

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TBDY (2018)'E GÖRE KONSOL İSTİNAT DUVARI TASARIMINA AİT
BİR YAZILIM PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aziz Can TAŞKIN

EKİM 2023
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TBDY (2018)'E GÖRE KONSOL İSTİNAT DUVARI TASARIMINA AİT BİR YAZILIM
PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ**

Aziz Can TAŞKIN

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 / 09 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 11 / 10 / 2023

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
ORCID : - - -

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

İstinat yapılarının statik ve dinamik etkiler altında gösterdiği davranışları geliştirilen bir yazılım programı ile inceleyen bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma sırasında desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Osman Sivrikaya'ya teşekkürü borç bilirim. Ayrıca her zaman desteklerini hissettiğim değerli dostlarıma ve bu süreçte her zaman yanımda yer alan aileme teşekkür ederim.

Aziz Can TAŞKIN

Trabzon 2023



TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “TBDY 2018’e Göre Konsol İstinat Duvarı Tasarımına Ait Bir Yazılım Programının Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/10/2023

Aziz Can TAŞKIN



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Tezin Amacı	4
1.2. İstinat Yapıları ve Türleri	4
1.2.1. Ağırlık Tipi İstinat Duvarı	5
1.2.2. Yarı Ağırlık Tipi İstinat Duvarı	6
1.2.3. Konsol Duvar	7
1.2.4. Eşikli Konsol Duvar.....	7
1.2.5. Payandalı Duvar	8
1.2.6. Ters Payandalı Duvar.....	9
1.2.7. Kafes Tipi İstinat Duvarı.....	9
1.2.8. Sandık Tipi (Gabion) İstinat Duvarı	10
1.2.9. Kazıklı Perdeler.....	11
1.2.10. Diyafram Duvar	12
1.2.11. Palplanş Perdeler.....	12
1.2.12. Donatılı Zemin İstinat Duvarları.....	13
1.2.13. Berlin Duvarı.....	14
1.3. Yanal Zemin Basınçları.....	15
1.3.1. Statik Koşullar Altında Yanal Zemin Basınçları	17
1.3.2. Dinamik Koşullar Altında Yanal Zemin Basınçları.....	24
1.4. Rijit Dayanma Yapılarının Tasarımı	27
1.4.1. Dış Stabilite.....	28
1.4.2. İç Stabilite	32

1.4.3. TBDY (2018)'e Göre Rijit Dayanma Yapılarının Tasarımı	33
1.4.4. Yer altı Su Seviyesinin Etkisi	36
1.4.5. Devrilme Tahkiki	37
1.4.6. Kayma Tahkiki.....	38
1.4.7. Taban Zemin Gerilmesi Kontrolü ve Taşıma Gücü Tahkiki	41
1.4.8. Toptan Göçme.....	46
1.4.9. Oturma Tahkiki	48
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	53
2.1. Geliştirilen Program ile İlgili Genel Bilgiler.....	54
2.1.1. Veri Girişi	54
2.1.2. Tahkiklerin İncelenmesi.....	58
3. SONUÇLAR.....	66
4. ÖNERİLER.....	67
5. KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ.....	70

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TBDY (2018)'E GÖRE KONSOL İSTİNAT DUVARI TASARIMINA AİT BİR YAZILIM PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ

Aziz Can TAŞKIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
2023, 70 Sayfa

Zeminlerin bulunduğu yamaçlarda, yarma ve dolgularda şev stabilitesinin sağlanması geoteknik mühendisliğinin ana konularından birisidir. Bu anlamda istinat yapıları, eğimli arazilerdeki zemini ve derin kazılarda yan duvarları tutmak için inşa edilmektedir. Doğru mühendislik hizmeti ile inşa edilmeyen istinat yapılarından kaynaklanan güvensiz durumlar ülkemizde can ve mal kaybına neden olmaktadır. TBDY (2018) ile AFAD tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası verileri istinat yapılarının tasarım hesaplarında değişikliklere neden olmuştur. Deprem bölgelerinde kullanılan tasarım ivme katsayılarında yeni yönetmelik sonrasında artış gözlenmiş ve bu artışların da deprem etkisi altındaki istinat yapılarına etki eden yanal basınçlarda ciddi artışlar oluşturduğu belirlenmiştir. Yeni yönetmelik ile birlikte hesaplamalar daha karmaşık bir yapıya dönüştüğünden el ile yapılan hesaplamalar sonucunda hatalı sonuçlara ulaşmak daha olası hale gelmiştir. Bu sebeple bu tez kapsamında TBDY (2018) referans alınarak konsol tipi istinat yapılarının statik ve dinamik etkiler altındaki davranışları, bu etkiler altında yapıda oluşacak kuvvetler ve yapılması gereken tahkikler, Microsoft Visual Studio üzerinden C programlama dili kullanılarak hazırlanan bir hesap programı ile ele alınmıştır. Hazırlanan bu program ile konsol tipi istinat duvarlarının tasarım hesaplarının daha kısa sürede ve doğru biçimde yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İstinat duvarları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, C programlama

MSc Thesis

SUMMARY

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PROGRAM FOR CANTILEVER RETAINING WALL DESIGN ACCORDING TO TBDY (2018)

Aziz Can TAŞKIN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
2023, 70 Pages

Providing slope stability in slopes, cut and fills where soils is present is one of the main subjects of geotechnical engineering. In this sense, retaining structures are constructed to hold the ground on sloping lands and side walls in deep excavations. Unsafe conditions caused by retaining structures that are not built with the correct engineering service cause loss of life and property in our country. Turkey Building Earthquake Regulations (2018) and Turkey Earthquake Hazard Map prepared by the Disaster and Emergency Management Presidency have led to changes in the design calculations of retaining structures. After the new regulation, an increase in the design acceleration coefficients used in earthquake zones was observed and it was determined that these increases caused serious increases in the lateral pressures acting on retaining structures under earthquake effect. As calculations have become more complex with the new regulation, it has become more possible to reach erroneous results as a result of manual calculations. Therefore, within the scope of this thesis, the behavior of cantilever retaining structures under static and dynamic effects with reference to the Turkish Building Earthquake Regulations (2018), the forces that will occur in the structure under these effects and the analysis to be performed are handled with a calculation program prepared using the C programming via Microsoft Visual Studio. With this programme, it is aimed to perform the design calculations of cantilever retaining walls in a shorter time and accurately.

Key Words: Retaining structures, Turkey Building Earthquake Regulation, C Programming

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ağırlık tipi istinat duvarı örneği (TS-7994, 1990).	6
Şekil 2. Yarı ağırlık tipi istinat duvarı (Das, 2010).	6
Şekil 3. Farklı kesitlere sahip konsol duvarlar	7
Şekil 4. Eşikli konsol duvar örneği (TS-7994, 1990).	8
Şekil 5. Payandalı duvar örneği (Bowles, 1995).	8
Şekil 6. Ters payandalı duvar örneği (TS-7994, 1990).	9
Şekil 7. Kafes tipi istinat yapısını oluşturan hücreler (TS-7994, 1990).	10
Şekil 8. Farklı tiplerde inşa edilmiş sandık tipi istinat yapıları (Ramli, Karasu ve Dawood, 2013).	11
Şekil 9. Kazıklı perde (Peşin, 2021)	11
Şekil 10. Diyafram duvar örneği (KDYHY, 2022)	12
Şekil 11. Palplanş perdelerin çeşitli uygulama alanları (Cerrahoğlu, 1994)	13
Şekil 12. Donatılı zemin istinat duvarı ana bileşenleri (Yılmaz, 2018).	14
Şekil 13. Berlin duvarı örneği (KDYHY, 2022)	14
Şekil 14. Sükunet durumunda zemin basıncı (Das, 2010).....	16
Şekil 15. Coulomb aktif zemin basıncı (Das, 2010).....	18
Şekil 16. Coulomb pasif zemin basıncı (Das, 2010).	19
Şekil 17. Üç ayrı dolgu ve duvar sürtünmesi şartlarında oluşan minimum Rankine aktif zemin basıncı dağılımları (Kramer, 1996).....	22
Şekil 18. Üç ayrı dolgu ve duvar sürtünmesi şartlarında oluşan maksimum Rankine pasif zemin basıncı dağılımları (Kramer, 1996).	23
Şekil 19. Coulomb ve Rankine teorilerine göre yanal zemin itkileri (Sivrikaya, 2021a)	23
Şekil 20. İstinat duvarı arkasında oluşan aktif kama (Day, 2017).....	25
Şekil 21. Deprem sırasında psödostatik yöntemlere göre duvara etkiyen kuvvetler (Yenidoğan, 2006).	26
Şekil 22. İstinat yapılarının ön boyutlandırması (Tuğrul, 2019)	28
Şekil 23. İstinat yapısı dış stabilite göçme tipleri (Sivrikaya, 2021a).	29
Şekil 24. İstinat duvarı kayma modeli	30
Şekil 25. İstinat duvarı devrilme modeli	31
Şekil 26. Konsol tipi istinat duvarında iç stabilite problemi sonucu oluşan göçme modeli	33

Şekil 27. $e < B/6$ durumunda oluşan sınır zemin gerilmesi değerleri (Sivrikaya, 2021a).....	42
Şekil 28. $e = B/6$ durumunda oluşan sınır zemin gerilmesi değerleri (Sivrikaya, 2021a).....	42
Şekil 29. $e > B/6$ durumunda oluşan zemin gerilmeleri (Sivrikaya, 2021a).	43
Şekil 30. Yaygın göçme yüzeyi geometrileri: a) düzlem; b) çoklu düzlem; c) dairesel; d) dairesel olmayan	46
Şekil 31. Şerit temel altında yaklaşık yöntemle göre düşey gerilme artışı.....	49
Şekil 32. Şerit temellerde I_z 'nin derinlikle değişimi (Das, 2011).....	52
Şekil 33. Arka, ön ve temel zemini parametreleri için girdi ekranı.....	55
Şekil 34. “Veri Rehberi-1” sekmesi	56
Şekil 35. Dayanma duvarı parametreleri giriş ekranı	57
Şekil 36. Veri girişi sonrası elde edilmiş bir konsol istinat duvarı örnek modeli.....	58
Şekil 37. Devrilme tahkiki hesaplanmış bir istinat yapısı için sonuç ekranı.....	59
Şekil 38. Statik koşullar altında devrilme tahkiki için örnek bir istinat duvarına etkiyen kuvvetler.....	60
Şekil 39. Kayma tahkiki hesaplanmış bir istinat yapısı için sonuç ekranı	61
Şekil 40. Örnek bir istinat duvarı uygulaması için oluşturulmuş dinamik kayma tahkiki modeli	62
Şekil 41. Örnek bir istinat duvarı uygulamasında program üzerinden hesaplanmış taşıma gücü tahkiki	63
Şekil 42. Örnek bir uygulamada taban basıncı modelleri.....	64
Şekil 43. Örnek bir istinat duvarı uygulaması için oturma tahkiki hesaplamaları	65

