

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

**YUMUŞAK ZEMİNLER ÜZERİNE İNŞA EDİLEN
DOLGULARDAKİ PROBLEMLER VE ÖNLEYİCİ
ÇÖZÜM YOLLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Hasan ARSLAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zeki GÜNDÜZ

Eylül 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUMUŞAK ZEMİNLER ÜZERİNE İNŞA EDİLEN
DOLGULARDAKİ PROBLEMLER VE ÖNLEYİCİ
ÇÖZÜM YOLLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Hasan ARSLAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 20 / 09 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Zeki GÜNDÜZ
Jüri Başkanı

Prof.Dr. Hasan ARMAN
Üye

Doç.Dr. Seyhan FIRAT
Üye

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her tŸrlŸ desteği veren danıŐman hocam sayın Doç. Dr. Zeki GŸNDŸZ'e teŐekkŸrŸ bir borę bilirim.

Ayrıca ęalıŐmalarımı yapmak için iş yerinden bana izin veren sayın Mehmet SATIŐ'a da teŐekkŸr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PROBLEM ZEMİNLER.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Şişen Zeminler.....	3
2.3. Göçebilen Zeminler.....	4
2.4. Dağınık Yapılı Killer.....	6
2.5. Donmaya Duyarlı Zeminler.....	7
BÖLÜM 3.	
DOLGU ALTINDAKİ YUMUŞAK ZEMİNDE OLUŞAN DEFORMASYONLAR.....	8
3.1. Giriş.....	8
3.2. Oturmalar.....	8
3.3. Yanal Akma Davranışı.....	11
3.4. Yanal Akma – Oturma ilişkisi.....	12

BÖLÜM 4.

YUMUŞAK ZEMİNLER ÜZERİNE İNŞA EDİLEN DOLGULARDAKİ PROBLEMLERİ ÖNLEYİCİ ÇÖZÜM YOLLARI.....	15
4.1. Giriş.....	15
4.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	15
4.2.1. Önyükleme ve sürsarj.....	15
4.2.2. Düşey drenler.....	18
4.2.2.1. Düşey kum drenleri.....	20
4.2.2.2. Karton drenler.....	21
4.2.3. Kireç kazıkları.....	22
4.2.4. Drenaj hendekleri.....	23
4.2.5. Derin sıkıştırma.....	23
4.2.5.1. Vibroompaksiyon.....	24
4.2.5.2. Titreşimli boru ve çubuklar.....	25
4.2.5.3. Kompaksiyon kazıkları.....	26
4.2.5.4. Dinamik konsolidasyon, yük düşürme.....	26
4.2.6. Elektro-Ozmoz.....	27
4.2.7. Dondurma ve ısıtma yöntemi.....	27
4.2.8. Enjeksiyon.....	28
4.2.8.1. Enjeksiyon şerbeti çeşitleri	29
4.2.9. Stabilizasyon.....	30
4.2.9.1. Mekanik stabilizasyon.....	30
4.2.9.2. Kimyasal stabilizasyon	32
4.3. Zemin Güçlendirme Yöntemleri.....	37
4.3.1. Kazık temeller.....	37
4.3.1.1. Kazık çeşitleri.....	38
4.3.1.2. Kazık temellerin düzenlenmesinde tasarım esasları.....	38
4.3.1.4. Deneme yüklemeleri ile kazıklarda sınır yüklerinin ve kazık yüklerinin bulunması.....	39
4.3.1.4. Vibreks kazık.....	42
4.3.1.5. Mendex kazıklar.....	44
4.3.1.6. Ugulamalardan örnek.....	46

4.3.2. Donatılı zemin (Toprakarme).....	54
4.3.2.1. Dolgu malzemesi.....	55
4.3.2.2. Donatı elemanları.....	56
4.3.2.3. Şantiyede donatılı zemin duvarı uygulamaları	56
4.3.2.4. Yumuşak zeminlerde donatılı toprak istinat duvar.....	63
4.3.3. Taş kolonlar.....	63
4.3.4. Derin karıştırma (Kireç Kolonlar).....	65
4.3.5. Geotekstiller.....	66
4.3.5.1. Geotekstil türleri.....	67
4.3.5.2. Birleştirme yöntemleri.....	67
4.3.5.3. Uygulama alanlarına göre çeşitleri.....	67
4.3.5.4. Mühendislik özellikleri.....	70
4.3.5.5. Uygulama alanları.....	73
4.3.5.6 Geotekstil seçimi aşamaları	76
4.3.5.7. Uygulamalardan örnek.....	78

BÖLÜM 5.

İNŞAAT SIRASINDA STABİLİTENİN ARTIRILMASI YÖNÜNDE YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	85
5.1. Giriş.....	85
5.2. Temel veya Yapı Altında Kalacak Olan Yumuşak zeminin tümü veya Bir Bölümünün kazılması.....	85
5.3. Dolgu Şevi Altındaki Yumuşak Zeminin kazılması.....	86
5.4. Kalıcı veya Geçici Palye Yapılması.....	87
5.5. İnşaatın Kademeli Olarak Yapılması.....	88

BÖLÜM 6.

VAKA ANALİZİ.....	91
6.1. Giriş.....	91
6.2. Projelendirme.....	92
6.3. Yapım.....	100
6.4. Yol İnşaatı Sırasında Ortaya Çıkan Sorunların Çözümü.....	107

BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Numune kesit alanı
B	: Şerit genişliği
Ac	: Kilin aktivitesi, dokunma alanı
a_v	: Sıkışma katsayısı
AKO,OCR	: Aşırı konsolide oranı
ASTM	: Amerikan standart
C	: Sabit sayı, yapışma kuvveti
c	: Yumuşak kilin kayma direnci
C_c	: Sıkışma indisi
C_{ce}	: Değiştirilmiş sıkışma indisi
C_h	: Yatay konsolidasyon katsayısı
C_r	: Yeniden yükleme indisi
C_s	: Tekrar yükleme indisi
C_{re}	: Değiştirilmiş yeniden yükleme indisi
C_u	: Drenajsız kohezyon
C_v	: Konsolidasyon katsayısı
C_α	: İkincil konsolidasyon (sıkışma) katsayısı
$C_{\alpha\varepsilon}$: Modifiye edilmiş ikincil konsolidasyon katsayısı
D	: Tabaka derinliği
d_c	: Düşey drenin etki çapı
d_w	: Dren kuyu çapı
E_u	: Zeminin drenajsız elastisite modülü
e	: Boşluk oranı
e_0	: Başlangıç boşluk oranı
e_p	: Birincil konsolidasyon sonundaki boşluk oranı
f	: Şerit-zemin arası sürtünme katsayısı

GP	: Göçme potansiyeli
h	: Dolgu yüksekliği
H ₀	: Sıkışabilir tabakanın kalınlığı
H _d	: Numune kesit yüksekliği
I _a	: Şeritin dayanma bölgesi içindeki uzunluğu
I _p	: Plastisite indisi
I _s	: Şişme indisi
I _t	: Tesir sayısı
K	: Toprak basınç katsayısı
k	: Permeabilite (geçirgenlik) katsayısı
k _h	: Yatay permeabilite
k _e	: Kazık emniyet katsayısı
m _v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
n	: Kilin plastisite indisine bağlı bir büyüklük
N _c	: Taşıma gücü faktörü
P _f	: Proje yükü
P _{f+s}	: Proje yükü + sürşarz yükü
R ₀	: Başlangıç okuma değeri
R ₅₀	: %50 oturmaya karşı gelen okuma değeri
R ₉₀	: %90 oturmaya karşı gelen okuma değeri
R ₁₀₀	: %100 oturmaya karşı gelen okuma değeri
SAR	: Sodyum adzorsiyon katsayısı
S _c	: Birincil konsolidasyon oturması
S _f	: Proje yükü altındaki oturma
S _{f+s}	: Proje + Sürşarz yükü altında oturma
S _h	: Yatay şerit açıklığı
S _v	: Düşey şerit açıklığı
S _r	: Doygunluk derecesi
S _s	: İkincil konsolidasyon oturması
S _{sec}	: Sekonder oturma
St	: Toplam oturma değeri
ŞP	: Şişme potansiyeli

Q_{em}	: Emniyetli kazık yükü
Q_k	: Kazık sınır yükü
T_s	: Şerit çekme kuvveti
T_h	: Yatay zaman faktörü
T_{50}	: %50 oturmanın olduğu zaman dilimi
T_{90}	: %90 oturmanın olduğu zaman dilimi
TS	: Türk standartları
t	: Dolgu için beklenen servis bölümü
t_i	: Başlangıç zaman
t_p	: Birincil konsolidasyonun tamamlandığı zaman
t_s	: Sekonder oturma zamanı
T_v	: Boyutsuz zaman faktörü
U_h	: Ortalama konsolidasyon derecesi
U_z	: Konsolidasyon yüzdesi
V_u	: Drenajsız poisson oranı
w_n	: Doğal su muhtevası
w_s	: Büzülme limiti
w_L	: Likit limit
w_p	: Plastik limit
Δu_e	: Aşırı boşluk suyundaki değişim
Δz	: Tabaka kalınlığı
Δe	: Boşluk oranı değişimi
ΔH	: Düşey boy değişimi
σ	: Gerilme
σ_v'	: Düşey efektif gerilme
σ_{v_0}'	: Önkonsolidasyon basıncı
σ_c, σ_p	: Ön konsolidasyon basıncı
σ_{p_0}'	: Yüklemeden önce zemindeki düşey basınç
ε	: Birim boy değiştirme
δ	: Farklı oturma miktarı
S	: Oturma miktarı
ρ	: Dolgunun kuru birim ağırlığı

ρ' : Üstteki zeminin yüzer birim hacim ağırlığı
 ρ_c : Emme gerilmesi
 ρ_n : Birim hacim ağırlık
 ρ_w : Suyun özgül ağırlığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Killerde aktivite ve şişme potansiyeli.....	4
Şekil 2.2. Casagrande'ye göre yüklü zeminde göçme mekanizması.....	5
Şekil 2.3. Zeminlerde göçebilirlik sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.4. Dağınık yapılı zeminlerin tanınması.....	7
Şekil 3.1. Dolgu inşaatı başlangıç devrelerinde meydana gelen yanıl akma	11
Şekil 3.2. Göçme mekanizması.....	11
Şekil 3.3. Dolgu altındaki yumuşak zeminde oturma ve yanıl akma.....	13
Şekil 4.1. Önyükleme mekaniği.....	16
Şekil 4.2. Düşey dren geometrisi.....	20
Şekil 4.3. Düşey kum drenlerin çalışma şeması.....	21
Şekil 4.4. Düşey hendeklerin çalışma prensibi.....	23
Şekil 4.5. Vibroompaksiyon yöntemi.....	25
Şekil 4.6. Taneler arası enjeksiyon detayı.....	29
Şekil 4.7. Ana enjeksiyon tipleri.....	30
Şekil 4.8. Vibreks kazık imalatı şeması.....	43
Şekil 4.9. Süper vibreks kazık imalatı şeması.....	44
Şekil 4.10. Mendex kazık imalatı sırası.....	45
Şekil 4.11. Kazık destekli dolguların yerleşimi.....	47
Şekil 4.12. Jeolojik kesit.....	48
Şekil 4.13. Kazık destekli dolgu kesiti.....	49
Şekil 4.14. Gosentetik uygulama planı.....	50
Şekil 4.15. Kazık destekli dolguların kazık çakma işleri.....	53
Şekil 4.16. Geosentetik güçlendirmenin serilmesi.....	53
Şekil 4.17. Donatılı duvar kesit ve ön pano şekilleri.....	55
Şekil 4.18. Ön paneller hariç panel ebatları.....	59
Şekil 4.19. Şablon ve işkence.....	59

Şekil 4.20. Panel montajı.....	60
Şekil 4.21. Panel montajı.....	60
Şekil 4.22. Panel temeli.....	62
Şekil 4.23. Taş kolon yapımı.....	64
Şekil 4.24. Ayırma fonksiyonu.....	67
Şekil 4.25. Filtrasyon fonksiyonu.....	67
Şekil 4.26. Drenaj fonksiyonu.....	68
Şekil 4.27. Güçlendirme fonksiyonu.....	68
Şekil 4.28. Koruma ve yalıtım fonksiyonları.....	69
Şekil 4.29. Yol uygulaması.....	69
Şekil 4.30. Yalıtım fonksiyonu.....	69
Şekil 4.31. Özel fonksiyonlar için uygulanması.....	69
Şekil 4.32. Deformasyon-Çekme gerilme ilişkisi.....	72
Şekil 4.33. Tipik çekme dayanımı özellikleri.....	73
Şekil 4.34. Kaplamasız yollarda geotekstilli ve geotekstilsiz uygulama.....	75
Şekil 4.35. Kaplamalı yol/pistlerde uygulanması.....	75
Şekil 4.36. Geotekstilli ve geotekstilsiz dren uygulamaları.....	76
Şekil 5.1. Dolgu altındaki yumuşak zeminin kazılması ve denge durumu.	85
Şekil 5.2. Dolgu sevi altında inşa edilen kaymayı önleyici topuk.....	86
Şekil 5.3. Palye uygulaması.....	87
Şekil 5.4. Palyelerde dren denge durumu.....	88
Şekil 5.5. Dolguların kademeli inşasında drenaj ve efektif basınç.....	89
Şekil 6.1. Adapazarı-Camili-Karaman ana bağlantı yolu.....	93
Şekil 6.2. Yol Güzergahı Zemin Sondaj Logu.....	95
Şekil 6.3. Dolgu malzemesi temin sahası.....	96
Şekil 6.4. Taşkısığı taş ocağı.....	98

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Zemin beton ve takriben %10 çimento içeren toprak çimento karışımlarına ait tipik basınç muvemetleri.....	33
Tablo 4.2. Geotekstil uygulama alanları ve işlevleri.....	73
Tablo 4.3. Aynı metoda göre stabilite sağlanması halinde maliyetleri ve işin süresi.....	77
Tablo 4.4. Zemin iyileştirilme yöntemlerinin karşılaştırılması.....	81
Tablo 4.5. Zemin güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması.....	84
Tablo 6.1. Yolboyu CBR değerleri.....	100
Tablo 6.2. Camili-Karaman yolu zemin özellikleri.....	102
Tablo 6.3. Camili-Karaman yolu dolgu malzemesi zemin özellikleri.....	103
Tablo 6.4. Camili-Karaman taban zemini özellikleri.....	103

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yumuşak zemin, dolgu, deformasyon, zemin iyileştirme, zemin güçlendirme

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgulardaki problemler Geoteknikte önemli uygulama ve araştırma konularından biridir ancak bu konu ile ilgili çalışmalara bakıldığında yeteri miktarda çalışma ve bilginin olmadığı görülmüştür. Bu çalışma da konuya katkısı olması, uygulamalarda yararlanılması amacıyla hazırlanmıştır. Bu çalışmada yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgulardaki problemler ve önleyici çözüm yolları incelenmiştir. Problem zeminler tanımlanmış, bu tür zeminlerin özellikleri, özel durumları aktarılmıştır. Yumuşak zeminlerde oluşan deformasyon tipleri, şekil ve gidişleri ele alınmış, dolgu altındaki yumuşak zeminlerde oluşan deformasyonlar, oturmalar ve yanal deplasmanlar aktarılmıştır. Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgulardaki problemleri önleyici çözüm yolları incelenmiştir. Bu çözüm yolları, zemin iyileştirme yöntemleri ve zemin güçlendirme yöntemleri olarak iki sınıfa ayrılmış, zemin iyileştirme ve zemin güçlendirme yöntemleri sınıflandırılmış ayrı ayrı açıklanmıştır, uygulamalardan örnekler verilmiştir. Zemin cinsi, kullanım alanı, avantajları ve dezavantajları tablo halinde aktarılmıştır. Ayrıca yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolguların inşası sırasında yapılabilecek çalışmalarda çok önemlidir. Bu çalışmalarda ayrı bir bölüm olarak incelenmiştir.

PROBLEMS ENCOUNTERED IN EMBANKMENTS BUILT ON SOFT SOILS AND REMEDIAL SOLUTIONS

SUMMARY

Key words: Soft soil, embankment, deformation, soil improvement, soil reinforcement

The problems encountered in embankments built on soft soils are one of the important application and research topic in geotechnics, however it is known that there is not enough research and information about the aforementioned studies. In this study the problems encountered in embankments built on soft soils and the solution methods are investigated. The problematic soils are defined, the properties and its special cases of this type of soils are presented. Deformation types, its shape and mobilization in soft soils are discussed. Furthermore, deformations, settlements and horizontal displacements in soft soils under embankments are presented. The remedial solutions for the problems in soft soils under embankments are investigated. These remedial solutions are classified and explained separately in two parts, namely soil improvement and soil reinforcement techniques and some examples are given in terms of applications. Soil type, field of application, advantages and disadvantages are presented in tabular form. The works that can be carried out at the stage of construction of embankments built on soft soils are also important. This type of works are examined separately.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kara ulaştırma araçlarının gidiş gelişlerini temin amacıyla ortaya getirilen yapının bütününe yol denir. Yoldan beklenen hizmet; yolun konforlu olması yani deformasyona uğramaması, oturmaların, akmalara olmamasıdır. Yol inşaatları tasarlanırken kazı ve dolgu işleri ortaya çıkmaktadır. Eğer dolgular 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, Bayındırlık ve İşkan Bakanlığına bağlı bulunan Karayolları Genel Müdürlüğü sorumludur. Ancak Karayolları şartnameleri incelendiğinde bu konu ile ilgili çalışmaların yeterli olmadığı görülmüştür.

Mühendislik yapıları tasarlanırken gözönünde bulundurulan bazı kriterler vardır. Bunlar yapının amacına uygun , sağlam ve ekonomik olması ve bunların yanında da kullanım süresi boyunca oluşabilecek deformasyonların makul sınırlar içerisinde kalmasıdır. Günümüzde birçok yerde karşımıza çıkan deformasyon problemleri yumuşak kil zeminlerde de araştırmaya açık bir konu olarak durmaktadır.

Baraj ve liman inşaatından başlayıp karayolu inşaatına kadar uzanan geniş bir yelpaze içinde mühendislik problemleri arasında önemli bir yer tutan dolgular, sahip oldukları büyük kütle sebebiyle yumuşak silt ve kil gibi zeminlerde büyük deformasyonların oluşmasına sebep olurlar.

Dolgu altındaki zeminlerde deformasyonlar oturma ve yanal deformasyonlar şeklinde oluşur. Her iki deformasyon tipi arasında belirgin bir ilişki vardır. drenajsız şartlarda bir dolgunun yükleme devresinde meydana gelen oturmaların hacimsel değeriyle, yanal hacimsel yer değiştirme değerinin birbirine yakın olması gerekir. Bu

noktada meydana gelen konsolidasyon oturmaları stabilite ve güvenliği arttırıcı rol oynarken yanal akmlar stabiliteye olumsuz olarak tesir etmektedir.

Yumuşak zeminlerde inşa edilen dolgulardaki problemleri önleyici çözüm yolları zemin iyileştirme yöntemleri ve zemin güçlendirme yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Ayrıca inşaat sırasında yapılacak iyileştirme yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerde stabilitenin arttırılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın diğer bölümlerinde bu yöntemler ayrı ayrı incenmiş uygulamalardan örnekler verilmiştir.

BÖLÜM 2. PROBLEM ZEMİNLER

2.1. Giriş

Bazı zeminler diğerlerinden suyla karşılaştıklarında gösterdikleri olağanüstü değişiklikler nedeniyle ayrılırlar. Genelde yüksek plastisiteli zeminler mineral yapısı, dane dizilişleri, doğal su muhtevası, boşluk suyu özellikleri, ve içinde buldukları çevre basıncına bağlı olarak aşırı hacim azalması veya artışı; hareketli veya durağan suda dengelerini kaybetme gibi çok özel ancak olumsuz davranışlar gösterirler. Bu tür zeminlere “problem zeminler” denilmektedir.

2.2. Şişen Zeminler

Şişen (genleşen) zeminler (expansive – swelling) yarı kurak ve kurak iklimlerde oluşmuş, suyla karşılaştıklarında gösterdikleri hacim değişimleri nedeniyle üstteki hafif yapılara ve kazı desteklerine hasar veren killerdir [1]. Benzer şekilde, yol, baraj dolgusu görevi yapmak üzere plastisite indisi dolayında su muhtevalarında sıkıştırılan zeminler de ıslandıklarında hacim artışı gösterirler. Şişme potansiyeli (ŞP) kilin 7 kPa basınç altında ilk boyutunun yüzdesi türünden gösterdiği bir boyutlu şişme olarak tarif edilirse [2].

$$\text{ŞP} = 3.6 \times 10^{-5} \text{Ac}^{2.44} \text{C}^{3.44}$$

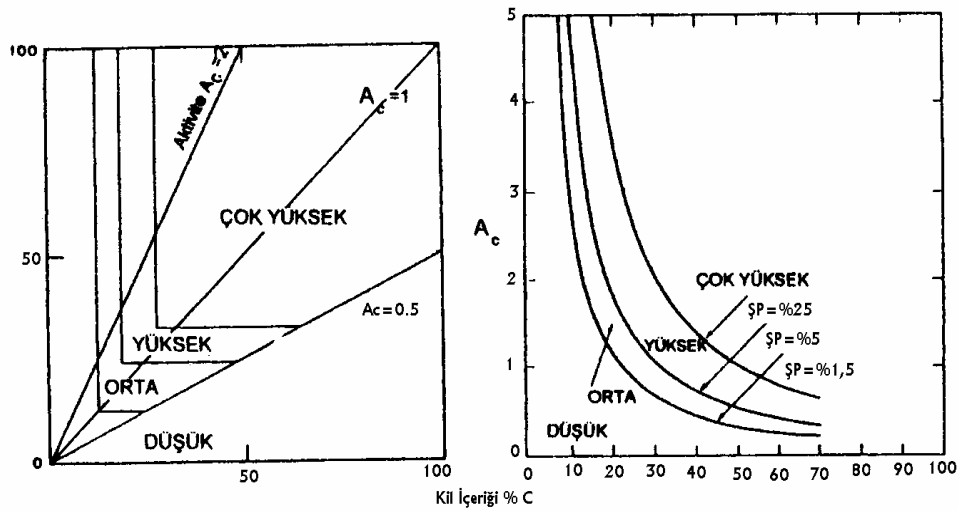
$$\text{ŞP} = 2.16 \times 10^{-3} \text{Ip}^{2.44}$$

gibi bağıntılar önerilmiştir [3]. Yine killerin şişme özelliklerini tariflemek için

$$I_s = W_L - W_S$$

şişme indisi ifadesinden de yararlanılabilir. (Şekil 2.1.) de zemin şişme potansiyeli düşük ($\text{ŞP} < 1.5$), orta ($1.5 < \text{ŞP} < 5$), yüksek ($5 < \text{ŞP} < 25$) ve çok yüksek ($\text{ŞP} > 25$) olarak

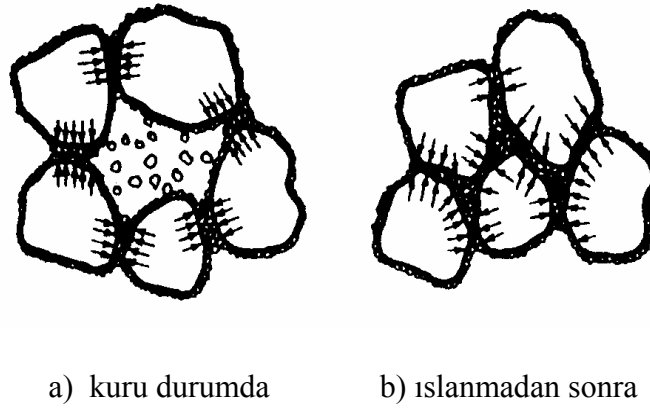
veren sınıflandırmalar gösterilmektedir. Şişme özelliğinin montmorillonit ve illit tipi killere özgü bir olay olduğu söylenebilir. Bazı durumlarda killerin tek, bazılarında ise üç boyutta şişme gösterdiği de hatırlanmalıdır. Yapılan ölçümler bazı zeminlerde yanal şişme basıncının düşey yöndeki değerinin iki katına çıkabildiğini göstermiştir.



Şekil 2.1. Killerde aktivite ve şişme potansiyeli

2.3. Göçebilen Zeminler

Bazı zeminler ıslandıklarında, ve /veya yük altına girdiklerinde yapılarındaki ani göçme sonucu önemli hacim azalmaları gösterirler (collapse) [4]. Bunun nedeni kurak iklim şartlarında oluşmuş ve oluşumlarını izleyerek daneleri kılcallık veya bir bağlayıcı ile tutturulmuş doygun olmayan zeminlerin ıslanma sonucu bu bağlayıcı kuvvetler yitirildiğinde boşluk oranında büyük azalmalar oluşmasıdır. Siltler, lös, granit kökenli kalıntı toprakları ve jips, halit ile zayıf çimentolanmış zeminler göçme özelliği gösterirler ve dünyanın birçok yerinde bulunurlar. (Şekil 2.2.) de göçme mekanizması için bir öneri gösterilmiştir [5].



Şekil 2.2. Casagrande'ye göre yüklü zeminde göçme mekanizması

Bir zeminin göçme potansiyel (GP) ödometrede kuru durumda uygulanmış 215 kPa basınçta dengeye geldikten sonra ani su verildiğinde belirecek boşluk oranı azalması olarak tariflenmiştir.

$$GP = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Oran %1 in altında ise zeminde göçme özelliği yoktur. 1-5 arasında orta, 5-10 ciddi, 10-20 arasında çok ciddi göçme sorunları çıkabileceği anlaşılmalıdır. Göçme potansiyelinin %20'den büyük olması konunun özel olarak değerlendirilmesi gereğini gösterir. Yapılan araştırmalar göçme potansiyelinin zeminin üniformluk sayısı C_U doğal su muhtevası w_n , birim hacim ağırlığı p_n , ve ıslanma sırasında beliren emme gerilmesi p_c nin fonksiyonu olduğunu göstermiştir [6].

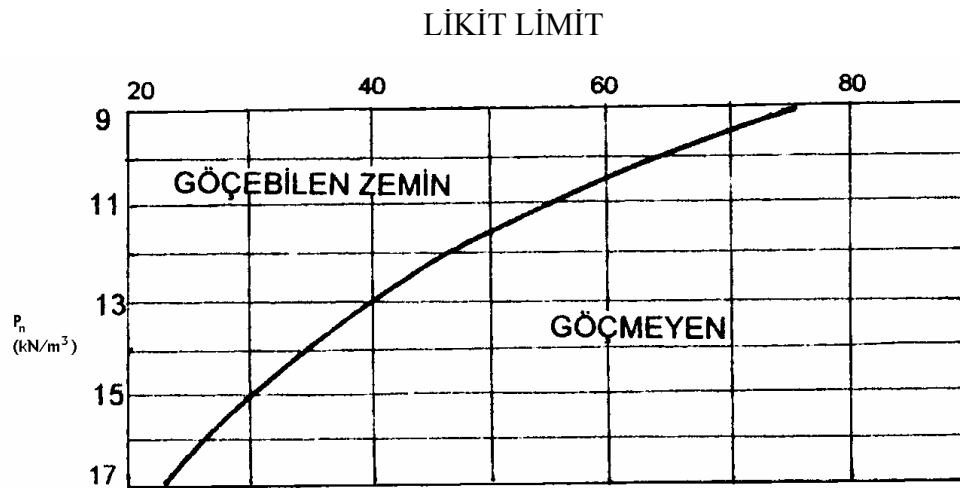
$$GP = 48.5 + 0.102C_U + 0.46w_n + 3.53p_d + 2.8 \ln(p_c)$$

Bu denklem laboratuarda sıkıştırılarak hazırlanmış örneklerden elde edilmiş sonuçları yansıtmaktadır.

Göçme potansiyelini en fazla etkileyen parametrelerinin doğal birim hacim ağırlık olduğu da burada söylenebilir. (Şekil 2.3.) de göçebilen zeminlerin tanınması için bir bağıntı verilmiştir.

2.4. Dağınık Yapılı Killer

Killi zeminlerden bazıları suyla karşılaştıklarında yapılarına bağlı olarak dengesizlik belirtileri gösterirler. Bunun en açık örneği bazı zeminlerin yağışta çok kolay erozyona uğramalarıdır. Buna karşın, diğerleri suyla bir arada buldukları halde etkilenmemektedir. Böyle bir özellik kanal, toprak baraj gibi su yapılarında kilin kolayca borulanmasına olanak sağladığı için tehlikeli olabilir [7]. Dağınık yapılı zeminlerin (dispersive) özelliği boşluk suyunun içerdiği sodyum kationlarının diğerlerine oranla çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Dağınık yapı ya da sodyum adsorpsiyon katsayısı (SAR) kationların milieşdeğer/lt türünden ölçümüyle

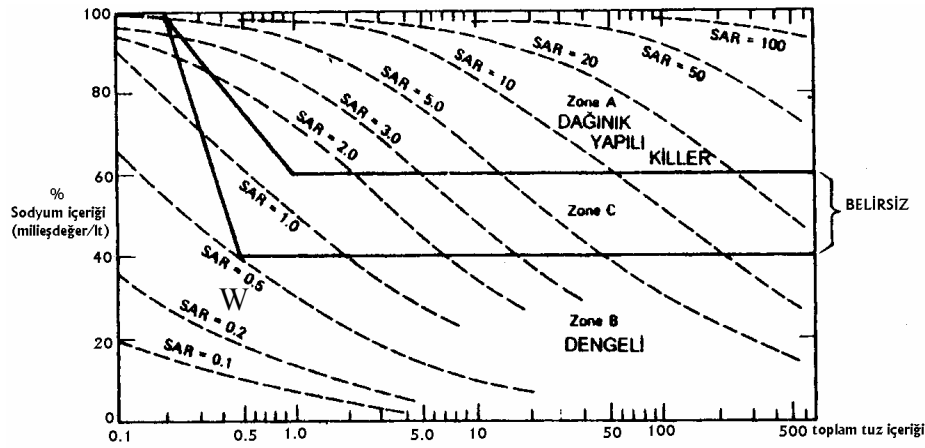


Şekil 2.3. Zeminlerde göçebilirlik sınıflandırması

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{0.5(Ca + Mg)}}$$

şeklinde ifade edilir. Dağınık yapılı zemin sınıflandırma tablosuna girebilmek için SAR'nin tayini gerekmektedir. Buna ek olarak, dağınık yapılı killerin tanımlanması çift hidrometre iğne deliği; ve ufalanma deneyleri ile de yapılabilmektedir. Son araştırmalar tanımlamanın kilin kation değiştirme kapasitesi (CEC) ile değiştirebilir sodyum kationu yüzdesi ile daha sağlıklı yapılabileceğini göstermektedir ve bu tür zeminlerin kil içeriğinin % 12'den fazla olması gerektiği bulunmuştur. (Şekil 2.4.)

zeminlerin dağınık yapılı olarak tanımlanabilmeleri için A-Bölgesine girmeleri gerektiği gösterilmektedir. Ayrıca bu bölgedeki killerin SAR değerinin de 2 nin üstünde olması gerekmektedir. Dağınık yapının tanınması için günümüzde en etkin yol çift hidrometre veya iğne deliği deneyini uygulamaktır (pinhole test – ASTM 4947). Deneyde numuneye açılan 1mm çaplı delikten 50 mm hidrolik yük altında geçen arı suyun numuneden söküp alabildiği kil miktarına bağlı olarak sınıflandırma yapılmaktadır. Ancak ölçüm ve sınıflama göz kararına bağlı olduğundan deney sonuçları yapanın hatalarını kolayca yansıtabilir.



Şekil 2.4. Dağınık yapılı zeminlerin tanınması

2.5. Donmaya Duyarlı Zeminler

Yer altı su seviyesinin donan bölgeye yakın olması (açık sistem), hatta uzak ya da hiç bulunmaması durumunda (kapalı sistem) zemin sıcaklığı en az -2°C a düştüğünde zeminin, içerdiği suyun donma sonucu göstereceği %9 luk hacim artışının üstünde bir kabarma yapabileceği görülecektir. Bu olay ulaşım yolları, soğuk hava depoları ve dayanma yapılarında üst yapı hasarını beraberinde getirdiğinden özellikle soğuk iklimli ülkelerde ciddi bir sorun olarak belirmektedir [8].

BÖLÜM 3. DOLGU ALTINDAKİ YUMUŞAK ZEMİNDE OLUŞAN DEFORMASYONLAR

3.1. Giriş

Yumuşak zeminler üzerinde toprak dolgu inşaatına yönelik geoteknik tasarımın en önemli iki kriteri oturmaların tahmini ve stabilite şartlarının saptanması ve sağlanmasıdır. Yumuşak zeminlerdeki oturma problemini zeminde oluşan çeşitli tipteki deformasyonları (oturma, yatay deformasyon ve deplasman v.s.) kapsayacak biçimde ve hacim değişiklikleri şeklinde ifade etmek problemin bileşenlerini tanımlamak bakımından yararlı olacaktır [9]. Yumuşak zeminler üzerindeki dolgu problemi incelenirken ilginç olan husus, stabilite ve hacim değişimi kriterlerinin içiçe ve birbirine bağlı oluşudur. Oturmalar kaçınılmaz bir biçimde yanal deformasyonlarla ilintilidir, diğer taraftan yanal deformasyonlar stabilitenin dolaylı göstergeleridir.

Yumuşak zeminler üzerindeki dolguların tasarımında, stabilite gözetilmesi gereken ilk kriter ise de deformasyonların oluşum, yön, şekil ve miktarının tayin ve kontrol edilmesi hem stabilitenin kontrol ve korunması, hem de yapının servis yeterliliği bakımından aynı derecede öneme sahiptir. Dolgu altındaki yumuşak zeminde oluşan deformasyonlar, oturmalar ve yanal deplasmanlar şeklinde belli başlı iki yönde oluşurlar.

3.2. Oturmalar

Bir zemin tabakası yüklendiğinde meydana gelen sıkışma elastik, plastik deformasyonlar ve konsolidasyonun bir bileşkesidir Konsolidasyonun da zamana bağlı plastik deformasyon olduğu unutulmamalıdır [9]. Yük uygulanır uygulanmaz oluşan elastik deformasyonlar yük kaldırıldığında geri dönen özelliğe

sahiptir. Bu deformasyon tipi dolgu yükleme devrelerinde oluşur ve ani oturma olarak isimlendirilir. Zeminde hacim değişimi olmaksızın meydana gelen şekil değiştirmenin sonucudur. Sabit hacim şartı altında düşük permeabiliteye sahip doymuş zemin için geçerli olan idealize edilmiş bir kavramdır.

Yüzeysel yükler altındaki yumuşak zeminlerde oluşan ani oturmalar zeminin elastik özelliklere sahip olduğu kabulüyle elastik teoriye dayandırılarak çözülür.

Ani oturmaların hesaplanması için Bjerrum'un önerdiği denklem kullanılmaktadır [10].

$$S_i = \frac{qxBx(1 - v_u)^2}{E_u} xIt$$

Burada E_u = zeminin drenajsız elastisite modülü, v_u = drenajsız poisson oranı, B taban genişliği, I_t temel ve kil depozitin geometrisine bağlı olarak bulunan tesir sayısıdır.

