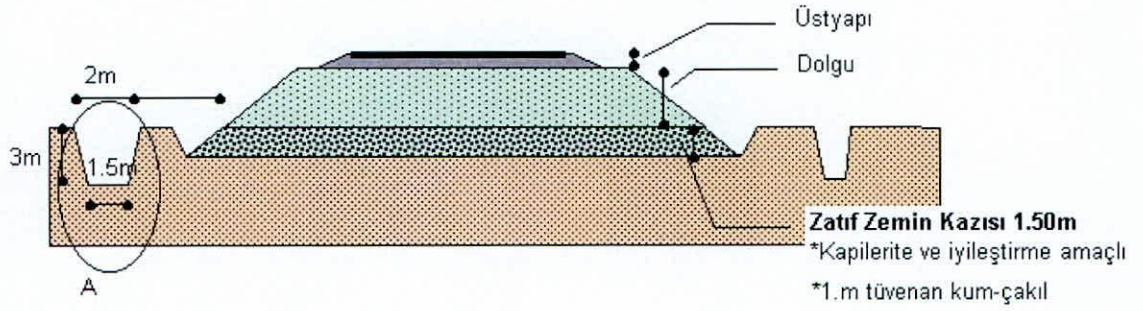
- 1.80 m-3.00 m derinlikte araştırma çukurları açıldı.
- Elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri tayini deneyleri ile zemin ve iyileştirme tabakası özellikleri belirlendi.
- İyileştirme tabakasının kapiler yüksekliği belirlendi (Şekil-4)



(Şekil-4)

Çözüm

:



Not:

Drenaj kanal boyutunda kazı esnasında zemine bağlı genişlemeler olabilir

Şekil (5)

- Dolgunun iki yanında Y.A.S.S'ni düşürmek için hendek drenajı yapıldı.
- Zayıf zemin kazıldı.
- Kazılan kısma 1.00 m kalınlıkta granüler malzeme serildi.
- Dolgu şev dibine kaplamalı hendek yapıldı. (Şekil-5)

ÖRNEK-2

Proje : İstanbul-Bursa-Balıkesir-İzmir Otoyolu Bursa Çevre Yolu II. Kısım KM:23+000-24+500

H_{dolgu} : 4.00 m-9.00 m

Zemin Koşulları : ~ 50 m kalınlığında dağınık kum çakıl mercekleri ve seviyeleri içeren düşük plastisiteli, siltli KİL-SİLT (CL-ML), Kalınlığı mm mertebesinden 5 m'ye kadar değişen killi siltli KUM (SM, SC), Kalınlığı en fazla 3 m olan ÇAKIL (GM)

Y.A.S.S. : Genelde 0.00 m-1.80 m derinlikte. Bir sondajda artezyen suyu gözlendi.

Problem : Sığ yer altı suyu nedeniyle, oturma ve taşıma gücü problemi

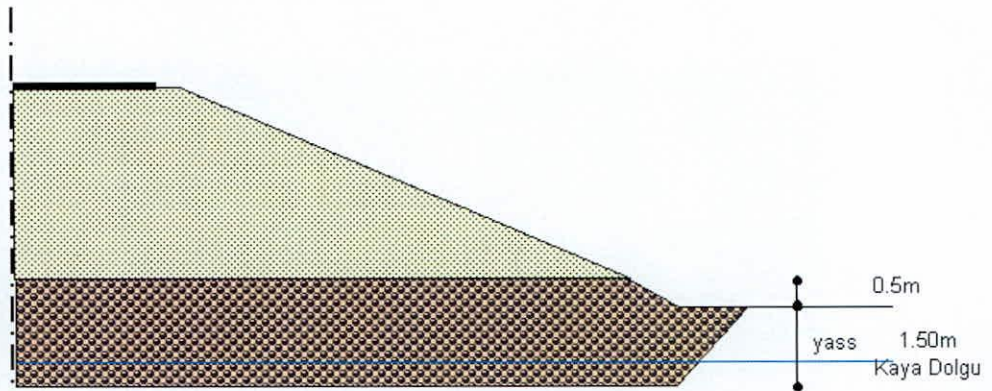




Yapılan Çalışmalar :