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dayanma yapıları için belirlenen r katsayıları (TBDY, 2018).....	34
Tablo 2. Bazı zeminlerin içsel sürtünme açıları (ϕ) ve betonarme plak ile arasındaki sürtünme katsayıları (Özbey, 2003).	39
Tablo 3. Farklı yüzeysel temeller ile zemin arasında belirlenmiş sürtünme katsayıları (TBDY, 2018).....	40
Tablo 4. Yüzeysel temeller için belirlenen dayanım katsayıları (TBDY, 2018).....	41
Tablo 5. Belirli ϕ açılara karşılık gelen taşıma kapasitesi katsayıları (Özbey, 2003).....	45
Tablo 6. Meyerhof taşıma gücü formülü katsayıları	45
Tablo 7. Şerit temeller için I_z 'nin derinlikle değişimine ait ilişkiler (Sivrikaya, 2021b).....	52

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_C	: Temel tabanında basınç gerilmelerinin olduğu toplam alan
a	: Yer ivmesi değeri
a_{maks}	: Pik yer ivmesi değeri
B	: Temel genişliği
B'	: Etkin temel genişliği
b	: Dilim genişliği
b_c, b_q, b_γ	: Temel taban eğimi düzeltme katsayıları
C_1	: Temel derinliği düzeltme katsayısı
C_2	: Krip düzeltme katsayısı
C_3	: Temel şekli düzeltme katsayısı
C_c	: Sıkışma indisi
C_r	: Şişme/kabarma indisi
c	: Zeminin kohezyon dayanımı
c_a	: Temel zemini adezyon dayanımı
d_c, d_q, d_γ	: Temel derinliği düzeltme katsayıları
d_{su}	: Su altındaki duvar yüksekliği
E_{dev}	: Dayanma yapısını devrilmeye zorlayan etkiler toplamı
E_u	: Drenajsız elastisite modülü
E_s	: Eşdeğer elastisite modülü
E_t	: Statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin tasarım etkileri
e	: Temel orta noktasına göre eksantrisite
e_0	: Zeminin doğal boşluk oranı
F_H	: Şeve etkileyen yatay eylemsizlik kuvveti
F_V	: Şeve etkileyen düşey eylemsizlik kuvveti
$G_{S,dev}$	: Devrilme tahkiki için belirlenen güvenlik katsayısı
$G_{S,kay}$	: Kayma tahkiki için belirlenen güvenlik katsayısı
g_c, g_q, g_γ	: Zemin eğimi düzeltme katsayıları
H	: Dayanma yapısı toplam yüksekliği
H_c	: Dilim tabanının orta noktasından dilim merkezine olan düşey uzaklığı

I_1	: Oturmada temel derinliği ve genişliğine bağlı katsayı
I_2	: Oturmada sıkışabilir tabakanın kalınlığına ve temel boyutlarına bağlı katsayı
I_z	: Deformasyon etki faktörü
I_{zi}	: Temel tabakasının ortasındaki I_z değeri
i_c, i_q, i_γ	: Yükleme eğikliği düzeltme katsayıları
K_{AE}	: Mononobe-Okabe aktif zemin basıncı katsayısı
K_a	: Aktif zemin basıncı katsayısı
K_p	: Pasif zemin basıncı katsayısı
K_0	: Sukünet durumu zemin basıncı katsayısı
k_h	: Statik-eşdeğer yatay deprem katsayısı
k_v	: Statik-eşdeğer düşey deprem katsayısı
L	: İstinat duvarı uzunluğu
m	: Zemin kamasının toplam kütlesi
M_R	: Duvarın topuk noktasında devrilmeye karşı koyan momentlerin toplamı
M_0	: Duvarın topuk noktasında duvarı devirmeye çalışan momentlerin toplamı
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma gücü katsayıları
P_{AE}	: İstinat duvarına etkiyen psödostatik kuvvet ve aktif zemin basıncı toplamı
P_E	: İstinat duvarına etkiyen psödostatik kuvvet
P_a	: İstinat duvarına etki eden aktif zemin basıncı bileşkesi
P_p	: İstinat duvarına etki eden pasif zemin basıncı bileşkesi
P_{tv}	: Temel tabanına etkiyen tasarım düşey basınç kuvveti
P_{su}	: Bileşke statik su basıncı
q	: Ek sürşarj yükü
q_k	: Temel taşıma gücü karakteristik dayanımı
q_0	: Kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncı
q_t	: Temel taşıma gücü tasarım dayanımı
R_d	: Dairesel göçme yüzeyinin yarıçapı
R_{dev}	: Dayanma yapısında devrilmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı
R_{pk}	: Karakteristik pasif direnç
R_{pt}	: Tasarım pasif direnci
R_{th}	: Tasarım sürtünme direnci

r	: Statik-eşdeğer deprem azaltma katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
s_i	: Ani (elastik) oturma
S_T	: Topoğrafik büyütme katsayısı
s_c, s_q, s_γ	: Temel şekli düzeltme katsayıları
u	: Dilim tabanına etkiyen su basıncı
V_{th}	: Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti
W	: Kayan şev kütlelerinin ağırlığı, zemin kamasının ağırlığı
W_s	: Dilim ağırlığı
z	: Zemin etkin derinliği
z'	: Statik-eşdeğer dinamik su basıncının bileşkesinin su yüzeyinden ölçülen derinliği
α	: Dilim tabanının yatayla yaptığı açı (derece)
β	: Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı
ΔP_{su}	: Bileşke dinamik su basıncı
$\Delta \sigma_v$	: Düşey gerilme artışı
Δz	: Tabaka kalınlığı
δ	: Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısı
δ_d	: Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı
ν	: Poisson oranı
ϕ	: Zeminin kayma direnci açısı
ϕ'	: Zeminin efektif kayma direnci açısı
ϕ_d'	: Zeminin tasarım kayma direnci açısı
γ	: Zeminin tabii birim hacim ağırlığı
γ_d	: Zeminin doymuş birim hacim ağırlığı
γ_{su}	: Suyun birim hacim ağırlığı
γ_t	: Zeminin toplam birim hacim ağırlığı
γ^*	: Zeminin tipik birim hacim ağırlığı
γ_{Rdev}	: Dayanma yapısında devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısı
γ_{Rk}	: Kaymaya karşı tasarım güvenlik katsayısı
γ_{Rh}	: Sürtünme direnci dayanım katsayısı
γ_{Rp}	: Pasif direnç dayanım katsayısı

γ_{Rv}	: Temel taşıma gücü dayanım katsayısı
Ψ	: Duvarın yataya göre (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) ölçülen açı
μ	: İstinat duvarı temeli ve taban zemini arasındaki sürtünme katsayısı
σ_0'	: Sukünet durumunda düşey efektif gerilme
σ_h'	: Sukünet durumunda yatay efektif
σ_p'	: Ön konsolidasyon basıncı
σ_v'	: Belirli noktada oluşan düşey efektif gerilme
σ_{v0}'	: Temel tabanı seviyesindeki efektif gerilme
θ	: Statik eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı
$\sum F_R$	: İstinat yapısında kaymaya karşı koyan kuvvetlerin toplamı
$\sum F_k$	: İstinat yapısını kaydırmaya çalışan kuvvetlerin toplamı
$\sum M_0$	: İstinat duvar temeli orta noktasında oluşan toplam moment
$\sum N$	: İstinat duvarına etkiyen toplam düşey kuvvetler
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CPT	: Koni Penetresyon Deneyi (Cone Penetration Test)
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

1. GENEL BİLGİLER

Ülkemizde artan şehirleşme hızı ile süregelen yerleşim alanı gereksinimi yeni yaşam alanlarının inşa edilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu bölgelerde inşa edilen yapılarda, gerek derin kazının yan duvarlarını desteklemek gerekse bodrum katları şev kenarında kalan yapının güvenliğini sağlamak veya kayma tehlikesi arz eden eğimli arazilerdeki zemini tutmak amacıyla istinat yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Eğik yüzeylerle, yani şevlerle sınırlanmış zemin kütleleri kendi ağırlıkları ve bazı hallerde ilave kuvvetler sebebi ile aşağıya doğru harekete zorlanırlar. Şevleri harekete zorlayan diğer kuvvetler arasında zemin kütlesi üzerindeki ağırlıklar, yer üstü ve yer altı su hareketlerinden dolayı doğan kuvvetler, yer sarsıntısı kuvvetleri sayılabilir. Şevlerin bazı nedenlerden dolayı yeterince yatık yapılamaması durumunda kaymaya çalışan zeminin kaymasına karşı konulması yani şev stabilitesinin sağlanması amacıyla istinat yapılarından yararlanılması gerekmektedir (Emir, 2005).

İstinat yapısının türü; istenen yükseklik, elde bulunan yapı malzemeleri, yer altı suyu durumu, dolguda kullanılacak tercihen kohezyonsuz malzemenin türü, yerel şartlara uygunluğu ve kullanma işlevine bağlı olarak belirlenir (TS-7994, 1990). İstinat yapıları rijit (ağırlık), yarı rijit ve esnek istinat yapıları olarak sınıflandırılabilir. Bu yapılar farklı teknik ve malzemeler ile inşa edilebilmektedir.

