T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAYANMA YAPILARININ GERİ DOLGU MALZEMESİNİN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

SENA MERMER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2017

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAYANMA YAPILARININ GERİ DOLGU MALZEMESİNİN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

SENA MERMER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF. DR. BİLGE SİYAHİ

GEBZE
2017

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

EFFECTS OF BACKFILLING MATERIAL OF RETAINING STRUCTURES ON EARTHQUAKE BEHAVIOUR

SENA MERMER

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. BİLGE SİYAHİ

GEBZE

2017

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/10/2017 tarih ve 2017/54 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/11/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan SENA MERMER'in tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: Prof. Dr. Bilge SİYAHİ	
ÜYE	: Prof. Dr. Bülent AKBAŞ	
ÜYE	: Doç. Dr. Eren UÇKAN	

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

.....

Gebze Teknik Üniversitesi

..... Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada bir dayanma yapısının analitik yöntemlerle (Coulomb, Yarı-statik yöntem, Mononobe-Okabe yöntemi) analizi yapılmış ve bir yazılım kullanılarak kayma, devrilme ve taşıma gücü tahkikleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan mevcut dayanma yapısının geri dolgu malzemesinin deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Geri dolgu malzemesinin mevcut şartlarda yeterli dayanıma sahip olmaması sebebiyle zemin enjeksiyon yöntemi kullanılarak iyileştirme yapıldığı varsayılmış ve emniyetli taşıma kapasitesindeki artış göz önünde bulundurularak analiz yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, dayanma yapısı geri dolgu zemininin kayma mukavemeti açısı $\emptyset$'nin artması ve geri dolgu zemininin birim hacim ağırlığı γ'nın azalması durumunda kaymaya ve devrilmeye karşı duvarın güvenliğinde artış gözlenmiştir.

Mevcut bir dayanma yapısının geri dolgu malzemesinin zemin enjeksiyon yöntemiyle iyileştirilmesi durumunda bile söz konusu dayanma yapısının güvenlik tahkiklerini sağlamadığı görülmüştür. Bu sebeple zemin enjeksiyon yöntemiyle iyileştirmeye ek olarak dayanma yapısının boyutlarının değiştirilmesi gerektiği ve bu sayede kaymaya ve devrilmeye karşı güvenliğin sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dayanma Yapısı, Geri Dolgu Malzemesi, Dayanma Yapısının Geri Dolgu Malzemesi, Güvenlik Tahkikleri, Geri Dolgu Zemin İyileştirme.

SUMMARY

In this study, a retaining structure was analyzed with analytical methods (Coulomb, Pseudo-Static Mehthod, Mononobe-Okabe Method) and slip, overturn and overflow strength tests were performed using a software. The effect of the existing retaining structure used in the study on the earthquake behaviour of the backfilling material was not adequately restrained under the existing conditions and that the backfilling material was improved using the ground injection method and the analysis was carried out considering the increase in the safe bearing capasities. As a result of the analysis made, an increase in the safety of the wall against slipping and overturning was observed in the case of increase of the shear strength angle of the backfilling material ($\emptyset$) and decrease of the weight of the unit volume of the backfilling material (γ).

It has been found that even if a retaining structure was improved by the ground injection method, the retaining structure did not provide safety inspections. For this reason, in addition to the improvement with the ground injection method, the dimensions of the retaining structure have to be changed. By this way, the safety against slipping and tilting can be achieved.

Key Words: Retaining Structure, Backfilling Material, Backfilling Material of The Retaining Structure, Safety Tests, Improvement of Backfilling Material.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof. Dr. Bilge SİYAHİ'ye,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Hüseyin ERGÜN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. DAYANMA YAPILARI	2
2.1. Dayanma Yapısı Türleri	3
2.1.1. Rijit Dayanma Yapıları	3
2.1.1.1. Ağırlık Duvarları	3
2.1.1.2. Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı	4
2.1.1.3. Konsol Duvar	4
2.1.1.4. Eşikli Konsol Duvar	4
2.1.1.5. Payandalı Duvar	5
2.1.1.6. Ters Payandalı Duvar	6
2.1.2. Yarı Rijit Dayanma Yapıları	6
2.1.2.1. Kafes Tipi Dayanma Duvarı	6
2.1.2.2. Sandık (Gabion) Tipi Dayanma Duvarı	6
2.1.2.3. Kazıklı Perdeler	7
2.1.2.4. Diyafram Duvarlar	7
2.1.3. Esnek Dayanma Yapıları	8
2.1.3.1. Palplanş Perdeleri	8
2.1.3.2. Donatılı Zemin Dayanma Yapıları	9
2.2. Dayanma Yapılarında Yenilme Türleri	10
2.3. Dayanma Yapıları Üzerindeki Statik Basınçlar	11
2.3.1. Rankine Teorisi	14

2.3.2. Coulomb Teorisi 16
2.4. Dayanma Yapıları Üzerindeki Deprem Etkisi 17
2.4.1. Mononobe-Okabe Yöntemi 17
2.5. Dayanma Yapılarının Depreme Bağlı Yerdeğiştirmesi 19
2.5.1. Richards-Elms Yöntemi 20
2.5.2. Whitman-Liao Yöntemi 21
3. DAYANMA YAPILARINDA GERİ DOLGU MALZEMESİNİN SEÇİMİ VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ 23
3.1. Geri Dolgu Malzemesi Çeşitleri 23
3.2. Geri Dolgu Zeminini İyileştirme Yöntemleri 24
3.2.1. Drenaj Önlemleri 24
3.2.2. Donatılı Zemin Duvarları (Toprakarme) 24
3.2.3. Donatılandırarak Güçlendirme 27
3.2.4. Geri Dolgu Zeminini Sıkıştırma 30
3.2.5. Derin Karıştırma 30
3.2.6. Zemin Enjeksiyonu 31
3.2.7. Isıl Yöntemlerle İyileştirme (Isıtma-Dondurma) 36
3.2.8. Elektrosmoz 36
3.2.9. Yüzeysel İyileştirme 37
3.2.10. Mikrobiyolojik Çimentolanma 37
4. BİR DAYANMA YAPISININ GÜVENLİK TAHKİKLERİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ; VAKA ANALİZİ 39
4.1. Dayanma Yapısı Modeli ve Zemin Özellikleri 39
4.2. Dayanma Yapısının Güvenlik Tahkikleri 41
4.3. Dayanma Yapısı İçin Analitik Çözümler 42
4.4. Dayanma Yapısının Yazılım Kullanılarak Analiz Edilmesi 47
4.5. Enjeksiyon İle İyileştirmenin Dayanma Yapısı Mukavemetine Etkisi 51
4.6. Değerlendirme 53
5. SONUÇLAR ve YORUMLAR 54

KAYNAKLAR 57
ÖZGEÇMİŞ 59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
P_A	:	Aktif zemin basınç bileşkesi
K_A	:	Aktif zemin basınç katsayısı
σ_v'	:	Düşey efektif gerilme
$\boldsymbol{c}$	:	Kohezyon
$\emptyset$	:	Kayma mukavemeti açısı
γ	:	Zeminin birim hacim ağırlığı
P_P	:	Pasif zemin basıncı
K_P	:	Pasif zemin basınç katsayısı
q_{em}	:	Zeminin emniyetli taşıma kapasitesi
kN	:	Kilonewton
FS	:	Güvenlik faktörü
β	:	Dolgunun şev eğimi açısı
θ	:	Duvar-zemin arakesitinin düşeyle aktif basınç tarafına doğru yaptığı açı
P_H	:	Aktif zemin basınç bileşkesinin yatay bileşeni
P_v	:	Aktif zemin basınç bileşkesinin düşey bileşeni
δ	:	Duvar ile dolgu arasındaki sürtünme açısı
H	:	Dayanma duvarının toplam yüksekliği
H_t	:	Temel kalınlığı
B_w	:	Temel genişliği
z	:	Zemin yüzeyinden itibaren derinlik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Dayanma Yapıları.	2
2.2:	Ağırlık Duvarı.	3
2.3:	Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı.	4
2.4:	Konsol Duvar.	4
2.5:	Eşikli Konsol Duvar.	5
2.6:	Payandalı Duvar.	5
2.7:	Gabion Duvar.	6
2.8:	Diyaframm Duvar.	8
2.9:	Palplanş Perdeler.	9
2.10:	Donatılı Zemin Duvarı..	9
2.11:	Konsol Duvarlarda Yenilme Türleri.	10
2.12:	Ankrajlı Duvarlarda Yenilme Türleri.	11
2.13:	Aktif Zemin Basıncı Sonucu Duvar Hareketi.	12
2.14:	Pasif Zemin Basıncı Sonucu Duvar Hareketi.	13
3.1:	Su Seviyesinin Temel Altında Olması Durumunda Uygulanabilecek Drenaj Sistemi.	24
3.2:	Donatılı Zemin Duvarları.	25
3.3:	Metal Gridler.	26
3.4:	Geosentetikler ve Geogridler.	26
3.5:	Geotekstil Donatıların Kullanımı.	27
3.6:	Zemin Çivisi Uygulama Aşamaları.	28
3.7:	Ankraj Kesiti.	29
3.8:	Mikro Kazık Uygulaması.	29
3.9:	Mini Kazık Uygulaması.	30
3.10:	Derin Karıştırma Yöntemiyle İyileştirme.	31
3.11:	Zemin Enjeksiyon Yöntemleri.	32
3.12:	Jet Enjeksiyonu Yapım Aşamaları.	33
3.13:	Jet Enjeksiyonu.	34
3.14:	Jet Enjeksiyon Yöntemleri.	34
3.15:	Elektrosmoz.	37

4.1: Model Dayanma Yapısı. 40
4.2: Dayanma Yapısı Arkasındaki Aktif Kama. 41
4.3: Dayanma Duvarına Statik Şartlarda Etkiyen Yükler. 43
4.4: Yarı-Statik Analizde Dayanma Duvarı Üzerindeki Yükler. 45
4.5: Mononobe-Okabe Yönteminde Dayanma Duvarı Üzerindeki Yükler. 46
4.6: Statik Koşullarda Kaymaya Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi. 48
4.7: Statik Koşullarda Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi. 49
4.8: Deprem Koşullarında Kaymaya Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi. 50
4.9: Deprem Koşullarında Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi. 51
5.1: Boyutları Değiştirilmiş Dayanma Yapısı. 55

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	Ağırlık Duvarlarında Yerdeğiştirme Analizi İçin Değerler.	22
3.1:	Jet Enjeksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması.	35
4.1:	Statik Koşullarda Kaymaya Karşı Güvenlik Sayıları.	48
4.2:	Statik Koşullarda Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayıları.	49
4.3:	Deprem Koşullarında Kaymaya Karşı Güvenlik Sayıları.	50
4.4:	Deprem Koşullarında Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayıları.	51

1. GİRİŞ

Dayanma yapıları, kendini tutamayan doğal zeminin ya da dolgu malzemesinin stabilitesinin korunmasını sağlayan yapılardır. Bu yapıların inşasında kullanılan malzemeler, yapım yöntemleri, duvar arkası dolgu malzemesi çeşitleri, bu stabiliteyi sağlayan faktörlerdir.

Dayanma yapılarının arkasına dolgu olarak yerleştirilen malzemenin türü, bu duvarların ekonomik olmasını sağlayabilir. Buna dikkat ederken toprak basınçlarının dayanma yapısında herhangi bir devrilme meydana getirmemesi de göz önünde bulundurulmalıdır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

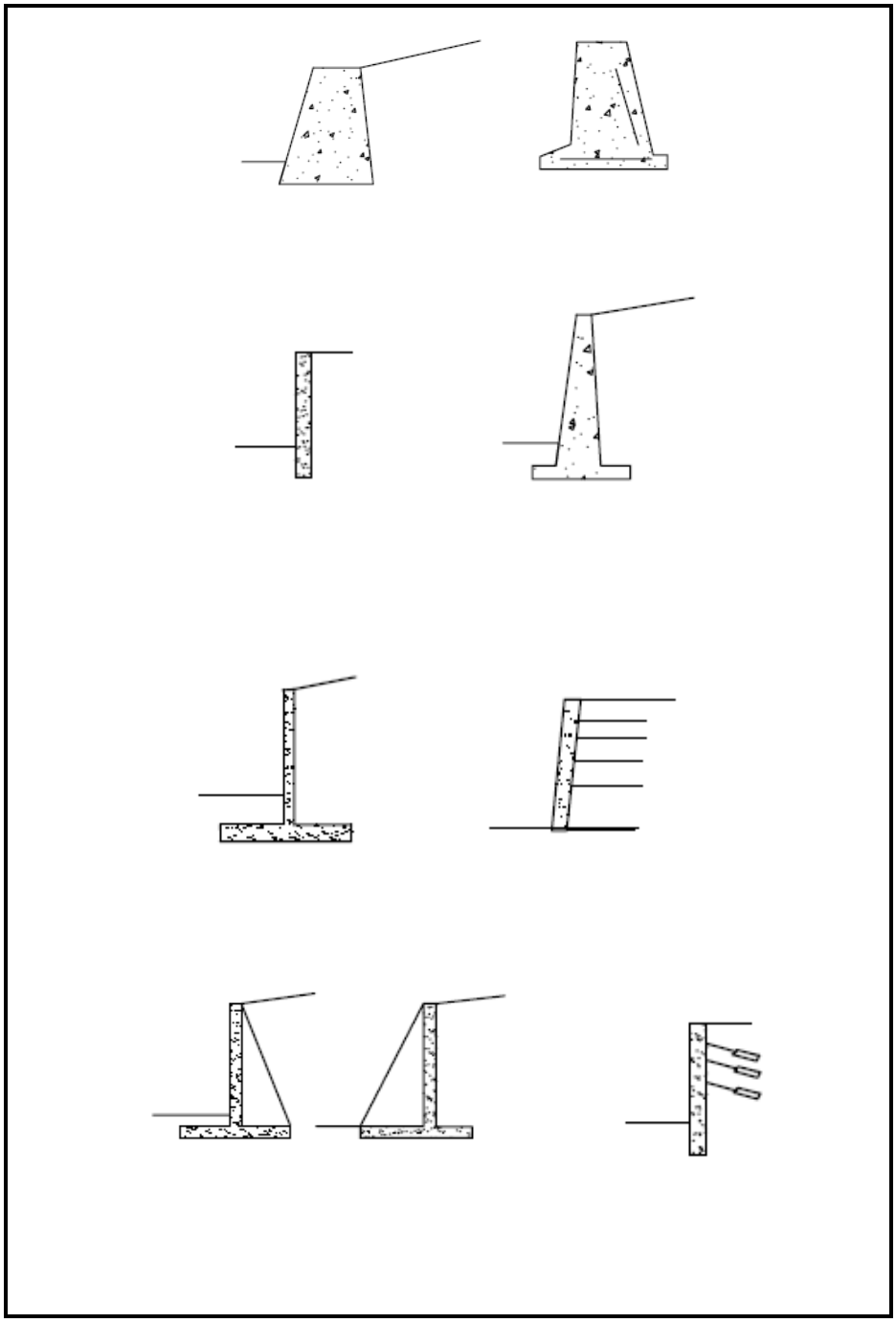
Dayanma yapıları deprem tehlikesine maruz bölgelerde yaygın olarak inşa edilmektedirler. Dayanma yapılarında statik olduğu kadar deprem etkisiyle de kalıcı deformasyonlar gözlenmektedir. Geçmiş depremlerde bazı dayanma yapıları zarar görerek ağır fiziksel ve ekonomik kayıplara neden olmuşlardır.

Ağırlık tarzı dayanma yapıları günümüzde bile kullanılmasına rağmen konsol tipi duvarların (zemin çivileri ve ankrajlı duvarlar) uygulama alanları kısmen yeni olup, üzerinde çalışılan göçme mekanizmalarının özellikle deprem nedeniyle oluşabilecek etkilerin detaylı incelenmesine gereksinim olmaktadır. Tez çalışmasında öncelikle, geçmiş depremler sırasında bu tür dayanma yapılarında meydana gelebilecek göçme mekanizmaları incelenmiş, literatür özetlenmiştir. Daha sonra, dayanma yapılarının tasarım esasları ve yaklaşımları incelenerek var olan yöntemler tanıtılmıştır. İstanbul ilinde mevcut bir dayanma yapısının işlevini kaybetmesi sonucu oluşan göçme mekanizması yerinde incelenmiş, dayanma yapısının tasarım kriterleri ve arazi çalışmaları derlenmiştir. Dayanma yapısının var olan geri dolgu malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, dolgu boyutları ve drenaj sistemleri incelenmiştir. Dayanma yapısının geri dolgu malzemesinin farklı zemin iyileştirme yaklaşımları ile statik ve dinamik analizleri analitik ve nümerik olarak çözülmüştür.

Elde edilen sonuçların dayanma yapılarının tasarım, uygulama ve özellikle dinamik davranışı iyileştirme konusunda yenilik getireceği düşünülmektedir.

2. DAYANMA YAPILARI

Eğimli arazilerde, kot farkı bulunan alanlarda, yol kenarlarında toprağın kaymasını önlemek, binanın bodrum duvarlarını oluşturmak, kıyı yapılarında taşkınları önlemek, köprü ampatmanlarını teşkil etmek, derin kazı ve iksa sistemleri oluşturmak amacıyla inşa edilen yapılardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Dayanma Yapıları.

Dayanma yapıları genelde kalıcı olacak şekilde imal edilir ve topraktan gelen yanal kuvvetleri kendi ağırlıkları vasıtasıyla taşır. Dayanma yapılarının tasarımında sürşarj yükleri, dayanma duvarının kendi ağırlığı, geri dolgu malzemesinin türü, deprem yükleri, sıcaklık etkileri, suyun varlığı dikkate alınır.