Drenajsız duruma uyan v_u değeri olarak 0.2 alınır. E_u 'nın zemin için sabit bir değer olarak seçilmesi pek geçerli bir kabul değildir. Çünkü E_u gerilme izi, gerilme seviyesi ve deformasyon hızına bağlıdır. Bu sebeple E_u ile drenajsız kayma mukavemeti c_u arasında amprik bağıntılar bulmaya yönelik çalışmalar vardır. Bu çalışmalardan ve 80 ile 2000 arasında değişen $\frac{E_u}{C_u}$ değerlerinden yararlanarak

D'Appolonia ve diğerleri, $\frac{E_u}{C_u}$ değerinin 1200 olarak seçilmesinin düşük plastisiteli killer için uygun olacağını ifade etmişlerdir [11].

Yumuşak zeminlerin yüklenmesiyle meydana gelen deformasyon ve oturmaların içinde ani oturmaların payı azdır. Bu bakımdan en büyük pay konsolidasyon oturmalarına aittir.

Dolgu inşaatının tamamlanmasından sonra doymuş temel zemini içindeki suyun sabit basınç altında drene olmasıyla oluşan konsolidasyon oturmaları tek

kademede inşa edilen dolgularda oturmaların en büyük kısmını oluşturmaktadır. Aşamalı olarak inşa edilen dolgularda ise temel zemininde boşluk suyu basıncının sönmelenmesine bağlı olarak meydana gelen sıkılaşıma ve mukavemet artışından yararlanıldığından konsolidasyon devresinin süresi ve ulaşılan konsolidasyon derecesinin hesaplanması özellikle önemlidir.

Terzaghi tarafından $e_2 = e_3 = 0$ şartıyla geliştirilen tek yönlü konsolidasyon teorisi boşluk oranı, deformasyon ve efektif gerilmeler arasındaki bağıntıların kolaylıkla kurulmasına imkan verir. Özellikle büyük alan kaplayan dolgular altındaki konsolidasyon problemine uygun bir çözüm getirmektedir [9].

Terzaghi teorisinin zamandan bağımsız doğrusal bağıntısı boşluk oranında meydana gelen azalma değerlerine bağlı olarak hacim değişimi cinsinden konsolidasyon problemine çözüm getirmektedir.

$$\frac{\Delta e}{1 + e_0} = \Delta \varepsilon_v = m_v \times \Delta \sigma'_v$$

Burada m_v = hacimsel sıkışma sayısı, e_0 = başlangıç boşluk oranı ve $\Delta \varepsilon$ = efektif düşey gerilme artışına bağlı olarak boşluk oranında meydana gelen azalma değerlerini göstermektedir. $\Delta \varepsilon_v$ değerlerinin yumuşak zemin tabakasının “H” kalınlığı için entegre edilmesiyle “H” kalınlığındaki yumuşak zeminde meydana gelecek toplam konsolidasyon oturması bulunabilir. Diğer taraftan m_v değerinin yüke bağlı olarak değişiminin takibi zorluğundan kurtulmak için konsolidasyon oturması hesaplarında çoğunlukla aşağıdaki ifade tercih edilmektedir.

$$S_c = \frac{H}{1 + e_0} \times \left(C_s \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v_0}} + C_c \log \frac{\sigma'_{v_0} + \Delta \sigma'_v}{\sigma'_p} \right)$$

C_c = sıkışma indisi, C_s = tekrar yükleme indisi, σ'_{v_0} = önkonsolidasyon basıncı; σ'_p = yüklemenden önce zemindeki düşey basınç.

Toplam oturmaları hesaplamak için ani oturmalarla konsolidasyon oturmalarını toplamak gerekir. Ancak bu arada sabit efektif gerilme altında zamana bağlı olarak gelişen krip oturmalarının da yumuşak zeminler bakımından önemli değerlere ulaştığını unutmamak gerekir. Krip oturmaları çoğunlukla

$$S_s = \frac{D}{1+e_0} \times C_\alpha \log \frac{t_i + t}{t_i}$$

formülü ile hesaplanır. Burada

t_i = Başlangıç zamanı,

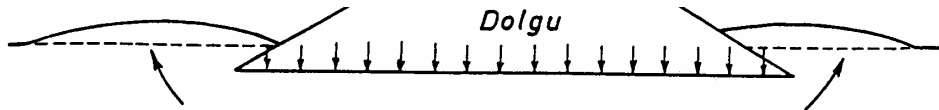
t = Dolgu için beklenen servis bölümü,

C_α = Uzun süreli odometre deneyleri ile ölçülen ikincil oturma katsayısı,

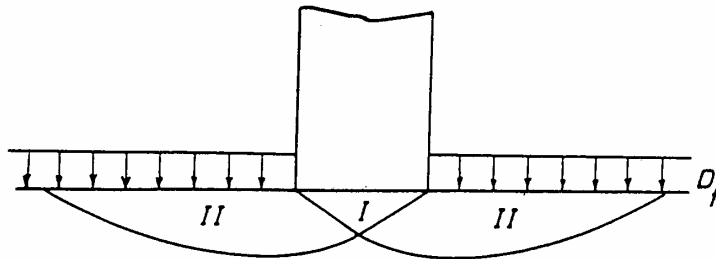
D = Tabaka derinliği'dir.

3.3. Yanal Akma Davranışı

(Şekil 3.1.) de dolgu inşaatı başlangıç devrelerinde meydana gelen yanal akma hareketi görülmektedir. Burada görülen akma hareketi, ilk aşamada zeminin kayma mukavemetine bağlı olarak az veya çok oluşur. Bu durumda zemin dolgu altından dışarıya doğru kaçar. (Şekil 3.2.) de göçme mekanizması görülmektedir.



Şekil 3.1. Dolgu inşaatı başlangıç devrelerinde meydana gelen yanal akma



Şekil 3.2. Göçme mekanizması

Bir bakıma dolgunun oturduğu seviyede taşıma gücünün yeterli olmasını sağlayacak karşı ağırlık sağlanana kadar bu hareket devam eder [9].

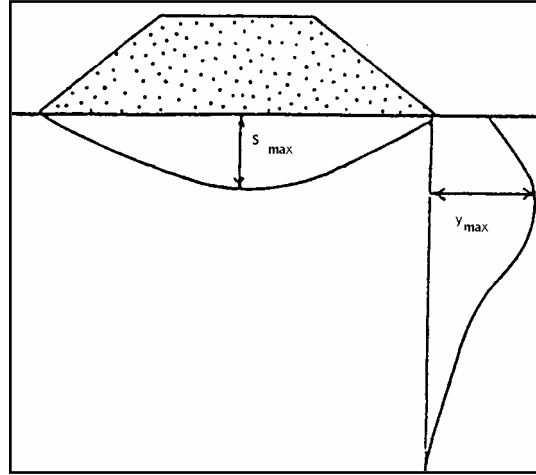
Drenajsız yükleme aşamasında meydana gelen akmanın sebep olduğu oturmalar toplam oturmalara önemli katkıda bulunmaktadır ve bu katkının miktarı ani oturmalarinkinden çok daha fazladır.

3.4. Yanal Akma – Oturma İlişkisi

Son yıllarda aletsel gözleme ve ölçümleme tekniklerinin yaygın kullanımı dolgu altındaki yumuşak zeminde gelişen oturma ve yanal akma hareketlerinin tip, miktar ve yönleri konusunda geniş bir bilgi birikiminin oluşmasını sağlamaktadır.

Aşamalı olarak inşa edilen dolgulara yükleme devresine ait oturma ölçümleri bu devrede oluşabilecek bir miktar konsolidasyonun sebep olabileceğinden çok fazlaysa zemin içinde aşırı kayma deformasyonlarının oluştuğunu gösterirler ve dolayısıyla olası bir göçmenin habercisidirler. Diğer taraftan temel dengesinin güvenilirlik derecesini takip edebilmek bakımından yatay yer değiştirme hareketleri çok daha geçerli göstergelerdir. Yatay deformasyonlar drenajsız yükleme sonucunda zemin bünyesinde oluşan kayma davranışından doğrudan etkilenir. Yükleme devrelerinde de kripe bağlı olarak bir miktar oturma ve yanal hareket görülebilir. Konsolidasyon devrelerinde oturmalar artar ve yanal deformasyonlarda, zeminin sıkışmasına bağlı olarak azalma meydana gelir. Fakat bu azalma kripe bağlı oturma ve yanal deformasyon artışıyla gölgelenir.

Yatay deplasmanlarla düşey oturmalar arasındaki ilişkiyi veren bağıntı ve uyum ifadeleri dolgu altındaki yumuşak zeminde oluşabilecek davranış mekanizmasını anlamak bakımından önemlidir. (Şekil 3.3.) dolgu altındaki yumuşak zeminde gözlenen oturma ve yanal akma hareketleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Dolgu altındaki yumuşak zeminde oturma ve yanal akma

Çeşitli araştırmacılar dolgu altındaki maksimum yatay deformasyon ile maksimum oturma arasındaki deformasyon oranı değerini ($DR = dy_{max}/ds_{max}$) bulmaya çalışmışlardır. Tavenas ve diğerleri (1979)'ne göre $DR = 0.18 \pm 0.09$ 'dur [12]. Suzuki ise $DR = 0.208 \pm 0.052$ istatistiksel bağıntısını elde etmiştir [13].

Benzer şekilde Ting ve diğerleri Malezya'da yumuşak kil üzerinde yapılmış dolguda yaptığı gözlemlerde $DR = 0.90$ oranı bulmuşlardır ve aynı anda stabilitenin bozulduğu rapor edilmiştir [14]. Yanal deformasyon artışının stabilite üzerindeki ters etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Tavenas ve diğerlerine göre yatay deplasman oluşumu, dolgu konstrüksiyonu sırasında güvenlik sayısı 1,3'ün altına düşünce hızla artmaktadır [15].

Yukarıda özetlenen bağıntılara ilaveten yatay deformasyon oluşum ve hız miktarı yüklemenin hızına büyük ölçüde bağlıdır. Yüklemenin hızı yatay deformasyonların oluşumunu iki zıt yönde etkiler [9].

1) Hızlı yükleme, drenajsız davranışın gerçekleşmesini sağlar ve büyük kayma deformasyonlarının oluşumuyla ortaya çıkan ani oturmaların değeri hacimsel olarak yanal akma miktarına hemen hemen eşittir.

2) Yükleme yeterince hızlı değilse ve/veya temel zemini bünyesindeki şartlar yükleme süresi içerisinde bir miktar konsolidasyonun da oluşumuna fırsat

verecek nitelikte ise konsolidasyon zeminin her yönde sıkışma ve sıkılaşmasına sebep olur, dolayısıyla konsolidasyonun etkisi yanal deformasyonları azaltıcı yöndededir.

BÖLÜM 4. YUMUŞAK ZEMİNLER ÜZERİNE İNŞA EDİLEN DOLGULARDAKİ PROBLEMLERİ ÖNLEYİCİ ÇÖZÜM YOLLARI

4.1. Giriş

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgulardaki problemleri önleyici çözüm yolları bu bölümde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar zemin iyileştirme yöntemleri ve zemin güçlendirme yöntemleridir.

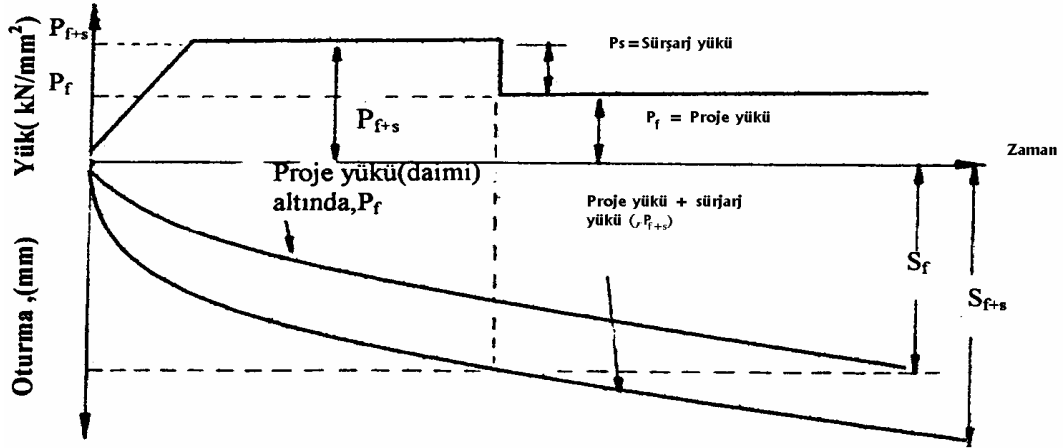
4.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin iyileştirmenin birçok yöntemi bulunmaktadır. Konumuzun yumuşak zeminler olması nedeniyle burada bu yöntemlerin bir kısmına değinilmiştir. Ancak Bazı yöntemlerin yumuşak zeminlerin dışındaki zeminlerde ki durumlarında değinilmiştir.

4.2.1. Önyükleme ve sürşarz

Ön yükleme yapının inşasından önce zeminin genellikle yayılı toprak yükü ile yüklenmesidir. Yumuşak kil tabakaların taşıma gücünü arttırmak ve inşa olunacak yapı altında meydana gelecek oturmaları azaltmak için en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi önyükleme yapmaktır. Zemine yüklenen yükün proje yükünden fazlasına sürşarz yükü denir. Bu yöntem zemindeki oturmaları hızlandırmak içindir. Ön yükleme ile birlikte sürşarz yükleri ve düşey drenler kullanılabilir. Bu yöntemde zeminin primer ve sekonder konsolidasyon oturmalarına ve killi zeminin drenajsız mukavemet artışlarına sebep olur. Uygulama alanı yumuşak sıkışabilir nitelikteki zeminlerdir. Amaç inşaat sırasında ve sonrasında oturmaları en aza indirmektir.

(2H) kalınlığında konsolide olmuş bir zemin tabakasının bir boyutlu toplam konsolidasyon oturması, proje yükü altında (Şekil 4.1.)



Şekil 4.1. Ön yükleme mekaniği

$$S_f = \frac{2H}{1+e_0} \cdot c_c \cdot \log\left(\frac{\sigma_{vo}^{G'} + P_f}{\sigma_{vo}'}\right) \quad \dots\dots\dots 1$$

Proje yükü + sürşarz yükü altında;

$$S_{f+s} = \frac{2H}{1+e_0} \cdot c_c \cdot \log\left(\frac{\sigma_{vo}' + P_f}{\sigma_{vo}'}\right) \quad \dots\dots\dots 2$$

(1) ve (2) ifadeleri arasında ki oran, proje yükü altındaki oturmaların proje + sürşarz yükü altındaki oturmalara yüzdesi veya konsolidasyon yüzdesidir.

$$U_z = S_f / S_{f+s}$$

Bu konsolidasyon yüzdesine karşı gelen zamana (t_{sr}) kadar zemin üzerinde tutulan bir proje + sürşarz yükü, proje yükü altındaki oturmaların tamamını karşılamaktadır. Ön yükleme projelerinde genellikle ya proje yükü altında ve kısıtlı zaman limiti içinde oturmaları kaldırmak veya azaltmak için sürşarz miktarı hesaplanır ya da belirli sürşarz yük seviyesi için oturmaların belirli bir miktar azaltılması için sürşarz

bekletme zamanı (t_{sr}) hesaplanır.

Yukarıdaki yöntem ve hesaplar, yüklemeler zeminin geçmişteki en fazla konsolidasyon basıncı aşabiliyorsa geçerlidir.

Organik zeminler gibi bazı zeminler artık boşluk basınçları söndükten sonra oturmaya devam ederler. Sekonder oturma denilen bu tip deplasmanlardan önyükleme ile benzer şekilde kurtulmak mümkündür. Proje yükü (P_f) altında hem primer hem de sekonder oturmalar istenmiyor ise proje + sürşarj ($P_f + P_s$) yükü t_{sr} zamanı kadar etki ettirilebilir.

Sekonder oturmalar,

$$S_{sec} = (2H - S_f) \cdot C_a \cdot \log\left(\frac{t_s}{t_p}\right)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada ($2H - S_f$) primer konsolidasyon sonunda zemin tabakası kalınlığı, (C_a) sekonder oturma katsayısı, (t_s) ve (t_p) sekonder ve primer oturma zamanlarıdır. (t_s/t_p) oranı genellikle (10-15) alınabilir.

(1) ve (3) ifadelerin toplamı ($S_{st} = S_f + S_{cc}$) proje yükü + sürşarj ($P_f + P_s$) altındaki primer oturmalar ile karşılanır.

$$U_z = (S_f / S_{f+s}) / S_{f+s}$$

ifadesi ile benzer şekilde gerekli zaman sürşarj hesapları yapılır.

Önyükleme ve konsolidasyon sonucu kohezyonlu zeminin drenajsız mukavemeti artar. Bu durum kademeli inşaat tekniğinin esasıdır. Zayıf ve yumuşak zeminlerde önyükleme sırasında stabilite durumu hassasiyetle takip edilmelidir.

4.2.2. Düşey drenler

Kalın ve doğal ara drenaj bantları içermeyen kil tabakalarının mevcutiyyetinde ön yükleme için bekleme zamanları pratik sınırların dışında olmaktadır veya sürşarz yükseklikleri çok fazla hesaplanmaktadır. Ayrıca ani yüklemekten dolayı stabilite problemleri ortaya çıkabilmektedir.

Oturma hızlarını artırmak ve ön yükleme bekleme süresini kısaltmak için düşey drenler kullanılır. Düşey drenler drenaj yolunu azaltır. Boşluk suyu basınçları hızlı sönümlenir. Primer konsolidasyonda etkilidirler. Başarılı projeler için zeminde yükleme sonucu oluşan basıncın, geçmiş en fazla konsolidasyon basıncından büyük olması, primer konsolidasyon oturmalarının seviye olarak sekonder oturmalarından büyük olması ve tabii drenaj tabakalarının yaygın şekilde bulunmaması gerekmektedir.

Çok geçirgen bantlar ve çatlaklar drenlerin etkisini artırır, çünkü bunlar düşey drenlere yatay drenaj sağlarlar. Ancak sürekli ve çok sık karşılanılan geçirimli bant ve tabakalar düşey drenleri gereksiz kılmaktadır. Bu bakımdan yeterli zemin araştırmaları çok önemlidir. (Sürekli örnekler, statik sonda, saha permeabilite deneyleri gibi gerekli incelemeler yapılmalıdır.)

Düşey drenler uzun yıllardan beri kum doldurulmuş düşey kuyular -kum drenler olarak uygulanmıştır. Son yıllarda plastik şerit/keçe gibi yeni dren tipleri de yaygınlaşmıştır.

Kum drenler 20-60 cm çaplı 1.5-6 metre ara mesafeli içi kum doldurulmuş düşey kuyulardır. Deliklerin açılmasında en az örselenme olmasına permeabilitenin azalmamasına dikkat edilmelidir. Bu bakımdan delik açmak için burgu ile foraj yöntemi tercih edilmelidir.

Plastik/keçe veya karton drenler genellikle oluklu bir plastik kesitin etrafına sarılı geotekstil veya kartonlardan oluşmaktadır ve yaklaşık 10 cm x 0.4 cm kesitli olup makaraya takılmış şeritler ve yumuşak killi zeminlere itme ile yerleştirilir.

Düşey drenlerin hesabında her drenin etrafında silindirik bir kütlenin bağımsız olduğu ve sadece bu hacim içindeki zeminin drenajı ile etkilendiği ve zeminin sadece yatay (radyal) drenaj ile konsolide olduğu, yatay permeabilite ve konsolidasyon katsayılarının (k_h ve c_h) sabit kaldığı kabul edilmektedir.

Belirli bir ara mesafesinde ve çapta düşey drenler kullanıldığında herhangi bir radyal (veya yatay) ortalama konsolidasyon derecesi (veya yüzdesi) (\bar{U}_h) için gerekli zaman aşağıdaki ifade ile hesap edilebilir.

$$t = \frac{d_e^2 \cdot \mu}{8 \cdot c_h} \ln \frac{1}{1 - \bar{U}_h}$$

Burada (c_h); yatay konsolidasyon katsayısı, (d_e); bir düşey drenin etki çapı (Şekil 4.2.), $\mu = (\ln n - 0.75)$ ve $n = d_c / d_w$ 'dir (d_w ; dren kuyu çapı)

Yatay konsolidasyon katsayısı önemli olup

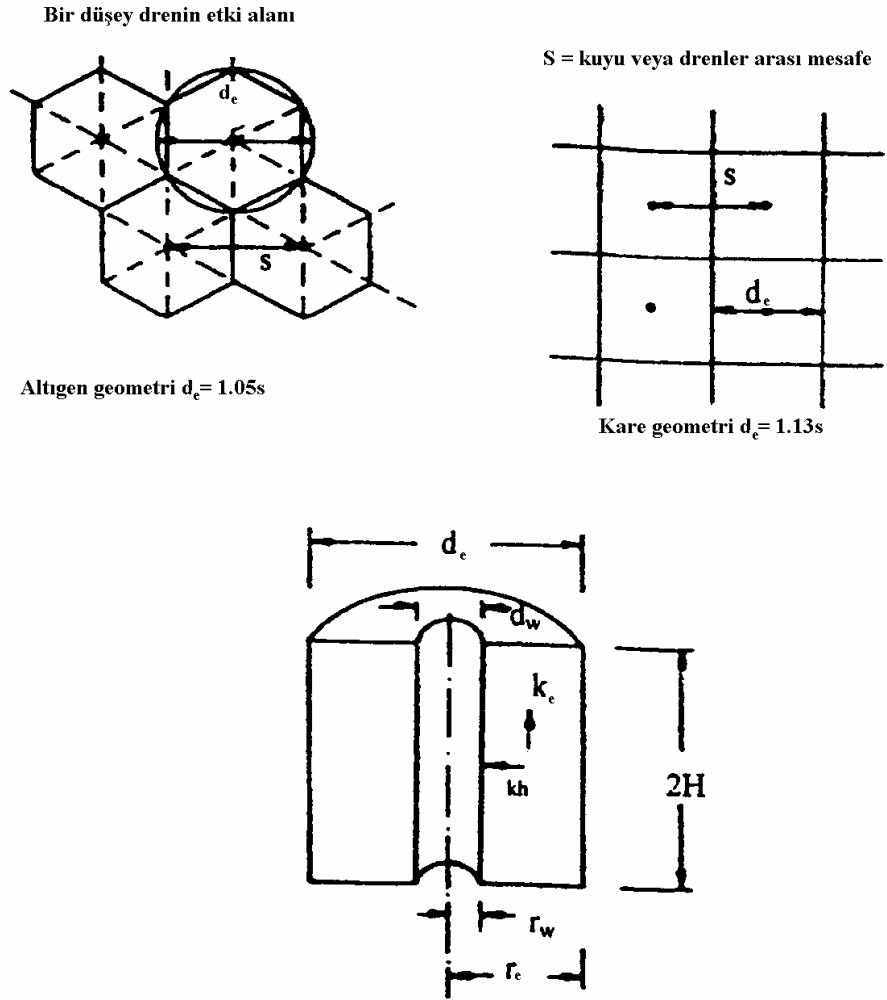
$$c_h = d_e^2 T_h / t = \frac{k_h}{m_v \gamma_w}$$

ifadeleri ile verilebilir. (T_h : yatay zaman faktörü) (c_h) katsayısının yatay drenaj mekanizması sırasında (k_h , yatay permeabilite) oturma (düşey sıkışma ve deplasman) ile ilişkili olduğu unutulmamalıdır. Bu bakımdan en iyi (c_h) belirleme yöntemi saha düşey dren denemelerinden sonra laboratuvar konsolidasyon deneyleri ve saha permeabilite deneyleri yapılmasıdır.

Düşey drenler ile radyal konsolidasyon sırasında zemin içerisinde bir miktar da düşey konsolidasyon oluşmaktadır. 3 Boyutlu konsolidasyon yüzdesi veya derecesi (\bar{U})

$$(1 - \bar{U}) = (1 - \bar{U}_h)(1 - \bar{U}_v)$$

ifadesi ile bulunabilmektedir. Burada (\overline{U}_v) ortalama düşey konsolidasyon yüzdesidir. Plastik dren halinde dren çevresi silindirik kuyu çapına çevrilmelidir. Düşey dren projelerinde oturma ölçer aletler ve boşluk suyu ölçümleri projenin sıhhati açısından önem taşımaktadır [16].

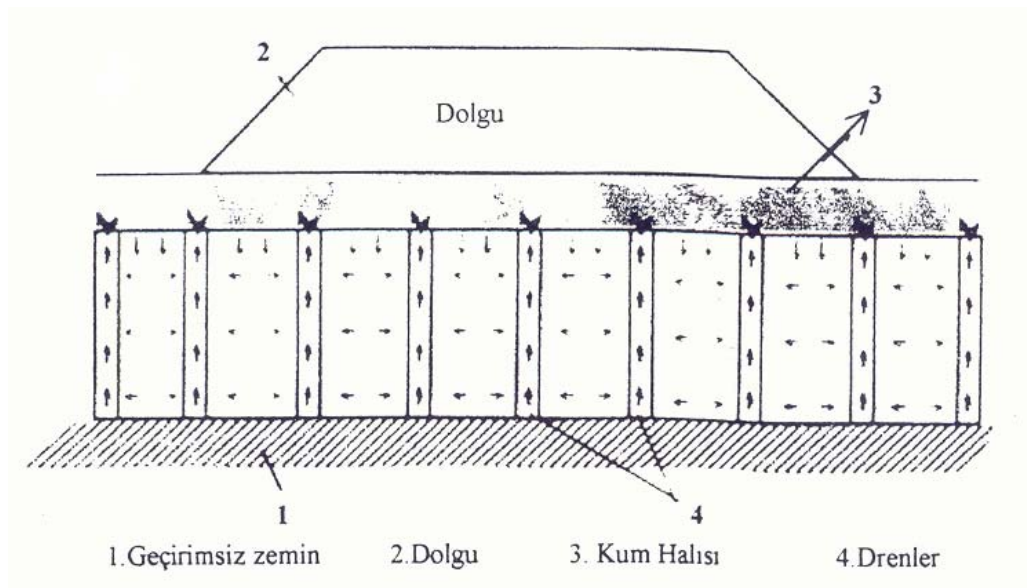


Şekil 4.2. Düşey dren geometrisi

4.2.2.1. Düşey kum drenleri

Drenaj konsolidasyon teorisine göre, doymun zeminlerin konsolidasyon zamanı, drenaj yüzeyine kadar olan mesafesinin karesi ile orantılıdır. En fazla 20 m uzunluğunda ve 2 ile 5 m aralığında düşey drenler kil zemin tabakasının içine konulur. Böylece konsolidasyon zamanını azaltmak ve drenajlı yatay mesafe bir

şekilde azaltılabilir. Düşey kum drenlere doğru boşluk suyunu çekmek için bazen 10 ile 15 m yükseklikli önyüklem dolgusu kullanılır.



Şekil 4.3. Düşey kum drenlerin çalışma şeması

Düşey kum drenlerin üzerine en az 0.6 ile 1 m kalınlığında bir kum tabakası konulur. Bu kum halısı drenlerden çıkan suyu toplar. Ayrıca kum halısı yatay drenaj yüzeyini kullanır. Kil zeminin üst tabakasının boşluk suyu yatay kum halısına doğru düşey olarak akar

İnşaat sahasında drenaj yapımında gerekli olan iş makinalarının hareket edebilmesi için en az 50 cm kalınlığında bir kum halısı ile tabi zemini yeniden örtmekle işe başlanır. Kum drenlerini yapmak için kazık çakmaya yarayan iş makinaları kullanılmaktadır.

4.2.2.2. Karton drenler

Kumun kullanımı zahmetli çalışmaları gerektirmektedir. Ayrıca kumun uzak mesafelerden taşınması gerekebilir. Aynı zamanda tüm alan üzerinde istif edilmesi gibi durumları beraberinde getirmektedir. Bu çalışmaları azaltmak için, kumun bulunmadığı durumlarda karton drenler kullanılabilir, kartonlar 3x100 mm'lik yapışmayan cinstendir. Birbirini takip eden boyuna kanalların

kesiti 3 mm'ye varabilir. Karton drenlere bakteriler tarafından zarar verilmemesi için önceden arsenik tuzuna bastırmak gerekir. Islanmış drenin yanal yüzeyinin permeabilite katsayısı kendisini çevreleyen kil zeminin permeabilite katsayısından 100 ile 1000 defa daha yüksektir.

Karton drenlerin kum drenlerine göre avantajları vardır. Örneğin; fabrikada imal edilebilmesi, hafif olması, taşımalarının kolay olması ve yüksek kapasiteli makinalarla konulması gibi vs. durumlardır.

4.2.3. Kireç kazıkları

Kireç kazıkları aşağıdaki şekilde yapılırlar;

Kil zemin tabakasının içine çapı 30 ile 50 cm arasındaki ölçülerde bir kuyu açılır. Eğer, açılan düşey kuyudaki zemin kendini tutamıyorsa, kuyu bir muhafaza borusu ile açılabilir. Sonra açılan kuyunun içi sönmemiş kireç ile doldurulur. Muhafaza borusu kullanılıncaya, borunun içerisinde en az 1 m olacak şekilde, kireç borunun içine boşaltılır. Daha sonra 300 ile 400 kg ağırlığında bir tokmakla sıkıştırılır.

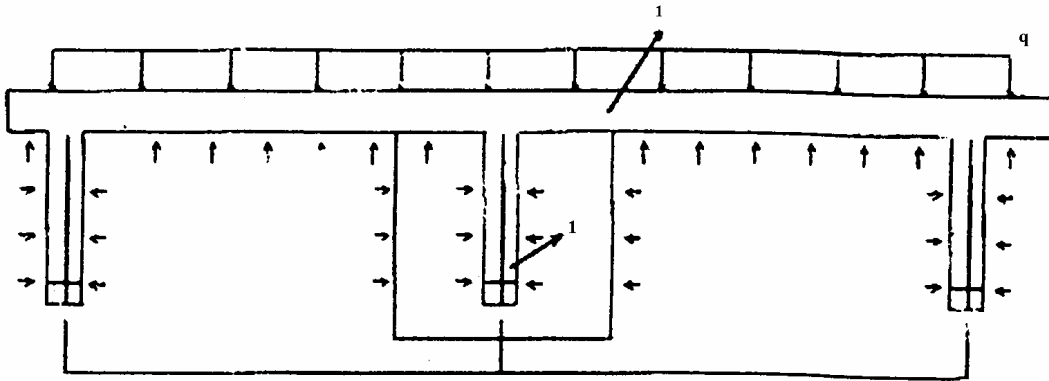
Bu yöntem ile sıkıştırma birkaç aşamada olur.

- 1- Kapalı borunun zemin içinde kuyu açmasından ileri gelen sıkıştırma.
- 2- Borunun içine boşaltılan sönmemiş kirecin tokmaklanmasından ileri gelen sıkışma.
- 3- Sönmemiş kireç kil zeminin boşluk suyu ile reaksiyona girer ve kirecin sönme süresi boyunca kireç kazığının çapı bazı durumlarda %60 ile %80 artar.

Ayrıca, kirecin sönmesi esnasında büyük miktarda ısı açığa çıkar. Kazık içinde sıcaklık 300°C'ye ulaşabilir. Bu ısı etkisi altında büyük miktarda boşluk suyu buharlaşır. Su muhtevası azalarak zeminin kalitesi iyileşir. Böylece, zemin ile sönmemiş kirecin karşılıklı etkileşimi zemini fiziksel ve kimyasal olarak kuvvetlendirilir. Şunu da belirtmek gerekir ki bu kuvvetlenme o anda kazığın yakınındadır. Bu etkinin kazıklar arası yayılımı birkaç ayı bulabilir. Kum kazıklarından farklı olarak, kireç kazıkları geçirgen değildir. Bu nedenle sönme süresi devam ettikçe kısa bir zaman aralığında sadece dren olarak davranırlar.

4.2.4. Drenaj hendekleri

Çok sıkılabilir yumuşak kıl zeminlerin üzerine büyük çaplı yapılar inşa edileceği zaman, 7 m'den küçük kalınlıktaki bir zeminde birçok sayıda kum drenleri ile konsolidasyonu hızlandırmaktansa düşey drenaj hendekleriyle konsolidasyonu hızlandırmak oldukça ekonomiktir.



Şekil 4.4. Düşey hendeklerin çalışma prensibi

Bu hendekler 5.5 m'den küçük derinlikte düşey hendek olarak adlandırılırlar. 60 ile 80.cm genişliğinde kum ile doldurulmuş olabilir. Hendeklerin üzerine yatay kum halısı serilir. Hendekler açılır açılmaz, bu hendekler kum veya kum çakıl karışımlı malzeme ile doldurulurlar. Düşey kum drenleri ile mukayese edildiğinde, drenaj hendeklerinin çok büyük miktarda kum gerektirdiğini göz önüne almak gerekir. Ayrıca derinlik daha azdır. Buna karşılık gerçekleştirme kolaylığı, çalışma hızı ve yapımında tüm gerekli çalışmaları yerine getirme imkanı gibi avantajlarda vardır [17].

4.2.5. Derin sıkıştırma

Zeminlerin iyileştirilmesindeki esas amaçlardan biri aşırı oturmaları önlemektir. Gevşek kohezyonsuz zeminlerde stabilite ve oturma problemleriyle karşılaşmazken sıvılaşma olayına sık rastlanılmaktadır. Özellikle dinamik hareketlerin çok olduğu bölgelerde suya doymuş zeminlerde karşılaşılan bu tip problemlerde, zemin sıkılması yapılmaktadır.

Bu yöntem çeşitli derinliklerde bulunan suya doymuş gevşek kohezyonsuz zemin tabakasının derinliği boyunca sıkılaştırılması ve olası bir dinamik yük (deprem) karşısında sıvılaşmasını önlemek amacıyla yapılır. Bu yöntemde ağırlığı 5-40 ton olabilen bir ağırlık 5-35m yükseklikten bir vinç yardımıyla birkaç metre aralıklarla, zemin yüzeyine düşürülür.

Bu tip yöntemlerin belli başlıları sıralanırsa;

- a) Vibro kompaksiyon veya vibroflotasyon.
- b) Vibro(titreşimli) boru, çubuk veya sondalar,
- c) Kompaksiyon kazıkları,
- d) Dinamik kompaksiyon (veya konsolidasyon) ağırlık düşürme.
- e) Patlatma.