- 4 adet sondajla zemin tabakalanma durumu, SPT deneyleri ve Y.A.S.S belirlendi.
- Elek analizi, kıvam limitleri tayini, su içeriği tayini deneyleri ile zemin tanımlandı.
- Üç eksenli basınç, serbest basınç, konsolidasyon deneyleri ile kayma dayanımı ve sıkışma özellikleri belirlendi.
- Stabilité Analizleri yapıldı.
 $H_{\text{dolgu}} = 9.00 \text{ m}$ için $G.S.=1.18$ (yetersiz)
 $H_{\text{dolgu}} = 7.00 \text{ m}$ için $G.S.=1.44$ (yeterli)
- Oturma Hesapları yapıldı.
 $H_{\text{dolgu}} = 9.00 \text{ m}$ için $S = 62 \text{ cm}$
 $H_{\text{dolgu}} = 7.00 \text{ m}$ için $S = 48 \text{ cm}$
 Oturma zamanı ve % 90 için $t=8.5 \text{ ay}$

Çözüm :



(Şekil-6)

- Dolgu tabanında taşıma gücü zayıf olan zemin 1.50 m kazıldı.
- Oturma miktarı ve yüzey göllenmelerinden dolgu tabanında etkilenmemesi gereken kalınlık dikkate alınarak, kazılan kısım ve yüzeyden yukarı doğru 0.50 m'lik kısım kaya dolgu ile iyileştirildi.
- $H \leq 7.00$ m'ye kadar olan dolgular proje kotunda, $H > 7.00$ m olan dolgular 7.00 m yükseklikte teşkil edildi.
- $H > 7.00$ m olan dolgular altında % 85 oturma tamamlandıktan sonra dolgular proje kotuna getirildi. (Şekil-6)

ÖRNEK-3

Proje : Antalya-Alanya Bölünmüş Yol II. Kısım
KM:78+200-88+800 Arası

H_{dolgu} : 1.00 m-3.20 m

Zemin Koşulları :

Tanım : Düşük plastisiteli, siltli KİL (CL)
Yüksek plastisiteli KİL (CH)
Y.A.S.S Yok

Arazi Koşulları : Sulanan tarım arazisi, enine ve boyuna eğim çok az

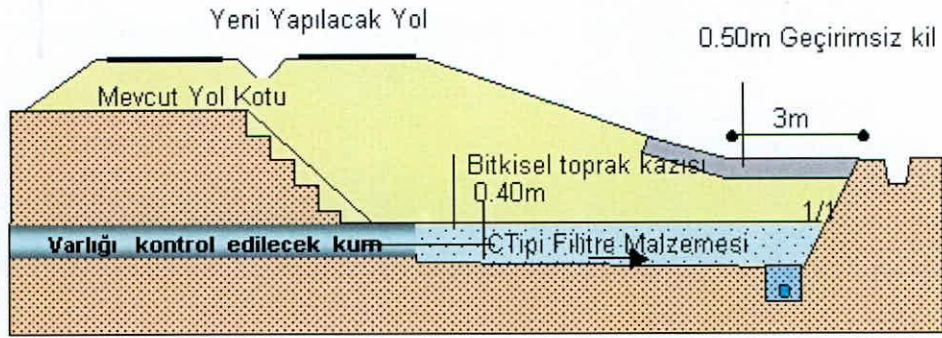
Problem : Geçirimsiz kil tabakaları mevcudiyeti nedeniyle 0.30 m-0.60 m kalınlığındaki bitkisel toprak ve bunun altında yeralan 0.40 m'lik kil tabakası olmak üzere 0.70 m-1.00 m kalınlığındaki zeminin taşıma gücü yetersizliği



Yapılan Çalışmalar :

- 1.50 m-1.80 m derinliğinde toplam 14 adet araştırma çukuru açıldı.
- Elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri tayini deneyleri ile zemin ve iyileştirme tabakası malzemesi tanımlandı
- Mevcut yol altında granüler malzeme olup olmadığı kontrol edildi.