2.1. Dayanma Yapısı Türleri

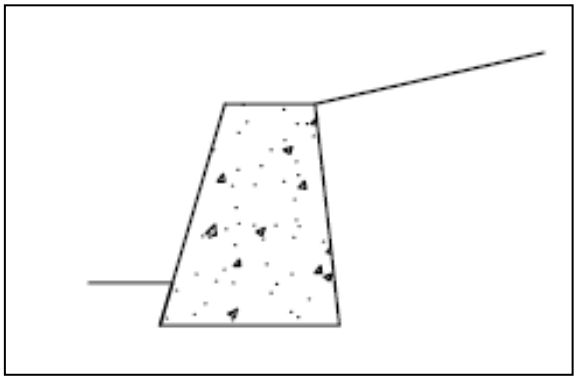
"TS 7994 Zemin dayanma yapıları: sınıflandırma, özellikleri ve projelendirme esasları" na göre aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır.

2.1.1. Rijit Dayanma Yapıları

Bu tür dayanma yapılan kendi ağırlıkları veya kendi ağırlığı ve temel üzerindeki dolgu ağırlığı ile toprak itkisiyle dengeyi sağlamaktadır. Rijit dayanma yapıları altı grupta sınıflandırılabilir.

2.1.1.1. Ağırlık Duvarları

Dayanma yapıları içerisinde en eski, basit olan ve en çok uygulanan duvar türüdür. Devrilmeye, kaymaya ve zımbalamaya karşı taş, tuğla veya donatısız beton kullanılarak inşa edilir. (Şekil 2.2)

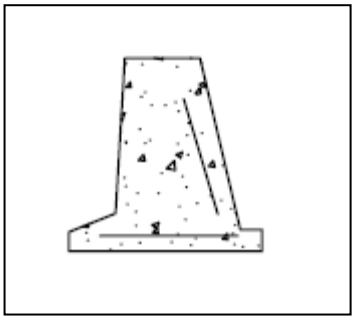


Şekil 2.2: Ağırlık Duvarı.

Toprak itkisini kendi ağırlığı ile karşılar. Kullanılan malzemeler çekme gerilmesini karşılayamadığından çekme gerilmelerine izin verilmez.

2.1.1.2. Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı

Ağırlık duvarlarının ekonomik olmadığı durumlarda inşa edilir.(Şekil 2.3)

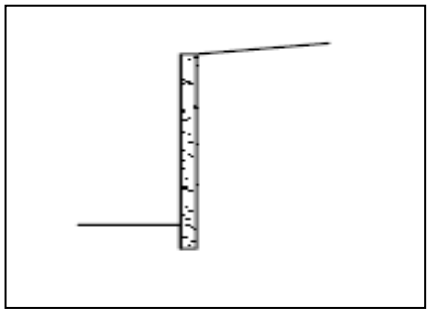


Şekil 2.3: Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı.

Çekme gerilmelerini karşılamak suretiyle donatı konulur. Bu şekilde duvarın kütlesi azaltılmış olur.

2.1.1.3. Konsol Duvar

Konsol duvarlar, yanal toprak basınçlarını esnek yapısıyla karşılayabilen dayanma duvarıdır.(Şekil 2.4) Ters T, L ve ters L şeklinde imal edilebilir.

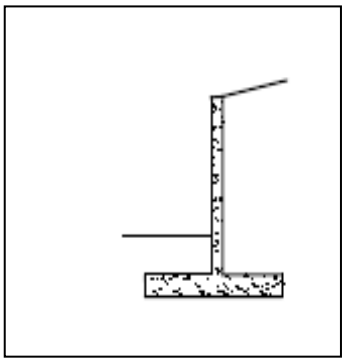


Şekil 2.4: Konsol Duvar.

Zemine ankastre düşey duvar gibi çalışır. Toprak itkisinin karşılanamadığı durumlarda duvar öne doğru kayabilir. Bu sebeple temele diş yapılır.

2.1.1.4. Eşikli Konsol Duvar

Gövdeye etkiyen yatay yük ve moment dağılımını karşılamak amacıyla tabana paralel olacak şekilde birkaç sıra eşik koymak suretiyle inşa edilir. (Şekil 2.5)

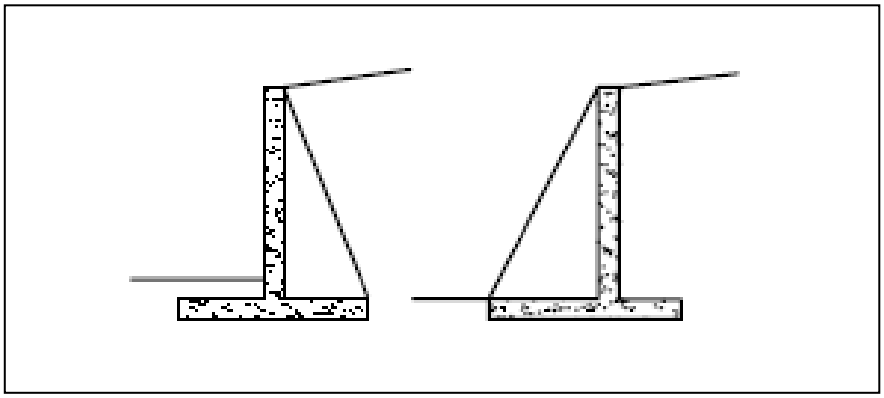


Şekil 2.5: Eşikli Konsol Duvar.

Eşik yeri ve sayısı çeşitli denemeler sonrasında belirlenir.

2.1.1.5. Payandalı Duvar

Konsol duvar yapımının ekonomik olmadığı durumlarda inşa edilir.



Şekil 2.6: Payandalı Duvar.

Duvarın arkasında veya önünde, üçgen şeklinde, payanda denilen destek elemanları kullanılır. (Şekil 2.6)

2.1.1.6. Ters Payandalı Duvar

Payandaların önde bir engel yaratmayacağı durumda kullanılmaktadırlar. Bu duvar tipinin kullanılmasıyla payanda basınca çalıştığından konsol ve temeldeki beton miktarında önemli azalmalar sağlamaktadır. Buna karşın düşey toprak yükü kısa olan topuk üzerine etkidiğinden duvar stabilitesine katkısı daha az olmaktadır.[1]

2.1.2. Yarı Rijit Dayanma Yapıları

Çalışma prensibi olarak toprak basıncının büyük bölümünü zemine taşıtmaktadır. Kafes ve gabion (sandık) tipi duvarlar bu gruba girmektedir.

2.1.2.1. Kafes Tipi Dayanma Duvarı

Metal veya betonarme kirişlerin birbirine geçirilmesiyle oluşturulan kafeslerin, çeşitli malzemelerle doldurularak inşa edilmesiyle oluşturulan dayanma duvarıdır. Kafeslerin yapımında kullanılan malzeme türüne göre ikiye ayrılmaktadır:

- Betonarme Kafes Türü Dayanma Duvarı
- Çelik Kafes Türü Dayanma Duvarı

2.1.2.2. Sandık (Gabion) Tipi Dayanma Duvarı

Çelik tel kafeslerin içerisine kaya parçaları yerleştirilip üst üste konularak inşa edilen dayanma yapısıdır. (Şekil 2.7) [2]

Şekil 2.7: Gabion Duvar.

Sandık tipi dayanma duvarlarında drenaj sorunu bulunmamaktadır.

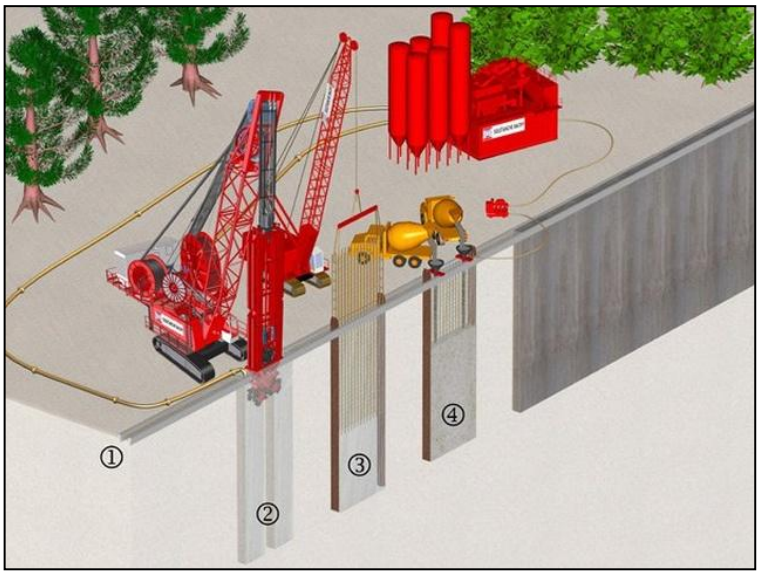
2.1.2.3. Kazıklı Perdeler

Taşıma gücünün yetersiz olduğu zemin koşullarında betonarme kazıklardan perde oluşturularak elde edilen dayanma duvarlarıdır. Bu tür perdeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [1].

- Araklıklı kazıklarla oluşturulan perdeler
- Teğet kazıklı perdeler
- Enjeksiyonlu teğet kazıklı perdeler
- Bindirmeli kazıklı perdeler

2.1.2.4. Diyafram Duvarlar

Taşıma gücünün aşırı derecede yetersiz olduğu, kendini tutamayan zemin koşullarında, yeraltı suyunu önlemek ve yüksek toprak basıncını karşılamak amacıyla inşa edilen dayanma duvarlarıdır. (Şekil 2.8) [3]



Şekil 2.8: Diyafram Duvar.

Diyafram duvarlar, Şekil 2.8'de görüldüğü gibi tamamen zemin içerisine gömülü şekilde inşa edilmektedir.

2.1.3. Esnek Dayanma Yapıları

Esnek dayanma yapıları, temel zeminin geleneksel duvarları taşıyamayacak kadar yetersiz olması, su kenarlarında inşaat çalışmalarının diğer tipler için zorluğu ve pahalı kurutma işlemlerini gerektirmesi, yapımda kolaylık, geçici duvar oluşturma mecburiyeti ve yeniden kullanma olanağının ekonomi sağlaması sebebiyle rijit ve yarı rijit türlere tercih edilmektedirler [1].

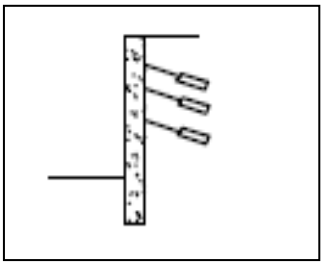
2.1.3.1. Palplanş Perdeleri

Zemin ve su yüklerini karşılamak amacıyla kıyı yapılarında ve temel kazılarında kullanılırlar.(Şekil 2.9) Çelik veya ahşap elemanlar birleşim yerlerinden birbirlerine soketlenerek geçirimsizlik perdesi teşkil edilir. Bu tür perdeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler [1]:

- Gömme perdeler (Ankastre Palplanş)
- Bağlı Perdeler (Ankrajlı Palplanş)

• Zemine Yarı Ankastre Bağlı Perdeler

• Zemine Tam Ankastre Bağlı Perdeler



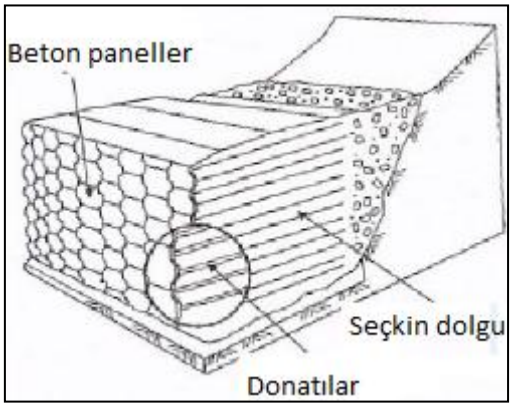
Şekil 2.9: Palplanş Perdeler.

Zemine çakılmak suretiyle inşa edilen palplanş perdeleri genellikle geçici amaçla uygulanır.

2.1.3.2. Donatılı Zemin Dayanma Yapıları

Toprak zeminin çekme dayanımı olmadığından paslanmaz çelik veya sentetik fiber şerit malzemeler kullanılarak güçlendirme yoluyla elde edilen dayanma yapılarıdır.(Şekil 2.10) [4] Genellikle karayollarında, köprü ayaklarında, şev stabilitesini sağlamada tercih edilir.

Dolgu içerisine yerleştirilen donatılar çekme mukavemetini sağlama bakımından beton içerisindeki donatıya benzemektedir. Donatılı zemin duvarları, sıkıştırılmış dolgu malzemesi, yatay şekilde yerleştirilen şerit malzemeler ya da geotekstil ve cephe kaplamasından oluşan dayanma yapılarıdır.



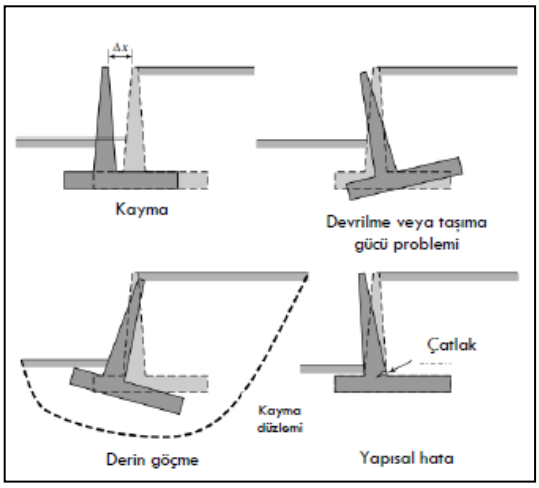
Şekil 2.10: Donatılı Zemin Duvarı.

Çelik malzemenin korozyona uğraması sorununun ortadan kaldırılması için polyester malzeme kullanılabilir.

2.2. Dayanma Yapılarında Yenilme Türleri

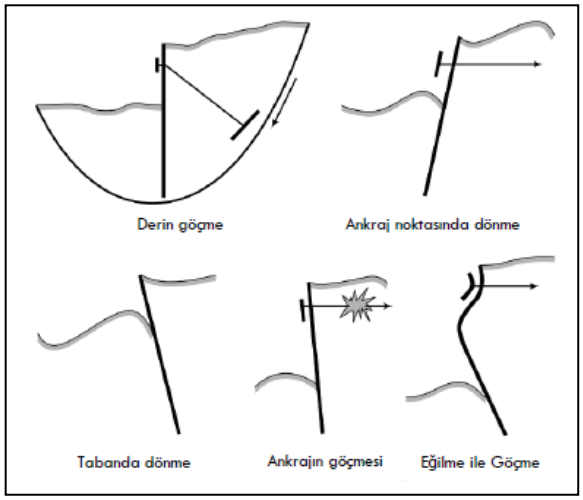
Bir dayanma yapısı tasarlanırken ne şekilde göçme meydana geleceği önceden tespit edilebilmelidir. Bunu yaparken de statik ve dinamik koşulları göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Statik koşullar altında dayanma duvarına etkiyen kuvvetler; duvarın kütlesinden gelen cisim kuvvetleri, toprak basınçları ve zemin gerilmeleridir. Dinamik koşullarda ise dayanma duvarına etki eden deprem kuvvetleri, atalet kuvvetleri olarak ele alınır. Tasarım yapılırken bu koşullar göz önünde bulundurulursa dayanma yapısında meydana gelebilecek yenilmeler önlenmiş olur. Aksi takdirde dayanma yapısında denge bozulur ve kalıcı deformasyonlar ortaya çıkar. Kalıcı deformasyonların artmasıyla da kayma, devrilme, eğilme, dönme, bükülme gibi yenilme mekanizmaları gelişir.

Ağırlık duvarlarındaki yenilme türü genellikle kayma ve/veya dönme şeklinde meydana gelir. Yanal toprak basınçlarının dengelenemediği durumlarda kayma oluşur. Moment dengesinin sağlanamadığı durumlarda ise dönme şeklinde yenilme görülür. Taşıma gücünden kaynaklanan bu yenilmeler genellikle birlikte meydana gelir. Dayanma yapısının altındaki olumsuz zemin koşulları da yenilmeye sebep olabilir.



Şekil 2.11: Konsol Duvarlarda Yenilme Türleri.

Konsol duvarlardaki yenilme türleri ağırlık duvarlardaki durumlara benzer olup ayrıca esnek yenilme mekanizmaları da gözlenir. Dayanma yapısının sünekliği, eğilme yenilmesi şeklinde meydana gelen deformasyonların düzeyini etkileyebilir.(Şekil 2.11) [5]



Şekil 2.12: Ankrajlı Duvarlarda Yenilme Türleri.

Ankrajlı duvarlardaki yenilme türleri konsol duvarlara benzemekte olup yenilme noktaları farklılık gösterir. Ankraj derinliğinin yeterli olmadığı koşullarda topukta ileri tepme mekanizması görülür. (Şekil 2.12) [5]

2.3. Dayanma Yapıları Üzerindeki Statik Basınçlar

Dayanma yapısı tasarımında duvara etkiyen toplam yanal basınçlar göz önünde bulundurulur. Bu basınçlardan biri yerçekiminden kaynaklanan statik zemin basınçlarıdır. Dayanma duvarı ve zeminin hareketinden kaynaklanan statik zemin basınçları, aktif ve pasif zemin basınçları olarak ayrı ayrı incelenmektedir.

Aktif zemin basınçları, dayanma yapısının, arkasında bulunan dolgudan ileriye doğru uzaklaşmasıyla gelişir ve zeminde yanal birim deformasyon oluşturur. Yatay gerilmelerin en az değere ulaştığı anda yenilme mekanizması gelişir.(Şekil 2.13) [6]

Herhangi bir derinlikteki noktaya etkiyen aktif zemin basıncı kohezyonsuz zeminlerde duvar-zemin arasının sürtünmesiz olduğu ve duvar arkası zeminin eğimli olmadığı durumlar için;

$$P_A = \gamma z \tan^2\left(45 - \frac{\emptyset}{2}\right) \tag{2.1}$$

şeklinde ifade edilir.