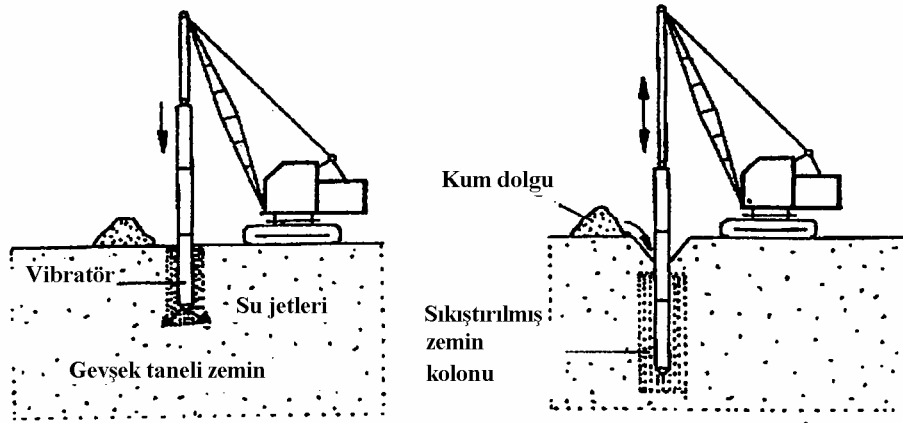
4.2.5.1. Vibro kompaksiyon

Vibratör (veya vibroflot) denilen sonda, bir paletli vinç ve uzatma boruları vasıtası ile kendi ağırlığı ve üzerindeki su jeti yardımı ile titreştirilerek zemine sokulur. Vibratör çap, boy ve ağırlıkları değişiklikler göstermekle birlikte 40 cm çapında, 3 m boyunda ve 3 ton ağırlığında bir vibratör orta boy bir ekipman kabul edilebilir. Vibrasyon genlikleri ile zemine büyük dinamik yükler verilmektedir. Vibroflot 1-2m/dak. hızla gevşek zeminlere girer. Titreşen zemin oturur ve vibratörün çevresinde bir çöküntü konisi oluşur. Sahaya getirilen kum- çakıl yüzeyden bu boşluğa doldurularak zemin devamlı doldurulur. Proje derinliğine inen titreşimli sonda üstten malzeme eklenirken zemini sıkıştırarak yavaş yavaş yukarı çekilir.(0.3m/dak. gibi). İyileştirme noktasında sonda çapından daha büyük sıkı bir kolon oluşturulmuş olur. Rezonans kompaksiyon yöntemi, vibro kompaksiyon yönteminin yeni bir şekli olup vibratör zemine indirildikten sonra frekansı değiştirerek zeminin rezonans frekansına ayarlamakta ve zemin amplifikasyona uğrayarak daha iyi sıkışmaktadır.

Vibrasyon kaynaklı aşağıdaki diğer yöntemler esas olarak kohezyonsuz zeminlere uygulanabilir ve inceler oranı (%< No.200 elek) genellikle en fazla %

20 civarında olmalıdır. Vibrokompaksiyon projelerinin tasarımında iyileştirme yapılacak noktaların aralığı, derinliği, planda geometrisi ve uygulama noktaları arasında hedeflenen izafi sıklık belirlenir.

Proje tipi ve yerel şartlara göre değişmesine rağmen aşırı oturmalar ve sıvılaşmanın önlenmesi için genellikle % 75 civarında bir izafi sıklık proje kriteri olarak kullanılmaktadır. Uygulama aralığı 1.5-3.0 m arasında değişmektedir.



Şekil 4.5. Vibrokompaksiyon yöntemi.

4.2.5.2. Titreşimli boru ve çubuklar

Titreşimli boru veya çubuklar zemine sokularak zeminin sıkılaşması ve oturması sağlanmaktadır. Arazi üstten dolgu ile takviye edilerek kotlar tutturulmaktadır. Genellikle paletli vinçlerin sarkıttığı vibratörler kullanılmaktadır. Çeşitli çubuk ve sonda kesitleri uygulanmaktadır. Japon yöntemi vibro-kompozer vibroflotasyona daha fazla benzemektedir. Çünkü borunun yan çatalından kum beslenmekte ve muhafaza borusunun alt ucuna dolmakta olan kum sıkıştırma sırasında ayrıca hava basıncı ile itilmektedir.

4.2.5.3. Kompaksiyon kazıkları

Kompaksiyon kazığı tekniği kısaca zemine ucu kapalı çelik boruların kazık çekiçleri (klasik çekiç veya vibratör çekiç) ile çakılması ve içlerinin doldurularak çekilmesi esasına dayanmaktadır. Terk edilen uçlar veya özel ağızlı çarklar kullanılmaktadır. Burada zeminin radyal olarak deplasmana uğrayarak sıkışması ve çakım sırasında vibrasyondan etkilenerek oturması söz konusudur. 0.9-1.8 m uygulama mesafeleri kullanılmaktadır, incesi fazla olan zeminlerde de uygulanabilir olması pratik açıdan yöntemin önemini arttırmaktadır. Kum drenler ile karıştırılmamalıdır. Killi ve siltli zeminlerde oturma hızlarına katkıda bulunabilirler.

Değerlendirme yöntemleri :

İyileştirme yapılan zeminde değerlendirme yapılmazsa projenin başarısı veya istenen kriterlere uyup uymadığı belirlenmemektedir. İyileştirilmiş zemini değerlendirmek için aşağıdaki yöntemlerden biri veya birkaçı kullanılabilir;

- a) Yüzey oturma röperi,
- b) Eklenen zemin hacmi,
- c) Standart penetrasyon deneyi (SPT),
- d) Statik penetrasyon deneyi (CPT).
- e) Pressiometre deneyi (PMT),
- f) Sismik kayma dalgası hızı tayinleri (V_s),
- g) Satıhta ve derinde plaka taşıma deneyleri
- h) Kuyu yoğunluk ölçümü.

4.2.5.4. Dinamik konsolidasyon (Dinamik kompaksiyon), Yük düşürme

Ağır yüklerin belirli bir yükseklikten zeminin yüzeyine düşürülmesi ve zeminin sıkıştırılması esasına dayanmaktadır. Betonarme bloklar, beton doldurulmuş çelik saclar civatalanmış sert plakalar yük olarak kullanılmaktadır. 0.5-200 ton

arası yük uygulamaları yapılmıştır. Düşürülen yükseklikler 40 m'ye kadar çıkmaktadır, 15-20 ton ağırlıklar ve 15-20m'den düşürme, tipik bir uygulama örneğidir. Kalabalık yerleşim yerlerinde kullanılması uygun değildir. Yükün düştüğü alanda bir krater oluşmakta ve zemin sıkışmaktadır. Genellikle kare veya dikdörtgen düzende ve 5-10m aralıklı düşürme ara mesafeleri kullanılmaktadır. Sıkıştırılacak zemin derinliğine ve sıkıştırma kriterine göre aynı yere 5-10 kere düşürülebileceği gibi az sayıda değişik yerlere düşürülmesi ile sığ bir sıkıştırma yapılabilir.

Ekonomik sıkıştırma derinlikleri 10 m'ye kadardır. Aynı noktaya yapılan yük düşürmelerde krater devamlı granüler malmeze ile doldurularak malzemenin derinlere itilmesi sağlanır.

Uygulamaya başlamadan önce killi zeminlerde sahaya 1 m kadar taneli malzeme serilmektedir. Temel altlarına lokal uygulamalar yapılabilmektedir. Plastik ve doymuş killer genellikle bu yöntem için uygun değildir. Büyük projelerde deneme çalışmaları daima tavsiye edilmektedir. Sıkıştırmanın başarısı saha deneyleri ile ölçülmelidir.

4.2.6. Elektro-Ozmoz

Elektro-ozmoz, ince taneli zeminlerde bir anod ve katod ile bir doğru akım devresi kurarak zeminden suyu drene konsolide etme yöntemidir. Büyük olmayan sahalarda ve uygun zemin şartlarında tesirli ve ekonomik olabilmektedir. Anottan katoda doğru olan akım dolayısıyla anotta devamlı zemini stabilize edecek kimyasal maddeler eklendiğinde nokta kuyular genellikle suyu çekmek için katod olarak, çelik veya alüminyum çubuklar ise anod olarak kullanılır. En etkili tekrarlayan geometri bir nokta kuyunun etrafında hegzagonal şeklinde dizili altı adet metal çubuktur. Normal konsolide olmuş siltler ve siltli killer yöntem için en uygun zeminlerdir.

4.2.7. Dondurma ve ısıtma yöntemi

Dondurma yöntemi geçici iksa işlerinde ve yer altı su tablasının bulunduğu hallerde kullanışlı bir yöntemdir. Zemin destek ve kazı işlerinin yapılacağı yerde sondaj yöntemiyle delinir ve borular indirilerek dondurma tekniğinin tipine göre sistem kurulur. Planlı bir şekilde açılan delikler etrafında tekniğe göre belirli bir çapta donmuş zemin oluşur. Likit nitrojen veya karbondioksit kullanan sistemler birkaç saatte etkili olabileceğinden acil durumlarda tercih edilmektedir. Klasik soğutucu devrelerde günlerce veya haftalarca beklemek gerekmektedir. Zeminlere ısı iyileştirmesi özellikle lös zeminlerde uygulanmıştır. Basınçlı hava ve yakıt sondaj deliğine ağızdan kaçırılmayacak şekilde basılır. Deliğin etrafında ısı yükselmiş bir bölge oluşur. 300-1000 C° arası ısı kullanılmaktadır. Lös zeminlerin ısı sonucu sürtünme açılan ve kohezyonları artmakta, sıkışabilirlikleri azalmaktadır [16].

4.2.8. Enjeksiyon

Enjeksiyon, şırınga etmek anlamındadır. Bir kayanın sağlamlaştırılması ve geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla değişik karışumlu şerbetler enjeksiyonla kayaya gönderilir. Enjeksiyonun uygulama amaçları aşağıda sıralanmıştır,

- a) Yapı temeli ile temelin oturduğu kayanın birbirine bağlanması,
- b) Boşluk ve kırıkların doldurulması,
- c) Temele binecek yükün emniyetle taşınması,
- d) Baraj gölü alanı temeli ve gövdesinden olabilecek su kaçaklarının önlenmesidir.

İki tip enjeksiyon yapılabilir. Bunlar;

- a) Konsolidasyon (sağlamlaştırma)
- b) Geçirimsizliğin sağlanması (perde enjeksiyonu)

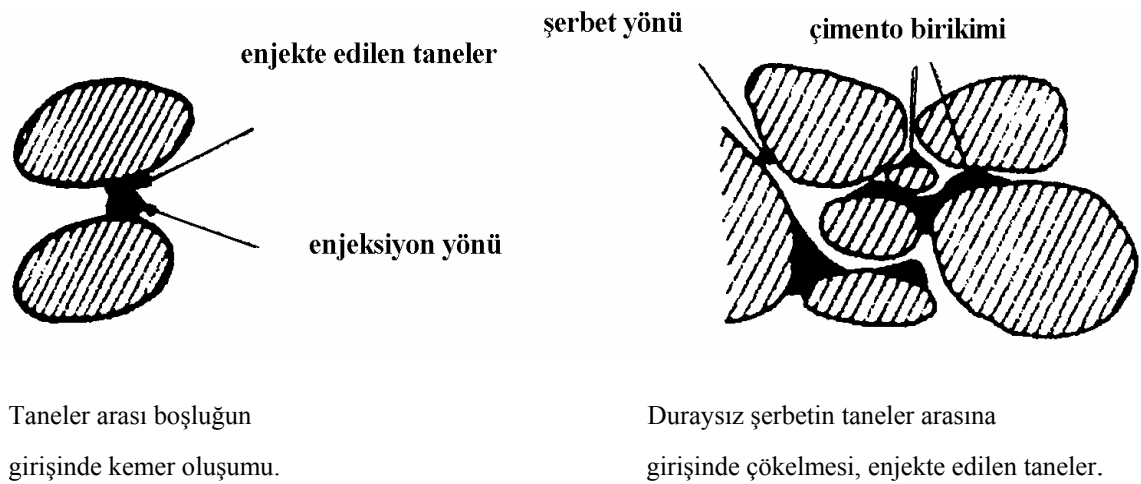
4.2.8.1. Enjeksiyon şerbeti çeşitleri

Başlıca 3 sınıfta açıklanabilir. Bunlar ;

- Sıvılar,
- Duraysız çözeltiler,
- Duraylı çözeltiler.

Sıvılar kimyasal ürünlerden meydana gelmişlerdir. Örneğin az veya çok reaktif katılmış ve eritilmiş sodyum silikat, sentetik reçine, saf hidrokarbon ürünleri gibi, duraysız çözeltiler suda çimentonun veya kaya tozunun basit çözeltileridir.

Duraylı çözeltiler kilin veya kil çimento ve kumun herhangi bir karışımının suda eritilmesiyle elde edilmişlerdir. Şerbet enjeksiyon sırasında hiçbir çökme göstermiyorsa duraylı kabul edilir [17].



Taneler arası boşluğun girişinde kemer oluşumu.

Duraysız şerbetin taneler arasına girişinde çökmesi, enjekte edilen taneler.

Şekil 4.6. Taneler arasında enjeksiyon detayı

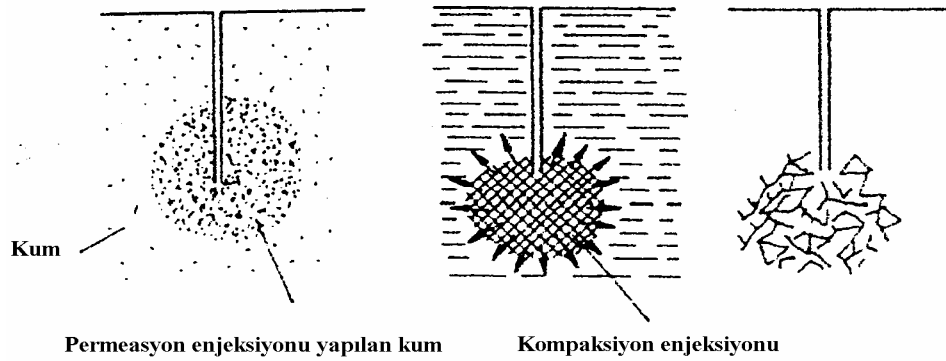
Temel enjeksiyonu uygulama alanları :

- Aşırı oturmaları önlemek amacıyla boşlukları doldurmada,
- Yeni yapılan ve mevcut yapıların büyütülmesi halinde zemin emniyet gerilmesinin arttırılmasında,
- Yer altı su akımını kontrol altına almada,
- Sınır hafriyatlarında veya kazık çakımı gibi işlemlerde gevşek veya orta

- gevşek kohezyonsuz zeminlerin oturmasını önlemede,
- e) Tünel kazıları sırasında deplasmanları (Yüzey - Yüzey altı) kontrolünde.
 - f) İksa problemlerini rahatlatmak amacı ile zemin güçlendirilmesinde,
 - g) Kazıkların yatay ve düşey kapasitelerini artırma amacı ile enjeksiyonunda.
 - h) Sıvılaşmaya karşı gevşek kum tabakalarını taşlaştırmada,
 - i) Temeli alttan desteklemek maksadıyla.
 - j) Şev stabilizasyonunda,
 - k) Şişen zeminlerin stabilizasyonunda kullanılmaktadır.

Enjeksiyon malzemesinin zemine yerleştirilmesi üç şekilde yapılabilir. Bunlar;

- 1) Permeasyon enjeksiyonu (Tanelerin konumunu bozmadan, taneler arası boşluklara girerek zemin hacmini ve yapısını değiştirmeden yapılan enjeksiyon)
- 2) Deplasman ve kompaksiyon enjeksiyonu (zemini tamamen deplase ederek enjeksiyon malzemesinin zemine sokulması şeklinde yapılan enjeksiyon) (koyu, beton kıvamı karışım).
- 3) Hidrolik çatlama veya zeminin içine belirli zayıf bölgeler itibari ile girerek kısmi deplasman enjeksiyonu (yapraklama)



Şekil 4.7. Ana enjeksiyon tipleri

4.2.9. Stabilizasyon

4.2.9.1. Mekanik stabilizasyon

Bir yolun temeli veya kaplaması gibi taneli bir yapının, yük altında yanal yer

değiştirmeye karşı dayanım özelliği varsa bu yapının mekanik olarak stabil olduğu söylenebilir. İyi bir mekanik stabil temel veya kaplama, genel olarak, kaba agrega(çakıl, kırmataş, curuf vs.) İnce agrega(tabii veya kırma çakıl, kum, vs.) silt ve kilin iyi bir şekilde oranlandırılmış, karışımından ibarettir. Malzeme miktarının iyi bir şekilde oranlandırılması ekonomik yol inşaatında çok önemlidir. Ayrıca tane büyüklüklerinin kontrolü bir yapım metodu olarak kabul edilebilir ve buna "mekanik stabilizasyon" adı verilir. Burada stabilizasyon kelimesi değişken su muhtevaları altında yük taşıma kapasitesinin sınır şartlarının arttırılmasını ifade etmektedir.

Zeminlerin granülometrilerinin ayarlanması prensibi, bir altyapıda mevcut olmayan tane çaplarına sahip malzemeyi altyapıya ekleyerek, düşük olan yük taşıma kapasitesini yüksetmeyi öngörür. Örneğin killi alt yapıya kum eklenebilir, veya tersi yapılabilir. Bu durumda mevcut zemin için dikkatle açıklanmış bir granülometri sağlanması gerekli olmayıp, mevcut zeminin malzemenin en belirgin eksikliğini gidermek mevcut granülometrisini ıslah etmek yeterlidir.

Uygulamalar:

Zeminlerin granülometresinin ve düşük kaliteli agreganın kontrolünün esas uygulama yeri, temel ve alt temel inşaatıdır. Normal agregalarla her cins yüzeysel temellerin hazırlanmasında, boşlukları minimuma indirmenin önemi iyi anlaşılmıştır, iyi bir şekilde tane dağılımı derecelendirilmiş zemin veya düşük kaliteli agreganın kullanılması, mevcut zeminin kullanılma sınırlarını genişletmek olarak kabul edilebilir.

Büyük uzunluklarda köy yollarına ihtiyaç duyulan ülkemizde, düşük taşıma gücüne sahip zeminlerde yol kaplaması olarak geniş çapta stabil toprak kullanılmaktadır. Bu cins kaplamalar, yerlerine geçtikleri mevcut toprak yollara göre büyük bir gelişmedir. Çünkü bu şekilde; daha ağır bir trafiği taşıyabilirler ve yılın daha geniş bir süresinde kullanılabilirler.

4.2.9.2. Kimyasal stabilizasyon

Çimento zemin stabilizasyonunda %5 ile %15 ağırlık oranında toprağa karıştırılarak bir toprak-çimento malzemesi meydana getirilir. Bu meydana gelen karışım, topraktan daha dirençli ve dayanıklıdır. Saf kohezyonlu ve organik zeminler dışındaki zeminlerde, bu yöntemin uygulanması uygundur.

Toprak çimentonun yol inşaatında ne şekilde kullanılacağı toprak tipine arazi şartlarına ve trafik hacmine bağlıdır. Tablo 4.1.'de, beton ve stabilize edilmemiş zeminlerin mukavemeti ile değişik zeminlerde çimento ile stabilizasyonun yapılması durumunda kırılma mukavemetlerinin değişme sınırları görülmektedir. Tablo 4.1. 'de verilen basınç mukavemeti değerleri konu hakkında genel bir fikir vermektedir.

Ağır trafik taşıyan karayollarında stabilize zemin temel tabakaları için kullanılamaz. Zemin stabilizasyonun kullanılma yerleri, düşük trafik yoğunluğundaki yeni gelişen iskan bölgeleri yollarında ve ana yolların alt temellerinde servis yolları, tersane, otopark, yaya yolu ve büyük su tanklarının temellerinde uygulanmaktadır.

Zemin cinsi çimento miktarı kompaksiyon ve karıştırma metodu toprak-çimento kalitesine tesir eden başlıca faktörlerdir. Çimento agrega taneleri arasında bağlayıcılık yapar. Genellikle Portland çimentosu kullanılır. Uygun çimento miktarı serbest basınç ve diğer taşıma gücü deneyleri ile belirlenmelidir.

Aşağıda verilen limitler Amerikan Karayolları araştırma dairesi tarafından ekonomik olarak stabilize edilecek zeminler için verilen değerlere dayanılarak hazırlanmıştır.

Dane Ölçüsü Dağılım Sınırları

Maksimum çap 3 inch (7.5 cm)			
3/16 inch BS elekten geçen	>	50%	
No.36BS	“	“	> 15%
No.200BS	“	“	< 50%

BS Plastisitesi Deneyi Sınırları

Likit Limit	<	40%
Plastisite indisi	<	18%

Tablo 4.1. Zemin beton ve takriben %10 çimento içeren toprak çimento karışımlarına ait tipik basınç mukavemetleri

Basınç Mukavemeti (kg/cm ²)	Malzeme	Teklif Olunan Kullanma Yeri
<0,7 0.7-2.8 2 8-7 0	Zeminler Kil, Turba, iyi sıkıştırılmış kumlu kil iyi sıkıştırılmış çakıl-kum kil karışımı	Alt yapı
<3.5 3.5 – 10.5 7.0-17.5 17.5-35.0 28.0-105.0 (Yaklaşık) Not; 280 kg/cm ² değerine varan mukavemetler elde edilmiştir.	Zemin-çimento Kil, organik zeminler Silt. siltli kil, çok fena derecelenmiş kum, az miktar organik zeminler Siltli kil, kumlu kil, fena derecelenmiş kum ve çakıl Siltli kum, kumlu kil, kum ve çakıl İyi derecelenmiş kum-kil veya çakıl-kum kil karışımları ve kumlar veya çakıllar	Kullanılmamalıdır. Çok kotu (zayıf) temel zemini üzerine alt temel Kötü temel zeminleri üzerine alttemel, yaya ve bisiklet yollar (kaplamalı) Ilıman iklimlerde 3.Sınıf yollar için temel (kaplamalı), 1. Sınıf yollar ve pistler için temel Daha sert iklimlerde 3.Sınıf yollar için temel (kaplamalı) ılıman iklimlerde 2.Sınıf yollar için temel (kaplamalı) 1. Sınıf yollar ve pistler için alttemel
35-140 140-350	Beton Grobeton Beton	1. sınıf yollar veya pistler için temel ve alttemel 1.sınıf yollar veya pistler için temel

Çimento stabilizasyonunun uygulanması durumunda toprakta organik maddeler az bulunmalıdır. Çünkü bu gibi maddeler toprak-çimento bağlayıcılığını ve dolayısıyla mukavemetini azaltacağından başarılı stabilizasyon

yapılmasına engel olur. Bazı zeminler için %0.5 oranında organik madde, başarılı stabilizasyona engel olurken bazı hallerde %3-4 oranında organik madde ihtiva eden zeminlerde de başarılı stabilizasyonlar yapılabilmektedir. Beton tekniğine kıyasla, sülfatlar en fazla zararlı olan kimyevi maddelerdir. Bu bileşimlerin zararlı tesirleri, bunların çimentonun prizine karşı reaksiyonundan çok, boşlukların içinde daha sonra oluşan fazla miktarda kristallenmiş tuzların toprak çimento karışımını bozmasından ileri gelmektedir.

Çimentonun karışım içinde yeteri şekilde hidrasyona uğraması halinde artan çimento miktarı ile beraber karışım mukavemeti artar. Birçok zeminlerde karışımında kullanılan çimento miktarının artışı ile mukavemet ve dayanıklılıkta artış sağlar. Ancak bazı zeminler genel olarak toprak-çimento karışımına uygun değildir. Bu durum daha çok su muhtevasının toprak-çimento karışımına yaptığı olumsuz tesirinden kaynaklanmaktadır. Harcanan belirli bir enerji ile iyi bir kompaksiyon elde etmek için zeminin, bu enerji için maksimum kuru birim hacim ağırlığına getirilmesi gerekir. Birim hacim ağırlığındaki küçük bir artış aynı miktarda çimento kullanılması halinde mukavemette büyük bir artışa sebep olabilir. Bu bakımdan kuru birim hacim ağırlığı mümkün olduğu kadar yüksek olmalı, ilave edilecek su miktarının istenilen kompaksiyonu sağlaması çimentonun hidrasyonu için yeterli suyun temini ile elde edilebilir. Ayrıca karışım suyu toprağın her tarafına yayılmalı ve çimentonun tamamı yeter derecede su ile temas, etmelidir. Kohezyonlu zeminlerin suyu tutma özelliği dolayısıyla bu tip zeminlerin çimento ile karıştırılmasından sonra bir miktar daha su ilave edilerek çimentonun hidrasyonuna, engel olacak kuru bölgelerin kalmaması sağlanmalıdır. Anormal kurak yaz mevsimleri dışında toprakların su muhtevası optimum veya optimumum üstünde ise çoğu zaman kuruduklarından bir miktar su ilave edilir. Bu gibi hallerde betonda olduğu gibi yağ, alkali, tuz veya organik maddeler içermeyen sular kullanmak suretiyle tedbirli davranmalıdır.

İstenilen kompaksiyona ulaşabilmek için çimentonun hidrasyonu için yeterli su sağlanmalıdır. Bunun belirlenmesinde ağır kompaksiyon deneyinden faydalanılabilir. Burada hava boşluklarında %5 değerini geçmemesi

sağlanmalıdır. Kuru zemin ağırlığının örneğin %10'u kadar çimento karıştırılarak hazırlanan bir karışım kompaksiyon deneyine tabii tutularak incelenmeye başlanır. Karayolu laboratuvarında yapılan çalışma, tarım makineleriyle yerinde karıştırılmış toprak-çimentonun basınç mukavemeti, laboratuvar karışımlarının %40 ile %60'ı kadar olduğunu göstermiştir. Öte yandan tesirli bir rotatif bir çapa ile yapılan karışımların mukavemeti laboratuvarda yapılan karışımların mukavemetlerinin %60 ile 50'si kadar olmaktadır. Hatta bazı topraklarda daha da yüksek oranda mukavemetler görülmüştür. Pratikte kompaksiyondan sonra toprak-çimentonun mukavemetinin geliştiği ilk devrede yüzeyin kurummasına imkan vermeyecek şartlar altında toprak-çimento küre tabii tutulur. Rutubetli bir atmosfer tercih edilir. Kütleme amacıyla toprak-çimentonun üzerine uygulanma bitümlü astar tabakası bazen bir miktar yüzey dağılmasına yol açar. Bunun sebebi de bağlayıcının toprak-çimento içine girerek çimentonun prizine engel olmasıdır. Toprak-çimentonun kuruması çoğunlukla yüzeye ince rötne çatlaklarına neden olur, bunların zararlı olmadığına inanılır.

Karayolu inşaatlarında toprak-çimento karışımlarının hazırlanma metodları;

- a) Yerinde karıştırma.
- b) Gezen(seyyar) makineyle karıştırma,
- c) Yerinde duran (sabit) makineyle karıştırma,

Sonuç olarak denilebilir ki ; çimento ile zemin stabilizasyonu ilk uygulanmaya başlandığı; 1935 yılından bu yana yol ve hava meydanları yapımlarında geniş çapta kullanılmıştır. İri taneli zeminlerde ve kil yüzdesi %30'u geçmeyen ince taneli zeminlerde çimentolu stabilizasyon başarı ile uygulanabilmektedir. Organik ve zararlı kimyasal maddeler içeren zeminler bu iş için uygun değildir. Çimento miktarının artması ile daha iyi kalitede karışımlar hazırlanabilmektedir. İşleme tabii tutulan zeminin su muhtevası elde edilen karışımın ve kompaksiyonun üniformaluluğuna etki eder. Su muhtevasının optimumun biraz üstündeki değerleri en uygun olanıdır. Kaliteli karışım elde etmek için iyi bir kompaksiyon şarttır. Çimentonun zeminle üniform olarak karışması toprak-

çimento stabilizasyonun kalitesini etkiler. Bugüne kadar arazi şartlarında elde edilen en verimli karıştırma yöntemleri, aynı malzemenin laboratuarda karıştırarak elde edilen mukavemetinin %80'inden daha büyük bir mukavemeti olan karışım vermemiştir.

Zemin-çimento için yerinde karıştırma metodunda beş kademe vardır. Bunlar ufalama, çimentonun dağıtılması, çimentonun kuru olarak karıştırılması ıslak karıştırma ve kompaksiyon (sıkıştırma)'dır.

Zemin-çimento için yerinde karıştırma metodunda beş kademe vardır. Bunlar ufalama çimentonun dağıtılması, çimentonun kuru olarak karıştırılması. ıslak karıştırma ve kompaksiyon (sıkıştırma)'dır.

Çimentonun dağıtılması için en iyi yöntem portland çimentosu torbalarını uniform aralar ile ufalanmış zemin üzerine yerleştirmektir. Torbalar arasındaki uzaklık zemine katılacak çimento miktarını göre ayarlanır. Torbalar yırtılır ve karışımın rengi uniform oluncaya kadar zemine karıştırılır. Bu kuru karıştırmayı tesviye ve su muhtevasının optimum yüzde iki üstüne çıkaracak su eklenmesi izler. Suyun eklenmesi ve ıslak karıştırma kabil olduğu kadar hızlı yapılmalıdır Zemin çimento, beton için yapıldığı gibi rutubetli bir durumda muhafaza edilmelidir.

Gezerek karıştırma (Travel-mix) metodunda gezerek karıştırma makinası bir yükleyici ve bir karıştırıcıdan meydana gelir. Yükleyici sıkıştırma kuvveti sağlar ve zemini figürelerden karıştırıcıya taşıyan bir kovalı elevatörü vardır. Karıştırıcıda zemin su ve kullanıldığı taktirde, stabilizörler karıştırılır. Reçine ve portland çimentosu gibi toz halinde stabilizörler yol boyunca dağılmışlardır ve figürelerden zeminin yanı sıra kovalı elevatörler ile alınır.

Altı metre genişlikteki bir şeridi kaplamaya yetecek büyüklükteki her figüre, karıştırmadan sonra yayılır ve tokmaklanır. Portland çimentosu ile çalışıldığı zaman bu karıştırma olabildiğince çabuk yapılmalıdır. Bitüm kullanıldığı zaman suni yayma gerekli ise geciktirilebilir.

4.3. Zemin Güçlendirme Yöntemleri

Burada zemin güçlendirme yöntemlerinden, Kazık temeller, Donatılı Zemin, Taş kolonlar, Derin karıştırma ve Geotekstiller incelenmiş ve örnekler verilmiştir.

4.3.1. Kazık temeller

Kazık temellerde, zeminin durum ve özellikleri ile, taşıyıcı zeminin veya sağlam zeminin derinliğe göre, aşağıda açıklanan, kazık temel sistemlerinden biri uygulanabilmektedir.

a) Sağlam zeminin derinliği, kullanılabilir kazık uzunlukları kadar veya daha az ise ve sağlam zeminin üstünde yeterli kalınlıkta taşıyıcı zemin bulunmadığında veya sağlam zeminin üstünde tamamen zayıf zemin bulunması halinde uç kazıklarından (uç kazığı; taşıdığı kazık yükünün tamamını veya büyük bir bölümünü uç kısımlardan sağlam zemine ileten kazık) oluşan kazık temel sistemi kullanılmalıdır.

b) Sağlam zeminin derinliği kullanılabilmesi mümkün bulunan kazık uzunluklarından fazla olduğunda ve sağlam zeminin üstünde yeterli kalınlıkta taşıyıcı zemin bulunduğu yüzen kazıklardan (yüzen kazık; taşıdığı kazık yükünün tamamını veya büyük bir bölümünü, kazık çevre yüzeyinin sürtünmesi ile zemine ileten kazık) oluşan kazık temel sistemi kullanılmalıdır.

c) Yapı temeli altında yeterli kalınlıkla taşıyıcı zemin bulunduğu, sağlam zeminin derinliği, sağlanıp kullanılabilir kazık boyları ile ulaşılabilecek durumda ise kazık temelin düzenlenmesinde uç kazıklardan veya yüzen kazıklardan yararlanılabilir. Gereğinde yüzen kazıklar ile uç kazıkları bir arada da kullanılabilir.

Taşıyıcı zemin, derinleştikçe sertleşip daha az sıkıştırılabilir hale geliyorsa ve bu durumda kazık temelde oluşabilecek oturma, aynı zemindeki bir normal

temelde beklenen oturmadan daha az ise yüzen kazıklardan oluşan bir kazık temel sistemi daha güvenle kullanılabilir. Ancak buna rağmen, kazık temel yapımında, yüzen kazıkların kullanılmasından olabildiğince kaçınılmalı ve uç kazıklar yüzen kazıklara tercih edilmelidir.

4.3.1.1.Kazık çeşitleri

Kazık temellerin yapımında kullanılacak kazıklar, önceden yapılmış olarak işyerine getirilebileceği gibi, yerinde kazılarak hazırlanan kuyularda beton dökülerek de oluşturulabilir.

Çakma kazıklar zemine, şahmerdanlarla çakılarak, preslenerek veya etrafında çevrilip döndürülerek yerleştirilir. Delme kazıklar ise zeminde açılan uygun biçim ve boyuttaki deliklerin içine, önce gerekli çelik donatıların yerleştirilmesi ve sonra beton dökülmesi suretiyle oluşturulur.

4.3.1.2.Kazık temellerin düzenlenmesinde tasarım esasları

Kazık temelerde yapı yüklerinin sadece kazıklar ile zemine iletilmesi sağlanmalı ve kazıklar bu esasa göre hesaplanarak düzenlenmelidir. Kazık temellere iletilen yapı yükleri, düşey olabileceği gibi, bazı yatay kuvvetleri de uygulanabilir. Yatay yükler, eğimli (düşey olmayan) kazıklar tarafından karşılanabileceği gibi, ankraj v.b. işlerde eğilme etkisi altında kalan kazıklara da taşıttırılabilir. Bu nedenle, temel kazıkları, taşıdıkları ve temel zeminine ilettikleri yüklerin ve etkilerin biçim ve yöntemlerine göre de çeşitlenirler.

Kazık temellerin tasarımında kullanılan kazıklar için oluşacak normal kuvvetin cinsine göre;

- a) Basınç Kazıkları,
- b) Çekme kazıkları

olmak üzere iki kazık çeşidi, kazık yükünün kazıkta oluşturacağı etkinin biçimine

göre:

- 1- Eksenel yüklü kazıklar,
- 2- Eğilme
- 3- Aynı zamanda hem eksenel yük hem de eğilme etkisindeki kazıklar olmak üzere üç kazık çeşidi söz konusudur.

Kazık temellerin düzenlenmesinde, eksenel yüklü kazıklar, eğilme etkisindeki kazıklar ve aynı zamanda hem eksenel yük hem de eğilme etkisindeki kazıklar ayrı ayrı veya bir arada kullanılabilirlerse de, olabildiğince eksenel yüklü olan kazıkların kullanılması tercih edilmektedir.