İstinat yapılarının tasarımı için daha önce yürürlükte olan DBYBHY (2007) kullanılmaktaydı. Günümüzde ise yürürlükte olan TBDY (2018)'de belirlenen hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Yürürlüğe giren yeni yönetmelik ile tasarım için kullanılan, deprem anında oluşabilecek maksimum yer ivmesi değerleri artış göstermiştir. AFAD tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası sayesinde istenilen konumda deprem anında oluşabilecek maksimum yer ivmesi (a_{maks}) ve kısa periyot spektrum ivme katsayısı (S_{DS}) verilerine ulaşılabilmektedir.

İstinat yapıları yanal zemin basınçlarını karşılamak amacıyla inşa edilir. Yanal zemin basınçlarının statik ve dinamik durumlar için ayrı ayrı hesaplanması gereklidir. Statik durumdaki bir istinat duvarına etki eden yanal zemin basınçlarını hesaplamak için Rankine (1857) ve Coulomb (1776) teorileri geliştirilmiştir. Fakat dinamik koşullar altında istinat duvarına etki eden kuvvetleri hesaplamak statik duruma nazaran daha karmaşıktır. Sismik etkiler altında yanal zemin basınçlarının hesaplanması için ilk çalışmalar Okabe (1926) ve

Mononobe-Matsuo (1929) tarafından yapılmıştır. Mononobe-Okabe tarafından geliştirilen yöntem daha sonra geliştirilen yarı-statik yöntemler için referans kabul edilmiştir. Yarı-statik yöntemler ile hesaplamalar yapılırken en önemli nokta doğru deprem ivme değerlerinin seçimidir.

Gelişen teknoloji ile birlikte uzun süreler alan ve sonuca ulaşılması zor olan istinat duvarlarının, sismik etkiler altındaki davranışlarının analizi için depremin çevrimsel etkileri de dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan bilgisayar programları geliştirilmiştir. Hesap süresi ne kadar kısalmış olsa da yarı-statik yöntemler ile yapılan hesaplamalar sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan hesaplamalara göre çok daha kısa sürmektedir ve bu nedenden ötürü sonlu eleman çözümleri genellikle büyük çaplı projeler ve akademik çalışmalarda uygulanmaktadır (Yenidoğan, 2006).

Pitilakis & Moutsakis (1989), Kalamata limanında inşa edilmiş ağırlık tipi istinat yapısının üzerinde 13 Eylül 1986 tarihinde Kalamata'da meydana gelen 6,2 büyüklüğündeki deprem sırasındaki davranışını geleneksel ve sonlu elemanlar yöntemi ile inceleyerek sonuçları karşılaştırmıştır. Duvarın deprem esnasındaki davranışının geleneksel yöntemlerle elde edilen değerleri kontrol etmek için iyi bir örnek olduğu belirtilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler, gerçek ölçümler ve gözlemler ile elde edilen verilere oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu analiz ile geleneksel yöntemlerin temel hipotezi olan duvar boyunca oluşan yatay ivmenin hemen hemen üniform olarak dağılacığı hipotezi doğrulanamamıştır. Duvarın üst noktasındaki ivme değerinin temeldeki ivme değerinde yaklaşık % 30 daha büyük değerlerde olduğu hesaplanmıştır.

Yavan (2015), yaptığı çalışmada farklı kohezyon değerlerine sahip suya doygun kil zeminlere inşa edilmesi düşünülen istinat duvarlarının dinamik yükler altındaki davranışını Plaxis 2D programı yardımıyla incelemiştir. Analiz yapılırken yükseklikleri 5 metre, 10 metre ve 15 metre olan üç farklı istinat duvarı kullanılmıştır. Yapının dinamik yükler altında nasıl davranacağını belirlemek için Van, Petrolia-California ve Volcano-Hawai depremleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda 7.0 büyüklüğüne kadar deprem oluşma riski bulunan bölgelerde 5 metre ve 10 metre yüksekliğinde inşa edilen istinat duvarlarının yapımının güvenli olacağı, 15 metre yüksekliğinde yapılacak istinat duvarlarının yapımının güvenli olmayacağı belirlenmiştir.

Kaşlı (2019), Microsoft Excel programı üzerinden hazırladığı konsol istinat duvarı modeli üzerinden analizler yaparak DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) arasındaki farklılıkları incelemiştir. Oluşturulan modelde duvar yüksekliği (H), duvar arkası ile zemin

yüzeyinin yaptığı açı (β), zeminin tasarım kayma direnci açısı (ϕ_d') değişen parametreler olarak belirlenmiştir. Yeni deprem yönetmeliğine göre Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınan ivme katsayılarının DBYBHY (2007)'de alınan değerlere göre artış gösterdiği gözlenmiştir. Yatay eşdeğer deprem katsayısında %33, düşey eşdeğer deprem katsayısında ise %10 artış belirlenmiştir. Yatay eşdeğer deprem katsayısındaki artış dinamik koşullar altındaki zemin basınçlarında ciddi artışlar oluşturacağını ve bu artışların mevcutta bulunan dayanma yapılarını sorgulatabilecek duruma getirdiğini göstermiştir.

Akbay Arama vd. (2020), yaptıkları araştırmada parametrik analizler yardımı ile TBDY (2018)'in 16. Bölüm esaslarına dayanarak betonarme istinat duvarlarının geoteknik tasarımında zemin özelliklerinin etkilerini incelemiştir. Duvarın arka dolgusunun tümüyle granüler zeminlerden oluştuğu ve duvar temel zeminin kohezyonlu zemin olduğu varsayımıyla, istinat duvarının dinamik koşullar altındaki tasarımında kayma mukavemeti açısının, zemin birim hacim ağırlığının, sürşarj yükü ve kazı derinliğinin istinat duvarının boyutlarına olan etkisi yazılan bir Microsoft Excel-Macro programı ile irdelenmiştir. Yapılan dinamik analizlere göre elde edilen boyutlar, literatürde kabul görmüş istinat duvarı tasarımında kullanılan ön boyutlandırma sınırları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak depreme dayanıklı istinat duvarı tasarımında boyutları etkileyen en önemli etkenin kazı derinliğindeki değişim olduğu belirlenmiştir. Kazı derinliğinin arttığı durumlarda aktif basınçlar arttığından, gerekli stabilitenin sağlanması için gerekli boyutlandırmanın en etkili yöntemi duvar temel genişliğinin artırılması ile elde edilebildiği gözlenmiştir. Ayrıca literatür kaynaklarına göre önerilen ön boyutlandırma kriterleri dinamik yükler altındaki istinat duvarlarının tasarımı açısından uygun görülmemiştir. Konvansiyonel yöntemlerle elde edilen boyutların, dinamik analizler sonucuna göre 1.5-2 kat değişim göstereceği gözlemlenmiştir.

Peşin (2021), dört farklı deprem bölgesine ait şehirlerden, 3 farklı konumda yaptığı çalışmalar ile DBYBHY (2007) ile TBDY (2018) yönetmeliklerinde dayanma yapılarının hesap yöntemlerini kullanarak yapılarındaki dinamik yük değişimlerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı bölge ve farklı konumlarda zemin sınıfları da dikkate alındığında TBDY (2018) ile yapılan hesaplarda DBYBHY (2007)'de kullanılan yöntemler ile elde edilen dinamik yük değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu durum da özellikle yüksek ivme değerlerinin oluşabileceği deprem bölgelerinde daha önce yapımı tamamlanmış istinat yapılarının tahkik ve güvenlikleri, ivme değeri yüksek olan konumlarda artan dinamik yük değerleri altında yeniden hesaplanması gerektiğini ortaya koymuştur.

Seyhan (2021), yaptığı çalışmada istinat duvarlarında güvenlik sayısının makine öğrenmesi ile tahmin yöntemlerini incelemiştir. Dayanma duvarlarını stabilitesi için gerekli güvenlik sayılarının tahmin edilmesi için Python programlama dilinin Sckit-learn kütüphanesi kullanılmıştır. Makine öğrenmesi algoritmalarından k-en yakın komşu, rastgele orman, polinom regresyon ve gradyan artırılmış regresyon ağacı kullanılarak tahminler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda oluşturulan yazılım sayesinde hesaplamaya gerek olmadan, kısa bir süre içerisinde sonuca ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. Yöntemden elde edilen matematiksel modelin, benzer fiziksel problemlere uygulanarak problemi özetleyen kabul edilebilir bir matematik model oluşturacağı belirlenmiştir.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez kapsamında rijit konsol istinat duvarlarının, TBDY (2018)'in önerdiği hesap yöntemleri, kabuller ve sınırlamalar ile tasarımı ele alınacaktır. TBDY (2018)'de yer alan yeni hükümlere göre statik ve dinamik analizlerin nasıl yapılması gerektiği gösterilmiştir. Yönetmelikte belirlenen yeni yöntemler ışığında konsol tipi istinat yapılarının statik ve dinamik koşullar altındaki analizi için Visual Studio üzerinden C programlama dili kullanılarak statik ve yarı-statik çözüm yöntemlerini kullanan bir yazılım programı geliştirilecektir. Tamamen TBDY (2018)'e uygun olarak geliştirilen bu program ile konsol tipi istinat yapılarının konvansiyonel yöntemler ile zor olan tasarım ve stabilite hesaplarının kolaylaştırılması ve hataların azaltılması amaçlanmaktadır.

1.2. İstinat Yapıları ve Türleri

İstinat yapıları yükseklik farkı fazla olan yerlerde zemini veya diğer malzemeleri tutmak amacıyla inşa edilen yapılardır. Tutulmaya çalışan zemin yapı üzerine itme etkisi uygular ve yapının kayma veya devrilme eğilimi göstermesine neden olur. İstinat yapıları üç ayrı başlık altında sınıflandırılabilir;

- Rijit istinat yapıları
- Yarı rijit istinat yapıları
- Esnek istinat yapıları

İstinat yapısının türü, elde bulunan yapı malzemeleri, yer altı su seviyesi, dolgu için kullanılacak kohezyonsuz granüler malzemenin türü, istenilen yükseklik, yerel şartlara uygunluğu ve kullanım amacına bağlı olarak belirlenir.