Kohezyonlu zeminlerde;

$$P_A = \gamma z \tan^2\left(45 - \frac{\emptyset}{2}\right) - 2c \tan\left(45 - \frac{\emptyset}{2}\right) = \gamma z K_A - 2c\sqrt{K_A} \tag{2.2}$$

olur. Aktif zemin basıncının sıfır olduğu derinlik;

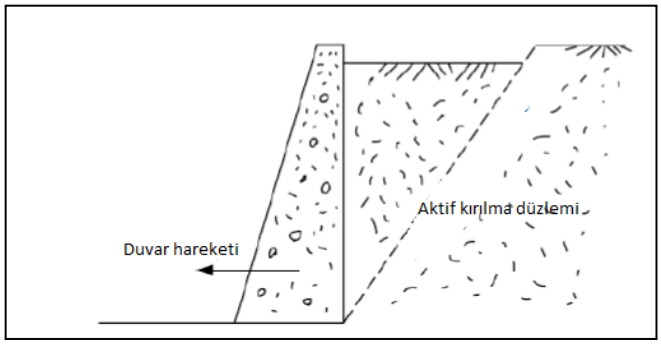
$$z_0 = \frac{2c}{\gamma}\sqrt{K_A} \tag{2.3}$$

dir.

Zemin yüzeyinde çekme gerilmeleri maksimum olacağından ($z = 0$ durumu) aktif zemin basıncı;

$$P_A = \frac{-2c}{\gamma}\sqrt{K_A} \tag{2.4}$$

değerine ulaşır.



Şekil 2.13: Aktif Zemin Basıncı Sonucu Duvar Hareketi.

Pasif zemin basınçları, dayanma duvarının zemine doğru hareket etmesiyle ortaya çıkar. Dayanma yapısının stabilitesi çoğunlukla aktif ve pasif zemin basınçlarının birbirini dengelemesine bağlıdır (Şekil 2.14) . [6]

Herhangi bir derinlikteki noktaya etkiyen pasif zemin basıncı kohezyonsuz zeminlerde duvar-zemin arasının sürtünmesiz olduğu ve duvar arkası zeminin eğimli olmadığı durumlar için;

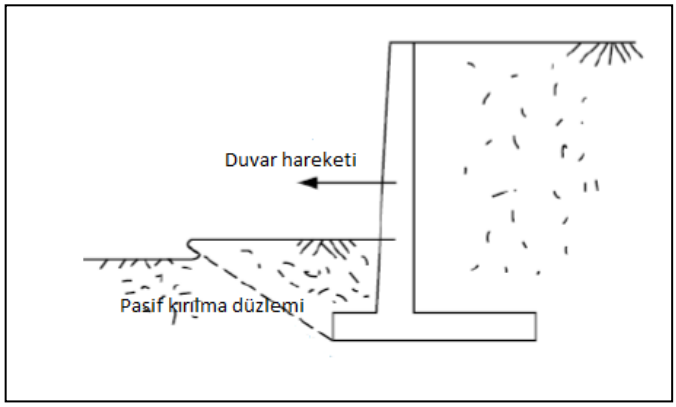
$$P_P = \gamma z \tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right) \tag{2.5}$$

şeklinde ifade edilir.

Kohezyonlu zeminlerde;

$$P_P = \gamma z \tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right) + 2c \tan\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right) = \gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P} \tag{2.6}$$

olur.



Şekil 2.14: Pasif Zemin Basıncı Sonucu Duvar Hareketi.

Dayanma yapıları üzerine etkiyen statik yükleri belirlemede çok sayıda basitleştirilmiş yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılanlar Bölüm 2.3.1 ve Bölüm 2.3.2'de belirtilmiştir.

2.3.1. Rankine Teorisi

Rankine teorisinde dayanma duvarının arkasının düşey olduğu ve duvarın sürtünmesiz olduğu varsayılmaktadır. Bu şekilde dayanma yapıları üzerine etkiyen statik basınçlar hesaplanmıştır. Ayrıca dayanma duvarının rijit, zemin yüzünün yatay olduğu ve düşey ve yatay doğrultularda kayma gerilmeleri oluşmadığı kabul edilmektedir.

Minimum aktif şartlarda dayanma yapısının arkasında bir noktadaki basınç;

$$P_A = K_A \sigma'_v - 2c\sqrt{K_A} \tag{2.7}$$

şeklinde ifade edilir.

Yatay bir geri dolguyu tutan düşey bir dayanma duvarı durumunda minimum aktif zemin basınç katsayısı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$K_A = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} = \tan^2\left(45 - \frac{\emptyset}{2}\right) \tag{2.8}$$

Yatay ile β açısı yapan kohezyonsuz geri dolgu durumunda K_A 'yı hesaplamada $\beta \leq \emptyset$ için sonsuz şev çözümleri (Terzaghi, 1943; Taylor, 1948) kullanılabilir.

$$K_A = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}} \tag{2.9}$$

$\beta = 0$ durumunda (2.8) ile (2.9) eşitliği eşdeğerdir.

Duvarın arkasındaki basınç dağılımı, geri dolgu malzemesinin kohezyonlu olup olmadığına bağlıdır. Kohezyonsuz zemin koşullarında geri dolgu zeminine paralel şekilde üçgen bir basınç dağılımı oluşur. Aktif zemin basınç bileşkesi P_A 'nın etkidiği nokta, yüksekliği H olan duvarın tabanından $H/3$ kadar yukarıdadır ve büyüklüğü;

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2 \tag{2.10}$$

‘dir.

Rankine teorisine göre pasif duvar basıncı;

$$P_P = K_P \sigma'_v + 2c\sqrt{K_P} \tag{2.11}$$

‘dir.

Geri dolgunun yatay ve dayanma duvarının düşey olduğu durumlarda;

$$K_P = \frac{1 + \sin \emptyset}{1 - \sin \emptyset} = \tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right) \tag{2.12}$$

‘dir.

Geri dolgunun yatayla β açısı yaptığı koşullarda;

‘dir.

$$K_P = \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}} \tag{2.13}$$

Kohezyonsuz zemin koşullarında geri dolgu zeminine paralel şekilde üçgen bir basınç dağılımı oluşur. Pasif zemin basınç bileşkesi P_P ‘nin etkidiği nokta, yüksekliği H olan duvarın tabanından $H/3$ kadar yukarıdadır ve büyüklüğü;

$$P_P = \frac{1}{2} K_P \gamma H^2 \tag{2.14}$$

‘dir.

Dayanma yapılarının geri dolgusunda su bulunması durumunda efektif gerilmeler ve yanal zemin basınçları etkileneceğinden geri dolgunun drenajının sağlanması dayanma yapısı tasarımında dikkate alınmalıdır.

2.3.2. Coulomb Teorisi

Coulomb teorisinde dayanma duvarının sürtünmesi de dikkate alınmıştır. Ayrıca Rankine teorisinde dikkate alınmayan koşullarda da geçerlidir. Bu koşullar geri dolgu zemininin yatayla belirli bir açı yapması ve duvarın düşey olmamasıdır.

Bir dayanma yapısı üzerine etkiyen aktif basınç;

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2 \tag{2.15}$$

'dir. Aktif basınç katsayısı ise;

$$K_A = \frac{\cos^2(\emptyset - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\delta + \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset-\beta)}{\cos(\delta+\theta)\cos(\beta-\theta)}}\right]^2} \tag{2.16}$$

'dir.

Kritik yenilme yüzeyinin yatayla yaptığı açı;

$$\alpha_A = \emptyset + \tan^{-1}\left[\frac{\tan(\emptyset - \beta) + C_1}{C_2}\right] \tag{2.17}$$

olup C_1 ve C_2 değeri;

$$C_1 = \sqrt{\tan(\emptyset - \beta)[\tan(\emptyset - \beta) + \cot(\emptyset - \theta)]\,[1 + \tan(\delta + \theta)\cot(\emptyset - \theta)]} \tag{2.18}$$

$$C_2 = 1 + \{\tan(\delta + \theta)[\tan(\emptyset - \beta) + \cot(\emptyset - \theta)]\} \tag{2.19}$$

'dir.

Kohezyonsuz arka dolgularda maksimum pasif şartlar için pasif itki;

$$P_P = \frac{1}{2} K_P \gamma D^2 \tag{2.20}$$

'dir. Pasif basınç katsayısı ise;

$$K_P = \frac{\cos^2(\emptyset + \theta)}{\cos^2\theta \cos(\delta - \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset+\beta)}{\cos(\delta-\theta)\cos(\beta-\theta)}}\right]^2} \tag{2.21}$$

'dir.

Maksimum pasif zemin basıncı şartlarında kritik yenilme yüzeyinin yatayla yaptığı açı;

$$\alpha_P = -\emptyset + \tan^{-1}\left[\frac{\tan(\emptyset + \beta) + C_3}{C_4}\right] \tag{2.22}$$

olup C_3 ve C_4 değeri;

$$C_3 = \sqrt{\tan(\emptyset + \beta)[\tan(\emptyset + \beta) + \cot(\emptyset + \theta)]\,[1 + \tan(\delta - \theta)\cot(\emptyset + \theta)]} \tag{2.23}$$

$$C_4 = 1 + \{\tan(\delta - \theta)[\tan(\emptyset + \beta) + \cot(\emptyset + \theta)]\} \tag{2.24}$$

olarak ifade edilmektedir.

2.4. Dayanma Yapıları Üzerindeki Deprem Etkisi

Dayanma yapılarının tasarımında statik basınçların yanı sıra deprem durumunda ortaya çıkan yükler de dikkate alınır ve duvarın bu yükleri karşılayıp karşılayamadığı belirlenir. Depremden kaynaklanan yüklerin önceden bilinemeyen birçok değişkeni barındırması, deprem yüklerinin ve etkisinin hesaplanmasını karmaşık hale getirmektedir. Bu sebeple dayanma yapıları üzerindeki deprem etkisini hesaba katabilmek için basitleştirilmiş yöntemler geliştirilmiştir.

2.4.1. Mononobe-Okabe Yöntemi

Coulomb teorisinin deprem koşulları için revize edilmesiyle Mononobe-Okabe (1929) tarafından geliştirilmiştir.

Mononobe-Okabe yöntemi tüm dayanma yapılarında kullanılabilir. Bu yöntem dayanma yapılarının yarı-statik analizini yapmaktadır.

Mononobe-Okabe yöntemi için bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Duvar hareketi aktif basınç oluşacak kadar olup duvar arkası dolgu yüzeyi düzlemdir.
- Duvar arkası dolgu kohezyonsuzdur ve yer altı su seviyesinin tamamen altında veya tamamen üstündedir.
- Duvar arkasındaki sürşarj yükü üniformdur.
- Duvar arkası dolguda sıvılaşma sorunu yoktur.

Aktif zemin basıncı şartları; statik şartlardaki kuvvetlere ek olarak kama üzerinde yatay ve düşey yarı-statik kuvvetler söz konusudur. Toplam aktif itki, statik şartlar için geliştirilene benzer şekilde ifade edilebilir:

Dinamik aktif zemin basıncı ve dinamik aktif basınç katsayısı;

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma H^2 (1 - k_v) \tag{2.25}$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\emptyset - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta + \theta + \psi)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset-\beta-\psi)}{\cos(\delta+\theta+\psi)\cos(\beta-\theta)}}\right]} \tag{2.26}$$

'dir. Burada, $\emptyset - \beta \geq \psi$, $\psi = \tan^{-1}\left[\frac{k_h}{(1-k_v)}\right]$ olarak ifade edilmektedir.

Statik şartlardaki kritik yenilme düzleminden daha düz olan kritik yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı, C_{1E} ve C_{2E} değerleri;

$$\alpha_{AE} = \emptyset - \psi + \tan^{-1}\left[\frac{-\tan(\emptyset-\psi-\beta)+C_{1E}}{C_{2E}}\right] \tag{2.27}$$

$$C_{1E} = \sqrt{\tan(\emptyset - \psi - \beta)[\tan(\emptyset - \psi - \beta) + \cot(\emptyset - \psi - \theta)][1 + \tan(\delta - \psi - \theta)\cot(\emptyset - \psi - \theta)]} \tag{2.28}$$

$$C_{2E} = 1 + \{\tan(\delta + \psi + \theta)[\tan(\emptyset - \psi - \beta) + \cot(\emptyset - \psi - \theta)]\} \tag{2.29}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Mononobe-Okabe analizi, toplam aktif itkinin etkidiği noktanın H yüksekliğindeki duvarın tabanından $H/3$ kadar yukarıda olduğunu işaret etmektedir. Toplam aktif itki, statik bileşen P_A ve dinamik bileşen ΔP_{AE} olarak,

$$P_{AE} = P_A + \Delta P_{AE} \tag{2.30}$$

iki kısma ayrılabilir. Pasif zemin basıncı;

$$P_{PE} = \frac{1}{2} K_{PE} \gamma H^2 (1 - k_v) \tag{2.31}$$

'dir. Dinamik pasif zemin basınç katsayısı ise ;

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\emptyset + \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta - \theta + \psi)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset+\beta-\psi)}{\cos(\delta-\theta+\psi)\cos(\beta-\theta)}}\right]} \tag{2.32}$$

şeklinde ifade edilir. Pasif şartlardaki kritik yenilme yüzeyinin yatayla yaptığı açı;

$$\alpha_{PE} = \psi - \emptyset + \tan^{-1}\left[\frac{\tan(\emptyset - \psi + \beta) + C_{3E}}{C_{4E}}\right] \tag{2.33}$$

'dir. C_{3E} ve C_{4E} değerleri ise;

$$C_{3E} = \sqrt{\tan(\emptyset + \beta - \psi)[\tan(\emptyset + \beta - \psi) + \cot(\emptyset + \theta - \psi)][1 + \tan(\delta + \psi - \theta)\cot(\emptyset + \theta - \psi)]} \tag{2.34}$$

$$C_{4E} = 1 + \{\tan(\delta + \psi - \theta)[\tan(\emptyset + \beta - \psi) + \cot(\emptyset + \theta - \psi)]\} \tag{2.35}$$

olarak ifade edilmektedir.

2.5. Dayanma Yapılarının Depreme Bağlı Yerdeğiştirmesi

Dayanma yapılarında deprem yüklerinden dolayı meydana gelen dönme ve ötelenme yenilmeleri söz konusudur. Bu yenilmeler kalıcı deformasyonlara sebep

olabilir. Dayanma yapısı tasarımında önceden belirlenen bir yerdeğiştirme miktarı öngörülerek hesaplamalar yapılır. Bu yöntem ilk olarak Richards ve Elms (1979) tarafından önerilmiştir.

2.5.1. Richards – Elms Yöntemi

Richards ve Elms, dayanma yapılarının sadece ötelenme yaptığını kabul etmiş ve sismik yerdeğiştirmeleri bu doğrultuda hesaplamışlardır. Duvar tasarımı, izin verilebilir yerdeğiştirme miktarına göre yapılmaktadır. Richards-Elms yönteminin uygulanabilmesi için yenilme ivmesinin değerlendirilmesi gerekir. Bu yenilme ivmesi, dayanma duvarını tabanı üzerinde kaydıran ivmedir. İvmenin yenilme ivmesine eşit olduğu zaman yatay ve düşey denge;

$$T = F_h + P_{AEh} \tag{2.36}$$

$$N = W + P_{AEv} \tag{2.37}$$

olmasını gerektirir.

$T = N \tan \emptyset_b$, $F_h = a_y W/g$, $P_{AEh} = P_{AE} \cos(\delta + \theta)$ ve $P_{AEv} P_{AE} \sin(\delta + \theta)$ yerdeğiştirmelerini yaparak yenilme ivmesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$a_y = \left[\tan \emptyset_b - \frac{P_{AE} \cos(\delta + \theta) - P_{AE} \sin(\delta + \theta)}{W}\right] g \tag{2.38}$$

Richards ve Elms P_{AE}'nin hesaplanmasında Mononobe-Okabe yönteminin kullanılmasını önermiştir. Kalıcı yerdeğiştirme için aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$d_{kal} = 0{,}087 \frac{v_{max}^2 a_{max}^3}{a_y^4}, \quad \frac{a_y}{a_{max}} \geq 0{,}3 \tag{2.39}$$

Burada v_{max} ; pik yer hızı, a_{max}; pik yer ivmesi, a_y; duvar-arka dolgu sisteminin yenilme ivmesidir.

2.5.2. Whitman – Liao Yöntemi

Whitman ve Liao (1985), Richards – Elms yönteminde bazı hatalar tespit etmiştir. Bu hatalar, geri dolgudan gelecek dinamik tepkilerin hesaba katılmaması, sadece ötelenmenin dikkate alınarak hesap yapılmış olması, ve düşeyey ivmelerin hesaba katılmamasıdır.