Kazık temellerde bir kazığın payına düşecek yükün hesaplanmasında, uygun yaklaşım metotları kullanılmalıdır. Temel sistemi içinde kuvvetin iletilmesinde hiperstatik durumda bulunan kazıklarda kazık yükü, gerek zeminin ve gerekse kazığın şekil değiştirmesi, birlikte göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Kazık temellerde, yapı yüklerinin kazıklara tamamen iletilmesi ve kazık yüklerinin bileşkesinin, yapının kazık temele ilettiği yüklere eşdeğer olduğu hesapla gösterilmiş olmalıdır. Kazıkların enkesit boyutları kazığın uzunluğuna, istenilen kazık yüküne ve kazık malzemesi ile yapım tekniğine göre seçilir. Ancak burkulma sakıncası nedeni ile basınç kazıklarının kalınlık veya çapı 25 cm'den daha az olmamalıdır

4.3.1.3. Deneme yüklemeleri ile kazıklarda sınır yüklerinin (Kritik Yük) ve kazık yüklerinin bulunması

Zemin çok iyi tanınıyorsa ve elde daha evvel yapılmış ciddi ve güvenilir deney sonuçları var ise, basınç kazıklarında kazık yükleri bu bilgilerden yararlanılarak hesaplanabilir. Elde yeterli bilginin bulunmaması ve zeminin taşıma gücü ve yüklenebilme yeteneğinden kuşku duyulması veya taşıyıcı zeminin yeterince güçlü olmaması halleri ile kazıkların önceden sağlanmış bilgilere göre bulunmuş kazık yüklerinden daha büyükleri ile yüklemeleri istendiğinde deneme yüklemelerine başvurulur. Çekme kazıkları ve ankraj kazıklarında ise çok

küçük kuvvetler dışında kazık yükleri mutlaka deneme yüklemeleri ile belirlenmelidir.

Yükleme denemelerinde, temel kazıkların sınır yük değerleri bulunur. Sonra bu sınır yüklerinden ve yapıda söz konusu olan yük hali de göz önünde tutularak bulunacak emniyet katsayılarına bölünmesi yolu ile kazık yükleri hesaplanır. Bu hesaplamada ;

$$Q_{em} = \frac{Q_k}{k_e}$$

formülü bulunur. Bu formülde;

Q_{em} = Emniyetli kazık yükü, (kN/m²)

Q_k = Kazık sınır yükü, (kN/m²)

k_e = Emniyet katsayısı

Mini veya mikro kazıklar çelik veya çelik boru donatılı, çimento veya çimento-kum ve su karışımı ile zemin içine dökülüp hazırlanan 6-7 cm'den 25-30 cm'ye kadar çaplı kazıklardır. Yapım teknikleri çeşitlidir ve bir kısım patent isimler altında imal edilmektedir. Bunlardan ikisi Vibrex ve Mendex kazıklardır. Mini kazıklar esas itibari ile yüksek kapasiteli düşey veya düşeye yakın elemanlardır. Yüksek kapasitelerin sebebi yapımlarında kapalı devre yüksek enjeksiyon basıncı kullanılmasıdır. Ülkemizde kazı sınırlarına dizilen ve mini kazık olarak isimlendirilen küçük çaplı kazıkların bu anlamda gerçek mikro kazıklardan farkı vardır. Kesitte özellikle çelik kapasitesinin önemi artmaktadır. Çünkü hem normal kazıklardaki taşıyıcı beton alanı yoktur, hem de küçük çaplara göre oldukça yüksek kapasiteler söz konusudur.

Yapım yöntemleri çeşitli olmakla birlikte en yaygınlarından biri olan yerinde dökme tipinde, delik delinmekte ve istenen kapasiteye göre çelik çubuk veya etli boru indirilmekte ve daha sonra enjeksiyon malzemesi deliğe yerleştirilerek muhafaza borusu çekilirken basınç uygulanmakta veya kuyu önce doldurulup

belirli bir müddet sonra enjeksiyon yapılmaktadır. Tekrarlı basınç enjeksiyonu zahmetli ve pahalı bir işlem olmasına rağmen çoğu zeminlerde ve yumuşak, çatlaklı kayada kapasiteleri arttığından ekonomik olmaktadır. Uygulanan basınçlar genellikle 600-2000 kPa ve 6-20 kg/cm² arasındadır. Kapasite normal çaplı kazıklarda hesaplanan yöntemler ile hesaplanmaz. Ankraj kök kapasite değerleri yardımcı bilgi olarak kullanılabilir. Arazi yükleme deneyleri en sağlıklı yol olmaktadır. Son taşıma kapasitesi yapısal safi kapasitesi, zemin-kazık sürtünmesi ve burkulma kapasitesinden en küçüğüdür. Burkulma çok yumuşak killerde ve uzun boylarda kontrol edilmelidir. Zemin için uç kapasiteden önce sürtünmesi önemlidir. Korozyona, özellikle çekmeye çalışan mini kazıklarda bu hususa dikkat edilmelidir.

Mini kazıkların uygulama alanı geniştir. Mevcut yapıların temel takviyesi en popüler olanıdır. Eski yapılar, köprüler, ilave inşaatlar halinde kullanıldıkları gibi yeni inşaatlarda da kullanılmaktadırlar.

Küçük çapta (< 10 cm) ve çok sayıda düşey ve eğik kullanımı da olan mikro kazıklar bir tür kütle iyileştirmesi yapmaktadır. Temel yüklerini taşımak veya heyelanların stabilizasyonunda kullanılmak üzere çok sayıda zemine sokulmaktadır [16].

Çeşitli imalat yöntemleriyle yapılan kazıklı temel çalışmalar ve kalite kontrol deneyleri deplasman tipi temel kazıklarının delme kazıklara nazaran daha fazla yük taşıdığını göstermiştir. İmalat tekniği sebebiyle zemini çok öteleyen çakma deplasman kazıkları başlangıçtaki zemin mukavemet parametrelerini imalat tekniği ile arttırarak öngörülenin üzerinde yüklerin taşınmasını sağlamaktadır.

Ülkemizde de, İzmir Urla Çeşme Otoyolu Kent İçi projesi Konak Viyadüğü Ø80 cm, 31.50 m boyunda, İzmir Hafif Raylı Projesi Stadyum Viyadüğünde, Ø80 cm, 34-68 m boylarında, Ankara Metrosu projesi Akköprü Viyadüğü'nde Ø80 cm, 20-25 m boylarında uygulanmıştır.

Vibreks ve Mendex kazıkların en belirgin özellikleri modem makine ve ekipmanlar

sayesinde;
 Yüksek taşıma kapasitesi,
 İmalat tekniği sayesinde hızlı uygulanabilmesi,

Sonuç olarak ekonomik oluşu mühendislik ve güvenlik açısından en önemli tercih sebepleridir

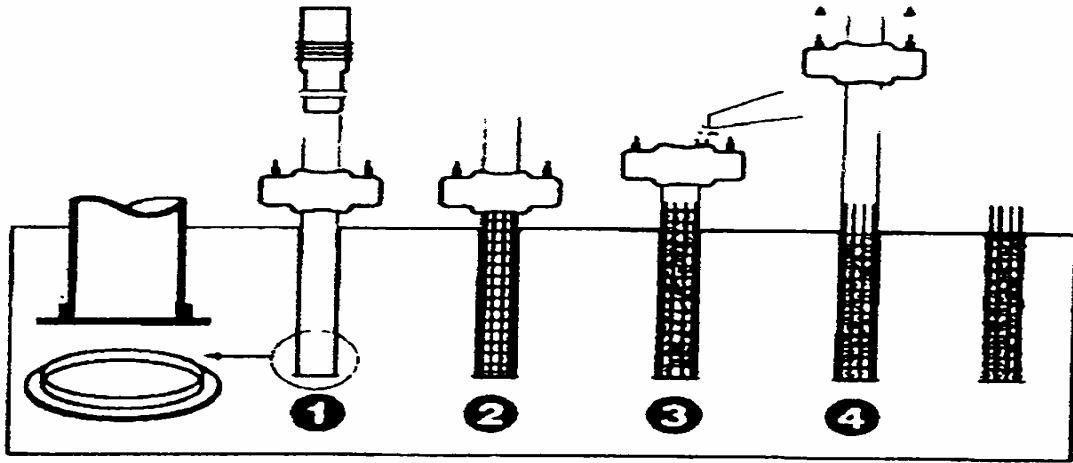
4.3.1.4. Vibreks kazık

Vibreks tipi temel kazıkları, alt ucu özel bir taban plakası ile kapatılmış muhafaza borusunun zemine tam kazık boyunca çakılarak yerinde dökülen deplasman tipi temel kazıklarıdır.

Vibreks kazıkların yapımı, su geçirmez özel bir çelik taban plakası (tapa) ile ağzı kapatılmış muhafaza borusunun zemine çakılması ile başlar. Muhafaza borusu, projelendirilen tam kazık boyunca zemine çakılır. Çakım esnasında borunun zemindeki her 25 cm'lik ilerlemesine karşılık (refü) darbe sayılan çakım raporuna kaydedilir. Kazık çakımından sonra muhafaza borusu içine su ve zemin girip girmediği kontrol edilir. Donatı kafesi muhafaza borusu içine yerleştirilir. Makinanın kulesi tarafından askıya alınır. Beton dökümüne özel kova veya beton pompası vasıtasıyla yapılır. Betonlamanın tamamlanmasından sonra muhafaza borusu vibratör vasıtasıyla çekilir. Böylece kazık imalatı tamamlanmış olur.

Genellikle gevşek yapılı zeminlerde kazık uç mukavemetinin artırılması istenirse soğan başlı süper Vibreks kazık imal edilebilir. Muhafaza borusu 2-3 m kadar yukarı çekilerek oluşan boşluğa beton ilave edilir. Ağzı kapatılarak tekrar çakılır. Bu esnada kazık tabanında soğan başı şeklinde olur.

Vibreks kazıkları üretimi muhafaza borunun çakılabildiği her türlü zemin şartlarıdır. Kumlu, çakıllı, killi zeminlerde büyük bloklar içermeyen, ötelenebilen bloklu zemin şartlarında kolayca imal edilebilir. Kapalı muhafaza borusu sayesinde yüksek yer altı su seviyesi altında emniyetle kazık imalatı yapılabilir.



- 1) Muhafaza borusunun çakılması. 2 ve 3) Donatı kafesi Montajı ve beton dökümü 4) Muhafaza borusunun çekilmesi.

Şekil 4.8. Vibreks kazık imalatı şeması

Yapılan uygulamalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir.

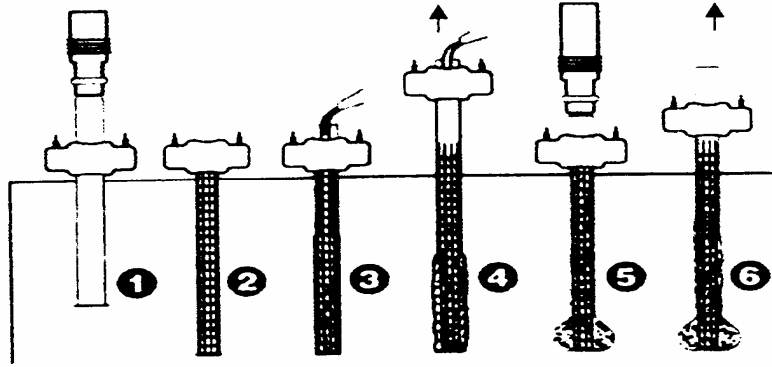
- Kazık çakımı esnasında zemin ıslahı ile zeminlerin mukavemet parametrelerini artırır.
- Vibrasyon sayesinde, kazık ile zemin arasında yüksek sürtünme mukavemeti elde edilir.
- Sağlam zemine soketlenmesiyle yüksek uç mukavemeti sağlanır.
- Kazık ucu bölgesinde soğan başı elde edilmesiyle %30-60 arasında taşıma gücü artırılabilir.

Böylece prefabrik çakma kazıklara ve fore (delme) kazıklara nazaran daha güçlü kazıklar üretilir.

Vibreks kazıkların avantajları :

- Killi kumlu çakıllı çeşitli zemin şartlarında kolayca imal edilebilirler.
- Ucu kapalı muhafaza borusu sayesinde her türlü yer altı suyu şartlarında kazık imalatı yapılabilir.

c) Ø80 cm çapta 43 m boya kadar tek parça kazık yapılabilir.



- 1) Muhafaza borusunun çakılması
- 2) ve 3) Donatı kafesinin montajı ve beton dökülmesi
- 4) Muhafaza borusu 2m yukarı çekilir. Tekrar beton dökülür.
- 5) Muhafaza borusu ağzı kapatılarak aynı seviyeye kadar tekrar çakılır
- 6) Muhafaza borusu çekilerek imalat tamamlanır.

Şekil 4.9. Süper Vibreks Kazık İmalat Şeması

d) Kazık imalatı için gerekli bütün işler (muhafaza borusu çakımı/çekilmesi, donatı montajı, betonlama vs.)

e) Kazık imalatı oldukça hızlıdır.

f) Kazık kolonu, muhafaza borusu vibratör vasıtasıyla yukarı doğru çekilirken şekillenir- Böylece üniform ve kompakt bir beton elde edilir.

g) Vibrex tekniği ile düşey kazıkların yanı sıra eğik temel kazıkları da çakılabilir.

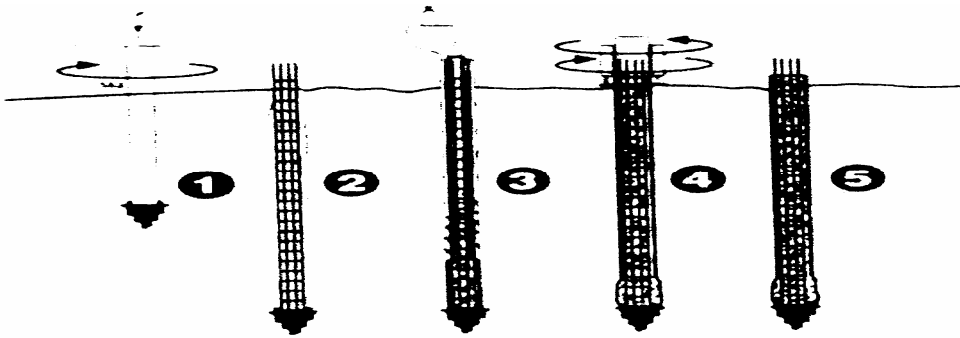
4.3.1.5. Mendex kazıklar

Mendex kazık, Vibreks temel kazıkları gibi yerinde dökme çakma deplasman tipi temel kazıklardır. Çekiçler ile, hasar görebilecek kritik yapıların yanında kazık çakılması halinde, darbe ile meydana gelen patlama sonucunda zeminde oluşan gerilme dalgaları mevcut yapıları etkileyebilir. Çevrede gürültü kirliliğine sebep olabilir. Bu durumlarda aynı kazık tipinin alternatifi olan Mendex kazıkta sadece çekiç yerine delgi tablası kullanılarak enerjinin yerini statik basınç kuvveti alır. Böylece zemin hareketlerinin istenmediği bitişik nizam veya eski binaların yanında kolayca deplasman tipi temel kazıkları üretilebilir.

Delgi tablası muhafaza borusu dışına yerleştirilir. Hidrolik delgi tablası 1.50 m'lik rotasyonel hareketlerde muhafaza borusunu aşağıya doğru çevirerek iter. Borunun itilmesi 22 ton'luk bir basınç kuvvetiyle ve 12-50 ton.metrelik bir torkla yerleştirilir. Donatı kafesinin yerleştirilmesi ve betonlama işlemi tamamen Vibreks kazıklar gibidir. Muhafaza borusunun çekilmesi, delgi tablasının sağa sola hareket etmesiyle 100 tonluk bir çekme kuvvetiyle yapılır. Mendex kazıkta çakım esnasında derinliğe göre delgi tablasındaki itme basınçları kaydedilebilir. Böylece karmaşık yapılı zemin şartlarında sağlam tabakanın değiştiği seviyeler belirlenerek tamamen sağlam zemine giren kazıklar üretilir.

Avantajları :

- a) Kazık çakım esnasında bitişik nizam bina yanında tehlikelerden uzak imalat yapılır.
- b) Tamamen gürültüden uzak kazık üretilir.
- c) Üretim hızlı, kolay ve yüksek kalitedir.
- d) Zemin ile kazık arasındaki güçlü aderans ile yüksek taşıma kapasitesi elde edilir.
- e) Foraj olmadığı için imalat sonrasında oluşan zemin iyileştirmesi ile yüksek taşıma gücü sağlanır.
- f) Bitişik nizam binaların 80 cm yanına kadar kazık çakabilme imkanı sağlar.
- g) 20 derece düşey açığa kadar eğik kazık üretim imkanı sağlar. Vibrex kazıkların diğer tüm üstünlüklerine sahiptir [18].



- 1) Delgi tablası muhafaza borusu dışına yerleştirilir. Hidrolik delgi tablası 1.50 m'lik rotasyonel hareketlerde muhafaza borusunu aşağıya doğru çevirerek itilmesi,
- 2) Donatı kafesinin yerleştirilmesi,
- 3) Betonlama işlemi,
- 4) Muhafaza borusunun çekilmesi,
- 5) Kazık imalatının tamamlanması.

Şekil 4.10. Mendex kazık imalatı sırası

4.3.1.6. Uygulamalardan Örnek

A63 Selby Çevre Yolundaki Kazık – Destekli Dolguların Tasarımı ve Yapımı:

A63 Selby çevre yolu İngiltere'nin Kuzey Yorkshire kentinde, şehir merkezinden geçen A63, A1041 ve A19 anayollarındaki trafik yoğunluğunda rahatlama sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Proje, Karayolları Dairesi'nin tasarım ve yapımı sözleşmesine göre ana yüklenici Skanska İnşaat UK ile birlikte projeci High-Point Rendel tarafından yapılmasını kapsamaktadır. İnşaatın yapımına 2002'nin başlarında başlanmış ve 2003 sonunda bitirilmesi planlanmıştır.

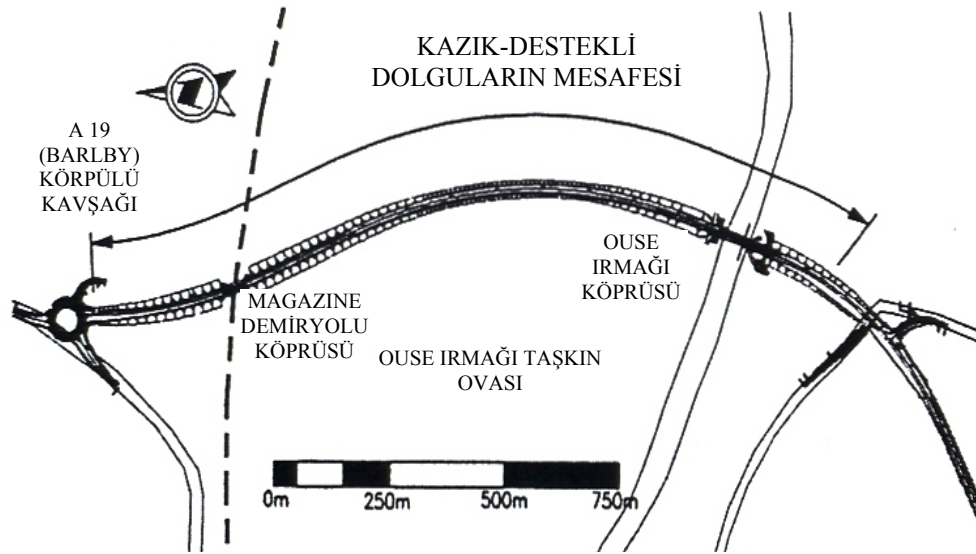
Yeni proje, Kuzey Yorkshire'daki Selby'nin güneyini yük taşımaya ayrılmış 10 km tek şeritli çevre yolu ile geçilmesini kapsamaktadır. Çevre yolunun batı kısmının sonu, Ous Irmağı taşkın ovasını dolgularla, Ous Irmağı ve Selby-Hull demiryolunu köprülerle geçmektedir (Şekil 4.11.) Dolgu yükseklikleri 4 m'den demiryolu köprüsü yaklaşımında 9.5 m'ye kadar değişmektedir. Dolgular 6 m kalınlığa kadar yüksek derecede sıkışabilir turba katmanları da içeren kalın ve değişken allüvyonlu katmanlar üzerinde inşa edilmektedir. Oturmalarda öngörülen sıkı kısıtlamalar ve yapım süresinin kısa olması nedeniyle, dolguların temel tasarımının dikkatli bir şekilde yapılması gerekmiştir. Burada 1.6 km'den uzun kazık –destekli otoyol dolgularının tasarım ve yapımı anlatılmaktadır.

Zemin sınıflandırılması, kayma dayanımı ve konsolidasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Ouser taşkın ovasının zemin etüdünde 56 kablolu çakma sondası ve 50 statik konik penetrasyon deneyleriyle birlikte laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Araştırma çukurları, buzul çağı oluşumlu Humber Gölü'yle ilgili "25-foot Drift" kaynaklı lakustrin (gösel) katmanlar üzerinde 5 m ila 8 m derinlikte allüvyon olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu katmanlar altında Triassic Sherwood Kumtaşı dip kayası (-15m OD) yer almaktadır.

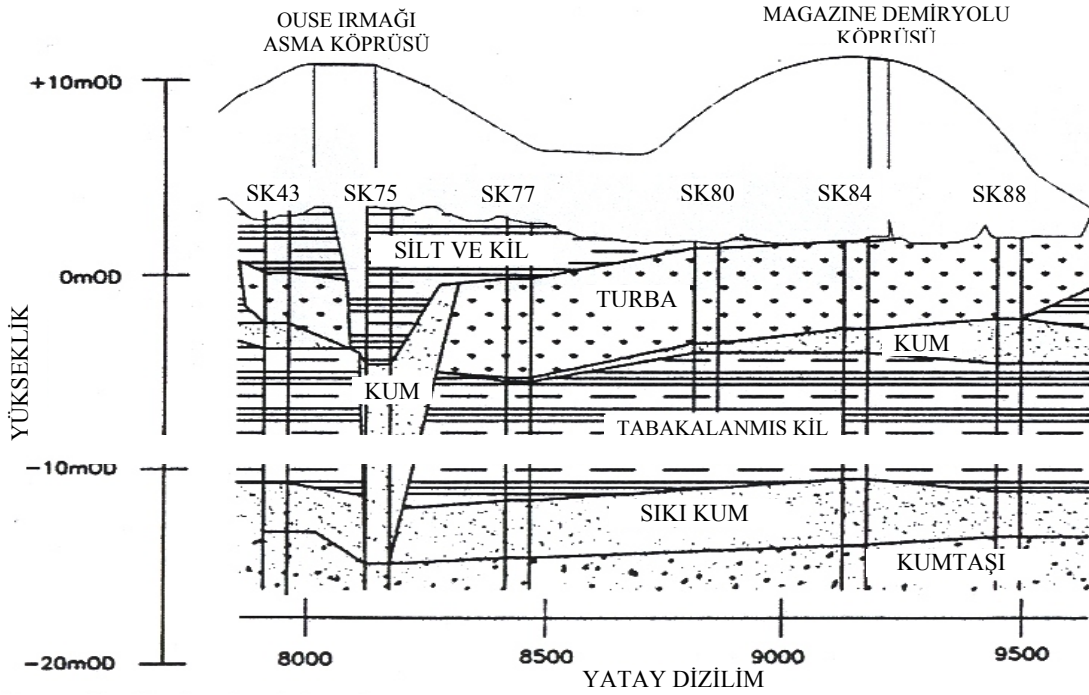
Allüvyonun üst kısmı nispeten yakın zamanlı sel birikintilerinin oluşturduğu 1 m ila 2 m kalınlıkta kurumuş silt ve kil kabuktan oluşmaktadır. Bu katmanın altı, sedimentasyonla dolmuş Humber Gölü yüzeyinden geçerek oluşan drenaj

kanallarının getirdiği birikintilerden oluşmaktadır. Bu kanallar, Ouse Irmağı taşkın ovasında çok değişken turba ve killi malzemelerin birikintilerinin oluşumuna neden olan bataklık meydana getirmiştir. Bu bölgeler 4 m ila 6 m kalınlıkta tipik yumuşak – çok yumuşak yüksek sıkışabilirlik oranlı, su muhtevaları % 350'ye varabilen zeminlerden oluşmaktadır.

Turbalı katmanlar altında, genellikle kum ve silt girişimleri içeren sert tabakalanmış kil üzerinde bulunan 1 m –ila 2 m kalınlıkta lakustrin kum tabakası yer almaktadır. Tabakalanmış kil tipik olarak 7 m kalınlıkta ve yerinde aşınmış kumtaşı ve yeniden biçimlenmiş kum birikintilerinden oluşan bir kum katmanı üzerinde yer almaktadır. Tüm çevre yolu güzergahı boyunca en alt tabakayı oluşturan dip kayası zayıf çimentolu (bağlı) bir kumtaşıdır. Şekil 4.12'de taşkın ovası boyunca zemin koşullarını gösteren basitleştirilmiş boyuna kesiti gösterilmiştir [19].



Şekil 4.11. Kazık destekli dolguların yerleşimi



Şekil 4.12 Jeolojik kesit

Kazık boyutu ve aralığı :

Kazıklar, otoyol yükünden kaynaklanan hareketli yük de dahil olmak üzere, dolgudan gelen tüm yükü alacak şekilde tasarlanmıştır. Dolgu yükünü asgariye indirmek için, dolgu çekirdeğinde düşük ağırlıklı toz haline getirilmiş benzin (yakıt) külü (PFA) dolgu malzemesi kullanılması öngörülmüştür. Bunun yanısıra, kazık çakılmasına müteakip alüvyonun konsolidasyondan ve kazıklar üzerinde yayılı geosentetik örgü üzerindeki dolgu yüklemesi sonucunda meydana gelen oturmasından kaynaklanan negatif sürtünme etkisi için bir pay bırakılmıştır.

Tasarımda 370 mm ve 425 mm çaplı, sırasıyla 870 kN ve 1160 kN net çalışma kapasiteli iki boy kazık tipi kullanılmıştır. Kazık kapasitesine bağlı olarak uygun kazık çapı ve müsaade edilebilir aralıklarını belirlemek için, dolgu hizası boyunca 10 m'lik kesitlerde dolgu yükleri hesaplanmıştır. Ancak, yol seviyesinde yüzey deformasyonu olarak yansıyacak kazık tepesi seviyelerinin potansiyel farklı oturmalarını önlemek amacıyla 3.2 m azami kazık aralığı kullanılmıştır. Son

tasarım, 2.7 m ile 3.2 m arasında değişen aralıklarda kullanılan 5000'den fazla kazık ve 9.5 m ile 4 m arasında değişen dolgu yüksekliklerini kapsamaktadır.

Dolgu altındaki kazıklı desteklerin yanal yayılımı, kazıksız dolgu bölgelerinin oturmalarının dolgu tacını(crest) etkilemeyecek şekilde tasarlanmıştır. Dolgu altında kazık kullanım yayılım seviyesi iki kritere dayanmaktadır : 1) BS 8006'nın şartlarına ve 2) en dıştaki kazık başı ile yük taşımaya ayrılan yolun kenarı arasındaki açının 45^0 'den büyük olmaması için gereken ek dayanıklılık kontrolü (Şekil 4.13.) 6 m'den yüksek dolgular için BS 8006'ya göre 2. şık daha ihtiyatlı(konzervatif) olacaktır. Kazıklı destekler dolgular için ayrıca bir stabilite de sağlamaktadır. Kazıkların da ötesinde yer alan en dıştaki şevlerin eğimlerinin de stabilitesinin sağlanmış olması gerekmektedir. Bu da yanal geosentetik güçlendirmelerin kazıkların da ötesine uzatılmasıyla sağlanmıştır.



Şekil 4.13. Kazık destekli dolgu kesiti

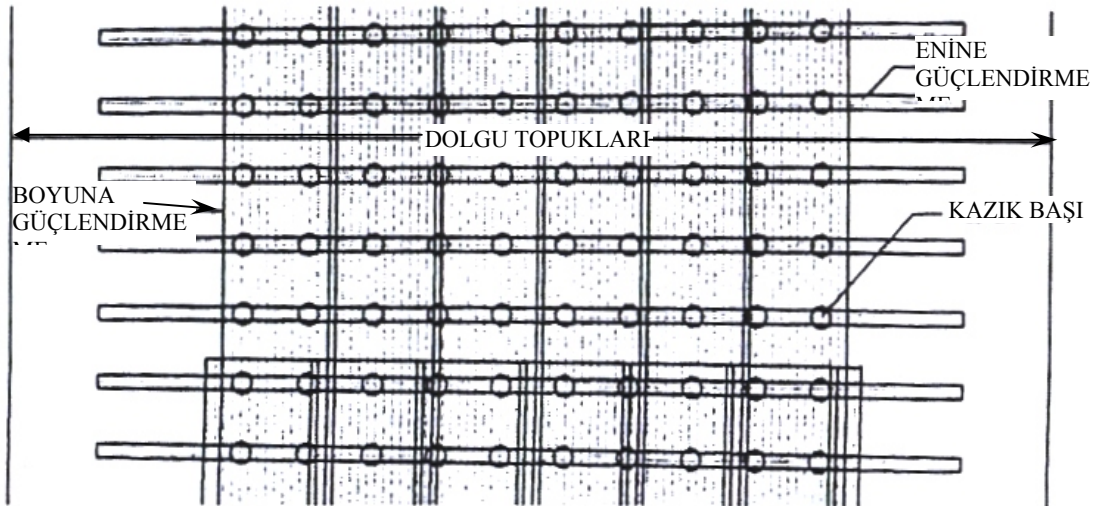
Geosentetik uygulama planı :

Kazık başları üzerine yayılan geosentetik güçlendirmenin tasarımı, dayanıklılık ve nihai sınır durumları (ultimate limit state) göz önünde bulundurularak, BS 8006'daki prensiplere uygun olarak yapılmıştır. Taban güçlendirmesi kazık başları üzerine örtülmüş, birbiri üzerine serilmiş iki katman tek eksenli geo-örgü (geogrid) olarak

tasarlanmıştır. Bu sistem dolgu kesiti ve boyunca yayılı şeritlerden oluşmaktadır (Şekil 4.14.)

Yük aktarımı :

Temel zemininin yüksek oranda sıkışabilir olması ve olası zamana bağlı ikincil oturmaları nedeniyle, uzun dönem için temel zemini desteği olmadığı varsayılmıştır. Sonuçta geosentetik güçlendirme kazıklara aktarılamayan tüm dolgu yükünü destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Güçlendirme üzerindeki yük, sistemin kendiliğinden kazıklar üstüne binen yük kemerlenmesinin etkinliği tahmin edilerek bulunabilir.



Şekil 4.14. Geosentetik uygulama planı

Ön tasarım, kazık başlarına gelen düşey gerilmenin dolgu tabanındaki ortalama düşey gerilmeye oranının pozitif çıkıntılı yeraltı kanalları için önerilen Marston's formülü kullanılarak yapılabileceğini belirten BS 8006'ya göre yapılmıştır. Bu yöntemin kazık başları şebekesi arasındaki zeminin 3 – boyutlu kemerlenme etkisini modelleyemediği düşünülmüştür. Ayrıca, BS 8006'da açıklanan yöntemde, geosentetik üzerine etkiyen sınırlayıcı basıncın kazıklar arası boşluğun 1.4 katı yükseklikteki bir dolguya (yaklaşık 5m yüksekliğinde dolgular) denk olduğunu etkin

bir şekilde tanımlamaktadır. Bu yüksekliğin üzerindeki dolgu yüklerinin direkt olarak kazıklar üzerine kemerlenme etkisiyle iletildiği varsayılmaktadır ki bu pek gerçekçi olmayabilir.

Dolgudaki gerilme dağılımlarının belirlenmesi için kullanılabilecek diğer alternatif yöntemler de incelenmiş ve Hewlett ve Randolph⁴ tarafından önerilen yaklaşımın en mantıklı yöntem olduğu düşünülmüştür. Bu yöntemde, kazık desteklerin etkinliği direkt olarak hesaplanmakta ve bu da dolgu yükünden gelen geosentetik üzerindeki net basıncın bulunabilmesini sağlamaktadır.

Yapım işleri :

Dolgunun yapımı 2002 Şubat ayında kazık çakma platformunun hazırlığıyla başlanmış ve dolgu toprak işleri inşaatının büyük bir kısmı 2003 Şubat ayında tamamlanmıştır. Aşağıda bazı önemli inşaat tekniklerinden bahsedilmektedir.

Kazık yapımı :

Kazıklar iki – eksenli geotekstil üzerine yerleştirilmiş 650 mm kalınlığında kırma kireçtaşı dolgu üzerindeki kazık çakma platformundan inşa edilmiştir. Bu azami 80 tonluk kazık vinci için stabil bir platform oluşturmuş ve kazık başlarının tamamlanması için düzgün bir yüzey sağlamıştır. Bunlar, beton dökülmesinden sonra yerleştirilen ayrık bir donatı kafesiyle birlikte bütünleşik yayılı bir başlık şeklinde yapılmıştır. Bu sayede kazık işlerinin azami 25 kazık/vinç/gün gibi hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlamıştır. (Şekil 4.15.)’te kazık işlerinin tamamlanmış kesiti gösterilmektedir. Çakma yerinde dökme kazıklar ön yükleme deneyleri ışığında 14.5 m ile 16.5 m derinliklere kadar çakılmıştır. Performanslarını kontrol etmek amacıyla 20 adet çalışan kazık için statik yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, kazıkların % 10’undan fazlası için bütünlük deneyleri yapılmıştır.

Geosentetik :

Kazık çakım platformu ve kazık başları üzereine 100 mm kalınlığıda kum yatak tabakası serilmiştir. Bu kazık çakım platformu ve kazık başlarından kaynaklanabilecek mekanik hasarların önlenmesinin yanısıra geosentetiğin yerleştirileceği yüzeyin düzgün olması için yapılmıştır. Geosentetik güçlendirme yerleştirilmesi, enine güçlendirme şeritlerinin yukarıda anlatılan şekilde yapılmış kazık başlarının direkt üzerine gelecek şekilde düzenlenmiştir. En dıştaki kazıkların ötesinde yeterli bağlanmayı sağlamak üzere boyuna şeritlerin etrafını saran bir ankora detaylandırılmıştır. Boyuna hasırlar, yan yana gelen hasırların enine kısımların cüzi bir miktar payının üst üste bindirilip, kazıklı alanın üzerinde sürekli olması sağlanmıştır. Boyuna bindirmeler 2 kazık aralığı kadar, her iki güçlendirme hasırının 3 kazık başlığından geçecek şekilde ayarlanmıştır. Şekil 4.16. da geosentetik güçlendirmenin serilmesi gösterilmektedir.