Çözüm :



Şekil (6)

- Yeni yol altında bitkisel toprak (0.30m-0.60m) ve altındaki taşıma gücü zayıf zemin (0.40m) kazıldı. Tabana şev dışına doğru eğim verildi.
- Mevcut dolgu şevinde kademeler teşkil edildi.
- Toplanan suyun deşarjı için şev dışında hendek drenajı teşkil edildi.
- Mevcut dolgu altındaki granüler malzemeyle bağlantısı sağlanacak şekilde kazılan kısımda, serbest drenaj malzemesi gradasyonunda iyileştirme tabakası teşkil edildi.
- Dolgu eteğinde ve serbest drenaj malzemesinin açıkta kalan kısmında sızdırmazlığın sağlanması amacıyla 0.50 m'lik kil serilip sıkıştırılması önerildi.

7. İLERİ ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zayıf zemin kalınlığının fazla olduğu, sık kazı, iyileştirme tabakası ile çözülemeyen problemlerde ileri zemin iyileştirme yöntemleri tek başına veya sık zemin iyileştirme teknikleri ile beraber kullanılmaktadır.

İleri zemin iyileştirme yöntemlerinden birine karar verilmeden önce, iyileştirilecek zemin kalınlığının derin sondajlarla belirlenmesi, arazi (SPT, CPT v.b.) ve ileri laboratuvar deneyleri (üç eksenli basınç, konsolidasyon v.b.) ile zemin kayma dayanımı ve oturma özelliklerinin belirlenmesi ve proje hazırlanması gereklidir.

Karayollarında uygulanan ileri zemin iyileştirme yöntemleri :

- Ön yükleme ve sürşarj
- Düşey drenler
- Temel enjeksiyonu
- Geosentetikler

olarak sıralanabilir.

ÖN YÜKLEME VE KADEMELİ YÜKLEME :

Yapının inşasından önce zeminin genellikle yayılı toprak yükü ile yüklenmesi ÖN YÜKLEME olarak adlandırılır.

Zemine daimi olarak etkileyecek yapı yükü üzerinde ekstra yük SÜRŞARJ olarak adlandırılır ve oturmaları hızlandırmak için kullanılır.

KADEMELİ YÜKLEME ise, zeminin taşıyabileceği yükseklikte dolgunun aşamalı inşa edilmesi. Her aşamada belirli dolgu yüksekliği altında zemin oturmalarının tamamlanıp kayma dayanımı istenen değere ulaşmasından sonra dolgunun proje kotuna yükseltilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Oturmaların tamamlanması ile kayma dayanımı parametreleri ve zeminin taşıma gücü artar. ÖN YÜKLEME, SÜRŞARJ veya KADEMELİ YÜKLEME yapıma başlanmasında süre kısıtlayıcı bir faktör değilse en ekonomik yöntemlerdir.

Bu yöntemlerde imalat sırasında oturma kolonları ve plakaları ölçümleri alınması büyük önem taşımaktadır. (**Örnek** : Bursa Çevre Yolu II.Kısım KM.23+000-24+300)

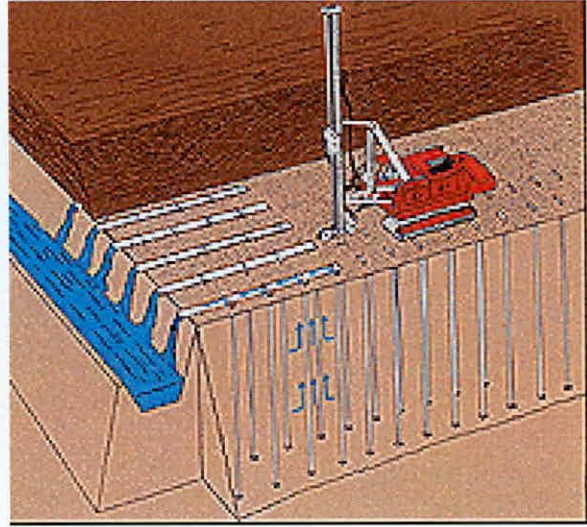
DÜŞEY DRENLER :

Kalın ve tabii ara drenaj bantları içermeyen kalınlığı fazla (> 10 m) sıkışabilir özellikte kil tabakalarının ön yükleme veya kademeli yükleme ile oturma zamanlarının uygulama süresi sınırlarını aşması halinde veya dolgu üzerine ilave edilen sürşarj yüksekliklerinin zemin taşıma gücü kapasitesini aşması halinde kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca; ani yüklemeden dolayı stabilite problemleri ortaya çıkabilmektedir.