Whitman ve Liao, Wong (1982) 'a ait 14 adet yer hareketinin kullanıldığı kayan blok analiz sonuçlarını kullanarak kalıcı yerdeğiştirmelerin aşağıdaki ortalama değer etrafında log-normal dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur. [7]

$$\bar{d}_{kal} = \frac{37v_{max}^2}{a_{max}} exp\left(\frac{-9{,}4a_y}{a_{max}}\right) \tag{2.40}$$

Özellikle sürtünme açıları olmak üzere, zemin özelliklerindeki belirsizliklerin kalıcı yerdeğiştirmeler üzerine etkileri de araştırılmıştır. Zemin sürtünme açılarında $\sigma_{Ø}$ = 2 ile 3 derecelik ve duvar-zemin arayüzeyi sürtünme açıları için de σ_{δ} = 5 derecelik standart sapmalar kullanılarak hesaplanan yenilme ivmesi ortalama değeri $\bar{a}_y$ ve standart sapması σ_{ay} olan rastgele bir değişken olarak tanımlanmıştır. $\bar{a}_y$ ortalama değeri; Ø ve δ'nın ortalama değeri kullanılarak hesaplanan yenilme ivmesidir. [7]

Bu belirsizlik kaynaklarının tamamını birleştirerek kalıcı yerdeğiştirme; ortalama değeri aşağıdaki gibi tanımlanan log-normal dağılımlı bir rastgele değişken olarak karakterize edilebilir. [7] Kalıcı yer değiştirme;

$$\bar{d} = \frac{37v_{max}^2}{a_{max}} exp\left(\frac{-9{,}4\bar{a}_y}{a_{max}}\right) \bar{Q}\bar{M} \tag{2.41}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Yer hareketlerinin istatistiksel değişiminden kaynaklanan belirsizlikler, ortalama değeri $\bar{Q}$ ve standart sapması σ_{lnQ} olan log-normal dağılımlı rastgele değişken Q ile karakterize edilmiştir. [7]

Varyans da ;

$$\sigma_{lnd}^2 = \left(\frac{9{,}4g}{a_{max}}\right)^2 \sigma_{a_y}^2 + \sigma_{lnM}^2 + \sigma_{lnQ}^2 \tag{2.42}$$

şeklindedir.

Yer hareketi, zemin direnci ve model hatası faktörleri için önerilen ortalama değerler ve standart sapmalar Tablo 2.1'de verilmiştir. [7]

Tablo 2.1: Ağırlık Duvarlarında Yerdeğiştirme Analizi İçin Değerler (Whitman ve Liao,1985).

Faktör	Ortalama	Standart Sapma
Model Hatası	$\bar{M} = 3{,}5$	$\sigma_{ln\,M} = 0{,}84$
Zemin Direnci	$\bar{a}_y = a_y(\bar{\emptyset}, \bar{\delta})$	$\sigma_{a_y} = 0{,}04 - 0{,}065$ arası
Yer Hareketi	$\bar{Q} = 1$	$\sigma_{lnQ} = 0{,}58 - 1{,}05$ arası

3. DAYANMA YAPILARINDA GERİ DOLGU MALZEMESİ SEÇİMİ VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

3.1. Geri Dolgu Malzemesi Çeşitleri

Dayanma yapılarının geri dolgusunda mutlaka kohezyonsuz malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemeler yeterli drenajı sağlamalıdır. TS7994'e göre; dolgu malzemesi iyi derecelenmiş olmalı ve 200 No'lu elekten geçen miktarın en fazla %25 olması gerekmektedir. Ayrıca granüler dolgunun ağırlıkça %10'unu geçmeyen ince malzeme içermesi ve kayma direnci açısının toplam kesme kutusunda gerilme analizine göre 25˚, efektif gerilme analizine göre ise 20˚'den büyük olması gerekmektedir. Dolgu için 125 mm maksimum dane çapı ve 30˚lik kayma direnci açısı öngörülmektedir.

Dayanma yapılarında geri dolgu olarak kullanılacak malzemenin seçiminde yapının stabilitesi ve malzemenin fizikokimyasal özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu özelliklerin yetersiz kaldığı durumlarda iyileştirme yoluna gidilmelidir.

Kırmataş, nehir kumu ve çakıl, geri dolguda kullanılabilecek uygun malzemelerdir. Çünkü bu malzemeler kohezyonsuzdur ve iyi drene olabilirler. Ayrıca dona karşı dayanıklıdır. Bu malzemelerin kullanılması sayesinde dolgudaki kesme mukavemetinde artış gözlenir.

Granüler malzemeler donatılı dayanma yapılarında kullanıldığında elastik davranış sergiler. Bu sayede oturmaların önüne geçilmiş olur.

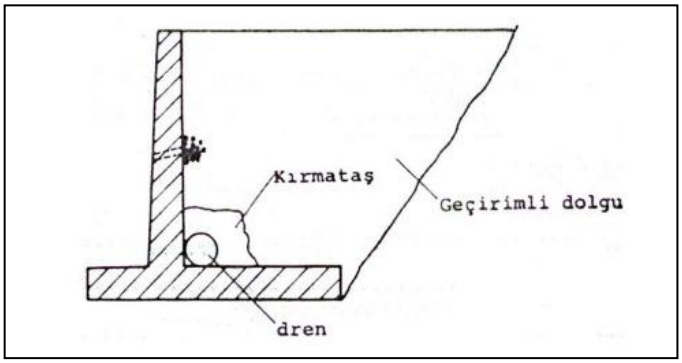
Geri dolguda kohezyonlu malzemeler tercih edildiği takdirde yeterli drenaj sağlanamaz ve dolguda etkili bir basınç dayanımı sağlanamamış olur. Kohezyonlu malzemelerin davranışı çoğunlukla elastoplastik veya plastik olduğundan dayanma yapısı inşası sonrası harekete müsaittir. Ayrıca kohezyonlu zeminlerin donmaya karşı duyarlı olması geri dolgu için elverişsiz bir duruma neden olur. Fakat son yıllarda meydana gelişmeler sayesinde gözenekli geotekstil kullanılırsa kohezyonlu zeminlerin geri dolguda drenajının sağlanabileceği ortaya çıkmıştır

3.2. Geri Dolgu Zeminini İyileştirme Yöntemleri

3.2.1. Drenaj Önlemleri

Dayanma yapısı tasarımında dikkate alınacak en önemli hususlardan birisi drenajın sağlanabilmesidir. Geri dolguda biriken sular uzaklaştırılamadığı takdirde dayanma duvarına hidrostatik basınç etkir. Bu durum da dayanma yapısında güvenliği tehlikeye atabilir. Yeraltı suyunun taban seviyesi üzerinde olduğu durumda ise kılcallık etkisiyle yükselen boşluk suyu donabilir ve hacimsel genleşme meydana getirerek dayanma duvarının tabanına etkiyen kuvvetlerde artışa sebep olabilir.

Suyun uzaklaştırılması için duvar ile arka ampatman birleşim yerine 30~40cm çapında drenaj boruları yerleştirilmelidir. Ayrıca Şekil 3.1'de gösterildiği gibi dren borusunun üzerine 30 cm kalınlığında kırmataş tabakası serilmelidir. [8]



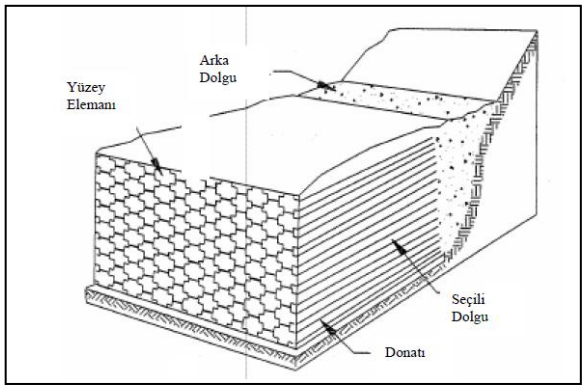
Şekil 3.1: Su seviyesinin temel altında olması durumunda uygulanabilecek drenaj sistemi.

Drenaj borularının yetersiz kalacağı yüksek duvarlarda barbakan denilen yaklaşık 15 cm çapında delikler 3-5 m aralıklarla yerleştirilmelidir.

3.2.2. Donatılı Zemin Duvarları (Toprakarme)

Donatılı zemin kavramı, zeminin çekme dayanımını arttırmak amacı ile içerisine geotekstil veya metal şeritler yerleştirerek elde edilen kompozit bir yapıyı ifade eder (Şekil 3.2). . [4] Donatılar, geri dolgu zeminine tabakalar halinde serilip

sıkıştırılarak zemine ankre edilir ve böylece çekme ve kayma gerilmelerini karşılar. Bu da dayanma yapısının kaymaya ve devrilmeye karşı dayanıklılığını sağlar.



Şekil 3.2: Donatılı Zemin Duvarları

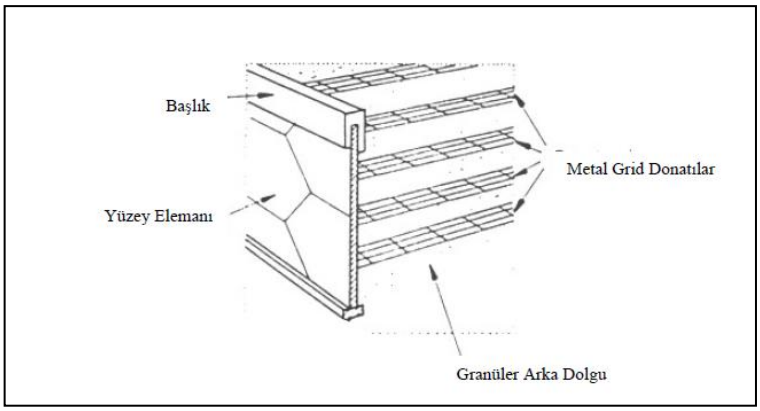
Donatılı zemin duvarları en yaygın olarak karayollarında ve köprü ayaklarında kullanılır. Temel zemininin deformasyon yapacağı durumlarda esnek yapısı sayesinde tercih edilir.

Donatılı zemin duvarlarının yapımında donatı elemanı, yüzey elemanı ve dolgu malzemesi esas olarak kullanılır.

Donatılı zemin duvarlarında metal veya metal olmayan donatı kullanılır. Bunlar çelik, beton, tahta, alüminyum veya polimer malzeme olabilir. Metal donatılar kullanılacaksa korozyona karşı galvaniz ya da epoksi kaplanır. Metal olmayan donatılar için de polipropilen, polietilen ve polyester içerikli polimer malzemeler kullanılır.

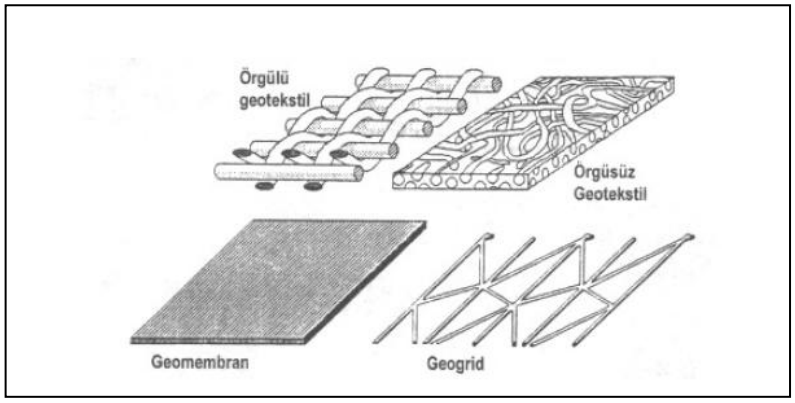
Geri dolgu zeminini güçlendirme, şerit donatılar, metal gridler, geosentetikler ve geogridler ile sağlanabilmektedir.

Şerit Donatılar: Metal veya metal olmayan şeritler geri dolgu tabakaları arasına yatay olarak yerleştirilir. Bu şeritler üzerinde bulunan çıkıntılar, zemin ile donatı arasındaki sürtünmeyi sağlar. Metal gridler, (Şekil 3.3) [9] yüksek elastisite modülüne sahiptir ve sünmeden etkilenmezler. Düz veya galvaniz kaplı olarak imal edilen çelik hasırdan oluşmaktadır.

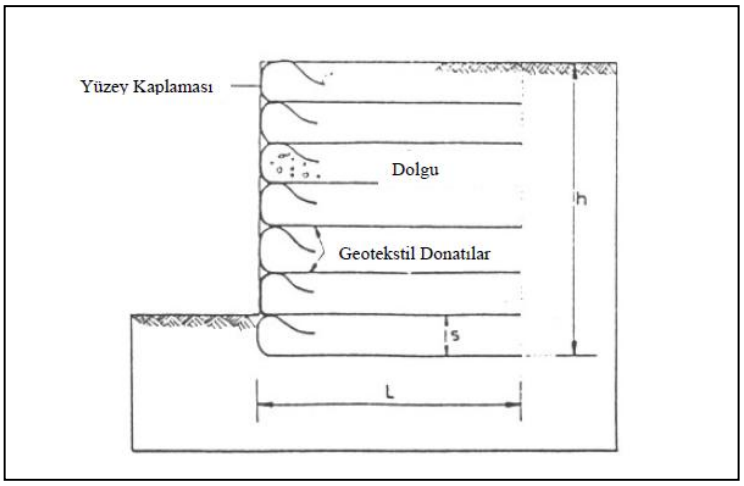


Şekil 3.3: Metal Gridler.

Geosentetikler ve Geogridler: Geosentetik malzemeler ile geri dolgu zeminini iyileştirme yöntemi her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Zeminin kayma mukavemetini artırmak amacıyla kullanılan geotekstiller ince ve elastik bir yapıya sahip olup geçirgen malzemelerdir (Şekil 3.4). [10] Özellikle drenaj amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Geotekstiller, örgülü ve örgüsüz tipler olmak üzere ikiye ayrılır. Örgüsüz tipler, ısıl ve mekanik yollarla üretilir ve drenaj amacıyla kullanılır. Örgülü tipler ise mukavemeti yüksek olduğundan yük dağıtma işlerinde tercih edilir. Geotekstiller çok fazla tercih edilmekte olup özellikle köprü tabliyeleri bu donatılı zemin duvarlarına oturtulmaktadır (Şekil 3.5) . [9].



Şekil 3.4: Geosentetikler ve Geogridler.



Şekil 3.5: Geotekstil Donatıların Kullanımı

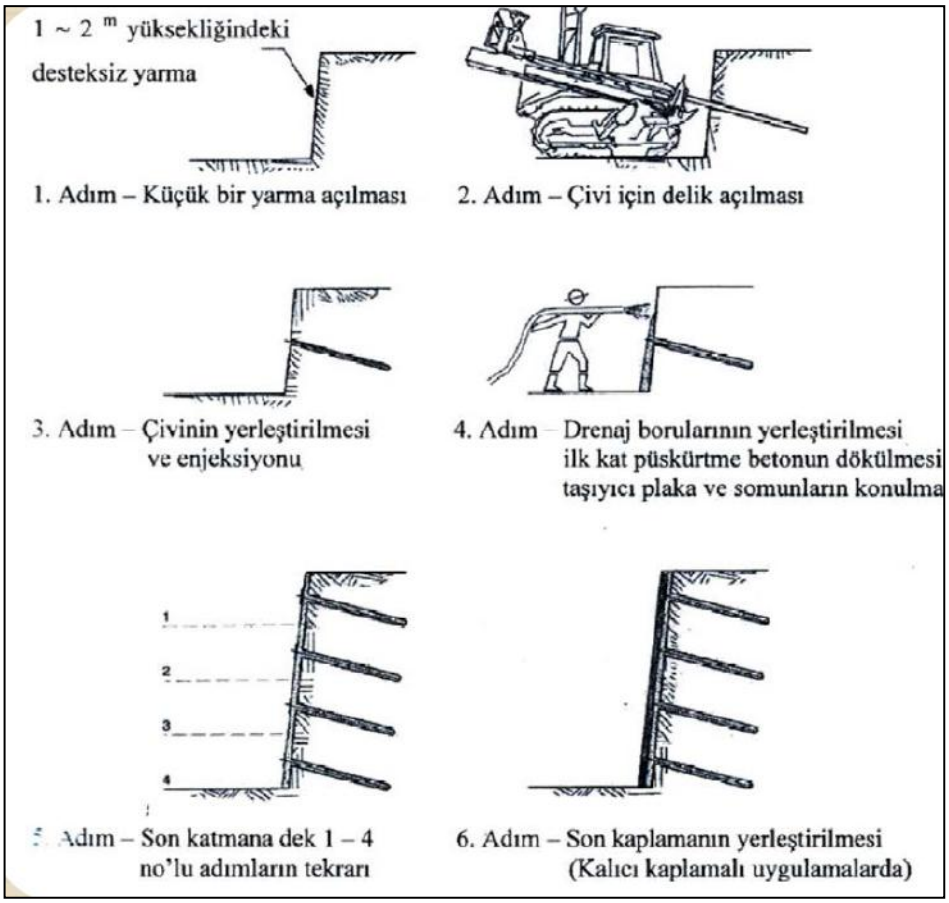
Geogrid donatılar ise sağlam yapıları sayesinde zemindeki su durumunda yüksek dayanım göstermektedir.

3.2.3. Donatılandırarak Güçlendirme

Zemin çivisi, ankraj ve mini veya mikro kazıklar olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Zemin çivisi yönteminde zemine sık aralıklarla donatı yerleştirilir. Kazı aşamasında ve sonrasında meydana gelebilecek yer değiştirmeler önlenmiş olur ve yanal toprak basıncı da kısıtlanır.

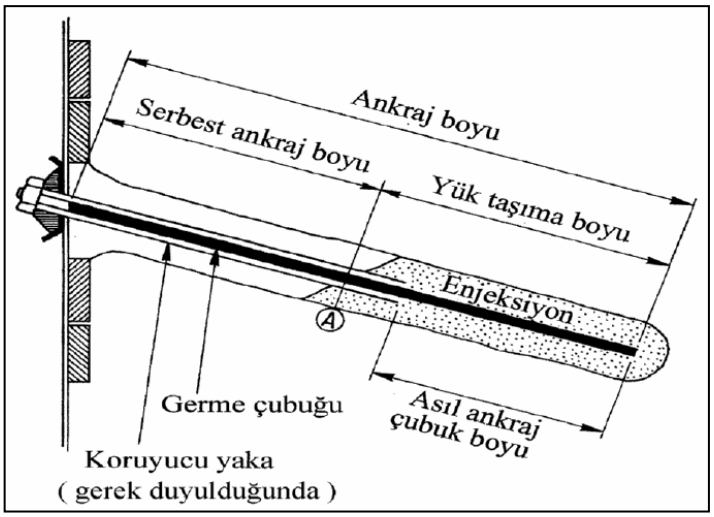
Şekil 3.6'da zemin çivisi uygulama aşamaları gösterilmektedir. [11]



Şekil 3.6: Zemin Çivisi Uygulama Aşamaları.