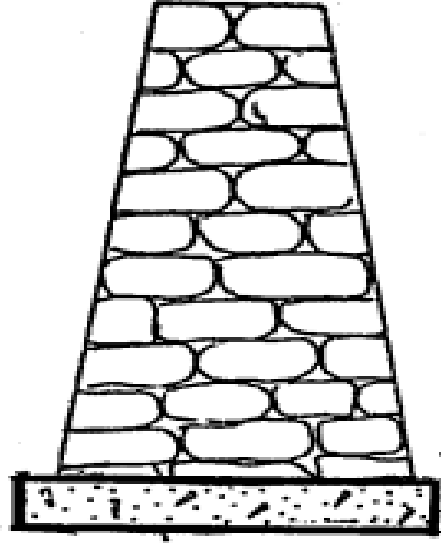
Rijit istinat yapıları, yanal basınca karşı dirençlerini kendi ağırlıkları ile sağlayan istinat yapılarıdır (NAVFAC, 1984). Statik ve dinamik etkiler sonucunda oluşan kuvvetler ile tabanda kayma veya devrilme, arkasında duran zemin ile birlikte toptan göçme gibi yapı davranışları gösterebilirler. Rijit istinat yapısı tipleri; ağırlık tipi, yarı ağırlık tipi, konsol duvar, eşikli konsol duvar, payandalı duvar, ters payandalı duvar başlıkları altında incelenebilir.

Yarı rijit istinat yapıları hem zeminin itkisini karşılayarak hem de basıncın önemli bir kısmını zeminin kendisine aktararak ve belirli limitin ötesinde hareket ederek işlevlerini yerini getiren duvar tipidir. Kafes ve sandık tipi istinat duvarları bu grupta incelenir.

Esnek istinat yapıları, temel zemininin 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 (TS-7994, 1990). Bu tip istinat yapıları, zemin itkileri altında, alt uçlarından dönmeyen, denge hesaplarında kendi ağırlıkları hesaba dahil edilmeyen, eğilme rijitlikleri bakımından diğer tip duvarlara göre daha esnek olan palplanş perdesi gibi yapı elemanlarıdır.

1.2.1. Ağırlık Tipi İstinat Duvarı

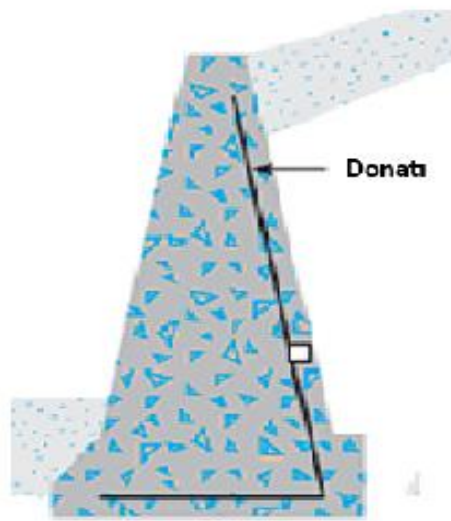
Ağırlık tipi istinat duvarı, özellikle yüksek yer değiştirme potansiyeline sahip zemin, kaya veya diğer dolgu malzemelerini tutmak için kullanılan bir istinat duvarı türüdür. Kagir istinat duvarı olarak bilinen, çimento veya kireç harçlı taş duvar örgülü ya da demirsiz betondan yapılan ağırlık istinat duvarları, genel zemin itkisini kendi ağırlıklarıyla dengelemeye çalışırlar (Yıldız, 2015). Duvar perde yüzeyine su etkisi ile oluşacak olan yanal basınçları azaltmak, yer değiştirmeyi ve zemin hareketini önlemek için genellikle duvar kesitine yerleştirilen drenaj sistemleri ile inşa edilirler. Tipik bir ağırlık tipi istinat duvar modeli Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ağırlık tipi istinat duvarı örneği (TS-7994, 1990).

1.2.2. Yarı Ağırlık Tipi İstinat Duvarı

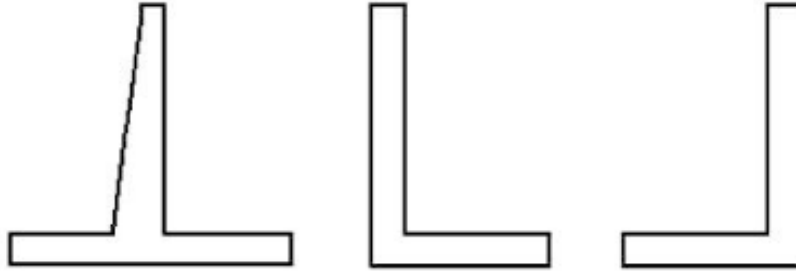
Büyük temel genişliklerinin açıldığı durumlarda gövde malzemesinden tasarruf edilmesi için temelin ve perdenin betonarme yapıldığı istinat duvarı tipidir. Şekil 2’de yarı ağırlık tipi istinat duvar modeli gösterilmektedir.



Şekil 2. Yarı ağırlık tipi istinat duvarı (Das, 2010).

1.2.3. Konsol Duvar

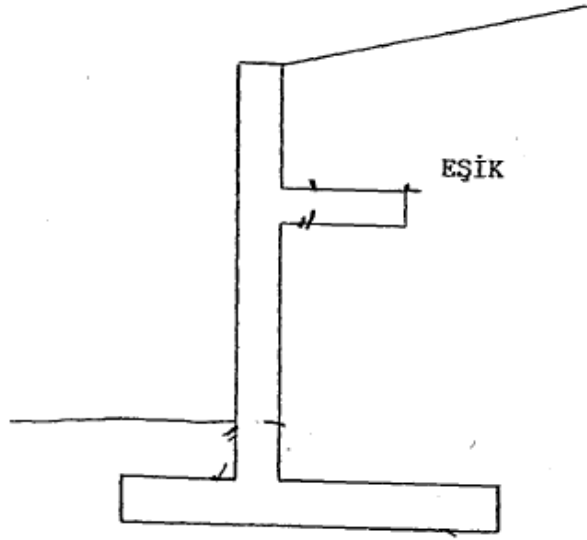
En yaygın kullanılan istinat yapısı türüdür. Betonarme olarak inşa edilen bu duvarlar konsol mantığı ile aynı çalışır. Ağırlık yapılarına göre daha ekonomik ve daha narin kesitlere sahip yapılardır. Konsol duvarlarda yükseklik ile maliyet doğru orantılıdır. Ekonomik maksimum yükseklik ise 7,5 metre dolaylarındadır. Bu tür duvarlar, topuk arkasındaki temel uzun tutularak üzerine binen toprağın itkisinden faydalanmaktadırlar. Direnen kuvvetlerin yeterli olmaması durumunda zemin itkisi duvarı öne doğru kaydırabilir. Genel olarak Şekil 3'te gösterildiği gibi L, ters konsol L veya T şeklinde olabilmektedir.



Şekil 3. Farklı kesitlere sahip konsol duvarlar

1.2.4. Eşikli Konsol Duvar

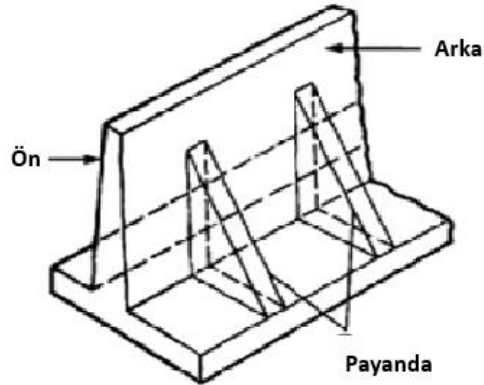
Bu türde, konsol ve temel birleşim bölgesinde oluşacak olan maksimum momentin bir ve iki eşiğe gelen düşey zemin yükünün oluşturacağı ters yöndeki momentler ile karşılanması temel ilkedir. Tabana paralel olarak duvar sırtına bir veya birkaç eşik inşa edilebilir. Eşiklerin yeri, sayısı ve genişliği çeşitli deneme hesapları yapılarak belirlenir (Emir, 2005). Şekil 4'te eşikli konsol duvar örneği gösterilmiştir.



Şekil 4. Eşikli konsol duvar örneği (TS-7994, 1990).

1.2.5. Payandalı Duvar

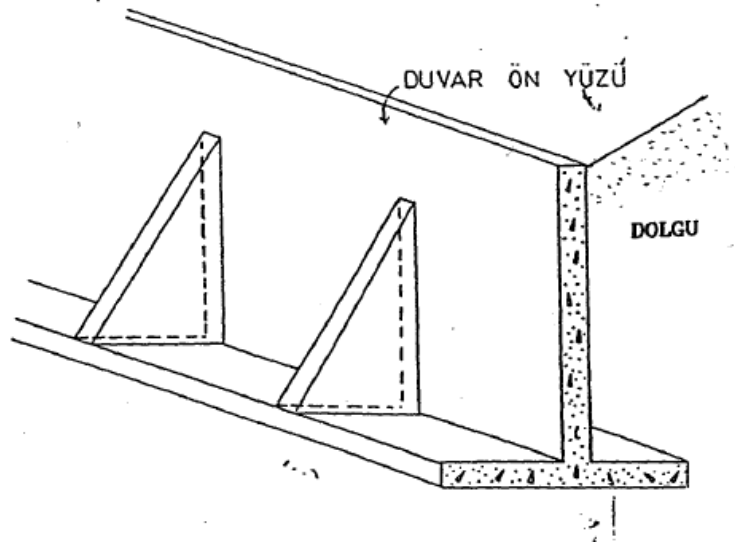
İstinat duvarına gelen yüklerin artması ve duvarın yüksek olması istendiği durumlarda payandalı konsol duvarlar tercih edilir. Duvarın arkasındaki zemin veya diğer dolgu malzemesi, duvarda yer alan kama şeklindeki payandalar tarafından desteklenir. Yapının uzun kenarındaki eğilme momenti etkilerini azaltmak amacıyla yapıya bu payandalar eklenir. Yükseklikleri 8 metreden az olan duvarlar için payanda gerekmemektedir. Şekil 5’te payandalı istinat duvarı örneği gösterilmiştir.