Oturma hızlarını artırmak ve ön yükleme ile bekleme zamanlarını azaltmak için düşey drenler kullanılır. Düşey drenler drenaj yolunu kısaltır. Boşluk suyu basınçları hızla sönümlenir.

Düşey drenle birlikte sürşarj yönteminin kullanımı, daha ekonomik düşey dren tasarımına imkan verir. (**Örnek** : Antalya-Alanya Yolu Manavgat Köprüsü yaklaşım dolgularında bant dren, İzmir-Aydın Çevre Yolu Köprü yaklaşım dolgularında kum dren uygulanmıştır.)

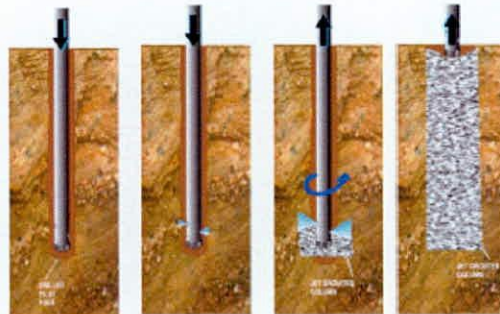
Düşey drenler, kum dren veya jeosentetik bant drenlerle oluşturulabilir.



ZEMİN ENJEKSİYONU VE JET-GROUT:

Yol ve yol yapılarının oturacağı zeminin taşıma gücü zayıf zemin olması veya oturmaya hiç izin verilmemesi gereken durumda, zeminin kayma dayanımını artırmak, geçirgenliğini azaltmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Zemin cinsine göre, kum-çimento şerbeti veya bu şerbet silicat v.b. katkı maddelerinin zemine enjekte edilerek boşlukların doldurulması zemin enjeksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Jet-grout ise yüksek basınçla verilen çimento şerbetinin zeminle karışması veya zeminin bir kısmının çimento şerbetiyle yer değiştirmesiyle enjeksiyon kolonlarının oluşturulmasıdır. (**Örnek** : İzmit-Yalova Yolu Başiskele Kavşağı)

Proje kriterlerinin sağlanıp sağlamadığı uygulama sonrası yapılan testlerle teyit edilir.



EK-1

YERÜSTÜ VE YERALTI SULARININ ORTA REFÜJDE VE YANLARDA DRENAJ PRENSİPLERİ

YÜZEY SULARININ DRENAJI

- Ülkemizde yüzey suları kil, silt taşıdığı için, zorunlu olmadıkça yüzey suları doğrudan yeraltı suyu drenaj sistemine veya kollektöre verilmemelidir.

- Yüzey suları orta refüj ve yarma hendeklerinde kanallarda toplanmalı, geometrik, çevresel ve teknik şartların izin verdiği oranda yüzeyden akıtılmalıdır. Söz konusu kanallar akışı kolaylaştırmak ve sızdırmazlığı sağlamak amacıyla gereken yerlerde kaplanabilir.

- Kanallarda toplanan sular mümkün olduğu kadar yarmalarda hendek ucundan ve yüzeyden, orta refüjde öncelikle menfezlerden deşarj edilmelidir.

- Uzun yarmalarda kanal kesiti artırılarak satıhtan akış sağlanabilir. Çok zorunlu hallerde uzun yarmalarda yan yarma kollektörünün kullanımı gerekebilir. Uzun mesafede suyun taşınması ve/veya kanala fazla miktarda su gelmesi, kollektör veya menfez gibi mevcut deşarj sisteminin olmaması durumunda, suyun deşarjı enine geçişlerle sağlanabilir.