Zemin çivileri genelde yatayla 15˚ yapacak şekilde imal edilir ve çapları 19 – 35 mm arasında değişir. Delgi içine yerleştirilen çivilere çimento şerbeti enjekte edilir. Drenajın sağlanması için de sentetik drenaj altlıklar çivi başları arasına konur. Zemin çivili duvarlarda kaplama amacıyla prekast betonlar kullanılır.

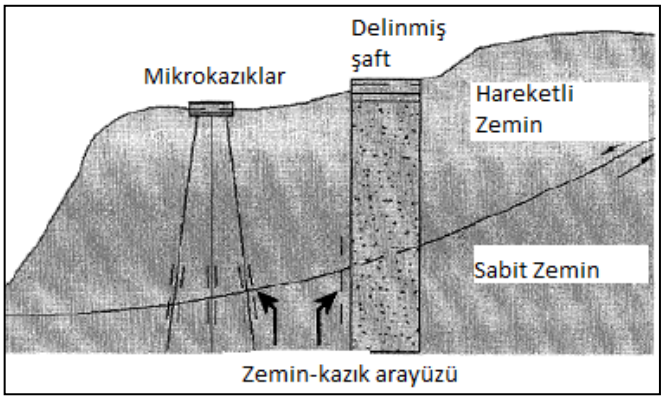
Ankrajlar ise dayanma yapısının desteklenmesi amacıyla uygulanan yapısal elemanlardır ve üzerine gelen yükleri zemine aktarır. Dayanma yapısında meydana gelebilecek düşey deplasmanları önlemede, yapının dönmeye ve kaymaya karşı güvenliğinin sağlanmasında tercih edilir. Şekil 3.7'de ankraj kesiti gösterilmektedir. [11]



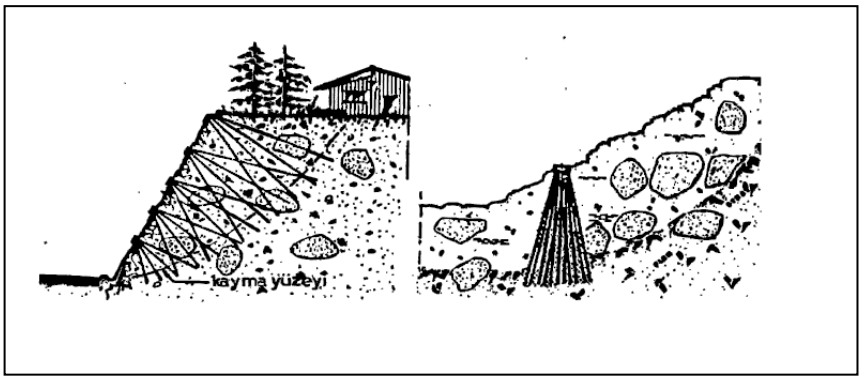
Şekil 3.7: Ankraj Kesiti.

Ankraj deliğine çelik halatlar yerleştirilip çimento şerbeti enjekte edilir ve halatlar gerilerek ankraj sistemi tamamlanmış olur.

Mini veya mikro kazıklar, çapları 6-30cm arasında değişen çelik borunun çimento şerbeti ya da beton ile doldurulup zeminde yerleştirilmesiyle elde edilen kazıklardır (Şekil 3.8) [12]. Çelik boru yerine donatı yerleştirilerek de imalat yapılabilir. Düşey olarak ya da eğimli arazilerde uygulanabilir.



Şekil 3.8: Mikrokazık Uygulaması.



Şekil 3.9: Mini Kazık Uygulaması.

Dayanma yapılarının iyileştirilmesinde veya şev stabilitesinde 8-50 ton arasında yük taşıyabilen mini kazıklar tercih edilebilir (Şekil 3.9) [12]

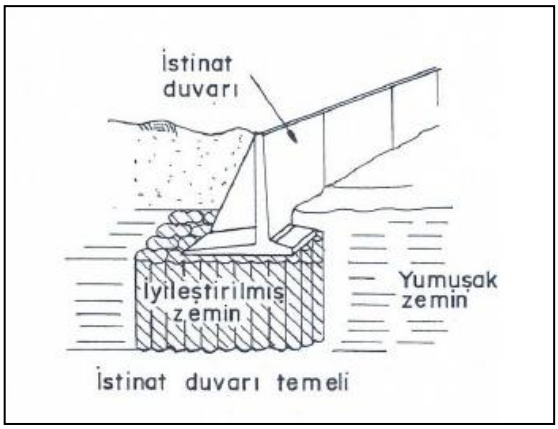
3.2.4.Geri Dolgu Zeminini Sıkıştırma

Zeminlerin mekanik olarak sıkıştırılması, boşluklardaki havanın uzaklaştırılmasını sağlar ve bu durumda zeminin kayma mukavemetinde artış gözlenir.

Gevşek kohezyonsuz geri dolgu malzemesi kullanıldığında sıvılaşma ve oturma problemleri ortaya çıkabilir. Dolayısıyla geri dolgu zeminini sıkıştırma, deprem sırasında meydana gelebilecek sıvılaşma ve yanal yayılma tehlikelerini önlemede önemli bir yöntemdir.

3.2.5. Derin Karıştırma

Dayanma yapısının geri dolgusunun veya temel zemininin yeterli mukavemete sahip olmaması durumunda belirli derinliğe kadar enjekte edilen katkı maddeleri büyük çaplı burgu aletleri vasıtasıyla karıştırılır (Şekil 3.10) [13]. Karıştırma yapılmasının sebebi, katkı maddelerinin zemin içerisinde iyice dağılmasını sağlamaktır.



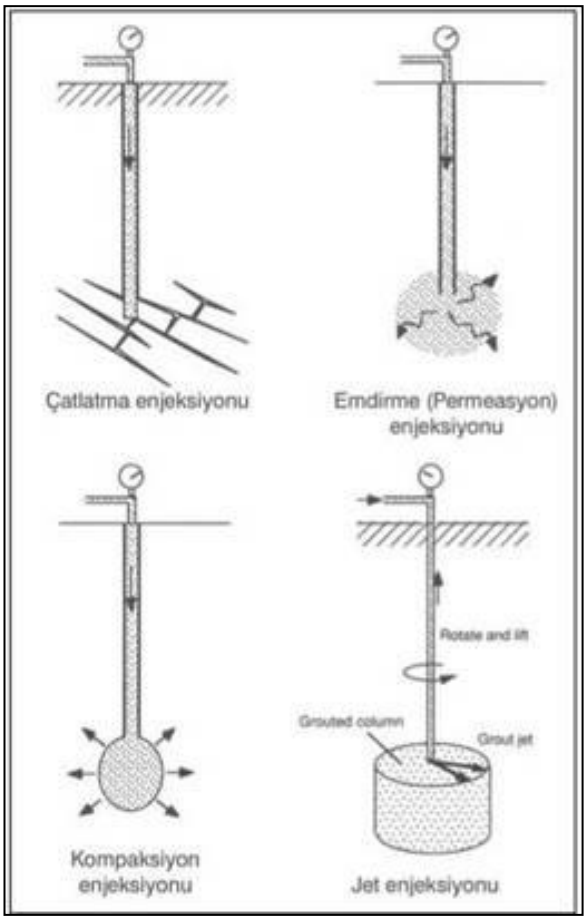
Şekil 3.10: Derin Karıştırma Yöntemiyle İyileştirme.

Derin karıştırma ile iyileştirme sayesinde yerinde çapı 1m olan kolonlar imal edilmiş olur.

3.2.6. Zemin Enjeksiyonu

Dayanma yapısında geri dolgu zemininin belirli aralıklarla ve belirli derinlikte delinerek enjeksiyon harcı basınçla enjekte edilir. Bu sayede zemin içerisindeki boşluklar dolarak mukavemet ve geçirimlilik özelliklerinde değişim yapılarak iyileşme sağlanmış olur. Enjeksiyonla iyileştirmede, zemine enjekte edilen enjeksiyon harcındaki tekil danelerin konumunun sabitleşmesinden dolayı toplam sistemde sürekli artan bir deformasyon direnci elde edilir [12].

Zemin enjeksiyon yöntemleri Şekil 3.11'de gösterilmektedir[16].



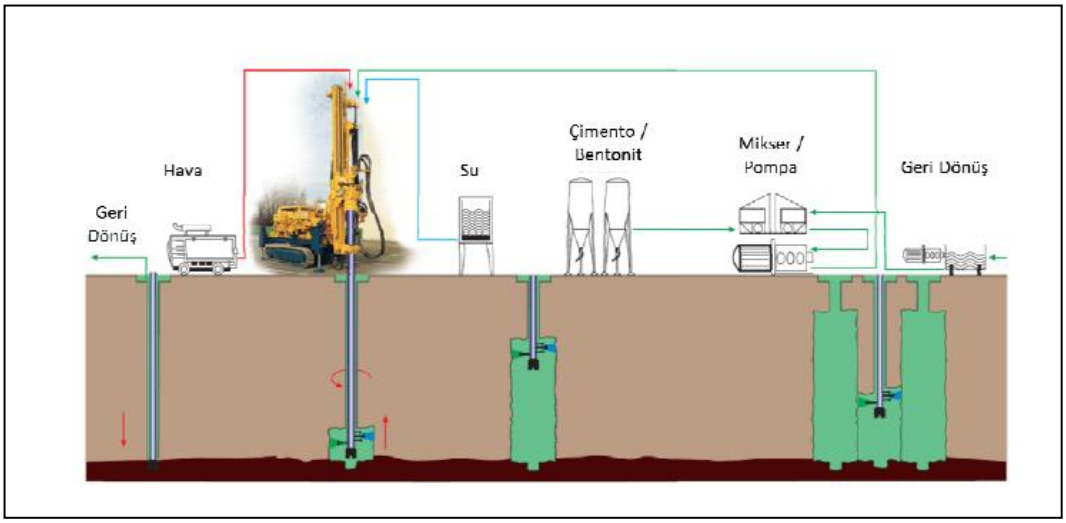
Şekil 3.11: Zemin Enjeksiyon Yöntemleri.

En yaygın kullanılan enjeksiyon malzemeleri çimento, bentonit ve silikatlar olup enjeksiyon harcının zemine enjekte edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Çatlatma enjeksiyonu; zemin içerisindeki boşlukların $10\,kg/cm^2$ basınçla çimento kullanılarak doldurulması yöntemidir. Permeasyon enjeksiyonu: zeminin yapısında ve hacminde herhangi bir değişim meydana getirmeden zemindeki boşlukları doldurmak amacıyla ve genellikle çimento kullanılarak uygulanır. İnce dane oranının yüksek olduğu zeminlerde kimyasal malzemelerle enjeksiyon yapılabilir fakat bu durumda yer altı suyu ve çevre kirliliği sorunları doğmaktadır. Kompaksiyon enjeksiyonunda; zemin içerisine enjekte edilen (genellikle beton) malzemenin zemin hacminde değişim meydana getirmesi ve zeminin sıkışması söz konusudur. Genellikle zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde, yapı oturmalarının kontrol edilmesinde, farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda kullanılır [12].

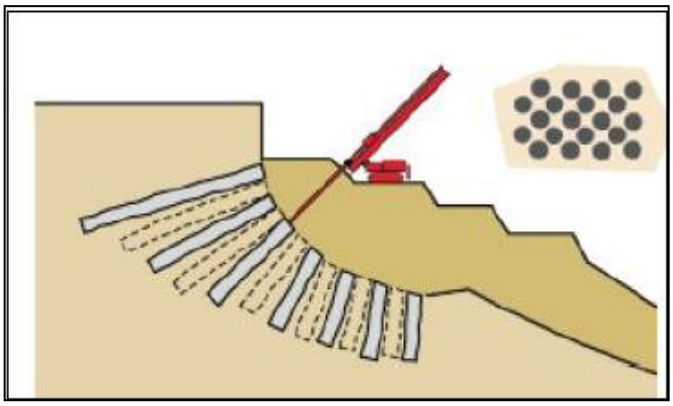
Jet enjeksiyonu ise, akışkan malzemelerden oluşan karışımın yüksek basınç altında ve yüksek hızda zemine enjekte edilmesi yöntemidir. Bu yöntemde enjekte edilen karışım, zemin içerisindeki boşlukları doldurarak silindirik bir kolon oluşturur ve mühendislik özellikleri iyileştirilmiş yeni bir malzeme (soil-crete) meydana getirir.

Karakteristik özellikleri önceden belirlenebilen bu yeni malzeme sayesinde zeminin taşıma kapasitesinde ve elastisite modülünde artış sağlanır. Ayrıca jet enjeksiyonu yöntemiyle imal edilen kolonların yan yana kesiştirilmesi durumunda sızdırmazlık perdeleri oluşturulur ve böylece zeminin geçirimliliğinde azalma sağlanır.



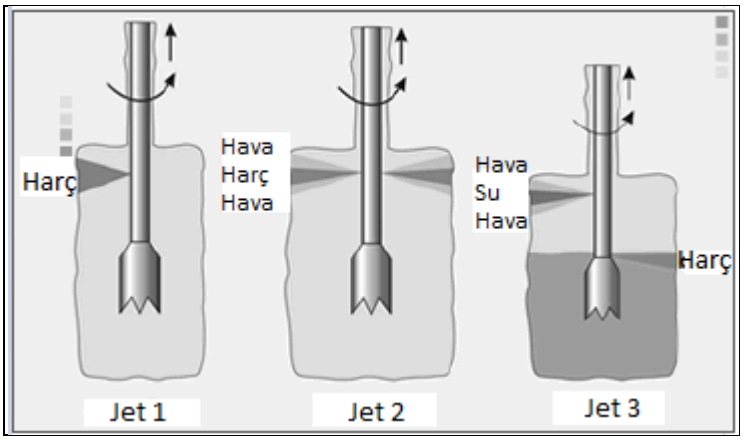
Şekil 3.12: Jet Enjeksiyonu Yapım Aşamaları

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi ilk aşamada, belirlenen bir derinliğe kadar delgi yapılarak kuyu açılır . [17]. Delgi yapılan tijin ucundan karışım malzemesi basınçla enjekte edilir. Yüksek hızda dönerek yukarı doğru hareket eden tijlerdeki nozul denilen deliklerden çıkan enjeksiyon malzemesi zemini yırtarak karıştırır ve böylece zeminde kolonlar teşkil edilmiş olur (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Jet Enjeksiyonu.

Jet enjeksiyonunun uygulanmasında 3 farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; Jet 1, Jet 2 ve Jet 3 yöntemleridir (Şekil 3.14) [12].



Şekil 3.14: Jet Enjeksiyon Yöntemleri.

- Jet 1 Yöntemi: En yaygın kullanılan jet enjeksiyonu yöntemidir. Su ve çimento karışımı (harç) aynı delgi kısmından zemine enjekte edilir.
- Jet 2 Yöntemi: Su-çimento ve hava karışımı ile uygulanan yöntemdir. Su-çimento karışımı aynı kanaldan, hava ise farklı kanaldan zemin içerisine 2-15 barlık basınçla enjekte edilir.
- Jet 3 Yöntemi: Su-çimento karışımı ayrı kanaldan, hava-su karışımı ise aynı kanaldan zemine enjekte edilir. Bu şekilde yapılan enjeksiyonla aşındırma enerjisi artar ve yüksek verim elde edilir.

Tablo 3.1: Jet Enjeksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması.

Zemin Cinsi	Kolon Çapı	JG Kolon Dayanımı
Jet 1 **Kum ve Çakıl** **Kil**	**60 cm – 90 cm** **(up to 110 cm)** **60 cm – 90 cm**	**70 – 250 kg/cm²** **20 – 100 kg/cm²**
Jet 2 **Kum ve Çakıl** **Kil**	**90 cm – 180 cm** **(up to 300 cm)** **90 cm – 150 cm**	**35 – 140 kg/cm²** **10 – 70 kg/cm²**
Jet 3 **Kum ve Çakıl** **Kil**	**150 cm – 240 cm** **90 cm – 180 cm**	**35 – 105 kg/cm²** **10 – 50 kg/cm²**

Tablo 3.1'de görüldüğü gibi Jet1, Jet2, Jet3 yöntemlerinin kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde uygulanmasıyla elde edilen kolon çapları farklılık göstermektedir [13]. Jet enjeksiyonu ile oluşturulan kolon çapının artırılmak istendiği durumlarda Jet 2 veya Jet 3 yöntemleri tercih edilmektedir. Jet 3 yöntemiyle enjeksiyon yapıldığında bu çap kohezyonlu zeminlerde 180 cm, kohezyonsuz zeminlerde ise 240 cm kadar olabilmektedir. Jet enjeksiyonu ile zeminde teşkil edilen kolon dayanımları ise Jet1 yönteminde, Jet2 ve Jet3 yöntemlerine göre daha yüksektir.

Jet enjeksiyonu ile iyileştirme yapılırken tasarımda göz önünde bulundurulması gereken önemli parametreler vardır. Bunlar; enjeksiyon basıncı (düşük, orta, yüksek basınç), dönme ve çekme hızı ve kullanılan malzemenin dozajıdır. Çünkü bu parametreler kolonun taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemekte ve seçilecek uygulama yöntemini (Jet1, Jet2 veya Jet3) kararlaştırmada önemli rol oynamaktadır.

Enjeksiyon basıncı, doğrudan oluşturulmak istenen kolonun çapını etkiler. Basınç artırıldıkça kolon çapı da artmaktadır.