Şekil 5. Payandalı duvar örneği (Bowles, 1995).

1.2.6. Ters Payandalı Duvar

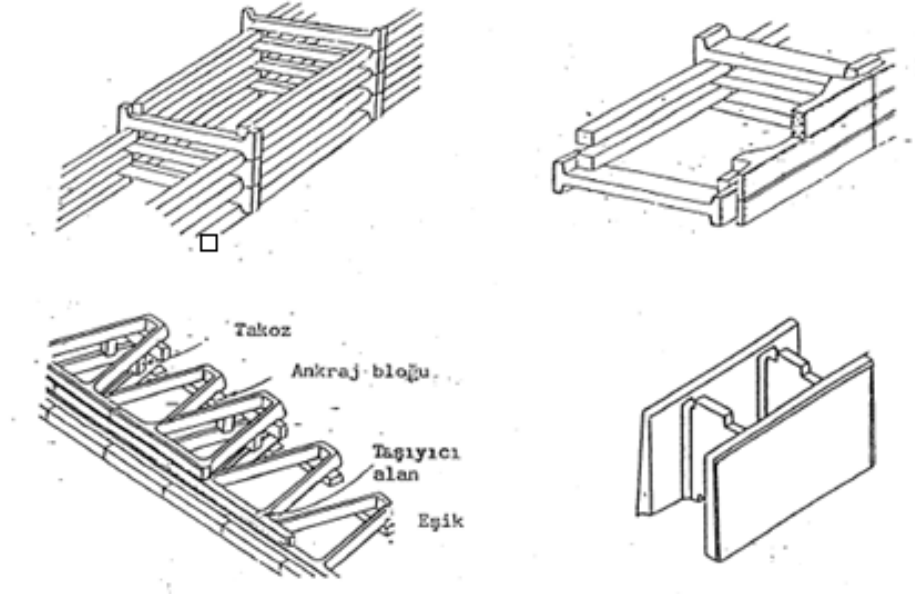
Payandaların önde bir engel yaratmayacağı durumda kullanılmaktadırlar. Bu duvar tipinin kullanılmasıyla payanda basınca çalıştığından konsol ve temeldeki beton miktarında önemli azalmalar sağlamaktadır. Buna karşın düşey zemin yükü kısa olan topuk üzerine etkiğinden duvar stabilitesine katkısı daha az olmaktadır (TS-7994, 1990). Şekil 6’da ters payandalı duvar örneği gösterilmiştir.



Şekil 6. Ters payandalı duvar örneği (TS-7994, 1990).

1.2.7. Kafes Tipi İstinat Duvarı

Birbirine geçmeli betonarme kirişler ile istenen uzunluk ve yükseklikte birbirine bağlı hücrelerle oluşturulur (TS-7994, 1990). Bu yapı elemanları ile kurulan kafeslerin içi taşla, gerektiğinde daneli malzemeyle doldurulur. İçi dolu olan kafes kutular istenilen boyutlara göre yan yana veya üst üste konularak istinat duvarı inşa edilir. Kafes tipi istinat duvarını oluşturabilecek hücre örnekleri Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kafes tipi istinat yapısını oluşturan hücreler (TS-7994, 1990).

1.2.8. Sandık Tipi (Gabion) İstinat Duvarı

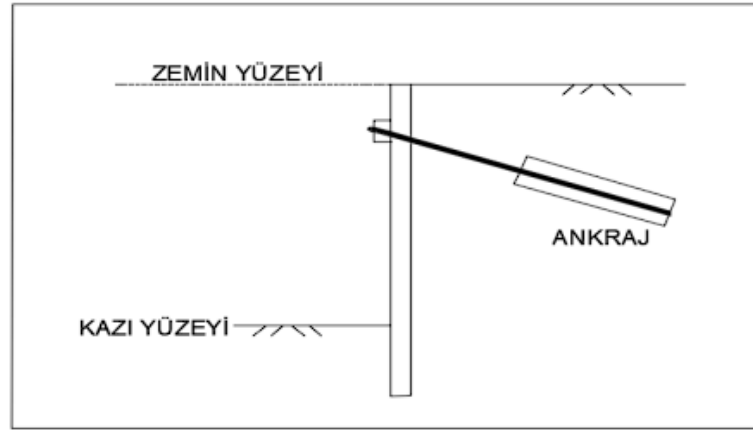
Paslanmaz çelik teller ile imal edilen kafes şeklinde tel örgülerin içerisine büyük yarıçaplı kaya dolgu malzemeleri yerleştirilerek inşa edilmektedirler. Genel sandık boyutları 1x1 (metre) uzunluğunda 2 ile 4 metre aralığındadır. Üst üste yerleştirilen bu sandıklar ile sandık tipi istinat duvarı inşa edilir. Kalın duvar gövdesi olması sebebiyle drenaj sorunu ile karşılaşılmaz. Bu tür istinat duvarlarında farklı oturmalarından dolayı yapısal problemler ile karşılaşılmaz (TS-7994, 1990). Farklı tiplerde örnek olarak inşa edilmiş sandık tipi istinat yapıları Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Farklı tiplerde inşa edilmiş sandık tipi istinat yapıları (Ramli, Karasu ve Dawood, 2013).

1.2.9. Kazıklı Perdeler

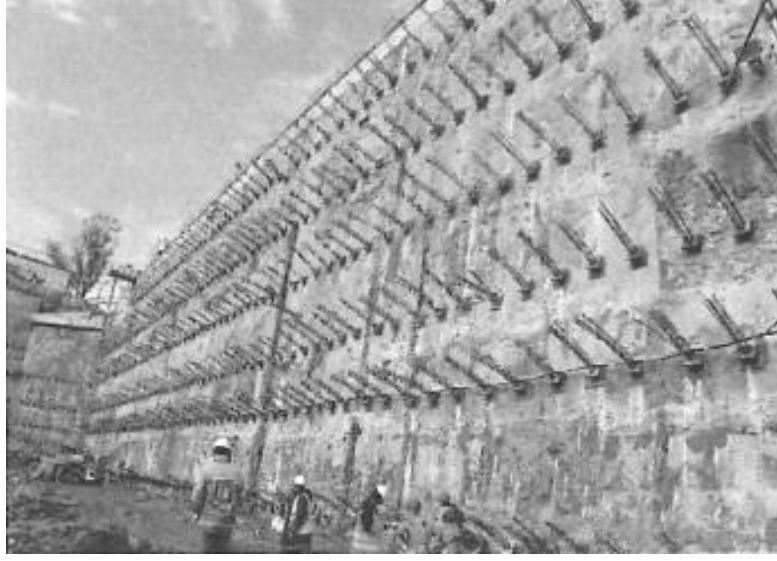
Zemin özelliklerinin zayıf ve yetersiz olduğu, desteklenmesi gereken zemin yüksekliğinin fazla olduğu durumlarda yerinde dökme betonarme fore kazıkların yan yana dizilmesi ile oluşturulan istinat yapılarıdır. Zemin durumuna göre kazıklar ankrajlar ile desteklenebilir. Kazık çapları zemine bağlı özelliklere göre 45-80 cm arasında değişebilir (TS-7994, 1990). Bir kazıklı perde yapısı bileşenleriyle birlikte Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Kazıklı perde (Peşin, 2021)

1.2.10. Diyafram Duvar

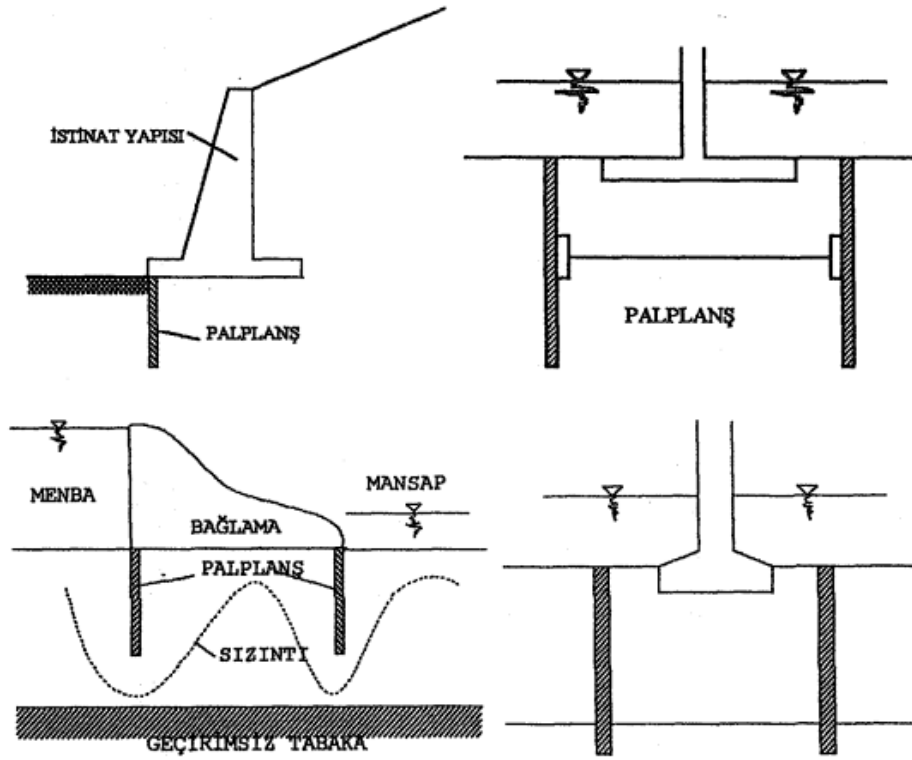
İksa sistemlerinde temel çukurunun sınırları boyunca zemin yükünü taşıyan, hidrostatik basınç altında zeminde kabarmayı ve sızdırmazlığı sağlama amacıyla inşa edilen istinat yapılarıdır (Karadüz ve Çimen, 2019) Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu derin kazılarda ideal bir çözüm olarak kullanılabilirler. Yapımı tamamlanmış bir diyafram duvar örneği Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Diyafram duvar örneği (KDYHY, 2022)