- Enine geçişlerin mümkün olduğunca az sayıda yapılmasına dikkat edilmeli, enine geçiş tipi, kesiti ve dayanımı hidrolik hesapların yanı sıra dolgu hareketleri ve üst yapıdan gelecek hareketli yüklere göre belirlenmelidir. Bu geçişlerde dolgularda doğrudan bir çıkış, yarmalarda hendek altı kollektörüne bağlantı yapılması gerekecektir. Enine geçişlerde uygun kesitli deliksiz esnek boru kullanımı uygun olacaktır.

- Dolgularda kanal genişletmeye gerek kalmadan enine geçişlerle ~ 400 m aralıkla deşarj çoğunlukla mümkün olduğundan yüzey suyu için kollektöre gerek olmayacaktır.

- Gerek yarma ve gerekse orta refüjde kullanılan kanal, otoyol yüzeyine düşen yağış suyu miktarına göre yeterli kapasitede boyutlandırılmalı, gereken yerlerde hem kapasiteyi artırmak hem de yeraltına sızmayı engellemek amacıyla kaplanmalıdır.

YERALTI SUYU VE SIZINTI SUYU DRENAJ :

- Orta refüj ve yarma hendeği altında sızıntı suyunu almak ve yeraltı suyu seviyesini düşürmek üzere bir yeraltı suyu drenaj sistemi teşkil edilmelidir.

- Dren borusunda toplanan yeraltı suyunun deşarjı için bulunduğu kesimin yüzey suyu deşarj sistemi kullanılmalıdır. Uygun aralıklarla teşkil edilecek kontrol bacaları iki sistemin bağlantısı için kullanılmalıdır.

- Orta refüjde 400 m'de bir mevcut sanat yapısı veya enine geçişle deşarj verilebilmesi, taşıma mesafesinin 400 m'den az olması ve az su sızıntısı beklenen düz kesimler ve dolgular için sistem KOLLEKTÖRSÜZ olarak sadece dren borulu sistem olarak uygulanmalıdır.

- Ancak yeraltı suyu seviyesinin sığ olduğu yarmalarda, bütün yüzey suyunun tek tarafa akıtıldığı kurplarda, dolgu ve yarmalarda orta refüj kanalı kapasitesinin yetersiz olduğu, başka bir yapıyla deşarjın mümkün olmadığı durumlarda orta refüjde KOLLEKTÖR uygulanmalıdır.

- Yarma kenarlarında şevlerden gelebilecek sızıntı suyunu, yoldan gelebilecek suyu ve yeraltı suyunu almak üzere yapılacak dren borulu sistemin bir kesiminde bloke olması durumunda, yol altının suya maruz kalması söz konusu olabilecektir

- Yarma hendeği altında hem yeraltı suyu dren borusu hem KOLLEKTÖR kullanılabilir. Bu kollektör bir çok kanaldan gelen yüzey suyunu alır, yeraltı suyu drenaj sisteminin herhangi bir noktada bloke olması durumunda o kesim tamir edilene kadar diğer bütün sistem çalışır.

- Yarmalarda orta refüj dren hendekleri dolgularda olduğu gibi az sızan sular için 400 m'ye kadar KOLLEKTÖRSÜZ yapılarak enine geçişle yarmanın kollektörüne bağlanabilir.

- Bütün sistemin çalışması ancak iyi bir bakımla mümkün olacağı için, sistemin yerleştirilmesi ve detayları bakımı kolaylaştırıcı bir şekilde projelendirilmeli. Sistemin kontrolü ve bakımı için 50-100 m'de bir kontrol bacaları yapılmalıdır.

- Yukarıda belirtilen prensipler göz önüne alınarak drenaj sisteminin yolun plan ve profili üzerine yerleştirilmesinden sonra nerelere tek dren borulu nerelere çift borulu (kollektörlü) sistemin uygulanacağı daha iyi görülebilecek ve özellikle deşarj yerleri, suyun gerek yüzeyden ve gerekse yeraltından ne kadar mesafe taşındığı belirlenebilecektir.