Düşük basınçlı enjeksiyon; 200-250 bar, orta basınçlı enjeksiyon; 300-400 bar, yüksek basınçlı enjeksiyon ise 400-700 bar aralığındadır.

Dönme ve çekme hızı, enjeksiyon malzemesi ile zeminin homojen bir karışım oluşturabilmesi için göz önünde bulundurulmalıdır. Dönme hızı genellikle $10 - 20\ dev/dk$ olarak belirlenir. Çekme hızı ise kademeli çekme veya sürekli çekme yöntemlerine göre değişkenlik göstermekte ve zemin koşulları ve enjeksiyon

malzemesinin miktarına göre belirlenmektedir. Kademeli çekme durumunda her kademede 4 cm ilerleme sağlanır ve 6-10 sn bekleme süresi vardır.

Jet enjeksiyonu ile iyileştirme yönteminde bir diğer önemli faktör, kullanılan malzemenin dozajıdır. Bu dozaj, enjeksiyon yöntemine ve kullanılan malzeme türüne göre değişebilmektedir. Genellikle $1\,m^3$ iyileştirilmiş zemin içerisindeki çimento miktarı $350 - 700\,kg/m^3$ 'tür. Enjeksiyon malzemesinin dozajı ayarlanırken su/çimento oranının 1 olarak alınması önerilmekte ve bu değerin 0.7'nin altına inmesi uygun görülmemektedir.

Jet enjeksiyonunun hemen hemen tüm zemin türlerinde uygulanabilir olması ve ekonomik ve hızlı imalat yapılabilmesi sayesinde zemin iyileştirme konusunda genellikle tercih edilmektedir. Bunun yanında, jet enjeksiyon ekipmanlarının eğimli arazilerde bile kullanım kolaylığı sağlaması, istenilen derinliğe kadar imalat yapılabilmesi olumlu katkı yapmaktadır.

3.2.7. Isıl Yöntemlerle İyileştirme (Isıtma – Dondurma)

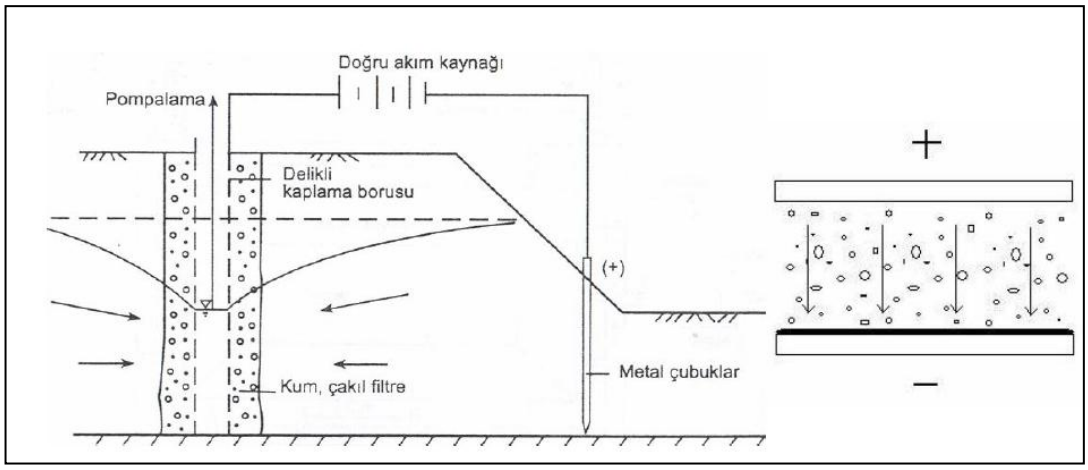
Geçici bir iyileştirme yöntemi olup kil zeminlerde uygulanır. Zemini ısıtarak veya dondurarak kayma mukavemetinde geçici olarak bir artış sağlanır.

Isı ile iyileştirme genelde lös zeminlerde uygulanır. 300-1000˚C arası ısı oluşacak şekilde basınçlı hava ve yakıt sondaj deliğine basılır. Bu sayede lös zeminlerin sürtünme açılarında ve kohezyonlarında artış sağlanır.

Dondurma yönteminde ise zemin içerisine soğutulmuş tuzlu su, sıvı nitrojen ya da karbondioksit enjekte edilerek çok yüksek mukavemete ulaşılır.

3.2.8. Elektrosmoz

Kohezyonlu geri dolgu durumunda zeminin mukavemet ve deformasyon özelliklerini iyileştirmek amacıyla zemine doğru akım uygulanmaktadır (Şekil 3.15) [12]



Şekil 3.15: Elektrosmoz.

Elektrosmoz yöntemiyle yer altı su seviyesinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

3.2.9. Yüzeysel İyileştirme

Yüzeysel iyileştirme yöntemlerinde kireçle stabilizasyon, çimento stabilizasyonu ve bitümle stabilizasyon yöntemleri mevcuttur.

Kireçle stabilizasyon yönteminde kohezyonlu geri dolgu malzemesinin kullanıldığı durumlarda kireç katkısı sayesinde plastisite indisi düşürülür ve kuru birim hacim ağırlığında artış sağlanır.

Çimento stabilizasyonu organik zeminler hariç tüm zemin cinslerinde uygulanır.

Bitümle stabilizasyon yönteminde ise granüler geri dolgu malzemesi kullanıldığı durumlarda malzemeye bir miktar kohezyon verir.

Yüzeysel iyileştirme yöntemlerinde kireç, çimento ve bitüm, zeminle birlikte karıştırılır ve bu sayede zeminin mekanik özelliklerinde artış sağlanır.

3.2.10. Mikrobiyolojik Çimentolanma

Son yıllarda geliştirilen mikrobiyoloji sayesinde zemin özelliklerinde iyileştirme sağlanabilmektedir. Bakteriler gibi biyolojik ajanlar kullanılarak toprak ve sulardaki kirliliğin biyolojik olarak giderilmesinde, kalkerli taşların restorasyonunda, betonun güçlendirilmesinde kullanılmaktadır[14]. Mikrobiyolojik

kalsiyum karbonat çökelmesi, kalsiyum açısından zengin çevrede karbonatın üretilmesi ile mikrobiyolojik aktivite sonucu çeşitli proseslerden oluşmaktadır [14]. Kalsiyum karbonattan oluşan mineraller içeren kumlu zeminde, biyokimyasal olarak kalsiyum karbonatın ayrılması ve tekrar çökelmesiyle konsolide olmamış kumun çimentolandığı görülmektedir[14].

Kalsit çökelmesiyle boşluklar dolar ve bu nedenle porozite ve permeabilite azalmakta buna bağlı olarak zeminin direncinde ve rijitliğinde iyileşme görülmektedir[14]. Sıvılaşmanın görüldüğü ince daneli kumlarda mikrobiyolojik kalsiyum karbonat çökelmesi yöntemiyle zemin iyileştirilmesi çalışılmaktadır [14]

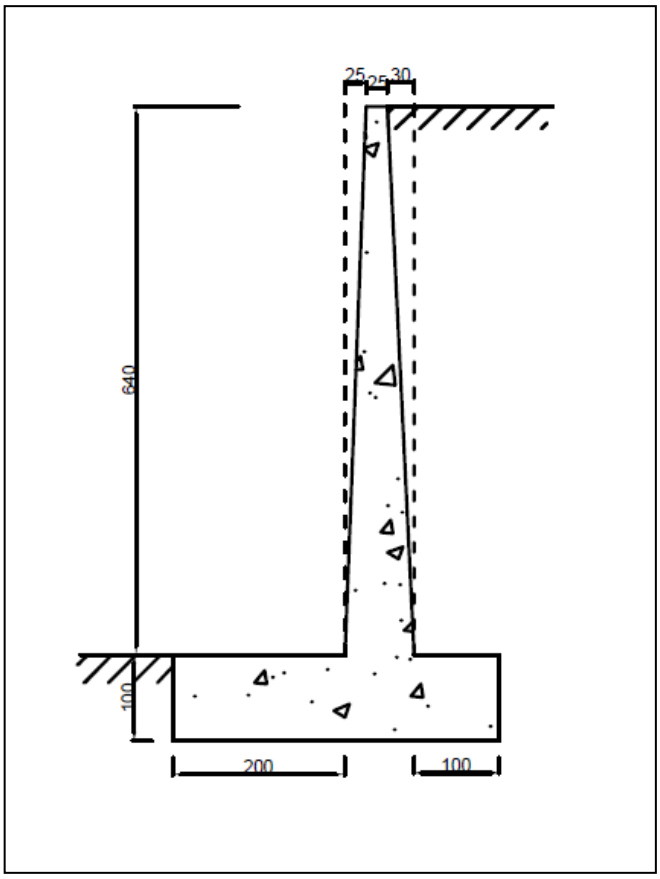
4. BİR DAYANMA YAPISININ GÜVENLİK TAHKİKLERİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ; VAKA ANALİZİ

Dayanma yapısı tasarımında dikkat edilmesi gereken birçok husus vardır. Dayanma yapısının türü ve boyutları, geri dolgu malzemesinin seçimi, sürşarj yükü gibi faktörler tasarım esnasında yeteri kadar dikkate alınmazsa inşaat sırasında ve sonrasında ciddi problemlerle karşılaşılmaktadır.

Bu çalışmada, mevcut bir dayanma yapısının güvenlik tahkikleri yapılmış ve hem statik durumda hem de deprem durumunda yeterli güvenliği sağlamadığı tespit edilmiştir. Söz konusu dayanma yapısının güvenli hale getirilebilmesi için uygulanabilecek iyileştirme önerileri de yine bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

4.1. Dayanma Yapısı Modeli Ve Zemin Özellikleri

Bu çalışmada toplam yüksekliği 7.40m olan bir dayanma duvarı incelenmiştir. Dayanma duvarı 1. derece deprem bölgesinde inşa edilmiş olup geometrik özellikleri Şekil 4.1'deki gibidir.

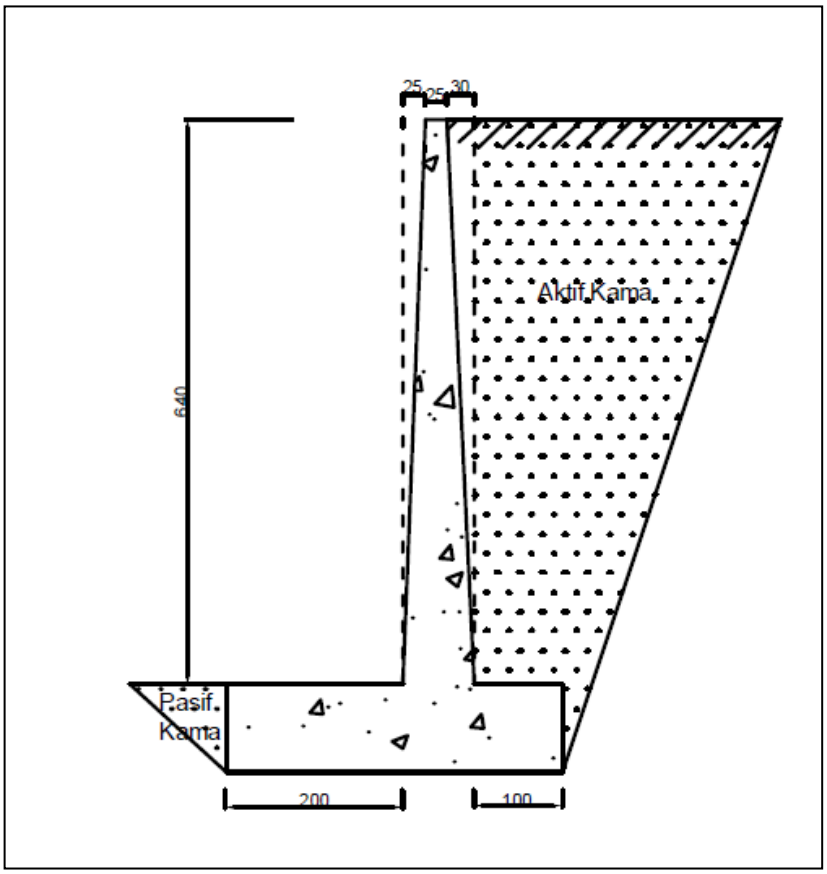


Şekil 4.1: Model Dayanma Yapısı.

Şekil 4.1'de gösterilen model dayanma yapısına ait geometrik parametreler aşağıda verilmiştir.

- H: Dayanma duvarı toplam yüksekliği =7.40m
- H_d: Duvar yüksekliği =6.40m
- H_t: Temel kalınlığı =1.00m
- B_w: Temel genişliği =0.80m
- $B_{ön}$: Ön ampatman boyu= 2.00m
- B_a: Arka ampatman boyu =1.00m
- $H_{ön}$: 1.00m
- β: Dolgunun şev eğimi Açısı =0˚
- θ: Duvar-zemin arakesitinin düşeyle aktif basınç tarafına doğru yaptığı açı =2.68˚
- δ: Duvar ile dolgu arasındaki sürtünme açısı $\cong 3/4\emptyset = \emptyset_w$

Dayanma duvarının geri dolgusunda kilsiz geçirimli malzeme bulunmaktadır. Mevcut şartlarda geri dolgu malzemesi ve zemine ait parametreler:
$\emptyset = 20^{\circ}$, $\gamma = 14kN/m^3$, $q_{em} = 0.8kg/cm^2$ 'dir.



Şekil 4.2: Dayanma Yapısı Arkasındaki Aktif Kama.

Aktif kama, dayanma duvarı üzerindeki aktif zemin basınçlarının, pasif kama ise pasif zemin basınçlarının oluştuğu kısımdır (Şekil 4.2). Dayanma duvarı dönme ve ötelenme hareketleri yaptığı zaman aktif ve pasif kama oluşur.

4.2. Dayanma Yapısının Güvenlik Tahkikleri

Bir dayanma yapısının güvenli olup olmadığını belirlemek için statik ve dinamik yükler altında tahkikler yapılmaktadır. Bunlar; kayma tahkiki, devrilme tahkiki ve taşıma gücü tahkikleridir.

Kayma tahkiki; ön boyutlandırma ile belirlenen kesit özelliklerinin, temel tabanının öne doğru kaymasını engelleyip engelleyemediğinin belirlenebilmesi için

yapılır. Kaymaya karşı bir güvenlik sayısı bulunarak kaymaya karşı koyan kuvvetlerin kaydırmaya çalışan kuvvetlerden büyük olup olmadığı analiz edilir.

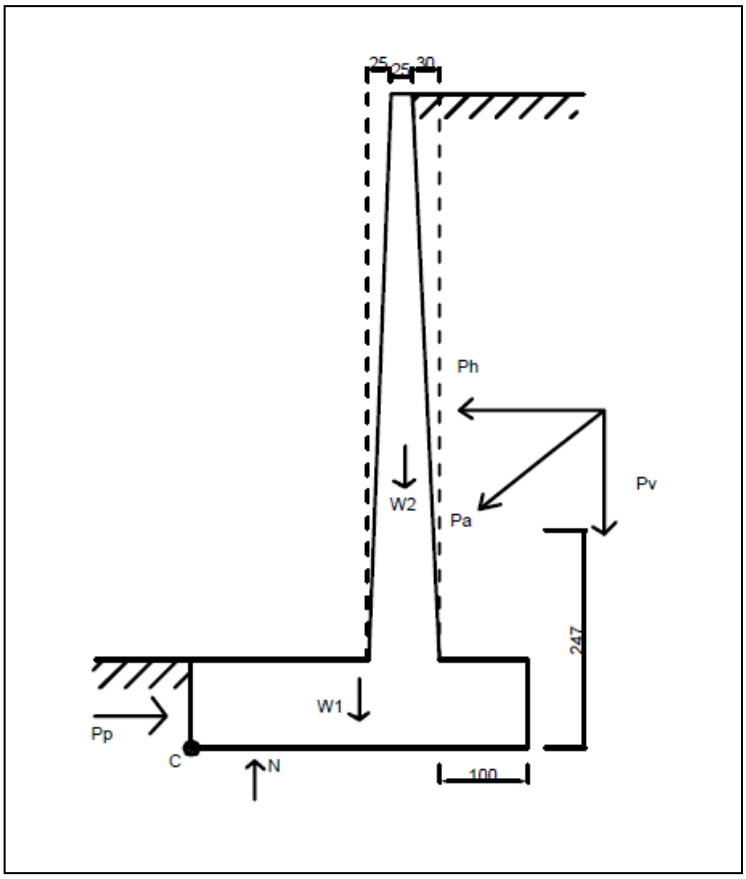
Devrilme tahkiki; duvarın devrilmesini önleyen kuvvetlerin devirmeye çalışan kuvvetlerden büyük olup olmadığını belirlemek için yapılır. Bu kuvvetler, temelin tabanına göre alınan momentlerdir. Kayma tahkikinde olduğu gibi devrilme tahkikinde de bir güvenlik sayısı bulunur.

Taşıma gücü tahkiklerinde ise maksimum ve minimum taban basınçları bulunarak izin verilebilir taşıma gücü ile karşılaştırması yapılır. Ayrıca duvar temeli kesitlerinin yeterli olup olmadığı belirlenir.

4.3. Dayanma Yapısı İçin Analitik Çözümler

Bölüm 4.1'de özellikleri belirtilen model bir dayanma duvarının statik ve dinamik yükler altında devrilme, kayma ve taşıma gücü tahkikleri yapılmıştır.

- Statik Durum: Coulomb teorisine dayanarak dayanma duvarına etkiyen itkileri belirlemede kuvvet dengesi kullanılmıştır.



Şekil 4.3: Dayanma Duvarına Statik Şartlarda Etkiyen Yükler.