1.2.11. Palplanş Perdeler

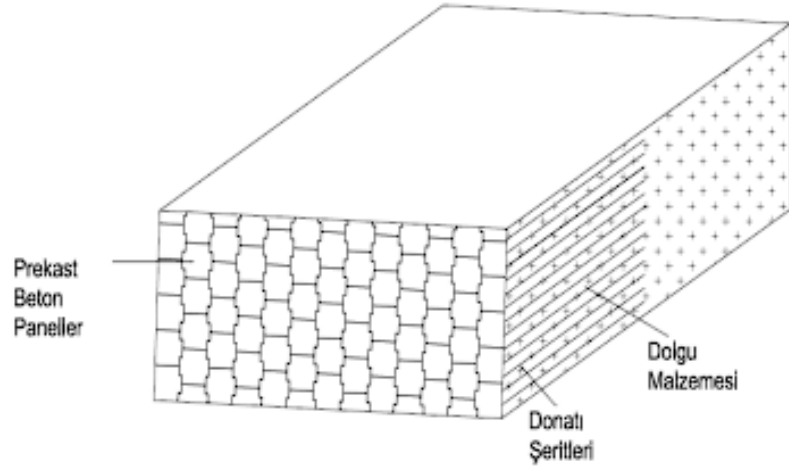
Bir zemin kütlelerini tutmak amacıyla teker teker dizi halinde zemin içerisine çakılan elemanlardan oluşan düşey sürekli duvarlardır. Zemin tarafından etki eden yatay yüklerin büyük kısmını, düşey yüklerin ise çok az bir kısmını tutabildiklerinden statik bir sistem içerisinde düşey olarak inşa edilmiş kiriş olarak düşünülebilirler (Cerrahoğlu, 1994). Su tutma yapılarının yapımında kullanılacağı gibi diğer istinat duvarlarının yapımı sırasında suyu inşaat alanından uzak tutmak için de kullanılabilirler. Ayrıca hafif yapılarda üst zemin tabakasının istinat duvarını desteklemek için yeterli olmadığı durumlarda da kullanılabilirler. Farklı uygulama alanlarında kullanılan palplanş perdelerin örnekleri Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 11. Palplanş perdelerin çeşitli uygulama alanları (Cerrahoğlu, 1994)

1.2.12. Donatılı Zemin İstinat Duvarları

Bir diğer adıyla toprakarme duvar olarak adlandırılan donatılı zemin duvarları geleneksel inşa yöntemleri ile yapılan istinat yapılarına göre daha esnek yapılardır. Ana yapım ilkesi sıkıştırılan dolgu ile içerisindeki donatının birlikte çalışmasıdır. Zeminin çekmeye karşı olan zayıflığı, araya yerleştirilen metal veya polimer donatılar sayesinde giderilmektedir. Kullanılan donatılar ızgara veya şerit şeklindedir (Tezcan & Buket, 1999). Kalıp ihtiyacının olmaması, ekonomik ve hızlı inşa edilebilir olması, estetik bir görüntü sunması sebebiyle ülkemizde de günümüz şartlarında sıkça tercih edilmektedir. Bir toprakarme duvarın ana bileşenleri Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Donatılı zemin istinat duvarı ana bileşenleri (Yılmaz, 2018).

1.2.13. Berlin Duvarı

Kapasitesini düşey aralıklı tekil elemanların kazı taban kotu altındaki soket boyu ile temin eden destek yapılarıdır. Düşey elemanların arasındaki zemin, düşey elemanlara mesnetlenen kazıya paralel aşağı kaydırılarak yerleştirilen ahşap veya betonarme plakalar ile tutulur. Düşey elemanlar delme veya çakma yöntemi ile yerleştirilebilir. Bu tür destek sistemleri genellikle yer altı suyu olmayan veya su seviyesi düşürülmüş kuru ortamlarda kullanılır. Sahada uygulanmış bir berlin duvarı örneği Şekil 13’de görülmektedir.



Şekil 13. Berlin duvarı örneği (KDYHY, 2022)

1.3. Yanal Zemin Basınçları

Bir istinat yapısının doğru tasarımı ve inşası için istinat yapılarının tuttuğu zemin kütlelerinin yapıya uygulayacağı yanal kuvvetlerin tam olarak bilinmesi gereklidir. Bu yanal kuvvetlerin oluşmasına yanal zemin basınçları sebep olmaktadır. Yanal zemin basınçları, zeminin ve duvarın hareketinden çok fazla etkilenir.

Yanal zemin basıncı hesaplanırken istinat duvarının tipi ve yer değiştirmesinin miktarı, zeminin birim hacim ağırlığı, zeminin kayma mukavemeti parametreleri ve drenaj koşulları ana parametrelerdir (Yenidoğan, 2006). Bir istinat duvarının stabilite tahkiklerinin güvenlikte kalması ve yapının güvenliğinin sağlanması için yanal zemin basınçları doğru şekilde hesaplanmalıdır.

Yanal zemin basınçlarını belirlemek için birçok teori ortaya konulmuştur. Bu teorilerin birçoğu kayan zemin kaması prensibine dayanmaktadır. Basit bir ifadeyle, istinat duvarının aniden kaldırıldığı durumda üçgen şeklinde bir zemin kamasının kayma düzlemi boyunca aşağı doğru kayacağı ve istinat duvarının tutması gereken bu zemin parçası kamayı oluşturacağı varsayımına dayanmaktadır (Brooks ve Nielsen, 2010).

Yanal zemin basınçlarını üç farklı durum için incelenmektedir. Duvarın hiçbir şekilde hareketine izin verilmediği durumda duvar sükunetteki yanal zemin basıncı etkisine maruz kalacaktır. İkinci olarak, duvarın arka zeminden uzaklaşma hareketi ile zeminin harekete geçmesi sonucunda aktif zemin basıncı ortaya çıkacaktır. Son olarak da duvarın arka zemine hareket etmesiyle birlikte zeminin hareketi sonucunda pasif zemin basıncı oluşacaktır.

Sükunet durumunda yanal zemin basıncı, eğer istinat duvarının yer değiştirmesine izin verilmiyorsa herhangi bir derinlikte oluşan yanal zemin basıncı, oluşan düşey gerilmeler ile sükunet durumunda zemin basıncı katsayısı (K_0) ile çarpılarak hesaplanabilir. Şekil 14'te statik durumda arkasında γ birim hacim ağırlığına sahip kuru zemin bulunan bir AB istinat duvarında z derinliğindeki yatay (σ_h') ve düşey efektif (σ_0') gerilmeler gösterilmiştir.

Aktif ve pasif zemin basınçları ile ilgili Coulomb (1776) ve Rankine (1857) tarafından iki önemli zemin basıncı teorisi ortaya konulmuştur. Bu teorilerde hesaplanan yanal basınçların tümü statik durumdaki zemin basınçlarını temsil etmektedir.

1.3.1. Statik Koşullar Altında Yanal Zemin Basınçları

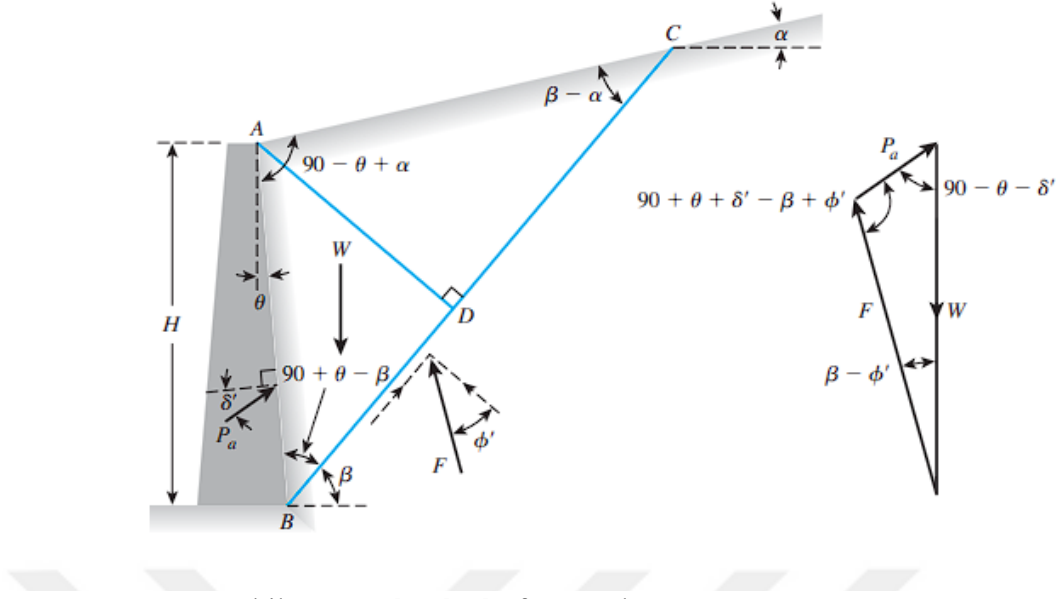
İstinat yapılarının tasarımı statik ve dinamik koşullar altında iki ayrı başlık altında ele alınır. Statik koşullar altındaki yanal itki değerleri ile dinamik koşullar arasındaki yanal itki değerleri arasında sismik etkiler nedeniyle farklılıklar oluşmaktadır. Bu farklılıklar beraberinde stabilite kontrollerindeki hesaplanan güvenlik katsayılarında değişiklikler meydana getirmektedir. Yanal zemin basınçları için iki teori bulunmaktadır:

A. Coulomb Aktif ve Pasif Zemin Basıncı

Duvara etki eden yanal zemin basınçlarını belirlemenin en eski metotlarından biri Coulomb tarafından ortaya konulmuştur. Coulomb aşağıdaki varsayımları yaparak zemin basınçlarının hesaplanacağını belirtmiştir.