Dolgu yapımı :

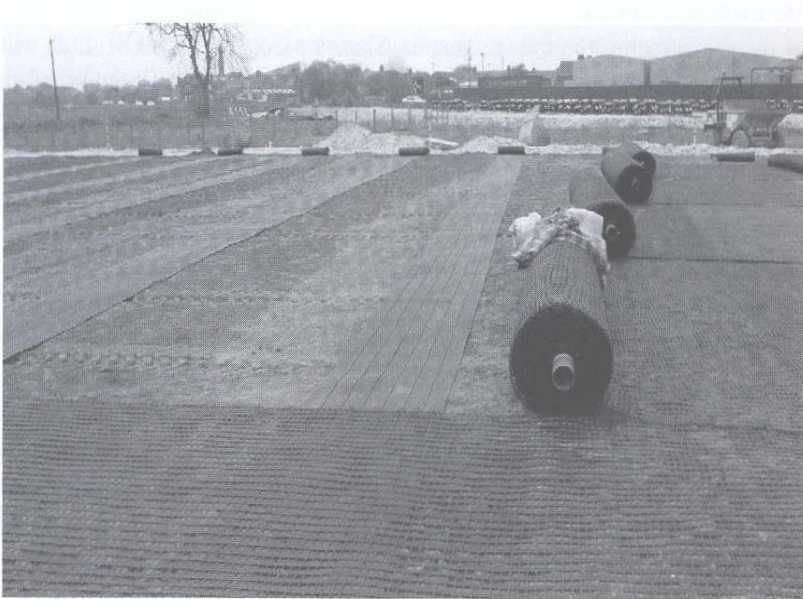
Geosentetik üzerine yapılan dolgu, PFA'yı hapsedmek için 500 mm'lik 6D1 başlangıç malzemeli bir tabaka ve dolgu kenarlarında 1 m derinlikte 1A/1B Sınıfı malzemeden koruyucu bir tabakadan oluşmaktadır. PFA, ham maddesinin trafiği azaltmak amacıyla enerji santralinden demiryoluyla direkt getirildiği farklı birçok kaynaktan sağlanmıştır. Belirlenen azami birim hacim ağırlığı değerinin geçilmediğini kontrol etmek ve dolgu yüklemesinin tasarım sınırları içinde olduğunu desteklemesi için nizami yerinde birim hacim ağırlık deneylerinin yapılması gerekmiştir.

Tasarım oturma sınırının sağlandığını kontrol etmek amacıyla, zayıf ve sıkışabilir alüvyonlu zeminler üzerindeki 9.5 m yüksekliğe kadar olan otoyol dolgularının tasarımı için gerekli detaylı temel sistemi incelemesi yapılmıştır. Çakma yerinde dökme kazıklı desteklerin kazık başları üzerinde, kemerlenme etkisiyle kazıkların üzerine gelenin dışındaki yükün taban güçlendirmesiyle taşınmasını sağlayan yeni bir tasarım uygulanmıştır. Tasarım yöntemleri BS 8006'nın prensiplerine uygun olarak dayanıklılık ve nihai sınır durumları göz önünde tutularak uygulanmıştır.

Ancak, geosentetik güçlendirmedeki yükün hesaplanmasında daha uygun olduğu düşünülen farklı bir yöntem uygulanmıştır. Kazıklarda oluşan burkulma momentlerinin bulunması için dolgu tabanındaki net yanal birim deformasyona ve kazık başlarının dolgunun yanal itkisinden kaynaklanan deplasmanlarına ayrıca önem verilmiştir. Dolgular 5000 kazık ve 100000 m² geosentetik güçlendirme üzerinde 1.6 km otoyol boyunca başarılı bir şekilde inşa edilmiştir [19].



Şekil 4.15. Kazık destekli dolgunun kazık çakma işleri



Şekil 4.16. Geosentetik güçlendirme serilmesi

4.3.2. Donatılı zemin (Toprakarme)

Bu tip zemin güçlendirme yöntemi özellikle istinat duvarı inşa etmek için ve sadece dolgu zeminlerde uygulanır. 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. Yatay ve düşey şerit açıklıkları sırasıyla (s_h) ve (s_v) ise (z) derinlikte şeritteki çekme kuvveti (T_s);

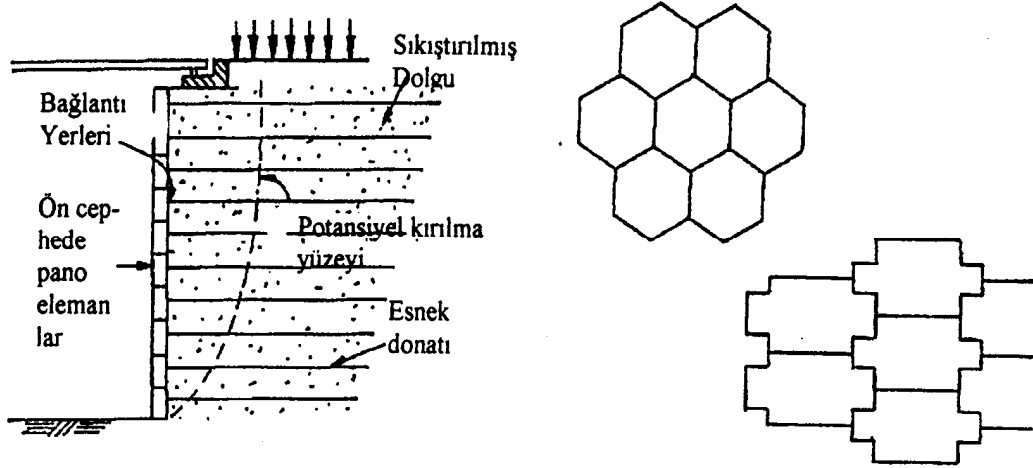
$$T_s = K \cdot \sigma_v^1 \cdot s_h \cdot s_v$$

Burada (K) toprak basınç katsayısı, (σ_v^1) şerit derinliğindeki düşey gerilmedir. Şeritin kopma yükü ile en fazla çekme kuvveti arasında güvenlik sayısı (3) olarak tavsiye edilmektedir. İç stabilite açısından dayanma bölgesinde şerit ile zemin arası sürtünmenin şeritteki yükten büyük olup (başka bir güvenlik sayısı) şeritin zeminden sıyrılıp çıkması gerekmektedir

$$\frac{I_a \cdot 2b \cdot f \cdot p}{T_s} \geq 1.5$$

Burada (I_a) şeritin dayanma bölgesi içinde ki uzunluğu (ankraj uzunluğu), (b) şerit genişliği, (f) zemin-şerit arası sürtünme katsayısı, (ρ), zemin birim hacim ağırlığı, (z) şeririn duvar üstünden derinliğidir. (1.5) güvenlik sayısıdır.

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 [20].



Şekil 4.17. Donatılı duvar kesit ve ön pano şekilleri

4.3.2.1. Dolgu malzemesi

Donatılacak zeminin özellikleri duvarın uzun ve kısa süreli stabilitesini etkilemeyecek ve donatı malzemesinin ayrışmasına sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Sıkıştırıldıktan sonra, makaslama sonucu kabarma gösteren zeminler donatılma için en elverişli türdür. Granüler dolgunun ağırlıkça %10'nu geçmeyen ince malzeme içermesi ve kayma direnci açısının toplam kesme kutusu gerilme analizine göre (25°), efektif gerilme analizine göre ise (20°)'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°)'lik kayma direnci açısı öngörülmüştür. Dayanımı yüksek donatılarda D_{max} 250 mm'ye yükseltilebilir [21].

4.3.2.2. Donatı elemanları

Donatı elemanı olarak, galvenizli çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, alüminyum alaşımları gibi düz yüzeyle 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 [21].

4.3.2.3. Şantiyede donatılı zemin duvarı uygulamaları

IGL-STFA ortak girişimi tarafından Kınalı Sakarya Otoyolu 1,2A ve 2B kesitinde 100.000 m² donatılı toprak istinat ve kanat duvarı icra edilmiştir. Başlangıçta lisans sahibi firma ile yapılan anlaşmalarda, Joint Venture'in 40 içsel sürtünme açılı bir duvar arkası dolgusu temin edeceğine dair not konulmuştur. İstanbul civarında çok sık bulunan kırıklı Kumtaşı ile bunu temin etmek büyük zorluklar ve düşünülenin çok üstünde kompaksiyon adam-saat'ları oluşturmuştur. Ayrıca duvar panellerine yakın mesafelerde de $\emptyset = 40$ dereceyi bulmak için %95 proctor kompaksiyon

yapıldığından paneller öne doğru (deformasyon) yapmış, J.V. bu panelleri-değiştirmek mecburiyetinde kalmıştır.

Rasyonel neticeler almak için şu noktalara dikkat edilmelidir:

a) Mevcut malzeme ile ve %90 kompaksiyonla yapılacak dolgunun içsel sürtünme açısı ne olmalıdır?

İstanbul civarında; $\emptyset = 35$ derece ve (max) 36 derece tavsiye olunur. İçsel sürtünme açısı yükseldikçe kullanılacak şerit sayısı ve kapasitesi azalmaktadır. Fakat bu iki değerin dengede tutulması lazım gelir. Deneyimler $X = 35$ derecenin şerit maliyetini yükseltmesine rağmen kompaksiyon adam-saat'ını düşürdüğü için en rantabl çözümlü sağlamaktadır.

b) Prekast panellerin arkasındaki 2,0 m lik şeritin kompaksiyonu %90 dan fazla olmamalıdır. Bunun haricindeki yerlerde %95 kompaksiyona çıkılabilir.

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. Şöyle ki günlük 30-40 m² donatılı toprak imalatı için:

Panel İmalatı İçin :

- 1) Portal Vinç 4 ton kapasiteli
- 2) 1 Adet kompresör
- 3) 0,35 lik 2 adet vibratör
- 4) El aletleri yeterlidir.

Montaj İçin :

- 1) 1 ad. mobil vinç 20 ton kapasiteli
- 2) 1 ad. tır (Panel nakli İçin)
- 3) 1 ad. Hiab kamyon (Montaj için değişik cins malzeme nakli)

Donatılı Toprak Dolguları İçin :

- 1) 1 ad. 955 kepçe
- 2) ad. CA 25 veya muadili silindir
- 3) ad. el Kompresörü LP 66
- 4) 1 ad. benzinli ışık kulesi (gece çalışmaları için)
- 5) 1, 2, 3 ad. kamyon 10 m³ uygun asfalt dolgu malzemesi ve filtre nakli için

Ekip :

Panel imalatı 16 işçi + usta ve 1 formen	16
Panel montajı ve temel 16 işçi+usta+operatör ve 1 formen	16
İdari işler için 3 (Müh.veya Tekn. + 1 Şoför+hizmet elemanı)	3
Toplam	35 kişi

Donatılı toprak duvar ilerleme hızı ortalama günlük 80 cm.dir. Duvar uzunluğunun bu İlerleme hızına fazla bir katkısı yoktur. Duvar uzunluğu 30 m ile 200 m arasında dolgu ekipmanını arttırmaktan başka ekipmanda herhangi bir değişiklik olmasına da gerek yoktur. 1 vinç saatte 30 m panel (15 panel) monte eder.

Malzeme :

- 1) Q 188 / 188 hasır çelik + B30 betonu
- 2) Çelik Kalıp
- 3) Kaldırma kancası ve Ø 32 boru
- 4) Şerit tesbit kancası

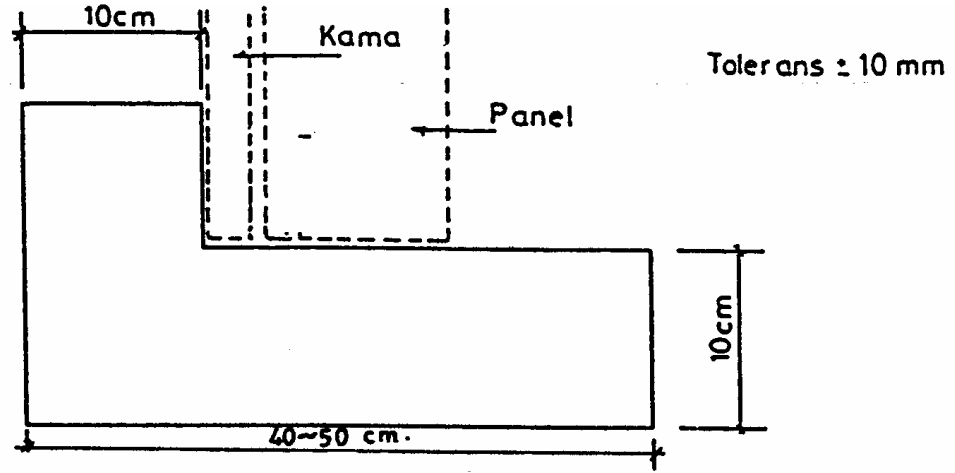
Panel Montajı İçin :

- 1) Kayış
- 2) Plastik Klavuz Ø 30 mm çapında
- 3) Şerit sünger- düşey derelere konur (Malzemenin arkadan akmasını önler)
- 4) Mantar - Panellerin yatay birleşim yerlerine konur
- 5) Demir mili (Epoxy boyalı)
- 6) Uygun evsafa toprak dolgu (Kaya dolgu da olabilir) ve filtre malzemesi.
- 7) Drenaj için drenfle veya Ø 200 büz.

İnşaat :

Temel

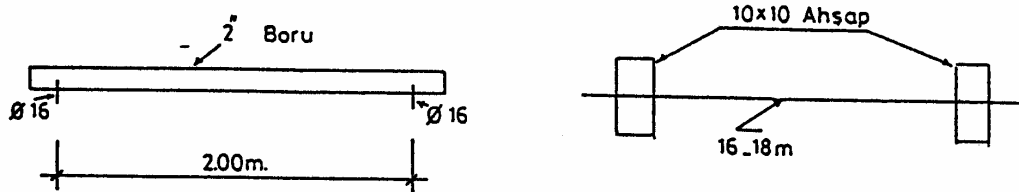
Panel montajı için uygun bir yüzey sağlamak için yapılır. Toleransı $+0.10$ mm dir. beton kalitesi B12 dir. taşıma fonksiyonu olmadığı için demir konmaz.



Şekil 4.18. Ön paneller hariç panel ebatları

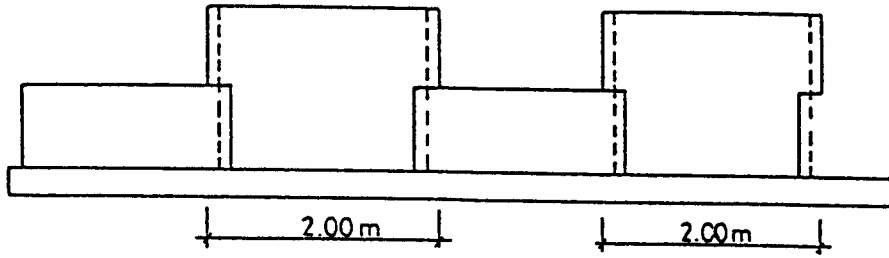
Panel genişliği 2.00 m. yüksekliği tam panel 160 cm yarım panel için ise 80 cm dir. panellerin üzerinde sistemi düşey olarak sabitlemeye yarayan 32 mm çapında 2 delik vardır.

Panel montajında kullanılmak üzere aşağıda gösterilen şablon ve işkence imal edilir.



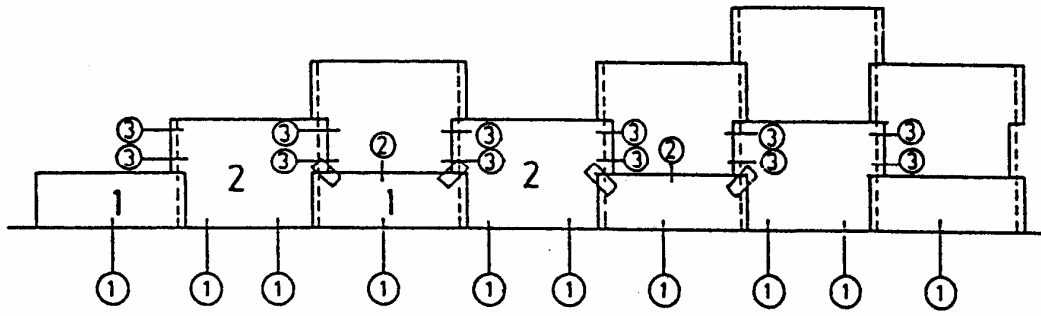
Şekil 4.19. Şablon ve işkence

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



Şekil 4.20. Panel montajı

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



Şekil 4.21. Panel montajı

1 Nolu kamalar ön yüzdendir.

2 Nolu ayar kamaları toprak tarafına konur.

3 Nolu kamalar ön yüzdendir.

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 dzeltiľmiř olduğu toprağının üzerine demir parçaları ile tutturulur. stne 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 st yüzünün replasının iyi yapılmasına dikkat edilmelidir. Aksi halde kayışlar dolgu yüzüne uyar şeritlerin üzerine değişken yükler gelir.

şerit Dolgu-Panel-Dolgu-şerit-Dolgu Panel st sıralara yapının geometrisine uygun özel eğimli paneller de kullanılabilir.

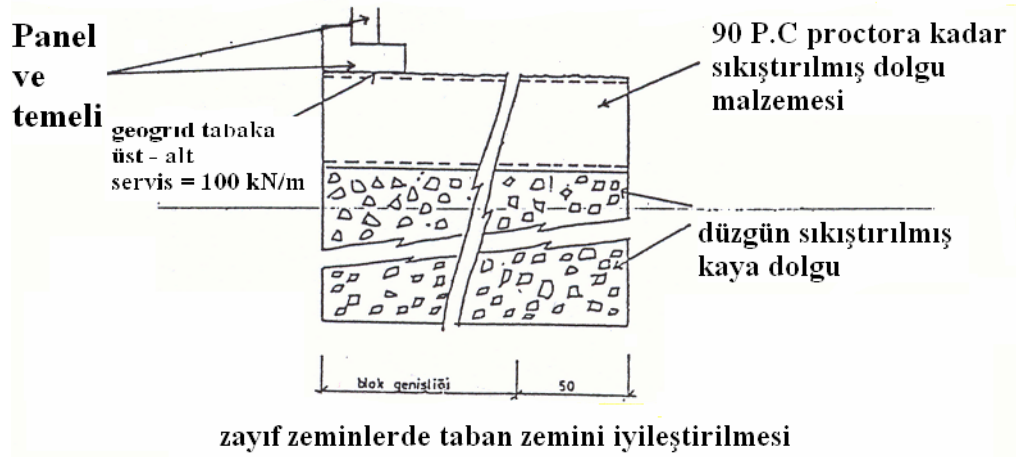
Kayışlar şeritleri betonarme demirinde olduğu gibi 2 m.lik bindirme payı ile eklenebilir. Herhangi bir nedenle kesilmiş kayışların yüzüne bitüm sürülerek bozulması önlenir [22].

Problemler ve Avantajlar :

1) Dolgu malzemesinin uygun evsafta olması lazımdır. Dolgu malzemesinin daha sonra hava şartlarından etkilenmesinin önlenmesi gerekir. Gerekli drenajların mutlaka tamamlanması, suyun bu malzeme üzerinde gllenmesinin önlenmesi lazımdır. Bunlar yapılmadığı takdirde tüm yapının kaldırılıp tekrar İnaası gerekir. İçsel sürtünme açısı 30 derecenin altında olan Bypass malzeme İle dolgusu yapılıp daha sonra üstünde yağan yağmurun gllendiği tesbit edilen İmam eşme B 14 R köprüsünün donatılı toprak kanat duvarları bu nedenlerle kmş ve kaldırılıp tekrar inşa edilmişlerdir.

2) şeritlerin zedelenmesi kontrol altına alındığı takdirde kaya dolgu da yapılabilir. Keskin köşeli sert malzeme kullanılmaması tavsiye edilir.

- 3) Yağmurlu havalarda bile kaya dolgu ile donatılı toprak inşaatına devam edilebilir.
- 4) Zayıf zeminlerde kazık inşaatına gerek kalmadan küçük bir zemin takviyesi ile günde 80 cm yükselecek şekilde inşaatı yapılabilir.
- 5) Aşağıdaki maliyet analizinden de görüleceği gibi maliyeti klasik betonarme perdelerin %80'i kadardır. Temel istemezler.



Şekil 4.22. Panel Temeli

- 6) V 4 (Okmeydanı) viyadüğünde olduğu gibi istimlak sahasının problem olduğu kesimlerde ek temel hafriyatları yapmadan mevcut binaları muhafaza ederek donatılı toprak perdelerini yapmak mümkündür.
- 7) 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.
- 8) Şekillerde görüldüğü gibi şeritin gerilmesi ve gerildikten sonra klobe edilmesi en mühim noktalardır. Sıcak havalarda ikinci bir germe yapmak lüzumludur [22].

4.3.2.4. Yumuşak zeminlerde donatılı toprak istinat duvar

Donatılı toprak duvarları yumuşak zeminler için ideal yapılardır; Manş denizi limanlarında 200 mm ye varan oturmalar olmasına rağmen istinat yapısı overall integritesini kaybetmemiştir. Duvara takviye olmak üzere temelde seçilmiş dolgu ve geogrid kullanarak bir "zemin radye"si (soil raft) yapılmıştır. Yumuşak zeminlerde kazık kullanılmadığı durumlarda bir zemin radyesi yaparak yükler dağıtılmakta ve sömeller zemin radyesinin üstüne oturtulmaktadır.

Bu uygulama, swimming raft (yüzen radye) tabir edilen betonarme plak temellere çalışma felsefesi bakımından eşdeğerdir [22].

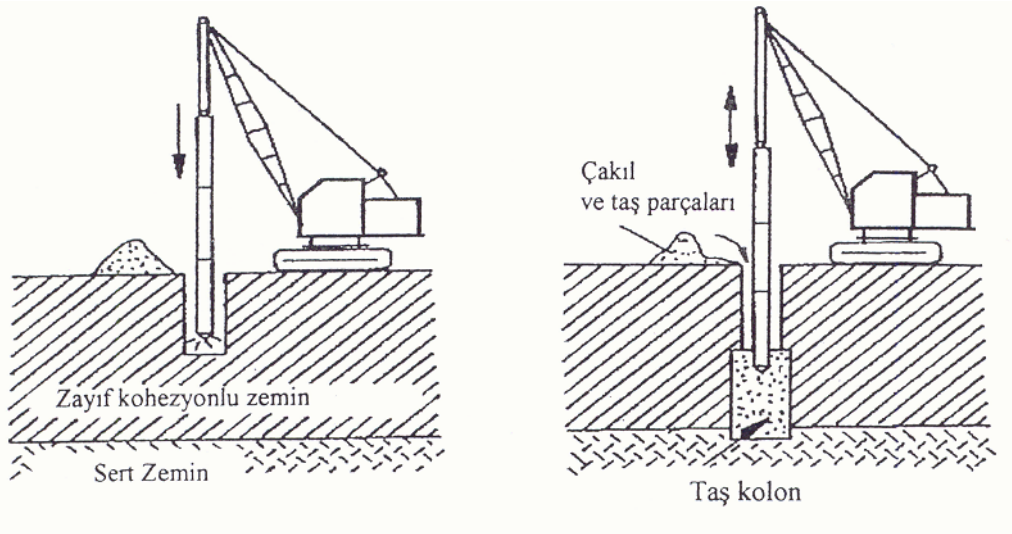
4.3.3. Taş kolonlar

Taş kolonlar genellikle yumuşak ve orta yumuşak killi zeminlerde kullanılırlar. Bu yöntemin amacı zemin üzerine gelen yükleri zeminle ortaklaşa taşımaktır. Hem taşıma gücüne hem de oturmaların azalmasına katkıda bulunurlar. Ayrıca düşey dren gibi çalışıp oturma hızlarını artırır. Kohezyonu az ancak ince taneli (killi - siltli) zeminlerde sıvılaşmaya karşı da önerilmektedir. Alüvyon ve değişken zeminlerde vibrokompaksiyon ile beraber uygulanmaktadır.

Taş malzeme, zemin içine dik olarak, 0.6-1.0 m çapında ve genellikle 20 m'ye kadar derinliklere çeşitli yöntemlerle yerleştirilir ve sıkıştırılır. Genel olarak 20- 75 mm arası kırma taş malzemesi yaygın olarak kullanılmasına karşın doğal kaba çakıl agrega veya kum – çakıl karışımlar da kullanılmaktadır. Yumuşak killerde boru çakma ve doldurarak çekme yöntemi uygulanmaktadır. Diğer zemin sınıflarında ise genel olarak tonaj yöntemi uygulanmakta olup kolonların ucunun sert bir zemine girmesi istenmektedir.

Taş kolon projelerinde yaklaşık 0.3m kalınlıkta taneli zeminden bir yastık sahada kolonların üzerine serilir. Üçgen veya kare yerleşim planında merkezden merkeze taş kolon ara mesafeleri 1.5-3.5 m arasında değişmektedir. Kolonların uç kotta sert bir formasyona girmesi istenmektedir.

Kolonların yük taşıma mekanizması, zemine uygulanan yük negatif sürtünme ile kolonlara aktarılır. Yatayda zeminle desteklenen kolonlar deplasman gösterirler ve fazla yükleri tekrar zemine aktarmış olurlar. Zemin oturdukça kolonlar yine yük alırlar ve bu şekilde destek sağlanmış olur. Çok yumuşak ve turba tipi zeminlerde zamanla yanal sünme deplasmanları ve dolayısıyla zamana bağlı oturmalar rapor edilmektedir.



Şekil 4.23. Taş kolon yapımı

- Zeminin drenajsız taşıma gücü,
- Yatay jeolojik gerilme,
- Radyal gerilme birim boy değiştirme özellikleri,
- Başlangıçtaki kolon boyutu,
- Kolon malzemesinin özellikleri sayılabilir.

Taş kolon kapasiteleri ve kolon uygulanmış killi zeminlerin oturma davranışları çok sayıda araştırmacı ve uygulamacı tarafından incelenmiştir. Kolon taşıma kapasiteleri genellikle 200-350 kN aralığında bulunmaktadır. Kolonsuz ve kolonlu oturma oranları (iyileştirme oranı) 1.5-5 arasındadır. Literatürde çok sayıda verilen ölçümler de bu aralıktadır.

4.3.4. Derin karıştırma (Kireç kolonlar)

Derin karıştırma yöntemleri, yumuşak ve ince taneli zeminlerde kireç veya portland çimentosunun ortası delik burgular veya kanatlı karıştırıcılar aracı ile zeminle karıştırılıp kolonlar veya duvarlar oluşturulması şeklinde uygulanmaktadır. Literatürde kireç kolonlar olarak tanınmaktadır. Zeminle karıştırılan malzeme zamanla prizini alıp sertleşmektedir. Kireç kolonları genellikle yumuşak killerde uygulanmaktadır. Kireç sönmemiş (CaO) veya sönmüş (Ca(OH)₂) halde kullanılabilir. Her ikisi de toz halde kullanılabilir gibi sönmüş kireç bulamaç halinde de kullanılmaktadır. Geçici işlerde % 50 kireç % 50 jibs katkı malzemesi olarak kullanılırken, sürekli fonksiyon görecektir imalatta % 75 kireç, % 25 jibs tercih edilmektedir. İmalatta zemin ile diğer malzemelerin iyi karıştırılması gerekmektedir, aksi halde karışmamış kireç bantları kireç kolonunun deplasmanına neden olabilmektedir. % 75 tamamen sönmüş jibs (CaSO₄.2H₂O) + % 25 sönmemiş kireç çok popüler bir karışım olup ticari olarak etrinjit veya çimento şeklinde adlandırılmaktadır.

İskandinav uygulamasında karıştırıcı pervane kanat (genellikle 0.5 m çap) tasarım derinliğine kadar (10-15 m) indirilmekte ve karışım şafttan bulamaç şeklinde zemine pompalanırken kanat döndürülerek yavaşça yukarı çekilmektedir. Japonya'da da uygulanan yöntemde uç ve kanatlar daha büyük çaplıdır. 1.80m çapında ve 60 m derinliğe kadar uygulamalar rapor edilmiştir. Limanlarda fazla sayıda uygulama yapılmıştır. Birden fazla sayıda burğu veya kanat döndürülebilmektedir. Şevlerin kireç kolonları ile stabilizasyonu da kullanılmaktadır [16].

Klasik yol stabilizasyonunda % 3-8 kireç, % 3-10 çimento değerleri kullanılırken kireç kolonlarında kum zemin itibariyle % 5-15 toplam karışım malzemeleri kullanılmaktadır. Killer ile karıştırıldıktan sonra 80 misline kadar mukavemet artışları 40 misline varan deformasyon modül artışları ölçülmüştür. En fazla % 25 ince kumlu kil ve şilt karışımı zeminler bu yönteme uygundur.

4.3.5. Geotekstiller

Amerikan standartlarında (American Society of Testing and Materials ASTM) geotekstil ve geomambranlar şöyle tanımlanmaktadır.

Geotekstil: İnsan yapısı bir proje, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü (ASTM).

Geomembran: Geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından imal edilen sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyer (ASTM).

Geotekstil tanımına uymayan fakat geotekstil yerine veya geotekstil ile beraber kullanılan ağ, ızgara, tabaka, şerit, hücre v.s. şeklinde diğer malzemeler.

Geotekstillerin yapımında kullanılan polimerler ;

- a) Poliolefin
 - 1) Polipropilen
 - 2) Polietilen
- b) Pohester (terilen)
- c) Poliamid (nylon)
- d) Polivinilklorür(PVC)

Bunlardan aynı zamanda da ucuz olan polipropilen en fazla kullanılan hammadde olup ikinci olarak poliester gelmektedir. Poliester pH değeri yüksek alkali maddelere karşı daha az olan dayanımı hariç olumlu özellikleri taşımaktadır. Ancak geotekstillerin özellikleri esas hammadde yanında kullanılan katkı maddeleri ve imal yöntemine de bağlıdır. Bazı ürünlerin yapımında farklı hammaddeler kullanılabilir. Türkiye'deki ilk büyük çapta donatılı zemin uygulaması olan Elmadağ üst geçidinde ve Tanyeli caddesinde inşa edilen donatılı zemin duvarda kullanılan donatı şeritleri polietilen kılıf içinde yüksek dayanımlı poliester liflerden yapılmıştır.

Geotekstillerin başlıca türleri lif, flaman veya şeritlerin kumaş gibi dokunduğu örgülü ve mekanik (iğneleme), ısı veya kimyasal yöntemlerle elyafların birleştirildiği örgüsüz tiplerdir. Örgülü tipler ilk çıkan geotekstil tipleri olup esas gelişme örgüsüz tiplerin ortaya çıkışı ile olmuştur ve halen Pazar payının % 75'i örgüsüz tiplere aittir. Isı ile birleştirilen örgüsüz geotekstillerin kalınlıkları 0.5-1.0 mm arasında iğneleme yöntemi ile birleştirilenlerinki ise 2-5 mm veya daha fazladır ve bunlara “keçe” tipi de denilebilir. Kimyasal birleştirme yöntemi sıklıkla kullanılmamaktadır.

4.3.5.1. Geotekstil türleri

- a) Örgülü,
- b) Örgüsüz (dokumasız) olmaktadır.

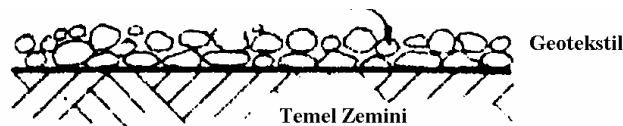
4.3.5.2. Birleştirme yöntemleri

- a) Mekanik (iğneleme),
- b) Isıyla,
- c) Kimyasal yöntemlerle yapılabilmektedir.

4.3.5.3. Uygulama alanlarına göre çeşitleri

Geoteknik uygulamalarda geotekstil genellikle ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma gibi bir veya birkaç işlevi bir arada getirir.

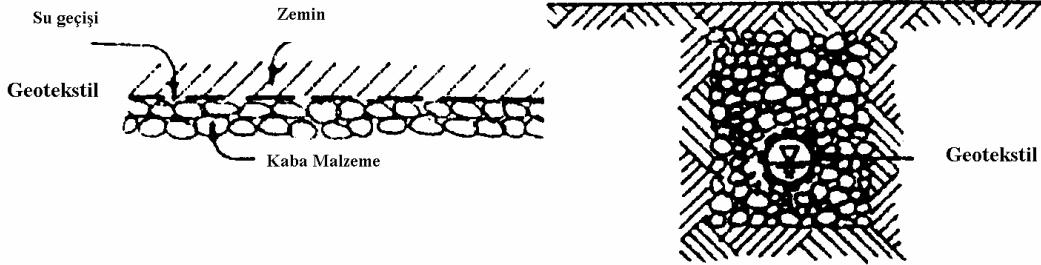
- a) Ayırma :İşlevi, özellikleri farklı iki zeminin çoklukla agrega ve yumuşak killi zeminin karışmasını önleme fonksiyonudur.



Şekil 4.24. Ayırma fonksiyonu

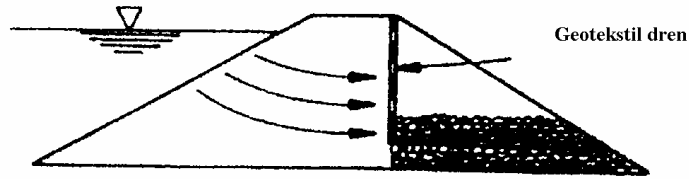
- b) Filtrasyon :Geotekstilin suyun geçişini sağlarken küçük tanelerin taşınmasını engelleyerek ince taneli zeminlerde borulanmayı önleme işlevidir. Bu işlevde

geotekstil delikli boru veya agrega/filtre malzemesi gibi bir drenaj ortamını tıkanmaya karşı korur.



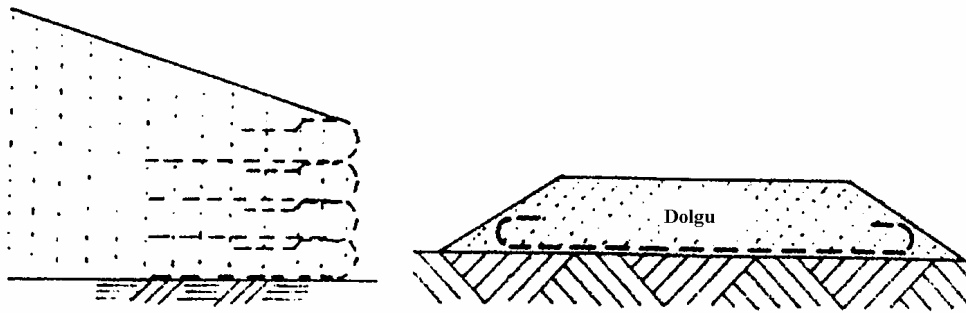
Şekil 4.25. Filtrasyon fonksiyonu

c) Drenaj : İşlevi ise geotekstilin düzlemi içinde gaz veya sıvı su akımını sağlamasıdır. Örgülü ve ısı ile birleştirilen geotekstil türleri ince olduğu için drenaj fonksiyonu yoktur.



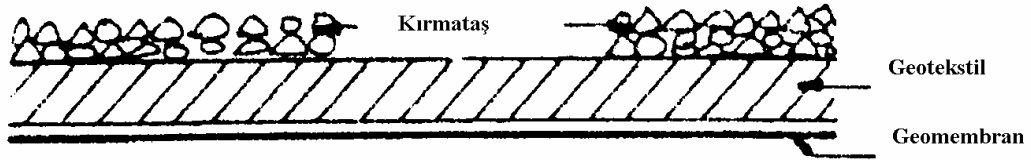
Şekil 4.26. Drenaj fonksiyonu

d) Güçlendirme :Yüksek çekme dayanımına haiz örgülü geotekstil, geoizgara ve şeritler zemini güçlendirme işlevini görürler ve bu uygulama alanı donatılı zemin olarak isimlendirilir.