- P_A; aktif zemin basıncı bileşke kuvveti, kN/m (duvar tabanı üzerinden itibaren $H/3$ mesafede etkir.)
- P_P; pasif zemin basıncı, kN/m
- $\emptyset = 20^\circ$, $\gamma = 14kN/m^3$, $\gamma_{beton} = 25kN/m^3$, $\beta = 0$, $\theta = 2{,}68^\circ$,
- $\delta = \frac{3}{4}\emptyset = 15^\circ$
- $P_A = 0{,}5k_A\gamma_t H^2$
- $K_A = \frac{\cos^2(\emptyset-\theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta+\theta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset-\beta)}{\cos(\delta+\theta)\cos(\beta-\theta)}}\right]^2}$
- $K_A = 0{,}45$
- $P_A = 0{,}5.0{,}45.14.7{,}4^2 = 172{,}5kN/m$
- $P_P = \frac{1}{2}K_P\gamma D^2$
- $K_P = \frac{\cos^2(\emptyset+\theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta-\theta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset+\beta)}{\cos(\delta-\theta)\cos(\beta-\theta)}}\right]^2}$
- $K_P = 0{,}41$

- $P_P = 0{,}5.0{,}41.14.1^2 = 2{,}87kN/m$
- $P_H = P_A.\cos\delta = 166{,}6kN/m$
- $P_V = P_A.\sin\delta = 44{,}6kN/m$
- $W_1 = 3{,}80.1.25 = 95kN/m$
- $W_2 = \left(\frac{0{,}80+0{,}25}{2}\right).6{,}40.25 = 84kN/m$
- $N = W_1 + W_2 + P_V = 223{,}6kN/m$
- $x = \frac{ağırlığın\ momenti - devrilme\ momenti}{N} = 0{,}63m$

Bileşke kuvvet N, temelin ortadaki 1/3'lük kısmında yer almamaktadır. $e < B/6$ olmalıdır.

- Kayma Tahkiki:

Güvenlik Faktörü, $FS = \frac{N\tan\delta + P_P}{P_H} = 0{,}37 \geq 1{,}5$ koşulunu sağlamamaktadır. Söz konusu dayanma yapısı kaymaya karşı güvenli değildir**.**

- Devrilme Tahkiki:

Güvenlik Faktörü, $FS = \frac{W.a}{P_H.\frac{H}{3} - P_V.e} = 2{,}5 \geq 1{,}5$ koşulunu sağlamakta olup bu dayanma yapısı devrilmeye karşı güvenlidir.

- Taşıma Gücü Tahkikleri:

Eksantriklik, $e = 1{,}28m$

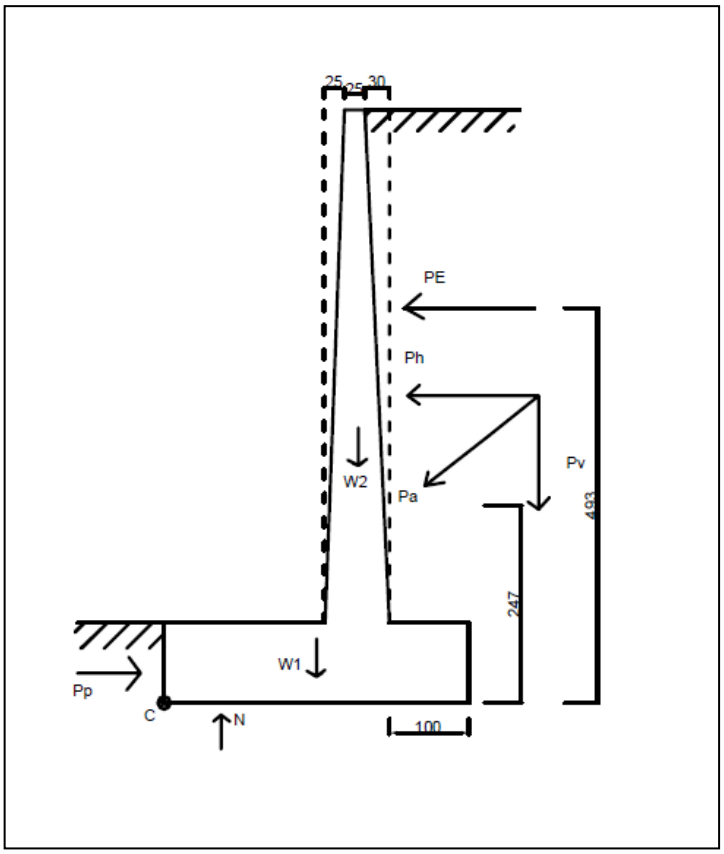
Duvar temeli altındaki maksimum ve minimum taban basınçları;

$\sigma_{max} = \frac{N(B+6e)}{B^2} = 187kN/m^2 \leq 80kN/m^2$ koşulunu sağlamamaktadır.

$\sigma_{min} = \frac{N(B-6e)}{B^2} = -\frac{63kN}{m^2} \geq 0$ koşulunu sağlamamaktadır.

- Depremli Durum: Yarı-statik Analiz.

Bu yöntemde depremin tekrarlı özelliği ihmal edilerek düşey ivme hesaplamalara katılmaz. Depremden gelen kuvvet, dayanma yapısına ilave bir statik yük olarak uygulanır. Yöntemin basitliği sebebiyle tercih edilmektedir.



Şekil 4.4: Yarı-statik Analizde Dayanma Duvarı Üzerindeki Yükler.

- P_E: Yatay yarı-statik kuvvet, kN (duvar tabanından itibaren $2H/3$ mesafede etkir.)
- $k_h = \frac{a_{max}}{g}$, yarı-statik katsayı
- $P_E = 0{,}5k_A^{1/2}\left(\frac{a_{max}}{g}\right)(H^2\gamma_t) = 0{,}5.0{,}45^{1/2}.0{,}2.7{,}4^2.14 = 51{,}4kN/m$

- Yarı-statik Kayma Tahkiki:

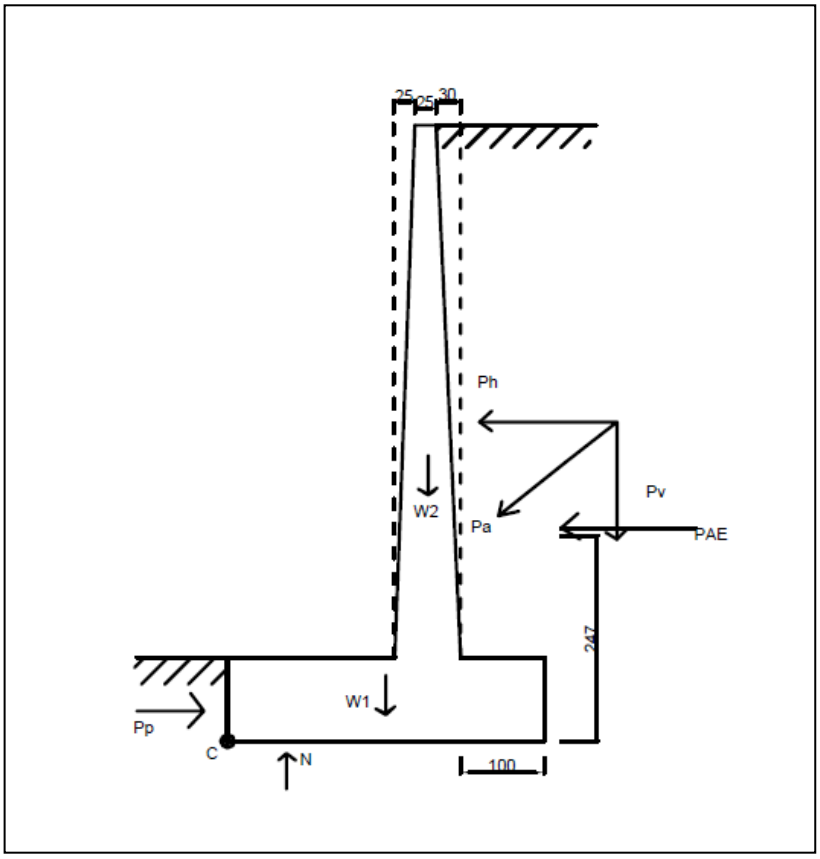
$$FS = \frac{N\tan\delta + P_P}{P_H + P_E} = 0{,}28$$

- Yarı-statik Devrilme Tahkiki:

$$FS = \frac{W.a}{P_H.\frac{H}{3} - P_v.e + P_E.\frac{2H}{3}} = 1{,}02$$

• Depremli Durum: Mononobe-Okabe Yöntemi.

Bu yöntem yatay psödostatik kuvveti belirleme amacıyla kullanılmaktadır. Coulomb denkleminin geliştirilmiş halidir.



Şekil 4.5: Mononobe-Okabe Yönteminde Dayanma Duvarı Üzerindeki Yükler.

▪ P_{AE}; kN/m , duvarın tabanı üzerinden $H/3$ mesafede etkir.

▪ $P_{AE} = P_A + P_E = 0{,}5K_{AE}H^2\gamma_t$

▪ $K_{AE} = \dfrac{\cos^2(\emptyset-\theta-\psi)}{\cos\psi\cos^2\theta\cos(\delta+\theta+\psi)\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset-\beta-\psi)}{\cos(\delta+\theta+\psi)\cos(\beta-\theta)}}\right]}$

▪ $\psi = \tan^{-1}\left[\dfrac{k_h}{(1-k_v)}\right]$

Depremin düşey ivmesi k_v ihmal edilmektedir.

- $k_h = \frac{a_{max}}{g} = 0{,}2g$
- $\psi = 11{,}3^\circ$
- K_{AE} =0,77
- $P_{AE} = 297\ kN/m$

- Kayma Tahkiki:

$$FS = \frac{N \tan\delta + P_P}{P_H} = \frac{(W + P_{AE}\sin\delta)\tan\delta + P_P}{P_{AE}\cos\delta} = 0{,}25$$

- Devrilme Tahkiki:

$$FS = \frac{W.a}{P_{AE}.\frac{H}{3}\cos\delta - P_{AE}\sin\delta\,.\,e} = 0{,}63$$

Deprem durumunda yapılan güvenlik tahkikleri sonucunda mevcut dayanma yapısının kaymaya ve devrilmeye karşı güvenli olmadığı tespit edilmiştir. (Güvenlik faktörü FS için 1.1 – 1.2 arası değerleri kabul etmek yaygındır.)

4.4. Dayanma Yapısının Yazılım Kullanılarak Analiz Edilmesi

Bölüm 4.3'te yapılan analitik çözümler doğrultusunda söz konusu dayanma yapısının statik ve dinamik yükler altında yeterli dayanımı sağlamadığı görülmüştür. Mevcut koşullarda yeterli güvenliğe sahip olmayan bu dayanma yapısı için geri dolgu zemininin enjeksiyon yöntemi ile iyileştirilmiş olduğu varsayılmış olup dolgu malzemesinin kayma mukavemeti açısı $\emptyset$, birim hacim ağırlığı γ, ve emniyetli taşıma kapasitesi q_{em} değerlerinin arttığı yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu doğrultuda aşamalı olarak değiştirilen $\emptyset$, γ, q_{em} değerlerine karşılık statik ve dinamik yükler altında güvenlik tahkikleri yazılım (Ergün, 2017) kullanılarak yapılmıştır.

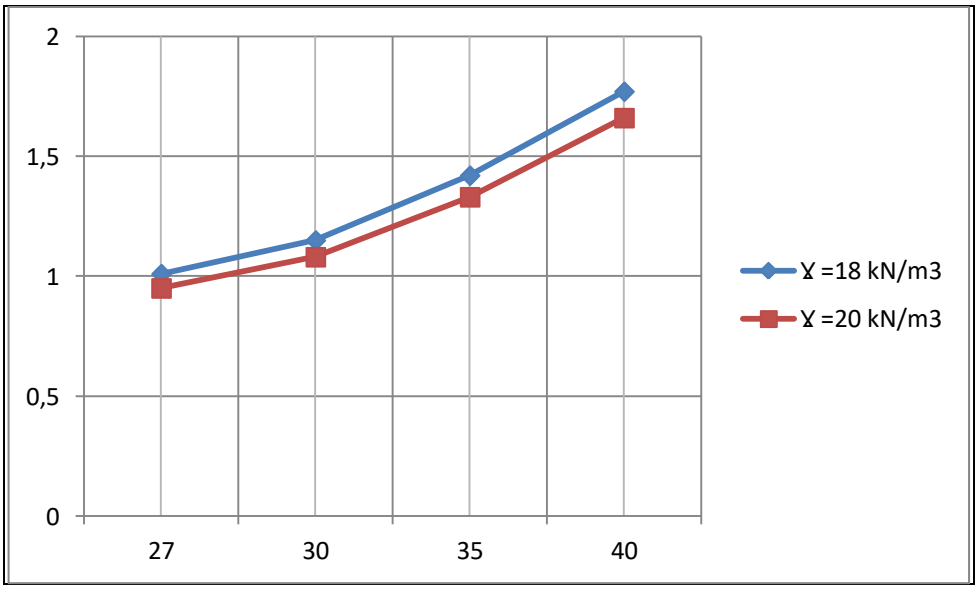
Enjeksiyon yöntemi ile iyileştirme yapıldıktan sonra emniyetli taşıma kapasitesinin artarak $q_{em} = 2.40 kg/cm^2$ değerine ulaştığı varsayılmıştır. (Geri dolgu zemininin iyileştirme öncesi emniyetli taşıma kapasitesi $0.8 kg/cm^2$'dir.)

Dayanma yapısının güvenliği, kayma mukavemeti açısı $\emptyset$ ve birim hacim ağırlığı γ'nın değişimine karşılık gelen değerler olarak hesaplanmış olup tablo ve grafik şeklinde aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.1: Statik Koşullarda Kaymaya Karşı Güvenlik Sayıları.

γ / $\emptyset$	18	20
27˚	1,01	0,95
30˚	1,15	1,08
35˚	1,42	1,33
40˚	1,77	1,66

Tablo 4.1'de; statik koşullar altında kayma mukavemeti açısı sırayla 27˚, 30˚, 35˚, 40˚ ve geri dolgu zemininin birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3ve 20 kN/m^3 alınarak kaymaya karşı güvenlik sayıları bulunmuştur.



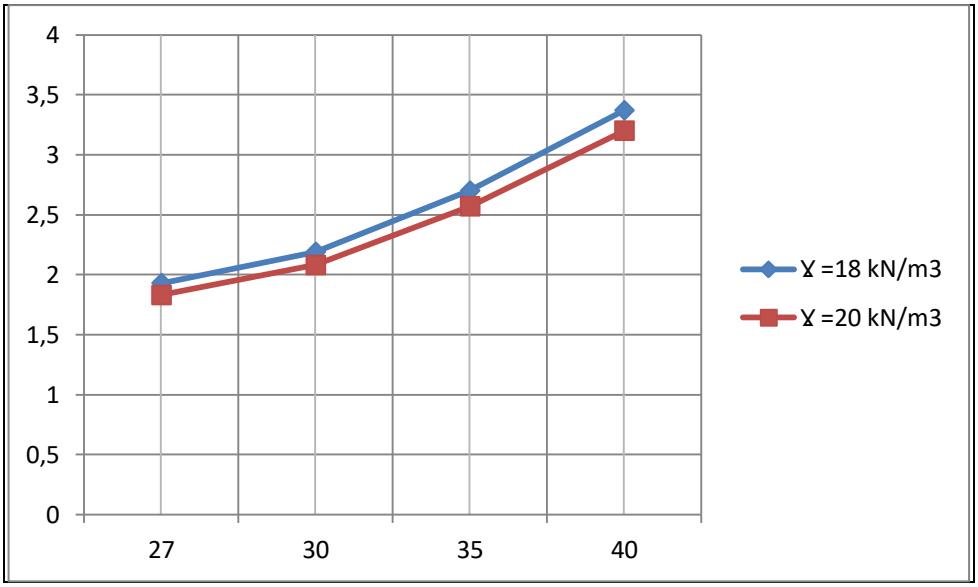
Şekil 4.6: Statik Koşullarda Kaymaya Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi.

Şekil 4.6'da ise statik durumda kaymaya karşı güvenlik sayısının değişimi grafik şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Statik Koşullarda Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayıları.

γ / $\emptyset$	18	20
27˚	1,93	1,83
30˚	2,19	2,08
35˚	2,70	2,57
40˚	3,37	3,20

Tablo 4.2'de; statik koşullar altında kayma mukavemeti açısı sırayla 27˚, 30˚, 35˚, 40˚ ve geri dolgu zemininin birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3ve 20 kN/m^3 alınarak devrilmeye karşı güvenlik sayıları bulunmuştur.



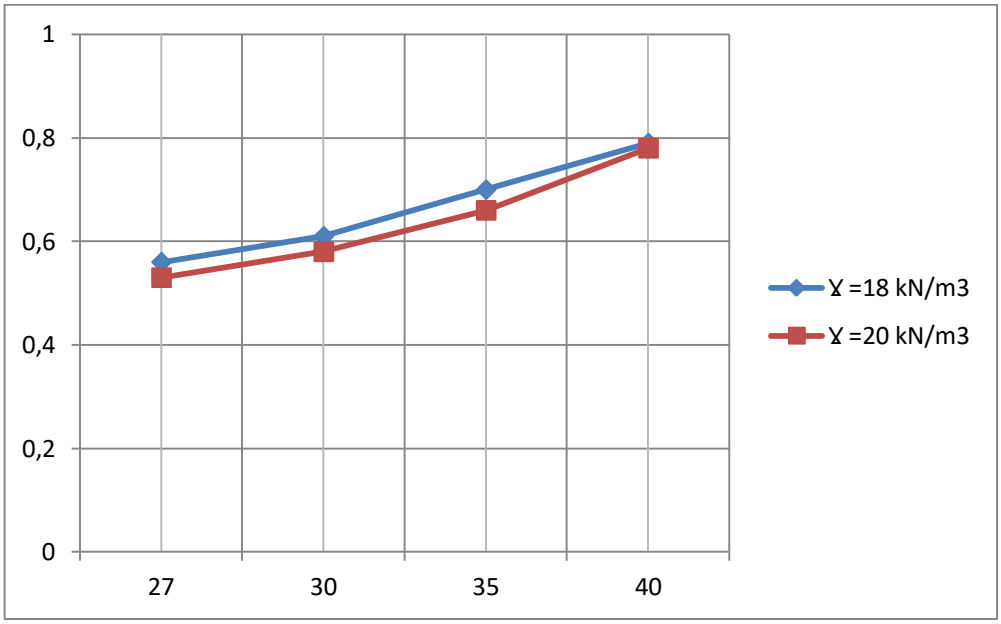
Şekil 4.7: Statik Koşullarda Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi.