- Zemin homojen ve izotropdur.
- Sürtünme kuvvetleri kayma yüzeyi boyunca üniform dağılmaktadır.
- Duvarın öne ve arkaya hareketi sırasında, duvar arkasında oluşan ve kayan zemin kütesinin dengesi dikkate alınmalıdır.
- Duvar arkası pürüzlüdür.
- Granüler zemin koşullarında geçerlidir.
- Kohezyonsuz zeminlerde, duvar arkasından kayan kütle, kama şeklindedir.

Şekil 15'te; AB, zemini destekleyen istinat duvarının arka yüzeyi ve α , eğimi sabit olan yüzeyin düşeyle yaptığı açı olduğu varsayılmıştır. BC ise üçgen şeklindeki oluşacak olan göçme yüzeyidir. Oluşacak olan ABC göçme kamasının stabilite değerlendirmesinde; W zemin kamasının ağırlığından oluşacak olan kuvveti, F BC göçme yüzeyindeki kayma ve normal gerilmelerin bileşkesi, P_a ise duvarın birim uzunluğuna etki eden aktif zemin basıncıdır. Aktif zemin basıncının (P_a) yönü duvar yüzeyine çizilen normal ile δ' açısını yapmaktadır ve bu açı zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısıdır (Das, 2010).



Şekil 15. Coulomb aktif zemin basıncı (Das, 2010).

Sinüs teoreminden hareketle;

$$K_0 = \frac{W}{\sin (90 + \theta + \delta' - \beta + \phi')} = \frac{P_a}{\sin (\beta - \phi')} \quad (4)$$

$$P_a = \frac{\sin (\beta - \phi')}{\sin (90 + \theta + \delta' - \beta + \phi')} W \quad (5)$$

Denklem (5) aşağıdaki forma dönüştürülebilir.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left[\frac{\cos (\theta - \beta) \cos (\theta - \alpha) \cos (\beta - \phi')}{\cos^2 (\beta - \alpha) \sin (90 + \theta + \delta' - \beta + \phi')} \right] \quad (6)$$

Burada γ dolgu birim hacim ağırlığı temsil etmektedir. $H, \gamma, \theta, \alpha$ ve δ' sabit değerli, β açısının değeri ise değişkendir. Maksimum P_a değerinde kritik β açı değerini bulabilmek için;

$$\frac{dP_a}{d\beta} = 0 \quad (7)$$

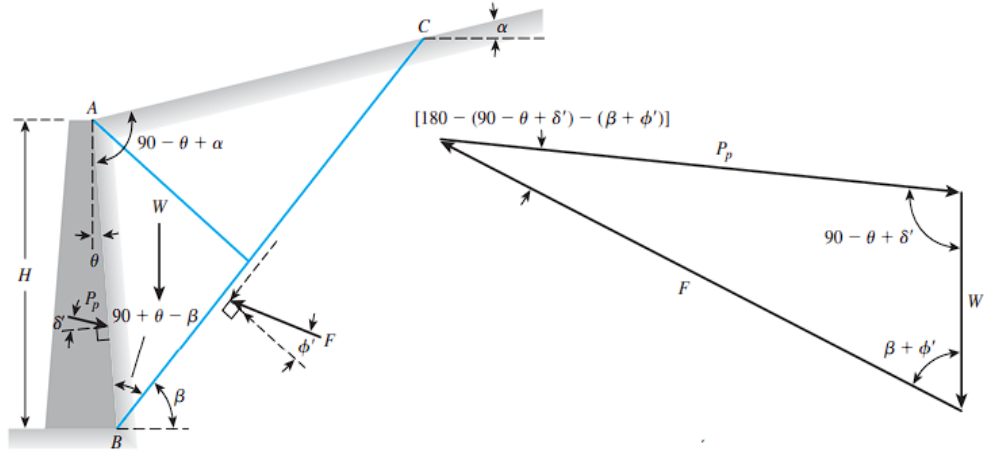
Denklem (7) çözüldüğünde ve elde edilen β parametresinin eşitliği Denklem (6)'da yerine yazıldığında Coulomb aktif zemin basıncı Denklem (8)'deki gibi elde edilir.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma K_a H^2 \quad (8)$$

Burada K_a aktif zemin basıncı katsayıdır ve genel eşitliği Denklem (9)'da görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$K_a = \frac{\cos^2 (\phi' - \theta)}{\cos^2 \theta \cos (\delta' + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \phi') \sin (\phi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta) \cos (\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (9)$$

Şekil 16'da arka dolgusu kohezyonsuz istinat duvarı ve pasif durumda oluşan ABC kamasının kuvvet dengesi gösterilmiştir. P_p Pasif kuvvet gösterimini temsil etmektedir. Diğer gösterimlerin tümü Coulomb'un aktif basınç teorisindeki gösterimler ile aynıdır. Aktif durumda uyguladığımız benzer işlemler sonucunda pasif zemin basıncı eşitliği Denklem (10)'daki gibi elde edilecektir (Das, 2010).



Şekil 16. Coulomb pasif zemin basıncı (Das, 2010).

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma K_p H^2 \quad (10)$$

Burada K_p pasif zemin basıncı katsayısıdır ve genel denklemini Denklem (11)'de gösterilmiştir.

$$K_p = \frac{\cos^2 (\phi' + \theta)}{\cos^2 \theta \cos (\delta' - \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \phi') \sin (\phi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta) \cos (\alpha - \theta)}} \right]^2} \quad (11)$$

B. Rankine Aktif ve Pasif Zemin Basıncı

Rankine, Coulomb'un elde ettiği denklemi, duvar-zemin arasında sürtünmenin olmadığı varsayımını yaparak basitleştirmiştir. Bu nedenle Rankine denklemi istinat duvarlarının tasarımında daha klasik bir yaklaşım haline gelmiştir. Arka dolgusu düz olan ve duvar sürtünmesinin olmadığı koşullarda aktif basınç katsayısı her iki yaklaşımda da aynı olacaktır (Brooks ve Nielsen, 2010).

Rankine dolgu zeminde herhangi bir noktada minimum yanal gerilmeyi elde edebilmek için Mohr dairesindeki kavramları kullanarak zeminde bir noktada oluşan gerilmeyi ele almıştır. Bu minimum yanal gerilme aktif durumda oluşan gerilmeye karşılık gelmektedir.

Rankine'nin yaklaşımı konsol duvarların tasarımı için oldukça elverişlidir. Bu yöntemde daha büyük aktif zemin basınçları öngörülmektedir. Ayrıca birçok istinat duvarı tasarımı için daha basit, dolgu eğimi ve sürşarj yükü gibi etkileri daha kolayca ele alabilmektedir.

Rankine bu şartlarda istinat duvarının arkasında bir noktada oluşan basıncı Denklem (12)'deki şekilde ifade etmiştir.

$$P_a = K_a \sigma_v' - 2c\sqrt{K_a} \quad (12)$$

Burada K_a minimum aktif basınç katsayısı, σ_v' belirlenen noktada oluşan düşey efektif gerilme ve c ise zeminin kohezyon değeridir.

Yatay ile β açısı yapan dolguda $\beta \leq \phi$ sonsuz şev çözümünü kullanarak kohezyonsuz bir dolgu için Rankine, aktif zemin basıncı katsayısının Denklem (13)'deki eşitlik ile hesaplanacağını belirtir.

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (13)$$

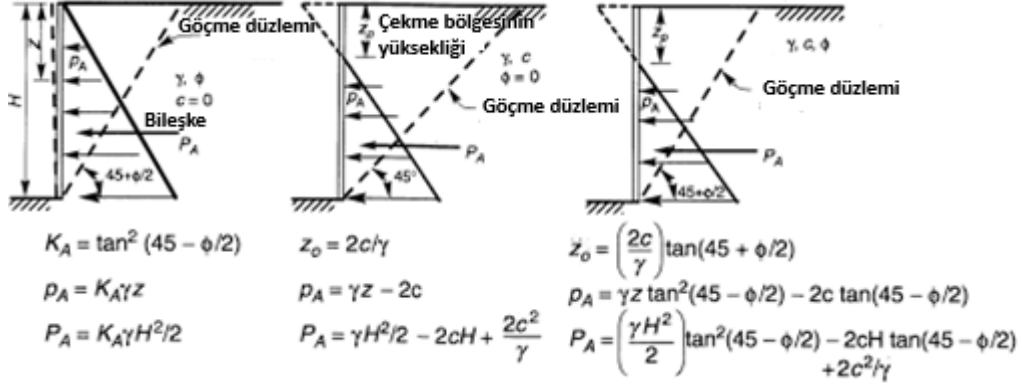
Arkadaki dolgunun düz olduğu durumda yani $\beta = 0$ olduğunda yeni eşitlik Denklem (14)'e dönüşür.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (14)$$

Kohezyonlu zeminler duvarın üst kısmı ile arka dolgu arasında çekme gerilmeleri oluşturacağını gösterse de sahada gerçek koşullarda bu gerilmeler oluşmayacaktır. Kohezyonlu zeminler sünme davranışı göstermeleri, gerilme gevşemesi özellikleri ve düşük permeabiliteye sahip olmaları sebebiyle dolgu malzemesi olarak kullanılmaları uygun değildir. Rankine teorisi homojen, kuru ve kohezyonsuz dolgu zeminler için aktif zemin basıncı dağılımını arka dolgu yüzeyine paralel bir üçgen dağılım olarak öngörür. Aktif zemin basıncının duvara etkidiği noktanın ise H yüksekliğindeki bir duvar tabanından $H/3$ kadar yukarıda olacağını ve Denklem (15)'deki şekilde hesaplanacağını belirtmiştir (Kramer, 1996).

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (15)$$

Şekil 17'de sırasıyla sürtünmeli duvar kohezyonsuz dolgu, sürtünmesiz duvar kohezyonlu dolgu ve hem kohezyonlu hem sürtünmeli duvar için oluşacak aktif zemin basıncı denklemleri gösterilmiştir.