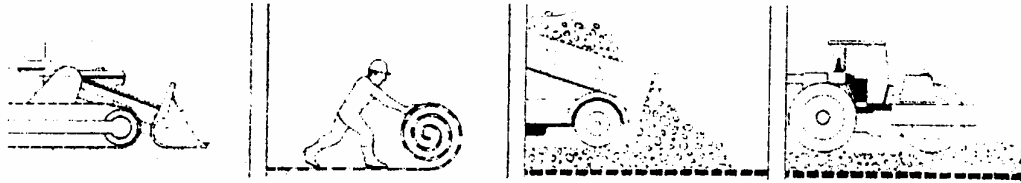
Şekil 4.27. Güçlendirme fonksiyonu

e) Koruma :Geotekstiller geomembranlarla beraber kullanıldıklarında genellikle drenaj işleviyle birlikte geomembranın delinmeye karşı korunması görevini de yerine getirirler.

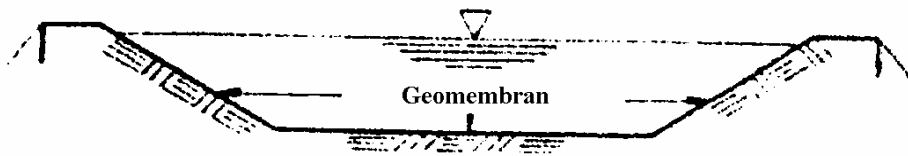


Şekil 4.28. Koruma ve yalıtım fonksiyonları

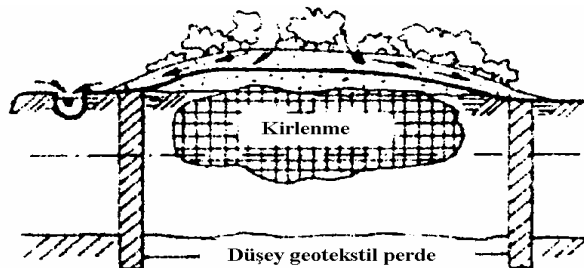
Özellikle ABD’de geniş bir kullanım alanı olan yol/pist kaplama tamirleri ise geotekstilin bitümlü malzeme emdirilerek esas olarak yalıtım işlevi gördüğü uygulama örneğidir.



Şekil 4.29. Yol uygulaması



Şekil 4.30. Yalıtım fonksiyonu



Şekil 4.31. Özel fonksiyonlar için uygulanması

Geotekstilin tanımlanması için üretici tarafından sağlanan genel özellikler beklenen işlevleri yerine getirmesi kullanım ve serilme şartlarında dayanımını belirleyen mekanik ve hidrolik özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- a) Tip ve imalat yöntemi,
- b) Polimer,
- c) Ağırlık, kalınlık,
- d) Rulo boyutları.

4.3.5.4. Mühendislik özellikleri

A) Mekanik Özellikleri :

- 1) Çekme dayanımı,
- 2) Gerilme – deformasyon özellikleri/çekme modülü,
- 3) Sünme,
- 4) Delinme dayanımı,
- 5) Yırtılma dayanımı,
- 6) Patlama dayanımı,
- 7) Zemin/geotekstil arasındaki sürtünme,

B) Hidrolik Özellikleri :

- 1) Geçirgenlik (permeabilite) - uygulama düzlemine dik yönde
- 2) Gözenek boyutları

C) Çevre Şartlarına Dayanım :

- 1) U.V. ışığı,
- 2) Isı,
- 3) Su,
- 4) Kimyasal madde,
- 5) Mikro organizma.

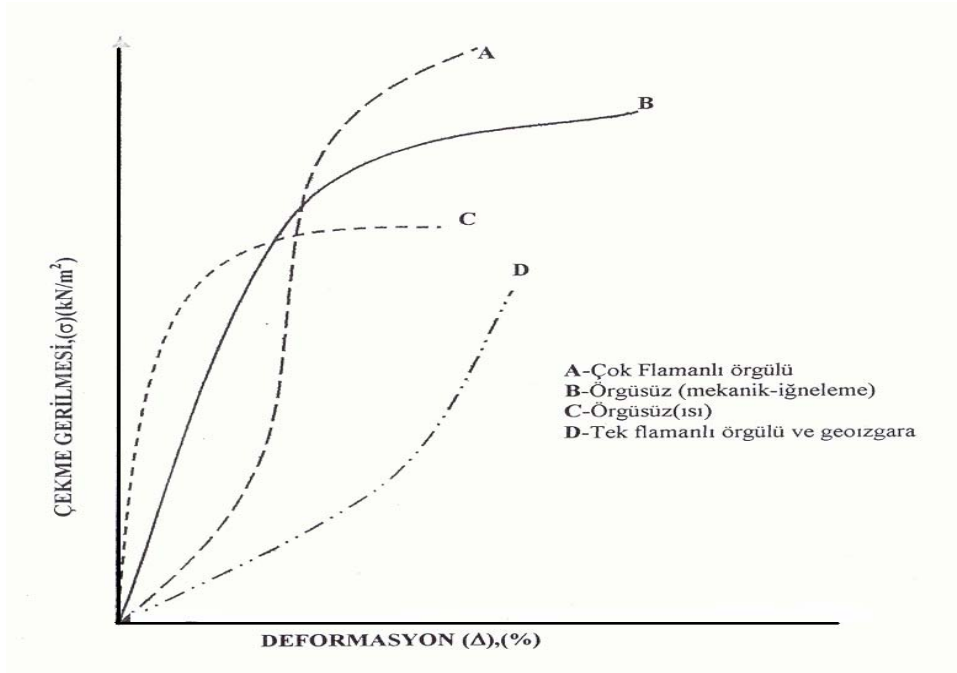
Bu özellikler geotekstiller için özel olarak geliştirilmiş veya uyarlanmış deney yöntemleri ile saptanır. Ancak henüz deney prosedürleri için uluslararası tek bir standart olmadığı gibi uygulamalar için geliştirilen kriter ve şartnamelerde de çeşitli kuruluş ve ülkeler arasında farklılıklar mevcuttur. Uygulama türü ve işlevi ne olursa olsun geotekstilin arazide serilme sırasındaki pek çok uygulamada bu geotekstilin maruz kalacağı yüklerden çok daha ağırdır yırtılmaması, parçalanmaması güneş ışınları veya ısı etkisi ile özelliklerinin bozulmaması gerekir. Uzun süre için kimyasal ve biyolojik etkenlere karşı dayanım da söz konusudur. Mekanik özelliklerinden çekme delinme yırtılma ve patlama dayanımı deneyleri geotekstilin yerleştirme süresindeki direncini saptamaya yöneliktir.

Geotekstilin esas işlevinin güçlendirme olduğu uygulamalarda geniş boyutlu çekme dayanımı deneylerinden bulunan çekme dayanımı ve modülü sünme özellikleri zemin ve geotekstil arasındaki sürtünme değerinin bilinmesi gerekir. Filtrasyon işlevi için düzleme dik yönde geçirgenlik ve gözenek boyutu kontrol edilir. Geotekstilin düzleminde geçirgenliği, drenaj işlevini görmek üzere kullanıldığında kontrol edilmesi gereken özelliğidir.

Geoteksritlere uygulanan ve deney detayları (numune ve çene boyutları çekme hızı) farklı olan çekme dayanımı deneyleri, dar mesnetli çekme deneyi, dar numune çekme deneyi ve geniş numune çekme deneyidir. Dar mesnetli çekme dayanımı kalite kontrolü ve aynı genel türde olan geotekstilleri karşılaştırma amacı için kullanılır. Ayrıca arazide geotekstilin sivri agrega uçları ile delinmesini modellediği düşünüldüğünden bütün uygulamalar için serilme sırasında gerekli mekanik dayanımı kontrol etmeye yönelik kriterler arasında yer alır.

Dar numune çekme deneyinin de bir önceki deney gibi tasarımda kullanılacak temsili çekme dayanımı değerini vermediği kalite kontrolü ve karşılaştırma için süratli bir deney yöntemi olduğu için çok sayıda uzun vade (çevre şartları) dayanım deneyleri yapılması uygundur. Aynı sebeple bir süre kullanıldıktan sonra geotekstilin özelliklerinin bozulup bozulmadığını kontrol amacıyla bu deney uygulanabilir.

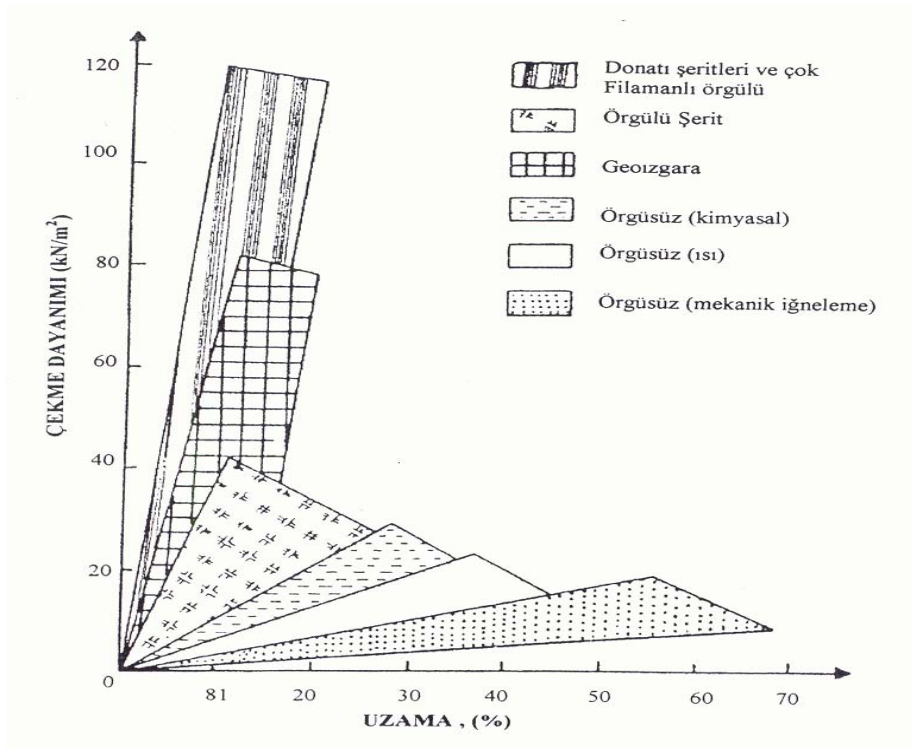
Geniş numune çekme deneyi geotekstilin tasarım çekme dayanımı ve gerilme deformasyon ilişkisinin bulunması için en uygun deneydir. Çekme gerilmesi geotekstilin kalınlığını hesaba katmamak için kuvvet genişlik olarak ifade edilir. Şekil 4.32.'de çeşitli tip geotekstiller için lineer olmayan çekme gerilmesi - deformasyon (uzama) eğrileri verilmektedir. Pek çok çeşitli geotekstilin kopmadaki uzaması % 100'den fazla olmasına rağmen mühendislik uygulamalarında geotekstilde uzamanın %10'dan



Şekil 4.32. Deformasyon – Çekme gerilme ilişkisi

fazla olmasına neden olacak mertebede bir deformasyonun genellikle kabul edilebilir sınırları aştığı düşünülür. Ancak bazı uygulamalarda ani göçme yerine genel akma meydana getirecek yüksek uzama potansiyel için genellikle % 0-10 uzamaya tekabül eden sekant modülü kullanılır.

(Şekil 4.33.) de farklı geotekstil türlerinin çekme dayanımlarının karşılaştırılması verilmektedir. Esas işlevin güçlendirme olduğu uygulamalarda düşük uzama değerlerine sahip örgülü tipler veya geoizgaralar kullanılır.



Şekil 4.33. Tipik çekme dayanımı özellikleri

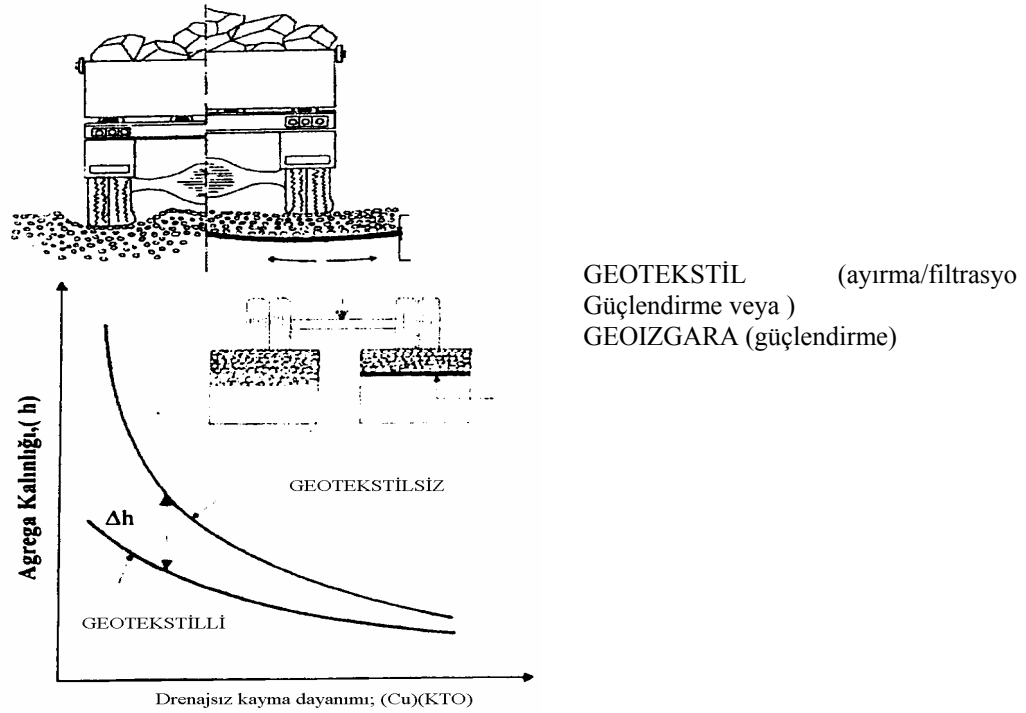
4.3.5.5. Uygulama alanları

Geotekstilin ilk ve en yaygın kullanım alanlarından biri kaplamasız yollardır. Geçici yollar, tali yollar, şantiye yolları ve orman yolları gibi bu tür yollar temel zemini üzerine belli kalınlıkta sıkıştırılmış agrega serilerek teşkil edilirler. Temel zemini yumuşak kohezyonlu bir zemin ise yağışlı mevsimlerde, tekerlek yükü geçişleri zeminde yerel göçmelere sebep olabilir. Bu durumda agrega tabakasının yumuşak zemine karışması veya batması ile yük dağıtıcı agrega tabakasının kalınlığı azalır. Bakım yapılarak ara ara agrega serilmesi veya agrega kalınlığının fire veceği düşünülerek baştan daha kalın serilmesi gerekir. Temel zeminin kohezyonsuz veya silt gibi az kohezyonlu suya doymun bir zemin olduğu durumlarda vasıtaların uyguladığı tekrarlı (dinamik) yükler boşluk suyu basınçlarının oluşmasına; bu da zeminin kısmi sıvılaşmasına neden olabilir. Sıvılaşan zemin de üstteki agrega tabakası içine nüfuz eder.

Tablo 4.2. Geotekstil uygulama alanları ve işlevleri

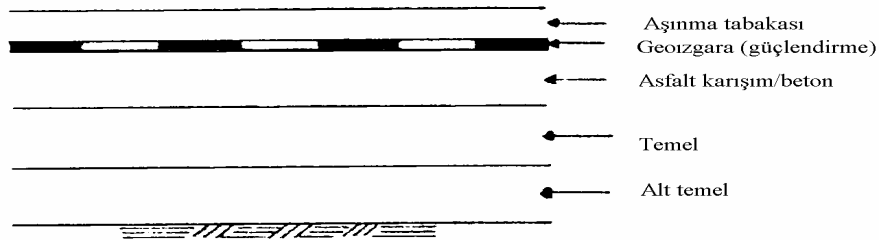
GEOTEKSTİL UYGULAMA ALANLARI VE İŞLEVLERİ ⊕ Esas İşlev + İkincil İşlev KULLANIM YERLERİ	İŞLEV					
	AYIRICI	FİLTASYON	DRENAJ	GÜÇLENDİRME	KORUYUCU	YALITIM
Kaplamasız yollar	⊕	+	+	+		
Kaplamalı yol, uçuş pisti (yapım safhası)	⊕	+	+	+		
Yol dolguları altında drenaj şiltesi	⊕	+	+	+		
Asfalt/beton takviye <u>Geotekstil</u> Tabakası (kaplamalı yol) <u>Geoizgara</u>				+		⊕
Kaplamalı yol, uçuş pisti <u>geoizgara</u>						
<u>Geotekstil</u> Demir yolları <u>Kum şilte + Geotekstil</u>	⊕	⊕	+	+		
<u>Geoizgara</u>	⊕			⊕		
Drenaj sistemleri ve problemleri	+	⊕	+			
Şev yüzeyi erozyon koruması	+	⊕	+			
Nehir, göl, deniz kıyı koruması	+	⊕	+			
Oyulma problemi (köprü ayakları)		⊕				
Donatılı zemin duvarlar, şev ıslahı				⊕		
Donatılı dolgular				⊕		
Kazıklı sistemle taşınan dolgular				⊕		
Esnek kalıp		⊕	+	+		
Geomembran altına		⊕		⊕		

Geotekstil kullanıldığında, geotekstil zayıf temel zemini ve agrega tabakasının karışmasını önleyerek agreganın serilme ve sıkıştırılmasını kolaylaştırılır, agreganın yumuşak zemine batmasını önler. Gerektiğinde filtrasyon işlevini de yerine getirerek boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesini sağlar. Geotekstilin haiz olduğu çekme gerilmesi "membran etkisi" ile aynı anda bir şekilde güçlendirme işlevini de görür. Temel zemini ve agrega arasında geotekstil olduğu ve olmadığı durumda gerekli agrega kalınlığının saptanmasına yönelik, yerleşmiş en az iki tasarım yöntemi mevcuttur. Geotekstil kullanılması, temel zemini KTO değerinin yaklaşık olarak %3'ten küçük (drenajsız kayma dayanımı $C_u=0.5 \text{ kg/cm}^2$) olduğu durumlarda uygun bir alternatiftir.



Şekil 4.34. Kaplamasız yollarda geotekstilli ve geotekstilsiz uygulama

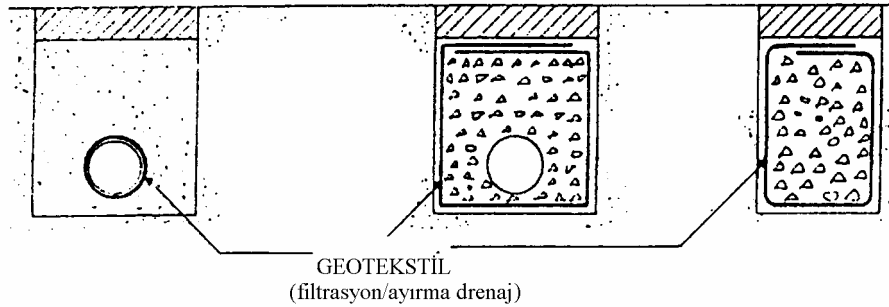
Kaplamalı yol ve pistlerde özellikle tatbik edilen gerilmelerin yüksek olduğu trafik ışığı yaklaşım kesimleri, havaalanı kargo terminalleri gibi yerlerde yol üst yapısında yüksek çekme dayanımlı geozgara türü malzemeler kullanılmaktadır.(Şekil 4.34.) Böyle bir durumda üst yapı tasarımı için önerilen metodlar olmasına rağmen halen uygulamada üst yapı tasarımı güçlendirici bu tabakada yokmuş gibi yapılmakta ve bu tabakanın kaplama ömrünü uzatıcı etkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.35. Kaplamalı yol/pistlerde uygulaması

Geotekstiller yer altı drenajında delikli dren borular (perforeduck) etrafına veya hendek etrafına sarılarak kullanılabilir(Şekil 4.36.) Geotekstil kullanılması ile ince filtre tabakası oluşturulmasına gerek kalmadığı gibi agrega/ filtre tabakasının filtrasyon (tane

tutma) işlevi kalmadığı için açık gradyonlu, permeabilitesi çok yüksek malzeme kullanılabilir. Drende boruya gerek kalmayabilir veya daha dar bir dren yeterli olabilir.



Şekil 4.36. Geotekstilli ve geotekstilsiz dren uygulamaları

Geotekstillerin barajlarda ilk kullanılmaları 1970 yılında Valcros barajında (Fransa) olmuştur. Ayrıca, örgüsüz geotekstillerin drenlerde ilk defa kullanımı da bu barajda olmuştur. Toprak barajlarda geotekstillin muhtemel kullanma yerleri aşağıda sıralandığı şekildedir;

- a) Geçirimsiz kaplama altında basınç düşürme drenlerinde,
- b) Memba tarafında anroşman altında.
- c) Kret üzerindeki yol yapımında,
- d) Baca ve yatay dreni teşkil eden filtre malzemesinin korunmasında,
- e) Topuk dreninde, kalın geotekstillere çok katlı olarak bizzat dren yapımında kullanılabilir [23].

4.3.5.6. Geotekstil Seçimi Aşamaları

a) Teknik Üstünlük Kriterleri :

- 1) Performans,
- 2) Proje Ömrü,
- 3) Yapım / tamir kolaylığı,

- 4) Yapım Hızı,
- 5) Malzeme seçiminde esneklik.

b) Ekonomik üstünlük Kriterleri :

- 1) Yatırım maliyeti farkı,
- 2) Toplam maliyet içinde payı,
- 3) Bakım maliyeti.
- 4) Yapım hızının sağladığı ekonomi

c) Geotekstil Seçimi :

- 1) İşlevinin gerektirdiği özellikleri sağlama,
- 2) Yapım şartlarına dayanıklılık (mekanik ve iklim),
- 3) Çevre / kimyasal etkenlere dayanıklılık,
- 4) Fiyat: istenilen boyut, miktar ve zamanda temin imkanı,

Şev stabilitesi ıslahında polimer donatı malzemelerinin kullanılmasının ekonomikliği üzerine Johnson (1985) tarafından yapılan bir araştırmada kayma sonrası stabilitesinin yeniden sağlanması gereken bir dolgu şevde 5 ayrı yöntem uygulanması durumunda işin tamamlanması için ne kadar süre gerektiği ve pound (£) olarak maliyeti (Tablo 4.3.) de verilmektedir.

Tablo 4.3. Aynı metoda göre stabilite sağlanması halinde maliyetler ve işin Süresi

STABİLİTE SAĞLANMASI HALİNDE MALİYETLER VE İŞİN SÜRESİ		
Uygulanan Yöntem	Toplam Maliyet (£)	İşin Süresi (Gün)
Yığma Duvar	8360	18
Granüler Malzeme	5020	5
Ankrajlı Duvar	4760	8
Kireç Stabilizasyonu	4760	7
Geonet Kullanımı	3430	6

4.3.5.7. Uygulamalardan örnek

Türkiye’de Geotekstillerin Uygulamalarına İlişkin Örnekler :

Gümüşova-Gerede Otoyolu

Gümüşova'nın güneyinden başlayarak Üçköprü mevkiinde son bulan otoyol kısımlarında geotekstil uygulaması yapılmıştır. Güzergah Düzce ovasındadır. Düzce ovası boyunca dolgu, arazi kotundan yaklaşık 2-3 m yüksekliğinde olup sadece iki yerde 7-8 m'ye erişmektedir. Bir yıl boyunca yapılan incelemelerde, bazı yüksek yer altı suyu seviyesine sahip alanlar ve bu yer altı suyunun kumlu ve siltli tabakalar arasından geçtiği ancak aynı zamanda killi tabakalara karıştığı anlaşılmıştır.

Otoyol güzergahındaki zeminlerin sınıflandırılmalarında, bu zeminlerin büyük çoğunluğunun kumlu ve killi siltler, killi silt ve killer veya siltli killer olduğu anlaşılmıştır. Taban zeminlerinin özellikleri ve bazı yerlerde bazı dönemlerde tabii zemin seviyesinin birkaç cm altında olan yeraltı suyu hesaba katıldığında, yer altı suyunun kapiler etki ile yüzeye yükseleceği, bu nedenle de dolgu olması halinde, suyun dolgu malzemesinin mekanik özelliklerini değiştireceği ve stabilitesini de tehlikeye atarak dolgu içerisine girebileceği anlaşılmıştır. Killi ve siltli zeminler yüzünden böyle bir yeraltı suyu.küçük tanecikleri getirerek dolgunun boşluk kanallarını azaltacak ve hatta böyle bir etki ile suyun yükselmesini de arttıracaktır. Bu durumda, alttaki taban zemininden kil taneciklerinin gelmesini ve yeraltı suyu seviyesinin tabii zemin seviyesinin yakın olduğu zaman ile kırmızı kotun altında kalan dolgu yüksekliğinin 3.0 m'den az olduğu zamanlarda, dolgu malzemesini kapiler harekete karşı korumak amacıyla önlemler almak gerekmiştir Yüksek yer altı suyu seviyesi varlığında yukarıda belirtilen toprak dolgu/zemin etkileşimini gidermek amacıyla, en uygun çözümün geotekstil uygulaması olduğu anlaşılmış ve 30 cm'lik bitkisel toprağın sıyırılmasından sonra. 40cm'lik ariyet dolgusu üzerine geotekstil yerleştirilmiş ve bu geotekstil üzerine kapileritesiz malzeme tabakası, bunun da üzerine dolgu malzemesi konulmuştur.

Bu projedeki uygulamada polyesterden dokumasız olarak üretilmiş (TB 30 tipi Vateks geotekstil) kullanılmış ve şu yararlar elde edilmiştir:

- a) Kapileriteyi önleyen kum tabakası ile tabii zeminin karışımı tehlikesi önlenmiştir (geotekstilin ayırma fonksiyonu).
- b) Yer altı suyu yüksekliğinde ince tanelerin tutulması ve böylece granüler malzemenin kapilariteyi önleme etkisinin sürekli güvence altına alınması sağlanmıştır (geotekstilin filtre fonksiyonu).
- c) Sıvı ve gaz ortamının drenajı, yani toprağı drene etme ve havalandırma sağlanmıştır (geotekstilin drenaj fonksiyonu).
- d) Zemin kalitesinin ıslahı ve böylece zemin sistemi ile geotekstilin kaynaşma mekanizmasını sağlayarak yapısal stabilitenin artırılması sağlanmıştır (geotekstilin takviye fonksiyonu).

Drenajsız ve kısmi drenajlı durumda yumuşak zemin üzerindeki güçlendirilmiş dolgular üzerine Rowe ve Lunzhu Li tarafından yapılan çalışma :

Rowe ve Lunzhu Li Tarafından yapılan bu çalışmada Yumuşak kohezyonlu zeminler üzerindeki Geosentetik ile güçlendirilmiş dolguların drenajsız ve kısmi drenajlı durumdaki davranışı eliptik kepli zemin modeli kullanılarak incelenmiştir. Konsolidasyon Biot teorisi kullanılarak modellenmiştir. Güçlendirme rijitliği, dolgu yapımı esnasındaki temel zemininin kısmi konsolidasyonu ve temel zeminlerinin farklı başlangıç drenajsız dayanım profillerinin etkileri incelenmiştir. Kullanım düzeyinde ve dolgu göçme seviyesinde geosentetik güçlendirmedeki birim deformasyonlar üzerinde özellikle yoğunlaşmıştır. Güçlendirmenin temel zemininin deformasyonuna etkisi değerlendirilmiştir. Güçlendirmenin dolgu yapımı esnasında, maksimum yanal deplasmanları, düşey deplasmanı ve zeminin kabarmasını önemli ölçüde azaltabildiği kanıtlanmıştır. İncelenen şartlar için, yapım esnasındaki kısmi drenaj, güçlendirilmiş dolgunun göçmeye karşı güvenlik sayısında tamamen drenajsız duruma kıyasla % 11 – 38 artış sağlamaktadır.

Yumuşak zemin üzerine yapılan güçlendirilmiş dolguların drenajsız davranışı, temel zemin davranışını açıklamak için Mohr–Coulomb ve Modifiye Cam–Clay modelleri kullanılarak geniş çaplı bir şekilde araştırılmıştır (Rowe ve Soderman, 1987a, 1987b; Hird et al., 1990). Bunun yanısıra, birçok araştırmacı (ör. Chai ve Bergado, 1993; Litwinowicz et al., 1994; Rowe et al., 1996) çeşitli gerçek durum davranışlarını modellemek için efektif gerilme analiz yöntemleri kullanmışlardır. Ancak, güçlendirmenin kısmi drenajlı durum için temeller üzerinde dolgu yapılmasına etkisi pek fazla önemsenmemiştir. Bu makalenin amacı, geosentetik güçlendirme ve temel zeminlerinin dolgu yapımı esnasındaki kısmi konsolidasyonun etkilerini belirlemek ve bu hususa dikkat çekmek için dolguların davranışını drenajsız ve kısmi drenajlı inşa durumlarının her ikisini teorik olarak incelemektir. Kısmi konsolidasyonun geosentetik ile güçlendirilmiş dolguların beklenen stabilitesine etkisi daha detaylı incelenecektir [24].

Drenajsız analiz ve yapım aşamasında aşırı boşluk suyu basıncının kısmi sönümlenmesini nedenini açıklayan tamamiyle eşlenmiş analizlerin her ikisinden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Bu sonuçlar incelenen koşulların aralığı ve zeminler için göstermektedir ki:

- 1) Geosentetik ile güçlendirme, yumuşak zeminler üzerine yapılan dolguların stabilitesini hem drenajsız hem de kısmi drenajlı durumlar için etkin bir şekilde arttırmaktadır.
- 2) Tipik yapım hızı ve yapım esnasındaki kısmi boşluk suyu basıncı sönümlenmesi göz önüne alındığında, yapım aşaması sonunda temel zemininde oluşan aşırı boşluk suyu basıncı, drenajsız durum için beklenenden belirgin bir şekilde daha az olmuştur.
- 3) Kısmi drenajlı durumdaki rijit güçlendirmenin etkisi, drenajsız duruma kıyasla daha fazla olmuştur. Bu, kısmen, güçlendirme kuvvetinin daha fazla etkin kılmasını sağlayarak zemin güçlendirmesine yakın yüzeylerdeki dayanımın artması nedeniyle olmaktadır.
- 4) Kısmi drenajlı durumlar, niteliği gereği, incelenen güçlendirilmiş dolguların drenajsız göçmelerine karşı 1.1 ila 1.4 güvenlik sayısı vermektedir. Kısmi drenajlı durumda, drenajsız durum için tahmin edilen göçme yüksekliğindeki güçlendirme birim deformasyonu % 7 ‘den az olmuştur.

5) Güçlendirilmenin dolgu tepesi altındaki düşey ve yanal kesme deplasmanlarını azalttığı tahmin edilmekteydi. Güçlendirme ayrıca, dolgu yapımı esnasında dolgu topoğrafyasında meydana gelen kabarmayı da azaltmaktadır.

Tablo 4.4. Zemin iyileştirilme yöntemlerinin karşılaştırılması

Metod	Zemin Cinsi	Kullanım Alanı ve Şekli	Avantajları	Dezavantajları
Önyükleme	Yumuşak killer, silt organik zeminler, humus, lös	Oturma zaman alacağından zaman problemi olmayan yerlerde	Sığ temellerde kolay ve uygun çözüm verir, su muhtevası azalır ve mukavemet artar.	Sonuçlar çok yavaş elde edilir.
Düşey drenler	Siltli kum, siltler,yumuşak killer, organik zeminler	20 m. Derinliğe kadar oturmalar hızlıdır, yerleşim yerlerinde, dolgu altında	Kolay uygulama, düzenli sonuç, düşük maliyet, önyükleme bekleme süresini kısaltır.	Çok sık karşılaşılan geçirimli bant ve tabakalar düşey drenleri gereksiz kılar.
Drenaj hendekleri	Çok sıkışabilir yumuşak kil zeminlerde	7 m den düşük kalınlıktaki zeminlerde,Büyük çaplı yapılarda	düşey drenlere göre daha ekonomiktir.	7 m den yüksek kalınlıkta uygulanamaz

Tablo 4.4. Devamı

Metod	Zemin Cinsi	Kullanım Alanı ve Şekli	Avantajları	Dezavantajları
Mekanik sıkıştırma	Çakıl, kil, silt	Zemin cinsine bağlı olarak çeşitli sıkıştırıcılar kullanılır	Sığ bölgeler için hızlı ve kolay bir yöntemdir.	
Vibrokompaksiyon	Çakıl, kil	Zeminin 20 m ye kadar yoğunluğu artırılır.	Düzgün sonuç verir.	Yavaş bir yoldur.
Dinamik kompaksiyon	Bütün zeminlerde	200 ton dan ağır bir balyoz zemine defalarca bırakılır.	30 m ye kadar derinlikte geniş alanları iyileştirir, dayanım kapasitesini artırır.	Kohezyonlu zeminlerde boşluk suyu basıncının uzaklaşması için beklemek gerekmektedir.
Elektro ozmoz	Silt, siltli killer, organik zeminler	DC akımı, suyun anottan katoda doğru akımını sağlar, uygun zemilerde açık kazılarda kullanılır.	Diğer su seviyesini düşürme metodlarının kullanılmayacağı durumlarda uygulanabilir	Kurma ve işletme maliyetleri çok yüksektir, tuzlu topraklarda işe yaramaz zamanla etkisini kaybeder.

Tablo 4.4. Devamı

Metod	Zemin Cinsi	Kullanım Alanı ve Şekli	Avantajları	Dezavantajları
Isıtma	Doygun olmayan siltler, kil ve lös	Sığ derinlik ve küçük alanlarda, şev ve temel stabilizasyonunda	Hızlı ve sürekli bir mukavemet kazanılır.	Doygun zeminlerde kullanılmaz. Çok yüksek maliyetlidir.
Dondurma	Nem oranı %10 dan fazla olan tüm zeminler	Boşluklardaki buz oluşumu su akışını engeller. Yer altı geçişleri ve dar kazıklarda kullanılır.	Zemine geçici bir mukavemet kazandırır. Çalışılan yüzeyde iyileştirme etkileri fark edilebilir.	Uygulamanın tamamlanması uzundur, maliyeti çok yüksektir, dikkatli çevre koruması gerekir, yer altı suyunun akış halinde olduğu yerlerde uygulanamaz.