Şekil 4.7'de ise statik durumda devrilmeye karşı güvenlik sayısının değişimi grafik şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Deprem Koşullarında Kaymaya Karşı Güvenlik Sayıları.

γ / $\emptyset$	18	20
27˚	0,56	0,53
30˚	0,61	0,58
35˚	0,70	0,66
40˚	0,79	0,78

Tablo 4.3'de; depremli koşullar altında kayma mukavemeti açısı sırayla 27˚, 30˚, 35˚, 40˚ ve geri dolgu zemininin birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3ve 20 kN/m^3 alınarak kaymaya karşı güvenlik sayıları bulunmuştur.



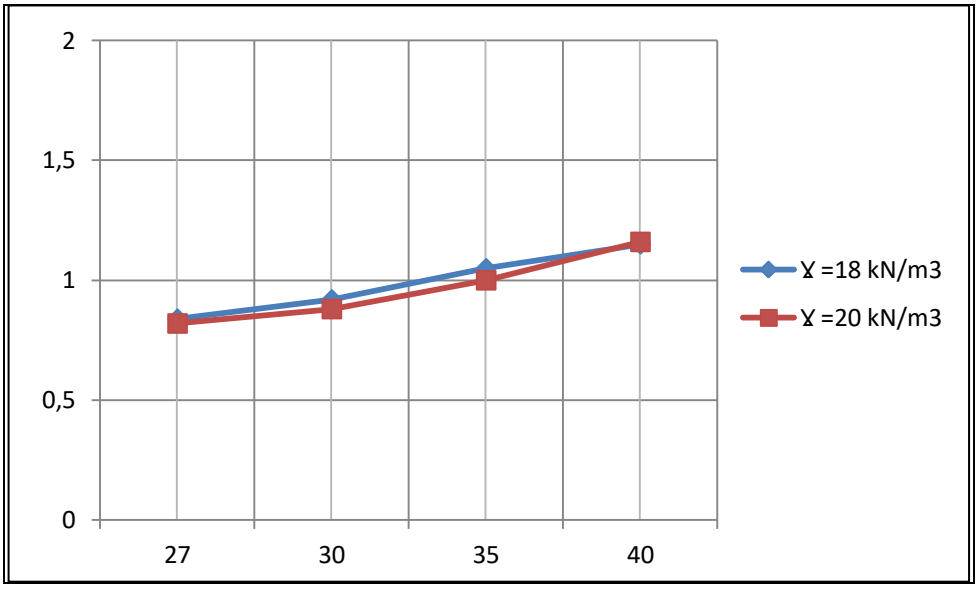
Şekil 4.8: Deprem Koşullarında Kaymaya Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi.

Şekil 4.8'de ise depremli durumda devrilmeye karşı güvenlik sayısının değişimi grafik şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Deprem Koşullarında Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayıları.

γ / $\emptyset$	18	20
27˚	0,84	0,82
30˚	0,92	0,88
35˚	1,05	1,00
40˚	1,15	1,16

Tablo 4.4'de; depremli koşullar altında kayma mukavemeti açısı sırayla 27˚, 30˚, 35˚, 40˚ ve geri dolgu zemininin birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3ve 20 kN/m^3 alınarak devrilmeye karşı güvenlik sayıları bulunmuştur.



Şekil 4.9: Deprem Koşullarında Devrilmeye Karşı Güvenlik Sayısının Değişimi.

Şekil 4.9'da ise depremli durumda devrilmeye karşı güvenlik sayısının değişimi grafik şeklinde gösterilmiştir.

4.5. Enjeksiyon İle İyileştirmenin Dayanma Yapısı Mukavemetine Etkisi

Zemin enjeksiyonu kavramı, esas olarak akışkan malzemelerin belirli değerde basınç verilerek zemin içerisindeki boşluklara nüfuz ettirilmesini ifade etmektedir.

Enjeksiyondaki amaç zemin içerisindeki boşlukların doldurularak mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Bu iyileştirme yöntemi ile zeminin geçirimlilik ve dayanım özellikleri değiştirilmiş olur.

Enjeksiyon ile iyileştirme ilk olarak su sızdırmazlığı sağlamak amacıyla uygulansa da günümüzde bunun yanı sıra gevşek zeminlerin stabilizasyonunda, zeminin dayanım ve dayanıklılığının artırılmasında, zemin içerisindeki boşlukların doldurulmasında, yapıların taşıma gücünün artırılmasında ve granüler zeminlerde sıvılaşma potansiyelini azaltmak amacıyla uygulanmaktadır.

Enjeksiyon ile iyileştirme yapılırken kullanılan malzeme ve yöntem, mevcut saha koşulları için değişebilmektedir. Enjeksiyon yapılırken belirlenecek basınç, hız, enjeksiyon kolonu çapı gibi parametreler ayrı zemin koşulları için ayrıca değerlendirilmelidir.

Zemin enjeksiyonunda en çok kullanılan malzeme çimentodur. Çimentonun bağlayıcılık özelliği bu tercihte önemli rol oynamaktadır. Çimento enjeksiyonunda su/çimento oranı önemli bir faktör olmaktadır. Bu durum zeminin mukavemet özelliklerini fazlasıyla etkilemektedir.

Dayanma yapılarının iyileştirilmesinde enjeksiyon yöntemi sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Enjeksiyonun her tür zemine uygulanabilirliği ve eğimli arazi koşullarında dahi etkili olabilmesi, sağladığı önemli avantajlardandır. Dayanma yapısının geri dolgu zemininin yeterli mukavemete sahip olmayan gevşek malzemelerden oluşması halinde enjeksiyon yapılarak mühendislik özellikleri iyileştirilir. Gevşek geri dolgu malzemesi yerine sıkıştırılmış ve iyileştirilmiş zeminin kullanılması dayanma yapısının stabilizasyonu açısından önem teşkil etmektedir. Enjeksiyon sayesinde geçirimsizlik özellikleri iyileşeceğinden dayanma yapısının kaymaya ve devrilmeye karşı güvenliğinde artış sağlanır.

Çalışmada bu zemin özelliklerinin ne kadar iyileştirildiği konusunda literatür olarak (Bedirhanoğlu Zemin Yapı, 2016) [15] çalışması kullanılmıştır. Adı geçen çalışmada geri dolgu malzemesinin enjeksiyonla iyileştirilmesi sonucu, kayma dalgası hızı değerlerinin dolayısıyla mukavemet değerlerinin %20-30 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla mevcut dayanma yapılarının geri dolgu malzemelerinin enjeksiyonla iyileştirilmesi sonucu mukavemet artışının %20 mertebesinde olduğu kabul edilebilir.

4.6. Değerlendirme

Dayanma yapısı geri dolgu zemininin kayma mukavemeti açısı $\emptyset$'nin artması, kaymaya ve devrilmeye karşı duvarı daha güvenli duruma getirmektedir. Bu durum, statik ve depremli durumların her ikisi için de geçerlidir.

Geri dolgu zemininin birim hacim ağırlığı γ'nın artması ise kaymaya ve devrilmeye karşı güvenliğin sağlanmasında olumsuz etki yapmaktadır. Statik ve depremli durumda γarttıkça dayanma duvarı daha güvensiz duruma gelmektedir.

5. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Dayanma yapılarının statik ve deprem yükü altında her türlü mukavemet ve deformasyon koşullarını sağlaması gerekmektedir. Dayanma yapısının boyutlarının çoğunlukla çevre koşullarıyla ilgili olmasından dolayı değiştirilemediği de bir gerçektir. Bu durumda dayanma yapısının arka kısmındaki mevcut zemin ya da geri dolgu malzemesinin daha mukavemetli duruma getirilmesi, dayanma yapısının davranışının daha iyileştirilmesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla mevcut dayanma yapılarının davranışlarının iyileştirilmesi konusunda geri dolgu malzemesinin iyileştirilmesin ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır.

Bu çalışmada, boyutlarının yetersiz olduğu yapılan tetkiklerden anlaşılan bir dayanma yapısı ele alınmıştır. Bu dayanma yapısının statik ve deprem etkisi altında analizleri klasik yöntemlerle (Coulomb Yöntemi, Mononobe-Okabe Yöntemi, Whitman-Liao Yöntemi) yapılmıştır. Buna ilave olarak bir yazılım (Ergün, 2017) ile kontrol edilmiştir. Buna göre ele alınan dayanma yapısının hem statik hem deprem etkisi altında kesitlerinin yetersiz kaldığı özellikle kaymaya karşı her iki durumda da güvensiz tarafta olduğu tespit edilmiştir. Hem kaymaya hem devrilmeye karşı güvenliği temin edebilmek için geri dolgu malzemesinin zemin enjeksiyon yöntemiyle iyileştirilmesi düşünülmüştür.

Zemin enjeksiyon yöntemiyle iyileştirme konusundaki literatür çalışması (Bedirhanoğlu Zemin Yapı, 2016) [15] incelendiğinde dolgu malzemesinin iyileştirilmesinin $\%20 - 30$ oranında sağlandığı tespit edilmiştir.

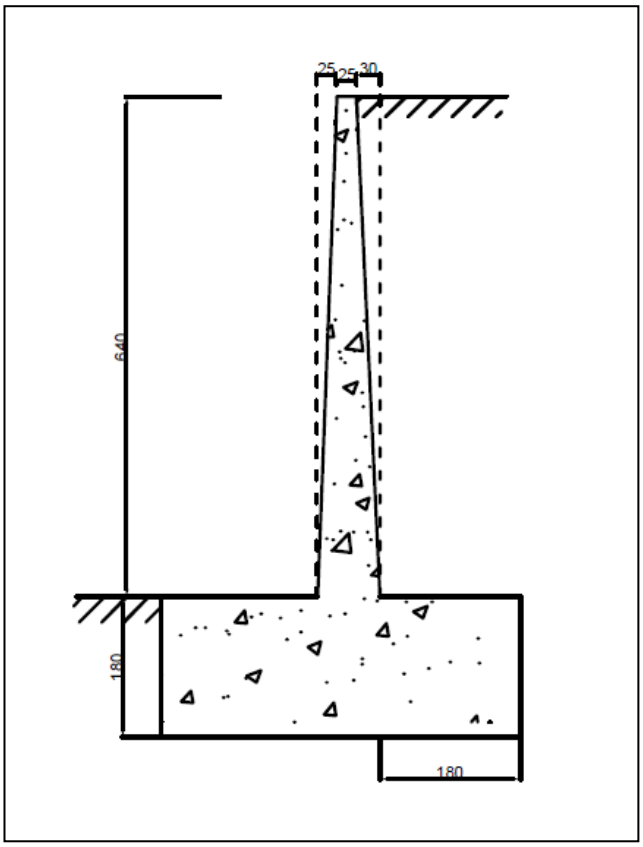
Çalışma kapsamında incelenen dayanma yapısının geri dolgu malzemesinin zemin enjeksiyon yöntemiyle iyileştirilmesi durumunda bile statik ve depremli koşullarda güvenli tarafta kalmadığı anlaşılmış olup dayanma yapısının kesitlerinin yetersiz olmasından dolayı stabilite sorunu olduğu tespit edilmiştir.

Zemin enjeksiyon yöntemiyle dayanma yapısı geri dolgu malzemesinin iyileştirilmesi ve dayanma yapısının kesitlerinin değiştirilmesi koşuluyla statik ve deprem durumunda kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sağlanabilmektedir. Söz konusu dayanma yapısının temel kalınlığının 1.00m'den 1.80m'ye çıkarılması ve arka ampatman boyunun 1.00m'den 1.80m'ye uzatılması durumunda stabilite sorunu ortadan kalkacaktır.

Dayanma yapısının boyutlarının değiştirilmesi durumunda, bu çalışmada yararlanılan yazılım (Ergün, 2017) kullanılarak tekrar analiz yapılmıştır. Dayanma duvarının toplam yüksekliği 8.20m, duvar yüksekliği 6.40m, temel kalınlığı 1.80m, temel taban genişliği 4.60m, ön ampatman boyu 2.00m, arka ampatman boyu 1.80m alınmıştır.

Temel kalınlığının artırılmasıyla dayanma yapısının toplam yüksekliği 8.20m ve arka ampatman boyunun uzatılmasıyla da dayanma yapısı temel taban genişliği 4.60m olmaktadır.

Analizde kullanılan geri dolgu zemininin kayma mukavemeti açısı 40˚, birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3ve zeminin emniyetli taşıma kapasitesi 2.40 kg/cm^2olarak alınmıştır.



Şekil 5.1: Boyutları Değiştirilmiş Dayanma Yapısı.

Çalışmada incelenen dayanma yapısının boyutlarının değiştirildiği ve geri dolgu zemininin enjeksiyon yöntemiyle iyileştirildiği varsayılarak elde edilen parametrelere göre tekrarlanan analiz sonucunda söz konusu dayanma yapısının

statik ve depremli durumda kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik tahkikleri yinelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Taşıma Gücü Tahkikleri:

Eksantriklik, $e = 0{,}38\ m$

Duvar temeli altındaki maksimum ve minimum taban basınçları;

- $\sigma_{max} = \frac{N(B+6e)}{B^2} = 113{,}23\ kN/m^2 \leq 240 kN/m^2$ koşulunu sağlamaktadır.
- $\sigma_{min} = \frac{N(B-6e)}{B^2} = 38{,}18\ kN/m^2 \geq 0$ koşulunu sağlamaktadır.

Statik durumda kayma karşı güvenlik sayısı: $2{,}44 \geq 1{,}5$ ve devrilmeye karşı güvenlik sayısı: $4{,}70 \geq 1{,}5$ olup bu dayanma yapısı statik durumda kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlidir.

Depremli durumda kaymaya karşı güvenlik sayısı: $1{,}13 \geq 1{,}1$ ve devrilmeye karşı güvenlik sayısı: $1{,}70 \geq 1{,}1$ olup bu dayanma yapısı depremli durumda kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlidir.

Çalışma kapsamında incelenen dayanma yapısı, halihazırda inşa edilmiş olduğundan bulunduğu mevcut saha koşulları, boyutlarının değiştirilmesini mümkün kılmamaktadır. Zemin enjeksiyon yöntemiyle dayanma yapısının geri dolgu malzemesinin iyileştirilmesi de güvenlik tahkiklerini tek başına sağlamaya yeterli olmadığından zemin çivisi veya ankraj imal etme suretiyle söz konusu dayanma yapısının hem statik hem depremli durumda kaymaya ve devrilmeye karşı güvenliğinin sağlanabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] TSE, (1990), Zemin dayanma yapıları; sınıflandırma, özellikleri ve projelendirme Esasları, TS 7994, Türk Standartları Enstitüsü.

[2] Web 1, http://www.kiciman.com/sayfa/gabion-sepet,6.php, (Erişim Tarihi: 17/05/2017)

[3] Web 2 , www.izmiralternatif.com.tr/haberdetay/diyafram-duvar-yapim-yontemi-ve-guvenligi, (Erişim Tarihi: 17/05/2017)

[4] U.S Department Of Transportation Federal Highway Administration, (2001), Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes, Washington.

[5] Önal O., Dayanma (istinat) yapıları, İmo-Miek Geoteknik Kurs Programı.

[6] Özener P., İstinat yapılarında sismik yüklerin hesabı, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul.

[7] Kramer S. L, (1996), "Geoteknik Deprem Mühendisliği", McGraw-Hill.

[8] Yenidoğan H. C., (2006), "İstinat Duvarlarının Deprem Sırasında Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız teknik üniversitesi.

[9] Tezcan S. S., Buket Z. S., (1999), "Design of Reinforced Soil Retaining Wall Including Seismic Performance Principles", Türk Deprem Vakfı, İstanbul.

[10] Tunç A., (2002), "Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları", Atlas Yayın Dağıtım, Ankara.

[11] Demirkoç A., (2007), "Derin Kazılarda Zemin Çivisi ile Ankrajlı Destek Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[12] Siyahi B., (2015), Zemin iyileştirme yöntemleri, Gebze Teknik Üniversitesi Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı.

[13] Altun S., (2010), Zemin iyileştirme yöntemleri, derin temeller ve uygulama örnekleri, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı.

[14] Ural N., (2011), "Mikrobiyolojik çimentolanmayla zemin iyileştirilmesi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey.

[15] Bedirhanoğlu Zemin Yapı, (2016), "Kadıköy İlçesi, Caferağa Mahallesi, 148 ada, 2 parsel, Ek Jeofizik Etüt Raporu", İstanbul.

[16] Web 3,(2017), http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=220, (Erişim Tarihi: 30/05/2017)

[17] Özsoy, B., (2014), “Jet grouting zemin ıslah tekniği hakkında bildiklerimiz, az bildiklerimiz ve hiç bilmediklerimiz”, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.

ÖZGEÇMİŞ

Sena MERMER 1989 yılında İstanbul'da doğdu. 2007 yılında başladığı Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2013 yılında başarıyla tamamlayarak aynı yıl yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2013 yılından bu yana Kadıköy Belediyesi Yapı Kontrol Müdürlüğü Yapı Denetim Bürosunda inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.