Tablo 4.5. Zemin güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması

Metod	Zemin Cinsi	Kullanım Alanı ve Şekli	Avantajları	Dezavantajları
Kazık Temeller	Büyük kaya kütleleri içermeyen bütün zeminlerde	Derin temeller, yer altı otoparklar, yer altı pompa istasyonları, derin kazılarda.	Sürekli yapının bir parçası olarak yapılabilir. Üretim hızlı, kolay ve yüksek kalitelidir.	Mevcut yapıyla kullanılmadığı zaman ekonomik değildir.
Donatılı Zemin	Kum,silt ve çakıl	Ağlar veya metal şeritler şev ve istinat duvarında, zeminin mukavemetini arttırmak için kullanılır.	Kuvvetli. Yerleştirme kolay, düşük maliyet	.
Geotekstiller	Bütün zeminlerde	Ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma, yalıtım	Yüksek verimlilik, ekonomik	Belli standartları ve deney esaslarının olmaması

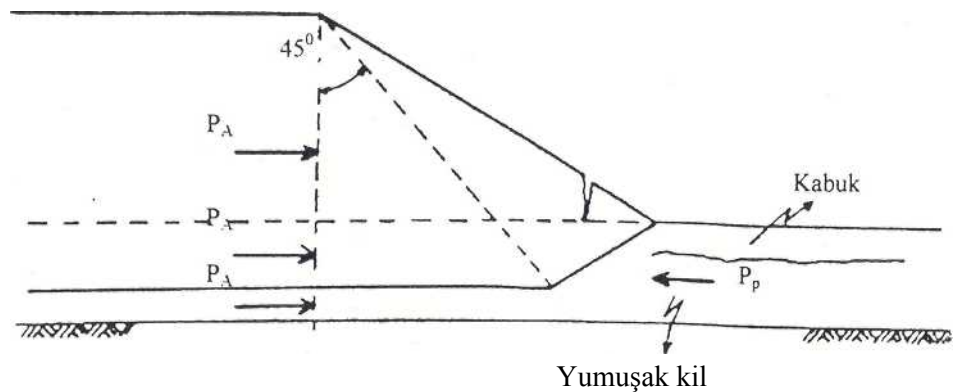
BÖLÜM 5. İNŞAAT SIRASINDA STABİLİTENİN ARTIRILMASI YÖNÜNDE YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

5.1. Giriş

Dolgu malzemesi, stok yeri ve depolama tankları gibi esnek temel veya yapılar, bazen çok düşük emniyet faktörüyle yumuşak zemin üzerine projelendirilirler. Bu tür yapı ve temellerin emniyetinin artırılması yönünde uygulanan iyileştirme yöntemleri şunlardır.

5.2. Temel veya Yapı Altında Kalacak Olan Yumuşak Zeminin Tümü veya Bir Bölümünün Kazılması

Dolgu altındaki yumuşak tabakanın kalınlığındaki azalma emniyet faktöründe bir artışa sebep olur. Bu işlemin uygulandığı temel zemininin stabilite analizi kayma blok metodunun kullanılmasıyla yapılır. Analizde dolgudan kaynaklanan aktif toprak basıncının dikkate alınması tavsiye edilir.

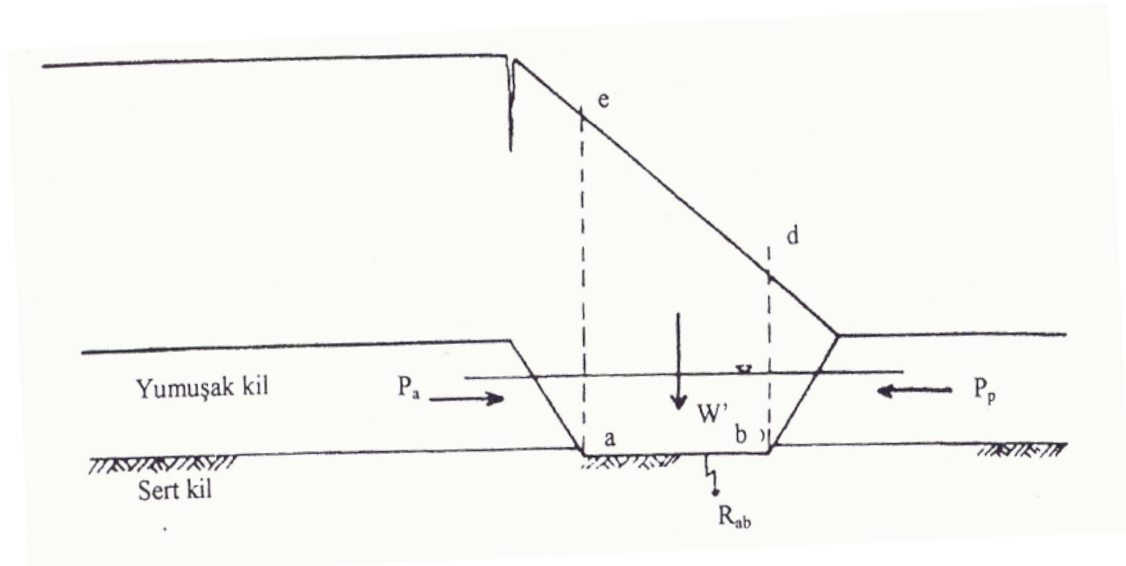


Şekil 5.1. Dolgu altındaki yumuşak zeminin kazılması ve denge durumu

Bütün dolgu altındaki yumuşak kilin kazılmasına gerek olmayabilir. Yani esas gövde altındaki yumuşak tabakanın kazılması dolgu stabilitesinin attırılması yönünde yeterlidir. Bu yöntemdeki eksiklik kilin üstündeki katı kabuk feda edilmek zorundadır. Eğer zemin şartları uygun ise bu yöntem yerine dolgu şevlerinin yarılaştırılması veya palye yapılması gibi yöntemler tercih edilmektedir.

5.3. Dolgu Şevi Altındaki Yumuşak Zeminin Kazılması

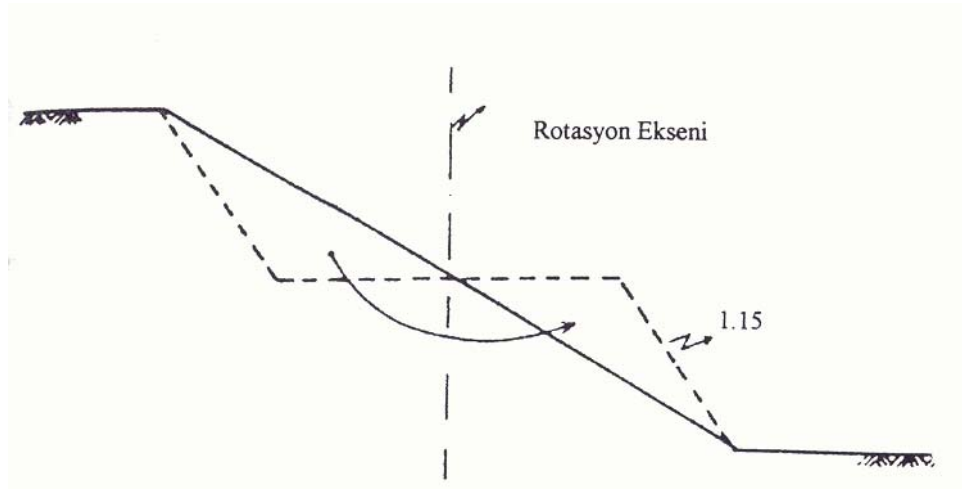
Bu yöntemde hendekler sağlam tabana oturtulur. (R_{ab}) direnci alttaki tabakanın tabii durumu ve $(abde)$ prizmasının dayanımı ve efektif (W) ağırlığı tarafından belirlenir. Hendek tabanında kaymaya karşı oluşan direnç, (ab) uzunluğunun kohezyon direnci veya üstteki prizmanın efektif ağırlığı ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak oluşur $(R_{ab}-C_a b$ veya $R_{ab}=W \cdot \tan \theta$). Eğer tabandaki zemin kohezyonlu ise kohezyonla ilgili büyüklük kullanılır. Burada c , tabandaki sağlam zeminin kohezyon direncidir. Eğer tabandaki zemin ayırık taneli ise taban direncinin bulunmasında dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı kullanılır. Topuk tabandaki sağlam tabakayı kesecek şekilde projelendirilmelidir.



Şekil 5.2. Dolgu şevi altında inşa edilen kaymayı önleyici topuk

5.4. Kalıcı veya Geçici Palye Yapılması

Yatık eğimli şevler veya çok geniş palyeler çok yumuşak derin kil depozitleri üzerindeki dolgular için gerekli olmasına rağmen kolay uygulanabilmesi nedeniyle her zeminde yapılabilir hatta bu uygulama geleneksel çözüm yöntemi haline dönüşmüştür. Bu durumda stabilite incelemesi, dairesel veya düzlemsel kayma blok analizi kullanılarak yapılabilmektedir.

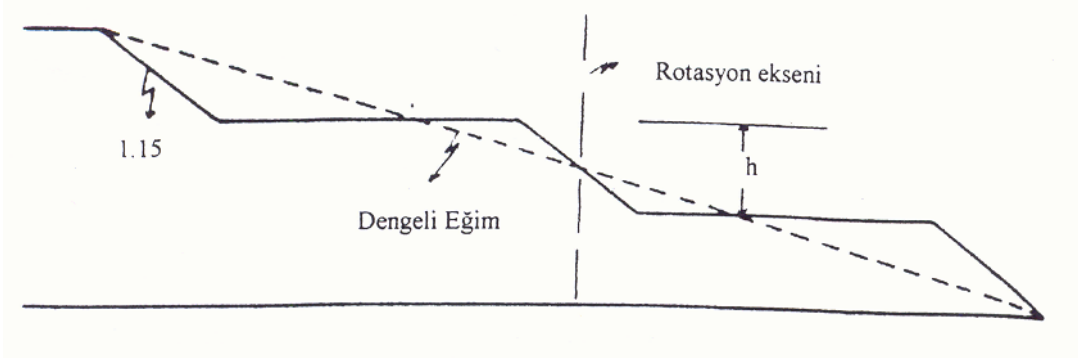


Şekil 5.3. Palye uygulaması

Yenilme mekanizmasının rasyonel olduğu derin kil depozitlerinde palyeler dengeli eğimden daha etkilidir. Palye yapımı ile kayma yönünde etkileyen kuvvetler kaymaya direnç gösteren kuvvetlere dönüştürülür.

$$h = \frac{c \cdot N_c}{\rho f}$$

Burada (N_c), Taşıma gücü faktörü olup (1:1.5) eğilimindeki palye şevi için (5.5)'e eşit alınır. (c), yumuşak kilin kayma direncidir. Eğer dolgunun yüksekliği ($2h$)'ı geçiyorsa birden fazla palye gerekmektedir.



Şekil 5.4. Palyelerde dren denge durumu

5.5. İnşaatın Kademeli Olarak Yapılması

Kil zemin üzerinde inşa edilen dolgularda zaman yönünden sınırlama olmaması durumunda genellikle kademeli inşaat yöntemi benimsenir. Bu yöntemde kilin konsolide olması - ve bunun neticesi olarak ikinci kademeye başlamadan önce temel dayanım değerinin artırılması amaçlanmaktadır. Derin kil depozitlerinde kademeli yükleme kum drenleri kullanılmaksızın mümkün değildir. Bu yöntem inşaat süresinin uzaması nedeniyle pahalıdır. Ancak stabilite yönünden değerlendirildiğinde killi zemin üzerine çoğunlukla da tercih edilmektedir

Kil zemin üzerine inşa edilecek dolguların kademeli inşaat yöntemine göre projelendirilmesi, aşağıda sırasıyla verilen esaslara göre yapılmaktadır

a) Zeminin ilk kayma direncine bağlı uygun analizlerin kullanılmasıyla dolgunun olası en büyük yüksekliği belirlenir. Dolgu mümkün olan en düşük emniyet faktörüyle inşa edilmelidir. Çünkü yükleme ile kilin her kademede konsolide olmasını sağlamak gerekmektedir Ancak konsolidasyonun sağlanması ile temel zeminin dayanımını arttırmak mümkündür.

b) Kilin konsolidasyon karakteristikleri temelinde %70,80,90,95 gibi konsolidasyon değerleri için gerekli zamanlar belirlenir. Bu değerler yalnızca birinci kademe için geçerlidir. Uygun konsolidasyon zamanı inşaat programına uyacak şekilde seçilir ve dayanım değerlerinin belirlenmesinde bu zamana karşılık gelen konsolidasyon yüzdesi (U %) kullanılır

c) Taban seviyesindeki blankent dreni için şev ve bank altındaki değişik noktalardaki kil tabakalar içinde oluşan efektif basınçlar aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

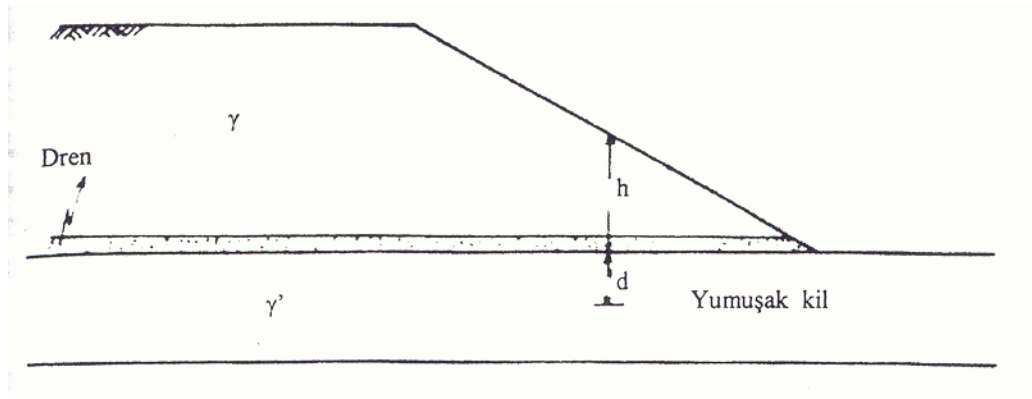
$$\beta = \rho' d + U_1 \rho_1 h$$

ρ' = üstteki zeminin yüzer birim hacim ağırlığı, (t/m^3)

d = zemin seviyesi altındaki noktanın derinliği, (m) ,

ρ = dolgunun kuru birim ağırlığı, (t/m^3)

h = dikkate alınan nokta üzerindeki düşey dolgu yüksekliği. (m)



Şekil 5.5. Dolguların kademeli inşasında drenaj ve efektif basınç

d) Kilin kayma direnci, düşey efektif basınca bağlı olarak hesaplanır.

$n = \frac{c}{p}$ Burada (n), kilin plastisite indisine (PI) bağlı bir büyüklük olarak tanımlanır.

$$N = 0,11 + 0,0037 (PI)$$

Aşağıda verilen eşitlikten elde edilen değer dikkate alınan d derinliği ve birinci kademe sonucunda ulaşılan h yüksekliğine bağlıdır.

$$C_1 = n[\rho' d + U_1 \rho_1 h]$$

Yani bu değer herhangi bir (d) derinliğinde şev boyunca doğrusal olarak değişmektedir. Belirtilmesi gerekli önemli bir nokta, (C_1) 'in $(C_1 + U_1 \cdot \rho \cdot h)$ büyüklüğüne eşit olmadığıdır. Çünkü çoğu yumuşak killer ağır ağır konsolide olmaktadır. Kil kabuğuna ait kohezyon direncini aşacaktır. Bu durumda analizde (C_1) kohezyon değeri kullanılmalıdır.

e) Doğrusal analiz veya kayma blok analizi yardımıyla en yüksek dolgu yüksekliği kayma direncine bağlı olarak yeniden belirlenir. Bu yeni yükseklik ikinci kademeye ait olacaktır.

i) Eğer İkinci kademe yükseldiği müsaade edebilir oturmalarla göre olması gereken yükseklikten düşük ise bir üçüncü kademe gerekli olmaktadır.

ii) İkinci kademe sonundaki kayma direnci aşağıda verildiği gibi bulunur. Bu durumda U_1 , U_2 'yi aşmamalıdır. Ancak %95 'den küçük alınmalıdır. Burada h_L ve h_2 , ilgili kademelerdeki dolgu yükseklikleridir.

$$C_1 = n[\rho' \cdot d + U_1 \cdot \rho \cdot h_1 + U_2 \cdot \rho \cdot (h_1 - h_2)]$$

f) Gerekli yüksekliğe ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilmelidir. Çok yumuşak killer üzerindeki yüksek banklarda, %50'lik konsolidasyon değeri ve dolgunun son yüksekliğinin 3/4 kadar bir yükseklik değerine bağlı kaba bir analizle işe başlamak uygun olmaktadır. Bu yaklaşımla kademe hesaplarında kullanılacak şev genişliği uygun olarak belirlenir. Aksi durumda çok dar bir taban genişliğiyle işe başlanabilir [25].

BÖLÜM 6. VAKA ANALİZİ

6.1 Giriş

1999 Gölcük depreminden sonra, Adapazarı'nda Camili Karaman civarında yeni yerleşim bölgesi yapılmıştır. Bu yerleşim bölgesine bağlantı yolları yapmak için, Adapazarı Büyükşehir Belediyesi tarafından, Adapazarı Merkez – Yeni yerleşimler ve Camili - Karaman arası, ana bağlantı yolları 2003 yılında ihale edilerek yapıma başlanmıştır. İnşaatın yapımına 2003 yılında başlanmış, 2004 yılı içerisinde bitirilmesi planlanmıştır. Proje güzergahı (Şekil 6.1.) de gösterilmiştir.

Bağlantı yolları 9700 m. uzunluğunda olup, yol güzergahı ovoidan geçmektedir. Yolun oturduğu zemin düşük plastisiteli siltler ve orta-yüksek plastisiteli killerden oluşmaktadır. Yeraltı su seviyesi zemin üst kotuna yakındır. Bu veriler yol taban zeminin problemlili olduğuna işaret etmektedir. Yapılacak yolun işletim sırasında sağlıklı hizmet verebilmesi için yol alt yapı projelendirmesinin ve uygulamasının çok dikkatli yapılması gerekmektedir. Bu nedenle özel önlemler alınması, özellikle kullanılacak dolgu malzemesine önem verilmesi gerekmektedir. Projelendirmede ve uygulama safhasında güzergahın yer aldığı, zemin parametrelerinin durumu pek dikkate alınmadığından inşa sırasında yolda kabul edilemeyecek oturmalar ve deformasyonlar meydana gelmiştir. Bu deformasyonların sebepleri araştırıldığında karşımıza başlıca, projelendirme ve dolgu malzemesi seçimi hataları çıkmaktadır. Yol güzergahına ait zemin sondaj logu (Şekil 6.2.) de verilmiştir.

Bu bölümde projelendirme, seçilen malzemelerin özellikleri, yapım sırasında karşılaşılan problemler, yapım sırasında alınan numunelere göre zemin özellikleri ve dolgu malzemesi özellikleri analiz edilmiş, sonuçlar aktarılmıştır.

6.2 Proje Bilgileri

Proje işi, Adapazarı Büyükşehir Belediyesi tarafından 2003 yılı içerisinde Dolsar Müh. Ltd. Şti.'ne yaptırılmıştır. Yapımı düşünülen Adapazarı yeni yerleşim alanları bağlantı yolu (0+000-9+170), Camili bağlantı yolu (0+000-1+372) ve Camili Karaman bağlantı (0+000-0+564) yolları projesi, mühendislik jeolojisi açısından araştırılmış, jeolojik ve jeoteknik özellikleri ortaya koyulmuştur. Projedeki amaç gerek Adapazarı'nın kuzeyinde ova dışında yapımı devam eden yeni yerleşim alanlarına gereksede, Camili ve Karaman yeni yerleşim alanlarına bağlantı yollarının yapımı ile mevcut trafiğin rahatlaması ve depremsellik açısından daha güvenilir alanların kolay ulaşılabilir duruma getirilmesidir.

Adapazarı Belediyesi imkanları ile araştırma çukurları ve sondajlar yapılmıştır. Araştırma çukurları ve sondajlardan alınan örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

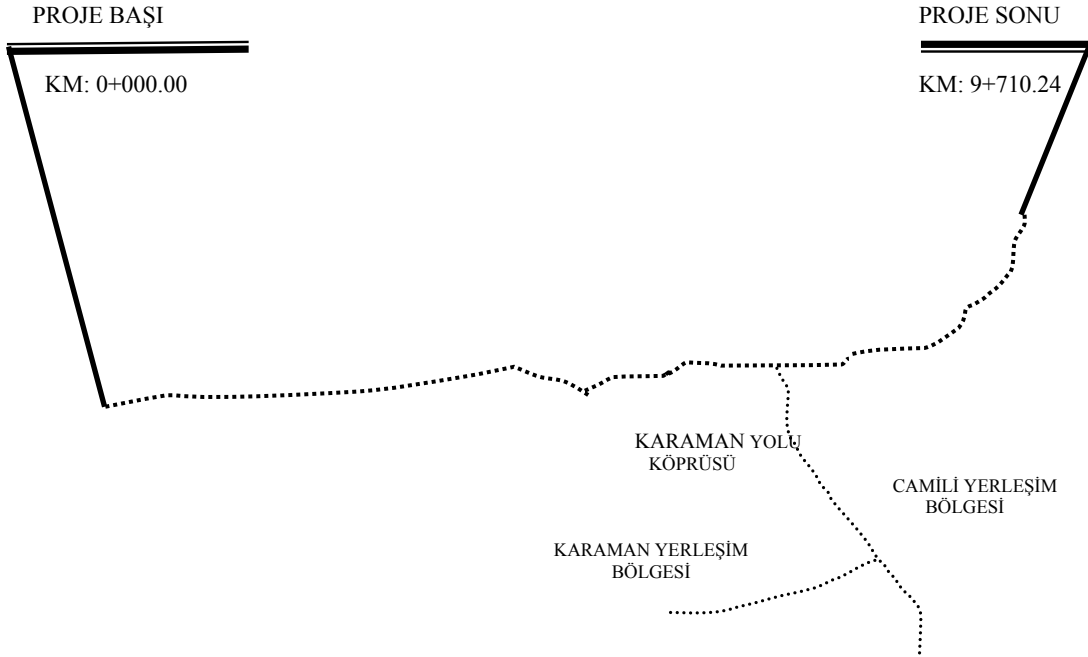
Çalışma alanı Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre, 1. derece deprem bölgesidir. Adapazarı yeni yerleşim alanları bağlantı yolu, Camili bağlantı yolu, Camili-Karaman bağlantı yolları projesi, Kuzey Anadolu fay hattı sistemi içerisinde yer almaktadır. Fay hattı başlangıcının yaklaşık 7 km. güneyinde kalmakta, Camili yerleşimine 14 km. uzaklıkta bulunmaktadır.

Proje firmasının yaptığı çalışmalarda yol güzergahının genelde kumlu karakterde olduğu, az katı-katı siltli kil veya killi silt ve yer yer de çakıl içdiği, artan derinlikte sıkı çakıllı kum seviyeleride gözlemlendiği tespit edilmiş, 1.sınıf tarım alanı olan ova kesiminde bitkisel toprağın 0,50 m. sıyrılarak dolgu yapılması öngörülmüştür.

Proje firması tarafından; yer altı su seviyesinin yer yer 1.5 metre derinlikte genelde ise 3.5 metre civarında olduğu tespit edilmiştir.

Bazı kesimlerde dolgular ince taneli zemin üzerinde yapılacaktır. İnce taneli (kil ve silt) zemin koşullarının bulunduğu yerlerde konsolidasyon oturmaları sözkonusu olacağından bu kesimlere ait analizler sonucunda, projeci 3m. dolgu altında oturma

miktarı 35mm. bulmuştur. Yapılan konsolidasyon oturma analizlerinde, killi siltli zemin koşullarının bulunduğu en yüksek dolgular hesaplarda kullanılmış, toplam konsolidasyon oturmasında projeci tarafından 99mm. hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Adapazarı – Camili – Karaman ana bağlantı yolu

Projeci, bazı kesitlerde oturmaların müsaade edilebilir değerlerin üzerinde olduğunu, özellikle KM 1+500 - 2+500, KM 7+920 - 8+300 ve KM 8+460 - 8+680 kesimleri arasındaki dolguların serilmesini, konsolidasyon oturmalarının inşaat süresi (hesaplarda 6 ay) içinde kabul edilebilir değerlere düşürülebilmesi için öncelikle başlanması gerektiğini öngörmüştür. Ayrıca KM 2+120 - 2+150, KM 7+920 - 8+300 ve KM 8+460 - 8+680 arasında konsolidasyon oturmalarının ileride sorun yaratmaması için proje enkesitlerinde gösterilen dolgu yüksekliğine ilaveten 4 m daha dolgu serilerek, üstyapı öncesinde 6 ay süresince önyükleme yapılması gerektiğide öngörülmüştür. Projeciye göre güzergahta önyükleme yapılacak kısım toplam 630 m uzunluğunda olacaktır.

Proje firmasının yaptığı araştırmalarda proje dolgularını etkileyebilecek bataklık türü zemine rastlanılmamıştır. Ancak KM 7+535 -7+610, KM 8+030 - 8+060 ve KM

8+155 - 8+175 de geçilen eski dere yataklarında yumuşak / gevşek dere malzemesi geçilebilecektir. Bu eski dere yatağı kanallarında toplanmış suyun drene edilerek taban zeminin tekrar kontrol edilmesi ve daha sonra dolgularının yapılması gerekmektedir. Bu bölüm dolgularının, temin edinilebildiği kadarı ile, kaya dolgu özelliklerinde malzeme ile yapılması gerektiği öngörülmüştür.

Projeye göre dolgular deponi ocağından alınacak malzemeyle gerçekleştirilecektir. En düşük CBR değeri % 28 olarak alınmıştır. Bitkisel toprak sıyrma kalınlığı ova kesimde 0.50 m, yamaç eteklerinde 0.40 m, kaya yüzleklerinin bulunduğu alanda ise 0.30 m' dir.

Proje tarafından yapılan çalışmalar sonucunda köprü, sanat yapıları ve üstyapıda kullanılmak üzere, proje alanına yakın olan, T.C.K. ve diğer kamu kurumlarınca ruhsatlı, özel şahıs veya kurumlarca işletilen toplam 1 adet taşocağı bölgesi tespit edilmiştir. Ayrıca, Dolsar ve Adapazarı belediyesi teknik elemanları tarafından yapılan çalışmalar ve laboratuvar deneyleri sonucunda 1 adet dolgu malzemesi temin sahası (Şekil 6.3.) ile 2 adet kazı atığı atık alanları tespit edilmiştir.

Tespit edilen dolgu malzemesi temin sahası yeri mevcut Adapazarı-Kandıra yolunun yaklaşık 1.5 Km sağındadır. Bu alan esasen, Sakarya ili ve ilçelerince, kullanılacak çöp depolama alanı olarak seçilmiştir. Yaklaşık 1.5 milyon metreküplük kazı sonrası büyük bir atık çukurluğu oluşturulacaktır. Bu atık çukurundan çıkacak malzeme proje dolgularında kullanılacaktır. Adapazarı - Kandıra Yolu (KGM) Projesinde kullanılmak üzere, dolgu malzemesi temin sahasının hemen batısında bulunan aynı malzeme (kumtaşı-arkoz) bölgesinin, ariyet alanı olarak belirlendiği görülmüş ve malzeme özelliklerinin tespiti amacıyla yapılan deneylerden bu rapor kapsamında da yararlanılmıştır. Deponi sahasının dolguda kullanılması için gerekli deneyler ayrıca yapılarak önceki çalışmalarda elde edilen verilerle birlikte değerlendirilmiştir.

SONDAJ LOGU																			
Proje Adı		CAMİLİ BAĞLANTI YOLU (KM 0+550)				DERİNLİK		SONDAJ NO	SAYFA NO										
Sondaj Yeri						15 m		1	1										
Pafta No		Parsel No		Ada No		Yer Altı Suyu Durumu													
Makine Tipi	Rotari	Kordinat - N																	
Sondaj Yöntemi	Burgulu	Kordinat - E				Derinlik	Tarih	Saat											
Başlama Tarihi	17.05.2004	Zemin Kotu																	
Bitiş Tarihi	17.05.2004	Muhafaza				1.60	17.05.2004	13:00											
TEMEL SONDAJ LOGU																			
Sondaj Derinliği	Tabaka Der(m)	Numune Der(m)	Numune No	STANDART PENETRASYON TESTİ											Ayrışma	Çatlak Sıklığı	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	
				15	30	45	N30	5	10	15	20	25	30	35					40
1 M																			
	1.50	SPT	3	4	3	7													
2 M	2.00	UD																	
3 M	3.00	SPT	3	3	4	7													
4 M	3.50	UD																	
	4.50	SPT	6	5	5	10													
5 M	5.00	UD																	
6 M	6.00	SPT	3	3	2	5													
7 M																			
	7.50	SPT	2	3	4	7													
8 M	8.00	UD																	
9 M	9.00	SPT	3	3	3	6													
10 M																			
	10.50	SPT	2	3	4	7													
11 M																			
12 M	12.00	SPT	3	3	4	7													
13 M																			
	13.50	SPT	3	3	3	6													
14 M																			
	14.50	UD																	
15 M	15.00	SPT	7	9	12	21													
SONDAJ SONU 20 METRE																			
İNCE TANELİ (KOHEZYONLU)		İRİ TANELİ (KOHEZYONSUZ)				KAYA NİTELİĞİ RQD %				ÇATLAK SIKLIĞI									
N	0 - 2 Ç. Yumuşak	N	4 - 0 Çok Gevşek	N	0 - 25 Ç. Zayıf	N	Taze	1	(M)										
N	3 - 4 Yumuşak	N	5 - 10 Gevşek	N	25-50 Zayıf	N	Az ayrılmış	3 - 10	Masif										
N	5 - 8 Orta Katı	N	11-30 Orta	N	50-75 Orta	N	Orta der.ayr.	10-50	Az çatlaklı										
N	9 - 13 Katı	N	31-50 Sıkı	N	75-90 İyi	N	Ayrılmış	50	Kırıklı										
N	14-30 Çok Katı	N	50 Çok Sıkı	N	90-100 Ç. İyi	N	Tamamen ayr.		Çok Çatlaklı										
									Parçalanmış										

Şekil 6.2. Yol Güzergahı Zemin Sondaj Logu



Şekil 6.3. Dolgu malzemesi temin sahası

Dolgu malzemesi çoğunlukla orta - az ayrışmış kumtaşından oluşmaktadır. içerisinde çakıltaşı ve çamurtaşı seviyeleride bulunmaktadır. genel olarak; koyu pembe - kırmızı - koyu kahve renkli, yer yer iri çakıllı, bloklu konglomeradan kurulu olup, orta-kalın katmanlı, sık-orta çatlaklıdır. Belediye tarafından katı atık alanı araştırmaları kapsamında açılan sondajlardan birinde, kuyuda kristalize kireçtaşı geçilmiştir. Kristalize kireçtaşları bilindiği gibi bölgenin en önemli yapı malzemesinin orijinini oluşturmaktadır. Burada geçilen kireçtaşının küçük bir blok olduğu tahmin edilmektedir.

Kumtaşında yapılan, doğal birim hacim ağırlık değeri 2.77 g/cm^3 civarında olup, serbest basınç değerleri ise $162 - 960 \text{ kg/cm}^2$ aralığındadır. Yapılan değerlendirmelerde, özellikle dayanımı yüksek kumtaşı seviyeleri ve kristalize kireçtaşlarının, kaya dolgu kriterlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Ocak sahası

üzerinde 30-40 cm kalınlıklarda bitkisel örtü bulunmaktadır. Ancak belediyenin Katı Atık Alanı içerisinde bulunan alandan alınacağından bitkisel toprak sıyırmasına gerek duyulmayacaktır. Dolgu malzemesi ocağı için belirlenen S/K (Sıkışma / Kabarma) ve klas durumu şöyledir:

K=%5

%20 Sert Kaya

%40 Yumuşak Kaya

%40 Kuskü

Projeci tarafından önceki çalışmalara dayanılarak dolgu malzemesi sahası olarak değerlendirilmiş ve arkoz olarak tanımlanmış aynı tür malzemedan alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonucu, 3 inç üzeri malzeme oranı %0, yaş - CBR ise %28 olarak belirlenmiştir. Katı atık çukurluğunun kazısı sonrası yol dolgusu için kullanılacak az ayrıışmış - dayanımlı kumtaşlarında CBR değerinin oldukça yüksek olacağı tahmin edilmektedir. Proje kapsamında yapılan CBR deneylerinde elde edilen değerlerin bu görüşü doğruladığı görülmüştür. Yapılan deney sonuçlarında CBR değerinin % 35 ile % 51 aralığında olduğu bulunmuştur. Yüzeğe yakın ayrıışmış kısımlarında karıştırılmasıyla elde edildiği tahmin edilen, daha önce KGM projesinde kullanılan CBR değerinin proje CBR değeri (% 28) olarak kullanılmasının daha doğru olacağı benimsenmiştir. Bu gereçle oluşturulacak dolguların şev oranı 2:1 (Yatay : Düşey) önerilmiştir.

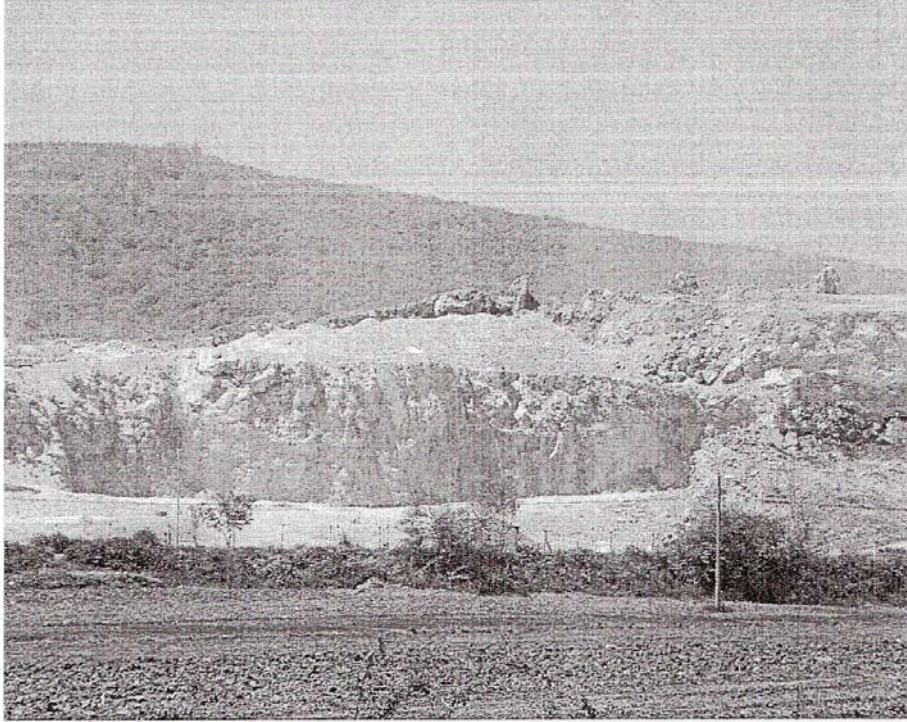
Köprü ve sanat yapıları yaklaşımı taş dolguları ve üstyapıda kullanılacak kırmetaş için kullanılacak Taşkısığı taş ocağı malzemesi kristalize kireçtaşından oluşmaktadır (Şekil 6.4.). Birim genel olarak; kirli-beyaz-sarımsı kahverengi, çok sert, dayanımlı, çoğunlukla az ayrıışmış-taze, masif, yer yer orta-kalın katmanlı litolojik özelliktedir ve yer yer karstlaşma izlerine rastlanmaktadır. Birim içerisinde gelişmiş eklem takımları genelde 2-20 mm, yer yer 20-60 mm açıklıklı, yaygın olarak kalsit ve yer yer kil dolguludur. Ezik zonlarda ise yaygınca killeşme belirlenmiştir. Saha üzerinde önemli sayılabilecek bir bitkisel örtü yoktur. Yer yer izlenen bitkisel örtü kalınlığı 30 cm mertebesindedir. Malzeme ocağı için belirlenen S/K ve klas durumu şöyledir:

K= % 15

%70 Çok Sert Kaya

%20 Sert Kaya

%10 Yumuşak Kaya



Şekil 6.4. Taşkısığı taş ocağı

Ocak sahasında alınan kaya örnekleri üzerine yapılan deneylerin sonuçları aşağıda çıkartılmıştır. Aşağıda verilen bu deney sonuçları TCK 1. Bölge müdürlüğüne ait hazine arazisinden (Yüksel Proje A.Ş. tarafından) alınmış örneklerle aittir.

Aşınma kaybı (500 devirde)	: %29.60
Don kaybı	: %0.00
Soyulma direnci	: %75-100 pen. asfaltı ile 50-60
Kaba agregada su absorpsiyonu	: %0.35

Projelendirilmekte olan Adapazarı Yeni Yerleşim Alanları Bağlantı Yolu (0+000 -9+710), Camili Bağlantı yolu (0+000 -1 + 372) ve Camili - Karaman Bağlantı (0+000 - 0+564) Yolları Projesine ait CBR değerleri ve ilgili açıklamalar

(Tab. 6.1.) 'de sunulmuştur (Tablo 6.1.) kullanılarak üstyapı tasarımı hazırlanmıştır. Yol 2x2 olarak tasarımılanmıştır.

Üst yapı kalınlıklarının belirlenmesinde kullanılan CBR değeri seçilirken tesviye yüzeyinin altındaki 40 cm'lik zemin dikkate alınmıştır. Proje güzergahı boyunca oluşturulacak dolgu kesitlerde üstyapı tabanı tümü ile Deponi (CBR = %28) ariyet ocağından elde edilecek gereç ile oluşturulacaktır

Eser Müşavirlik Mühendislik A.Ş. tarafından 1999 yılında hazırlanan Adapazarı-Kandıra Yolu (KM: 0+000 - 39+612) jeolojik - jeoteknik araştırma çalışmaları kapsamında aynı birimden alınan örnekler üzerinde toplam 26 adet CBR deneyi yapılmış, elde edilen ortalama ve marjinal değerler $CBR = 4.50$ ($2.72 < CBR < 7.00$) şeklinde olmuştur. Bu kesim üzerinde açılan araştırma çukurundan alınan bir örnek üzerinde yapılan deney sonucuna paralel olarak, öngörülen üstyapı tabanında CBR değeri, $CBR = \% 4$ seçilmiştir. Bu koşullar altında yarma kesitlerde üstyapının altına 35cm. kalınlığında Deponi ariyet ocağından sağlanacak seçme malzeme (CBR %28) serilmesi uygun görülmüştür.

Esnek üstyapı tasarım verilerinde belirlendiği gibi proje güzergahı boyunca üstyapı, tümü ile CBR değeri %28 olan gereç üzerinde oturtulacak olup, öngörülen trafik yükleri altında KM 0+000 - 8+800 (kavşak) arası 20 cm alt temel gerekli olduğu, diğer kesimlerde ise alt temelin gerekli olmadığı görülmüştür.

Öngörülen üst yapı kalınlıkları tesviye kotunda yapılacak nihai taban etüdü ile kontrol edilmesi önerilmektedir.

Projeci tarafından yukarıdaki ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilen tasarımın uygulanması uygun görülmüş, (Tablo 6.1.) de görülen yolboyu CBR değerleride gözönüne alınarak projelendirme yapılmıştır.

Tab. 6.1. Yolboyu CBR Değerleri

KESİM	CBR %	TASARIM
0+000 - 9+050	28	Bitkisel toprak sıyırma kalınlığı 0.50 m 'dir. Ancak, Adapazarı belediyesi tarafından yaklaşık KM 0+150 - 0+575 arasında yapılan sıyırma nedeniyle bu alanda sıyırma 0.0 m olacaktır. Taban CBR değerleri 4 - 8 arasında değişmektedir. Ancak, geri dolgu malzemesi D 1 ocağından temin edileceğinden taban CBR değeri 28 olacaktır.
9+050 - 9+710	28	Bitkisel toprak sıyırma kalınlığı 0.30 m 'dir. Yarma kesimde taban CBR değeri 2.72 - 7 arasında değişmektedir. Dolgu alanlarında malzeme alınacak ocağa göre CBR değeri 28 olacaktır. Bu kesimde yer alan yarma kesitlerde taban kazı kotu 0,35 m daha derin kazılarak Deponi ocağından temin edilecek malzeme ile geri dolgu (0.35 m) yapılacaktır.
CAMİLİ BAĞLANTI YOLU (KM 0+000 - 1+372)		
0+000 - 1+372	28	Bitkisel Toprak sıyırma kalınlığı 0.40 m 'dir. Taban CBR değeri 4 - 12 arasında değişmektedir. Ancak, geri dolgu malzemesi Deponi ocağından temin edileceğinden taban CBR değeri 28 olacaktır.
CAMİLİ - KARAMAN BAĞLANTI YOLU (KM 0+000 - 0+564)		
0+000 - 0+564	28	Bitkisel Toprak sıyırma kalınlığı 0.40 m 'dir. Taban CBR değeri 4 - 12 arasında değişmektedir. Ancak, geri dolgu malzemesi Deponi ocağından temin edileceğinden taban CBR değeri 28 olacaktır.

6.3. Yapım

Müteahhit firma projelendirme aşaması tamamlandıktan sonra işe başlamış, ancak işe başladıktan kısa bir süre sonra taban zemininde oturmalar meydana gelmiş. Proje firmasına, zeminin problemli olduğu, sorunlarla karşılaşıldığı ve bunlara bir çözüm getirilmesi gerektiğini iletmiştir. Ancak proje firması ise yolda ciddi bir sorun olmadığı, müteahhidin işi almadan ihale doyasını inceleyip tüm koşulları ile kabul ettiği, bu aşamada yapılacak bir işlem olmadığını belirtmiştir. Dolayısı ile mevcut

projedeki şekli ile bağlantı yolları yapımı tamamlanmıştır. Yapım aşamasında km: 0+100-7+500 arasında taban zemininde oturmalar meydana gelmiştir.

Bu oturmaların önlenmesi için tekrar detaylı bir zemin incelemesi yapılarak çözüm aranmıştır. Bu çerçevede yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Yapım işi devam ederken 03.05.2004 tarihli yol inşaatı güzergahında çeşitli noktalarda sondaj yapılarak yol gövdesinin oturduğu taban zemininden numuneler alınmıştır. Ayrıca dolgu malzemesinin kullanıldığı Taşkısığı taş ocağında numune alınmıştır. Dolgusu henüz yapılmamış üst bitkisel toprağı sıyrılmış, ara bağlantı yolu kısmında sıkışma kontrolü yapılarak numuneler alınmıştır. Örselenmiş ve örselenmemiş numuneler Sakarya Üniversitesi Geoteknik laboratuvarında TS 1500/2000, TS 1900/1987, TS 6170/1988 ve AASHTO T 96-83 uyarınca deneylere tabi tutulmuştur.

Yapılan deneyler sonucunda (Tablo 6.2.), yolun oturduğu zemin kesitinde, düşük plastisiteli siltler ve orta-yüksek plastisiteli killer hakimdir. Yeraltı su seviyesinin 1.60 m. olarak rapor edildiği sondaj loglarında ortalama SPTN değeri 7 olarak görülmektedir. Genellikle 5m. den sonra doğal su içerikleri Likit Limitin üzerinde değerler almakta ve sıvılık indisleri 1'den büyük çıkmaktadır. Normal yüklenmiş killi numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinden elde edilen sıkışma indisleri (Cc) 0,3 ile 0,5 arasında değişmektedir. Bu durumda kalınlığı 5m olan zemin kesiti için oturma hesabı yapıldığında (2,5 m derinlikte 2m dolgu tabakasında $\sigma=12$ kpa ve $D\sigma=19$ kpa alınarak);

$$S_{\infty} = 5 * (0.494 / (1 + 1.1)) * \log((19 + 12) / 12) = 0.484 \text{ m} = 484 \text{ mm}$$

büyüklüğüne varan değerler ile karşılaşılmaktadır. Oysaki yukarıda proje bilgilerinden görüldüğü gibi projelendirme aşamasında en yüksek dolgularda oturma miktarı 99 mm. hesaplanmıştır. Buradan anlaşıldığı gibi proje verilerinde yanlış ve yetersiz hesaplamalar oturmaların oluşmasına neden olmuştur. Araştırma çukurundan alınan tabii taban zemin numuneleri üzerinde yapılan CBR değerleri de ortalama % 5 dolayında bulunmuştur.

Tablo 6.2. Camili - Karaman yolu zemin özellikleri

Sondaj	Km	Z(m)	Renk	I _L	Sınıf	SPTN	Gözlem
SK-1	5+100	1.50	K	0.46	CH	7	
SK-1	5+100	2.00	K	0.33	CH		
SK-1	5+100	3.00	K			7	Düşük plastisiteli silt
SK-1	5+100	5.00	kY		ML		Düşük plastisiteli kil
SK-2	0+000	0.25	kK				Yüksek plastisiteli kil
SK-2	0+000	0.50	K				Yüksek plastisiteli kil
SK-2	0+000	1.00	K				Yüksek plastisiteli kil
SK-2	0+000	1.50	K				Yüksek plastisiteli kil
SK-2	0+000	2.00	Y				Yüksek plastisiteli kil
SK-3	1+940	0.25	kK				Orta plastisiteli kil
SK-3	1+940	0.50	K				Orta plastisiteli kil
SK-3	1+940	1.00	K				Orta plastisiteli kil
SK-3	1+940	1.50	K				Yüksek plastisiteli kil
SK-3	1+940	2.00	K				Orta plastisiteli kil
SK-3	1+940	2.50	KY				Orta plastisiteli kil
SK-3	1+940	3.00	kY				Yüksek plastisiteli kil
SK-3	1+940	3.50	kY				Orta plastisiteli kil
SK-3	1+940	4.00	kYS				Orta plastisiteli kil
SK-3	1+940	4.50	kY				Orta plastisiteli kil

K: Kahve Y: Yeşil S: Siyah k:Koyu

Dolgununa henüz başlanmamış Ara Bağlantı Yolu kesiminde yapılan sondajlarda (SK-5 ve SK-6) anayola nisbeten daha iyi zemin özellikleri ile karşılaşmış, 300 ve 450 kpa'dan yüksek cep penetrometresi okuma değerleri alınmıştır. Bu noktalarda bitkisel toprağı sıyrılmış doğal zemin üzerinde yapılan sıkışma kontrolünde sıkışma oranı ortalama % 102 Proktor olarak bulunmuştur.

Dolgu malzemesi temin sahasından alınan malzeme ile yapılmış dolgu tabakasında, üç ayrı noktadan alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerde (Tablo 6.3.) ortalama CBR değeri % 21, ortalama Los Angeles aşınma kaybı % 43, ortalama Don Kaybı ise 32-63 mm elek aralığında % 39, 16-32 mm elek aralığında % 45 olarak bulunmuştur. Aynı malzemenin ocaktan getirilmiş numunesi üzerinde yapılan Slake Durability testinden bulunan Id değeri % 99 büyüklüğündedir. Dolgu malzemesinin yetersiz olması nedeniyle oturmalar meydana gelmiş, bundan dolayı da Yüklenici bu ocağı terk etmiştir. Yüklenicinin, işverenin gösterdiği ocağı terk ettikten sonra kullanmaya başladığı Taşkısığı-Gizem Firit Fabrikası yanı mevkiindeki ocaktan alınan numunenin CBR . değeri % 32, Los Angeles aşınma kaybı % 44, don kaybı ise 32-63 mm elek aralığında % 10, 16-32 mm elek aralığında % 51 olarak bulunmuştur. Taban zemini özellikleride Tablo 6.4. de gösterilmiştir

Tablo 6.3. Camili - Karaman yolu dolgu malzemesi özellikleri

AÇ	Km	Z(m)	Il	Sınıf	AASH TO	Pk KN/m	Wopt %	CBR %	Şişme Mm
1	7+650	0-0.5	-1.17	GP	A2-4	21.01	9.90	17	0.47
2	5+100	0-0.5	-1.05	GC	A2-4	20.22	10.29	17	
3	0+100	0-0.5	-1.06	GC	A2-4	20.42	9.14	31	
Ocak	Taşkısığı		-1.20	GW	A2-4	21.38	8.46	32	0.25

Tablo 6.4. Camili - Karaman yolu taban zemini özellikleri

Km	z(m)	Wl	Wp	% ince	Sınıf	Pk kN/m	Wopt %	CBR %	Şişme Mm
0+000	0-0.5	35	17	95	CL	15.28	23.86	5	2.71
5+100	0-0.5	33	np	99	ML	14.94	26.26	5	2.01
0+080	0-0.30	36	18	96	CI	17.09	16.49	6	1.16
0+500	0-0.3	55	16	97	CH	15.63	19.64	5	5.12

Söz konusu yolun yapımı ile ilgili şartname hazırlanmış olup, bu şartname esasları aşağıda belirtildiği şekildedir. Bu şartnamede karayollarının Yollar Fenni Şartnamesi esas alınmıştır.

Bir esnek üst yapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan ilgili olduğundan, yol gövdesini oluşturan taban zemininin şartnamelere uygun olarak

hazırlanması, üstyapı projelendirmesinde büyük önem taşımaktadır. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi 'nde Taban Zeminlerinin, dolgularda Yollar Fenni Sartnamesi 14. Kısıma uygun olarak hazırlanması gerektiği belirtilmektedir. Yollar Fenni Sartnamesinin Yol Altyapısı Bölümünün 'Zayıf zeminlerin kaldırılıp depo edilmesi ve oynak (batak) zeminlerde inşaat metodları' ile ilgili 11. Kısımında, bataklık / oynak sahada yol gövdesinin zemine oturduğu kısımda alınacak tedbirlerden söz edilirken; Tablo 6.5. de verilen şartlara uygun olmayan bütün kazı malzemelerinin Zayıf Zemin olarak nitelendirileceği belirtilmekte; zayıf zeminlerde inşaat metodunun, zayıf tabii zemin tabakasının, kontrol mühendisinin belirteceği derinlikte kaldırılıp uzaklaştırılması şeklinde uygulanacağı; oynak ve batak zeminlerde (yumuşak killer, turbalar vs gibi stabil olmayan taşıma gücü çok zayıf) ise, kullanılacak inşaat metodları sıralanırken oynak zeminin tamamının kaldırılması (oynak zemin derinliğinin 3 m. veya daha az olduğu) veya oynak zeminin kısmen kaldırılması (derinliğin 3 m.den fazla olduğu) yönteminde, oynak zeminin kazılıp kaldırılacağı ve yerine ilk tabaka olarak belirli bir granülometriye sahip minimum 30 cm. kalınlıkta bir kum şilte tabakası serileceği; ayrıca dolgunun kum şilte ile tabii zemin yüzeyi arasındaki kısmının, en yüksek yeraltı su seviyesi de göz önünde tutularak, geçirgenliği yani drene kabiliyeti olan suya dayanıklı granüler bir malzeme ile teşkil edileceği; nisbeten sağlam görünümlü zeminlerde inşaat metodunun ise; projesinde gösterilen veya kontrol mühendisince lüzum görülen kalınlıktaki kum şilte üzerine uygun granüler bir malzeme ile doğrudan doğruya dolgu teşkil edilebileceği; zayıf tabii zemin veya oynak zemin tabakasının istenen derinlikte kaldırılmasının, tesviye işlerine başlanmadan evvel bitirileceği, belirtilmektedir.[26]

Doğal zemin üzerinde tabakalar halinde oluşturulan dolgu işleminin çok dikkatli bir şekilde yapılması, dolgu oluşturulurken taban zemininin stabilitesi, dolgu malzemesinin sıkıştırılması ve dolgunun kendi stabilitesi gibi hususların da göz önünde tutulması önem taşımaktadır. Yollar Fenni Sartnamesi 14. Kısım (Tablo 6.6.) da dolgu yapımında kullanılacak malzemedeki granülometri şartı aranmazken, aşağıdaki fiziksel özellikleri taşıması istenmektedir: Likit Limit (LL) \leq 70, Plastiklik İndisi (PI) \leq 40, Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (Standart Proktar) \geq 1.450 t/m³ (14.22 kN/m³) (PI \leq 6 ve CBR > 10 olan cürüflar ve tüflerde birim

ağırlık şartı aranmamaktır). Gene aynı şartnameye göre, dolgu zemini hazırlanırken, dolguların yapılmasına başlamadan önce zeminin temizleneceği ve bitkisel toprağı sıyrılmış kesimin 20 cm derinlikte kabartılıp sıkıştırılacağı; dolgunun inşa edileceği sahada bataklık kesimler varsa, bu kesimlerin yukarıda belirtilen şekilde hazırlanacağı ve uygun inşaat metodları tesbit edilerek dolgu yapımına başlanacağı; tabakalar oluşturulurken, dolgu son tabakasının üstten 20 cm.lik kısmı içerisinde, 10 cm.den daha büyük çapta dane içeren malzeme bulunmayacağı; dolguların son 40-50 cm.lik üst tabakasında CBR değeri minimum 10 olan seçme malzeme kullanılacağı; Sıkıştırma yapılırken, kullanılan sıkıştırma makinasının tip ve kapasitesine göre belirtilen kalınlıklarda serilen malzemenin sıkıştırma tekniğinin (silindir hızı, geçiş adedi vs.), deneme kesimi yapımı ile tesbit edileceği; Dolgularda sıkışma kriterleri belirtilirken, kaya dolgular dışında tüm dolguların, su içeriği ve birim ağırlık kontrolü yapılarak inşa edileceği ve minimum sıkışma yüzdelerinin aşağıdaki gibi olacağı, ifade olunmaktadır: Maksimum Standart Kum Birim Hacim Ağırlığı = 1.450-1.700 t/m³ için tesviye yüzeyi altındaki ilk 40 cm de Minimum Sıkışma % 100 (>1. 700 t/m³ için % 97), Granüler Malzemeler için: % 100 Sıkışma; 40 cm'nin altında kalan tabakalarda minimum sıkışma % 95 (\geq 1.700 t/m³ için % 95), granüler malzemeler için: % 95 sıkışma gene Yollar Fenni Sarnamesine göre, içerisinde % 50'den fazla miktarda 75-300 mm boyutlarında daneler içeren dolguların Molozlu Dolgular, % 50'den fazla miktarda 300 mm'den büyük parçalar bulunduran dolguların ise Bloklu Dolgular olarak adlandırıldığı; bu dolgularda tabaka kalınlığının malzemenin mevcut en büyük dane boyutunun en az 1.5 katı olacak şekilde seçileceği anlaşılmaktadır. Gene aynı Şartnameye göre: Yapım sırasında kullanılan malzemeyi ve oluşturulan tabakayı kontrol etmek amacıyla belirli aralıklarla yapılması gereken Kalite Kontrol Deneyleri ve Sayıları : Likit Limit ve Plastik Limit = Her tabakanın 5000 m²'sinde 1 deney, Su İçeriği-Kuru Birim Hacim Ağırlık ilişkisi = Her tabakanın 2000 m²'sinde 1 deney, Yaş CBR = Her tabakanın 2000 m²'sinde 1 deney, Sıkışma Yüzdesi Tayini (Tepsi Metodu/Kum Konisi Metodu/Kasnak Metodu) = Her tabakanın 100 m²'sinde 1 deney yapılması gerekmektedir.

Su, taban zeminlerinin taşıma gücünü düşürücü bir etki yaptığından etkili ve kalıcı bir drenaj sistemi ile, inşaat sırasında ve yolun ömrü boyunca tabandan ve üstyapı tabakalarından uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Taban zeminlerinde yeraltı su

seviyesi, tesviye yüzeyinin en az 100 cm altında tutulmasını sağlayacak şekilde uygun bir yeraltı drenajı uygulanır. Ayrıca, uygun bir drenaj sistemi ile yüzey suyunun yol gövdesini etkilenmesi de önlenmelidir.

Tablo 6.5 Dolgu Malzemesi Özellikleri

DENEY ADI	LİMİT DEĞER	STANDART NO
0.075 mm elekten geçen %	≤ 12	TS 1900 AASHTO T-11
Likit Limit	≤ 25	TS 1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi (PI)	≤ 6	TS 1900 AASHTO T-94
Kaba Agregada Su Absorpsiyonu %	≤ 3	TS 3526 ASTM C-127

Tablo 6.6. Dona hassas olmayan taban malzemesinin özellikleri

DENEY ADI	LİMİT DEĞER	STANDART NO
Likit Limit (LL)	≤ 70	TS 1900 AASHTO T – 89
Plastisite İndeksi (PI)	≤ 40	TS 1900 AASHTO T – 90
Maks, kuru birim ağırlık (standart Proktor)	$\geq 1.450 \text{ t/m}^3$	TS 1900 AASHTO T – 99

6.4. Yol İnşaatı Sırasında Ortaya Çıkan Sorunların Çözümü

Yol inşaatı sırasında aşırı oturmalar meydana gelerek, yapılan dolgular bozulmuştur. Yapılan dolgularda, sıkıştırma kontrolleri yapılmasına rağmen zamanla dolgularda oturmalarından kaynaklanan bozulmalar gözlenmiştir. Ortaya çıkan bu durumun düzeltilmesi için, yapılan incelemelerden aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

1) İnşaatı devam eden, bilhassa anayol güzergahı tabanındaki zeminin yol yapımı için özel önlemler alınmasını gerektirir nitelikte olduğu, yol taban toprağının siltli karakteri nedeni ile yeterli taşıma özelliklerine sahip olmadığı, taban zeminin sıkışabilirliğinin oldukça yüksek olduğu, bu nedenle uzun dönemde yolun stabilitesini bozacak oturmaların oluşabileceği, su ile birleştiğinde çamur kıvamına gelen zemin üzerinde araç geçişi yapıldıkça oynak duruma geldiği, buna karşın yol yapımı için üzerine kısıtlı yükseklikte dolgu malzemesi yerleştirilerek inşaatı devam edildiği, siltli zeminin inşaat süresince dolgu içinden yukarıya nüfuz ederek yol alttemel ve temel tabakalarını kullanılmaz hale getirdiği; bu haliyle yol inşaatına devam edildiği bunun sonunda yol gövdesinde deformasyonlar meydana getirdiği,

2) Deponi ariyet ocağından alınan malzeme ile doldurulan yol dolgusunun muhtelif yerlerinden numune alınarak yapılan deney sonuçlarına göre dolgu malzemesinin ilgili bazı kriterleri sağlamasına karşın bilhassa suya maruz kaldığında dayanıksız olduğu, yer yer 30 cm.'ye kadar düşüş gösteren dolgu yüksekliğinin burada olduğu gibi zayıf taban zeminini üzerinde yer aldığı durumlarda yeterli olmadığı,

3) Dolgu tabakasının üzerine oturduğu kılcal doygun silt tabakasından (tabii zemin) nüfuz eden su ile yaklaşık alt 50 cm 'lik kısmında gözle görülür su içeriği artışı olduğu, 03.06.2004 tarihinde yapılan su içeriği ölçümlerine göre, dolgu üst kotunun 1.50 m altındaki su içeriğinin, 1.00 m dolgu derinliğindeki su içeriğinin yaklaşık iki katı olduğu; ayrıca yoğun yağışlı geçen günlerde yapılmış gözlemlerde yağmur sularının dolgu eteğinde birikinti yaptığı (su seviyesinin tarlalar arası sulama borusu geçişi için konan plastik boruların üst seviyesine kadar yükseldiğinin görüldüğü) dikkate alındığında yolun ömrü açısından drenaj çalışması yapılmasının gerektiği,

4) İşverenin kullanıma sunduğu Deponi ariyet ocağında yapılan gözlemlerde, malzemenin dane boyutu 1 metreyi aşan büyüklükte kaya parçaları içerdiğinin görüldüğü, ocak malzemesinin halihazır durumu ile 30 cm kalınlıktaki tabakalarla yapılacak dolguda kullanılmasının mümkün olmadığı görülmüştür.

Ortaya konan bu önlemler göz önüne alındığında zemin profiline uygun projelendirme, malzeme seçimi noktalarında hatalar yapıldığı görülmektedir. Zayıf zeminlerde oturma problemleri ciddi sorunlar doğurmakta ve bunların telafisi ise oldukça zor ve zahmetli olmanın yanında, zaman ve maddi kayıplara sebep olmaktadır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yumuşak zeminler üzerine dolgu inşası problemi Geoteknik Mühendisliği'nin en önemli uygulama ve araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Bu konudaki çalışmaların sağlıklı yapılabilmesi için zemin etütlerinin de sağlıklı yapılmasına ihtiyaç vardır. Zemin etütlerine gereken önem verilmediğinde, projelendirmede önemli hataların yapılmasına yol açabilmektedir. Bu hatalar uygulama sırasında hem maliyet hem de zaman açısından ciddi yükleri beraberinde getirebilmektedir. Zemin etütleri ile dolgu yapılacak zeminin durumu, dolgu altındaki davranışı önceden bilinecek dolayısıyla projelendirmede uygun çözüm bulunacaktır. Bu konuda avantajlı çözümlerin uygulanabilmesi için zemin etütlerine yeteri önem verilmeli, zemin etütleri konunun uzmanları tarafından yapılmalıdır.

Sıkıştırılmış zeminden elde edilen dolgular en ağır yapı tiplerindedir ve bu dolguların yumuşak zeminler üzerine inşa edilmesinin gerektiği durumlarda önemli taşıma gücü ve stabilite problemleriyle karşılaşmaktadır. Yumuşak zeminlerin kayma mukavemetleri düşük ve deformasyona uğrama yetenekleri çok yüksektir. Böylece dolgu inşası sırasında taşıma gücü göçmesi veya dolgu ve temel zemininin stabilitesini kaybederek kayma göçmesinin oluşması uygulamada sıklıkla rastlanılan durumlardır. Yumuşak zeminleri iyileştirme yöntemleri, ancak doğru teşhis ve doğru yöntem ile uygun nitelikte malzeme kullanılması durumunda olumlu sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada yumuşak zeminde oluşan deformasyon tipleri, şekil ve gidişleri, yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgulardaki problemleri önleyici çözüm yolları ve inşaat sırasında stabilitenin artırılması yönünde yapılan iyileştirme çalışmaları anlatılmıştır

İnşa edilecek dolgunun altında ve çevresindeki su muhtevası, dolgu taban zemininin taşıma gücünü azaltan en büyük etkidir dolayısıyla zayıf zemin oluşmasına sebep olan suyun çevreden uzaklaştırılması ile en pratik zemin iyileştirme çalışması yapılmış

olmaktadır. Bu işleme genel olarak drenaj denilmektedir. Drenaj işleminin kendi içinde birçok çeşidi bulunmaktadır.

Temel tabanında meydana gelebilecek oturmaları önceden sönmölemek için, en basit ve en ekonomik yöntem ön yüklemedir. Ancak yumuşak killer ve organik zeminlerde ön yükleme çalışmalarından sonuç alma süresinin çok uzun olmasından dolayı, düşey drenlerin kum halıları ile birlikte kullanılması maksimum faydayı sağlayabilmektedir. Kumun temininin zor olduğu ve ekonomik olmadığı durumlarda, karton drenler çok daha avantajlı olabilmektedir.

Dinamik kompaksiyon oturmaları önceden sönmömlendiren bir uygulamadır. Ancak bunun için özel iş makinalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Hemen hemen tüm zeminlerde uygulanabilmektedir. Bu işlemde 200 ton ve üzerindeki balyoz, zemine belli bir yükseklikten düşürülmesi ile 30 m. derinliğe kadar iyileştirme sağlanabilmektedir. Olumsuzlukları ise; yerleşim yerlerine yakın yerlerde gürültü ve titreşimden dolayı uygulama zorluğu ve kohezyonlu zeminlerde boşluk suyu basıncının uzaklaşması için bekleme süresidir.

Yol dolgularındaki iyileştirme çalışmalarının esası, mevcut zemine değişik yöntemler uygulanarak yeterli taşıma gücünün sağlanmasıdır. Bu çalışmalarda zemin güçlendirme yöntemlerinden kazıklı temeller, yer altı suyunun drene edilemediği zeminlerde çok uygulanan bir yöntemdir. Kazıklı temeller kendi içinde çok farklı uygulama tekniği olduğundan çoğu zaman ihtiyaçlara karşılık verebilmektedir. Uç kazıkları sayesinde çok yüksek mukavemetler elde edilmektedir. Kazıklı uygulamalar genellikle yumuşak zeminlerde sanat yapıları tabanında uygulanabilmektedir. Taşıma gücü problemlerinin oluşabileceği çok zorunlu durumlarda yol dolguları altına uygulanabilecektir. Diğer iyileştirme yöntemlerine göre en yüksek maliyetli olanıdır.

Donatılı zemin uygulaması kohezyonsuz, kohezyonlu ve yer altı suyu drenajının yapılabildiği zayıf zeminlerde uygulanabilmektedir. Kazıklı uygulamalar kadar maliyeti yüksek olmasada donatılı zeminde maliyetli bir uygulamadır.

Son yıllarda geoteknikte geniş uygulama alanı bulan geotekstiller zemin iyileştirme ve güçlendirme konularında da alternatif çözümler sunabilmektedirler. Geotekstiller sayesinde ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme ve koruma işlemleri çok yüksek verimlilikle sağlanabilmektedir. Geotekstiller hızlı, kolay ve pratik uygulamalar sunabilmektedir.

Dolgu inşaatı sırasında stabilitenin artırılması yönünde yapılan iyileştirme çalışmalarında önemlidir. Bu çalışmalar; temel veya yapı altında kalacak olan yumuşak zeminin tümü veya bir bölümünün kazılması, dolgu sevi altındaki yumuşak zeminin kazılarak kaymanın önlenmesi, kalıcı veya geçici palye yapılması ve inşaatın kademeli olarak yapılması çalışmalarıdır.

Vaka analizinden de görüldüğü gibi zemin etütlerinin uzmanları tarafından yapılması oluşabilecek problemlerin önceden farkedilmesi açısından, gerekli iyileştirme yöntemlerinin uygulanması açısından önemlidir. Yanlış uygulamalarda kısa sürede büyük problemler oluşmasada uzun vadede yoğun trafik yükü altında deformasyonlar ve oturmalar meydana gelebilmektedir. Bu da hem ekonomik açıdan yük getirecek hem de trafiği tehlikeye düşüreceğinden can kayıplarına neden olabilecektir.

Yukarıda açıklamalardanda anlaşılacağı üzere yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgulardaki problemler ve önleyici çözüm yollarını belirlemek için mevcut bir zemini çok iyi tanımlamak ve zeminin maksimum taşıma gücünü belirleyerek seçilecek iyileştirme yönteminin fayda, sağlamlık, ekonomiklik, süreklilik ve uygulama kolaylıkları dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] KARLSSON, R., Consistency limits Bulletin Swedish Council for Building Research D6, (1977)
- [2] NELSON, J. D., D.J MİLLER Exponsive Soils J .Wiley , Newyork (1992)
- [3] FOURIE , A., Laboratory exaluation of lateral swelling pressure Journal ASCE GT 115:10:1481, (1989)
- [4] ORDEMİR, İ., Çökebilen Zeminler 3.ZM veTM Ulusal Kongresi 1:77, (1990)
- [5] HOUSTON – HOUSTON – SPADOLA , Prediction of field collapse of soils due to wetting, (1988)
- [6] BASMA,A.A.&E.R.TUNCER "Evaluation and control of collapsible soils ASCE" Journal ASCE GT 118:10:1491, ;(1992)
- [7] WATERMEYER – BOTHA – HALL, " Counturing potential piping at an eart dam on dispersive soils" Geotechnicks in African Environment, (1991) Balkema , Rotterdam
- [8] ÖNALP, A., "Geoteknik Bilgisi" Birsen Yayınevi , İstanbul cilt 1 (2002)
- [9] ÇİNİCİOĞLU , S.F, ,TOĞROL, E., " Yüklenmiş Yumuşak Zeminlerin davranışı üzerine " Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5.Ulusal Kongresi , ODTÜ, Ankara , Cilt:1,S:36-46 (1994)
- [10] BJERRUM , L., " Embakments on Soft Ground " Proc.,ASCE Conference on Performance of Eorth Suppported Structures, Purdue University , Vol II , S:1-54 (1972)
- [11] D'APPOLONIA , D. J., Poulas , H.G. and LADD.,C.C. "Initial Settlement of Structures on Clay " ASCE J. Of the Soil Mech.and Found. Div.,97, S:1359-1377 (1972)

- [12] TAVENAS, F.,MIEUSSENS,C.BOURGES,F.
"LATERAL Displacements in Clay Foundations under Embakments "
Canadian Geotechnical Journal , Vol .16 , S: 532-507(1979)
- [13] SUZIKI O. " The Lateral Flow of Soil Caused by banking of Soft Clay Ground " Soils Found 28(4) , S:1-18 (1988)
- [14] TING , W. H. ,TOH,C.T. AND CHEE ,S.K. Movement and stability of Slopes in Residual Soil Fills " Proc 8 th Asian Regional Conf. On S.M.F.E.,Kyoto, Vol:1,S:503 – 507 (1988)
- [15] TAVENAS, F. BLANCHET, R., GAERNEU, R., LEROUEİL, S.
" The Stability of stage – Costructed Embakments on Soft Clays "
Canadian Geotechnical Journal , 15(2) , 253 – 305 (1978)
- [16] ERGUN , U., Zemin İyileştirme Yöntemleri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kngresi ,III . Cilt , 1013 s. (1994)
- [17] ERTUNÇ , A., Zemin İyileştirilmesinde Enjeksiyon Zemin Mekaniği ve Temel Sergi ve Semineri , Akdeniz Zemin 96 , 149 s. (1996)
- [18] YILDIZ, R., Kazıklı Temel Uygulamalarında Modern Teknikler Zemin Mekaniği, ve Temel Sergi ve Semineri , Akdeniz Zemin 96 , 149 s. (1996)
- [19] WOOD , H . J . Foundationns Innovations , opservations , observations design and partice S:516 – 530 (2003)
- [20] ERGUN , T ., 5. Ulusal Zemin Kongresi S:828 (1994)
- [21] TS 7994 , Zemin Dayanma Yapıları , Sınıflandırma , Özellikleri ve projelendirme Esasları (1990)
- [22] ERMEK , E., " Yollar Türk Milli Komitesi " Karayolları Genel Müdürlüğü S: 565 – 572 (1991)
- [23] WASTİ , Y., Vateks Geotextile Geotekstillerin Kullanım ve Seçim Esasları , Vateks A.Ş. Teknik Yayınları , 50 s. (1992)
- [24] ROME , R. K., LI , A.L. Geotextiles and Geomembranes 17 S:129-146 (1999)
- [25] TOSUN , H., Temel Zemini Taşıma Gücü, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 140 s. (1989)
- [26] Yollar Fenni Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü (2005)

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Şanlıurfa'da tamamladı. 1998 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Özel bir şirkette iş hayatını devam ettirmektedir.