Şekil 17. Üç ayrı dolgu ve duvar sürtünmesi şartlarında oluşan minimum Rankine aktif zemin basıncı dağılımları (Kramer, 1996).

Rankine maksimum pasif gerilmelerin oluşacağı durumlar için pasif zemin basıncının Denklem (16)'da görülen eşitlik ile elde edileceğini belirtmiştir.

$$P_p = K_p \sigma_v' + 2c\sqrt{K_p} \quad (16)$$

Burada K_p pasif zemin basıncı katsayısıdır. Arkadaki yatay dolguyu tutan yüzeyi düz duvarlar için pasif zemin basıncı Denklem (17)'deki şekilde hesaplanır.

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (17)$$

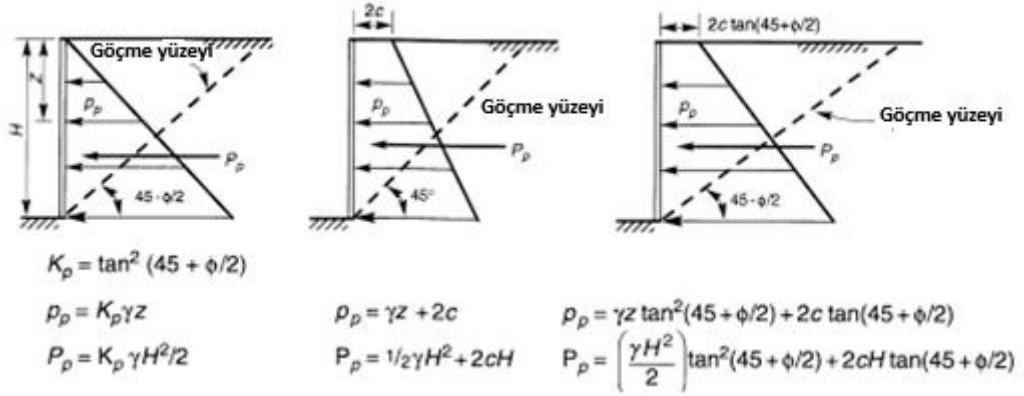
Yatay ile β açısı yapan dolgularda ise Denklem (18) kullanılacaktır.

$$K_p = \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \quad (18)$$

Rankine teorisi homojen, kuru ve kohezyonsuz dolgu zeminler için pasif zemin basıncı dağılımını arka dolgu yüzeyine paralel bir üçgen dağılım olarak öngörür. Pasif itkinin duvara etki ettiği noktanın ise H yüksekliğindeki bir duvar tabanından $H/3$ kadar yukarıda olacağını ve Denklem (19)'da görüldüğü eşitlik ile hesaplanacağını belirtmiştir (Kramer, 1996).

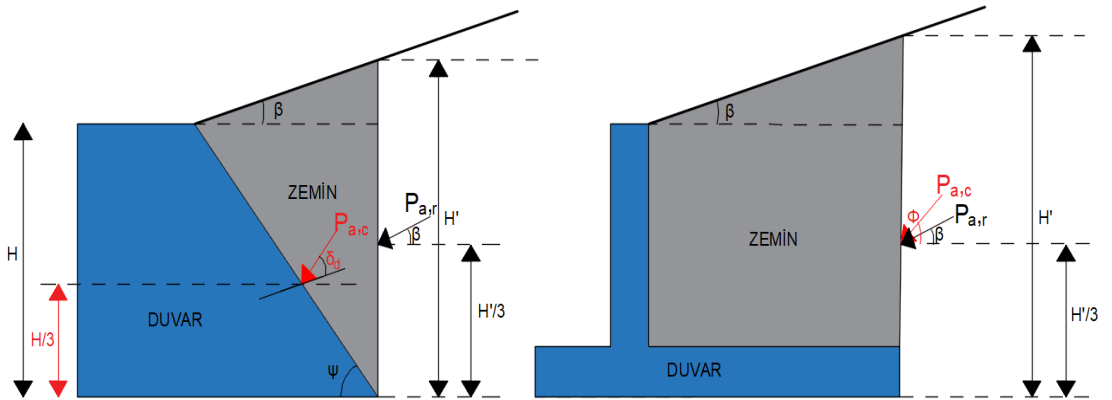
$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (19)$$

Şekil 18’de sırasıyla sürtünmeli duvar kohezyonsuz dolgu, sürtünmesiz duvar kohezyonlu dolgu ve hem kohezyonlu hem sürtünmeli duvar için oluşacak pasif zemin basıncı denklemleri gösterilmiştir.



Şekil 18. Üç ayrı dolgu ve duvar sürtünmesi şartlarında oluşan maksimum Rankine pasif zemin basıncı dağılımları (Kramer, 1996).

Coulomb ve Rankine teorilerine göre yanal zemin itkilerinin etkidği noktalar ağırlık ve konsol istinat duvarları için aşağıda Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Coulomb ve Rankine teorilerine göre yanal zemin itkileri (Sivrikaya, 2021a)

1.3.2. Dinamik Koşullar Altında Yanal Zemin Basınçları

Bir istinat yapısının sismik etkiler altındaki performansı deprem sırasında duvara etki eden toplam basınçlara bağlıdır. İstinat duvarında hasarı meydana getirecek dinamik basınçların seviyesi, depremden önce var olan statik basınç seviyesine bağlı olarak değişir. Sismik etkiler altında istinat yapısının davranışını inceleyebilmek için duvarın başlangıçtaki statik şartlar altında analizi yapılmalıdır. İstinat yapılarının sismik etkiler altındaki davranışları karmaşık bir zemin-yapı etkileşimidir. Bu sebeple tasarım yöntemleri genellikle kolaylaştırılmış varsayımlardan elde edilen sayılara dayanır. Bu yöntemler duvar-zemin etkileşimini her açıdan doğru şekilde göstermese de tasarım için makul bir temel oluşturmuşlardır (Kramer, 1996).

Dinamik koşullar altında yapılan istinat duvarı analizlerinde en yaygın kullanılan yöntem psödostatik yöntemidir. Bu yöntem anlaşılması ve uygulanmasının oldukça kolay olması sebebiyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Psödostatik (yarı-statik) yöntem depremin çevrimsel özelliğini ihmal eder ve depremin uyguladığı kuvveti ilave bir statik kuvvet şeklinde ele alır. Bu yaklaşımda istinat duvarı üzerine uygulanan yanal kuvvet hesaplanmalıdır. Bu yanal kuvveti hesaplamak için, kuvvetin aktif kamanın ağırlık merkezine etki ettiği varsayımı yapılmıştır. İstinat duvarı analizlerinde genellikle iki boyutlu analiz kullanılmaktadır yani duvarın uzunluğu bir birim olarak varsayılır. Psödostatik yanal kuvvet Denklem (20)'de verilen eşitlikle hesaplanır.

$$P_E = ma = \frac{W}{g} a = W \frac{a_{maks}}{g} = k_h W \quad (20)$$

Burada;

P_E : duvara etkiyen psödostatik kuvvet (kN)

m : aktif kamanın toplam kütlesi (kg)

W : aktif kamanın toplam ağırlığı (kg)

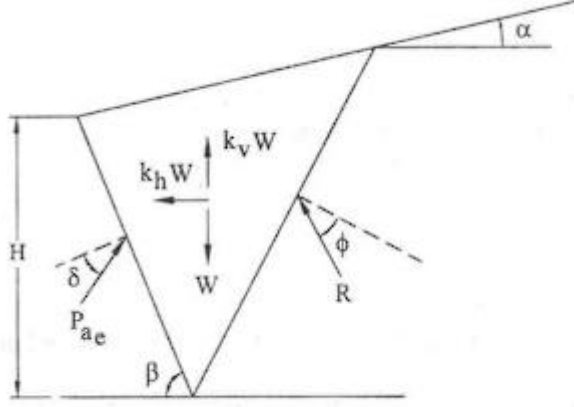
a : ivme değeri (m/s^2)

a_{maks} : pik yer ivmesi (m/s^2)

k_h : boyutsuz sismik katsayı

Aktif kama deprem sırasında hem yatay psödostatik hem de düşey kuvvetlere maruz kalabilir. Ancak düşey kuvvetler bu analizde genellikle ihmal edilir çünkü düşey psödostatik

Mononobe (1929) ve Okabe (1926), duvar üzerine etkiyen yatay psödostatik kuvveti belirlemek için denklem geliştirmiştir. Bu denklem Coulomb teorisinin bir uzantısıdır ve Denklem (23)'te görülen eşitlik ile ifade edilir. Şekil 21'de deprem sırasında psödostatik yöntemlere göre duvara etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 21. Deprem sırasında psödostatik yöntemlere göre duvara etkiyen kuvvetler (Yenidoğan, 2006).

$$P_{AE} = P_A + P_E = \frac{1}{2} K_{AE} H^2 \gamma_t (1 - k_v) \quad (23)$$

Burada;

P_{AE} : aktif zemin basıncı ve deprem kuvvetinden oluşan P_E 'nin toplamı

$$k_v = 2kh/3$$

K_{AE} için Mononobe ve Okabe, Coulomb teorisinden elde edilen K_a 'yı kullanarak aşağıdaki denklemi elde etmiştir.

$$K_{AE} = \frac{\cos^2 (\phi' - \theta - \Psi')}{\cos \Psi \cos^2 \theta \cos (\delta' + \theta + \Psi') \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \phi') \sin (\phi' - \alpha - \Psi')}{\cos(\delta' + \theta + \Psi') \cos (\alpha - \theta)}} \right]^2} \quad (24)$$

Mononobe ve Okabe Ψ için ise aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$\Psi = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{a_{max}}{g}\right) \quad (25)$$

Ayrıca Mononobe ve Okabe P_{AE} kuvvetinin duvar tabanı üzerinde $\frac{H}{3}$ mesafede etkiğini varsaymaktadır.

Seed ve Whitman (1970) geliştirdikleri denklem ile bir istinat duvarı üzerine etki eden psödostatik kuvvetlerin aşağıda (26) ile belirlenebileceğini söylemiştir.

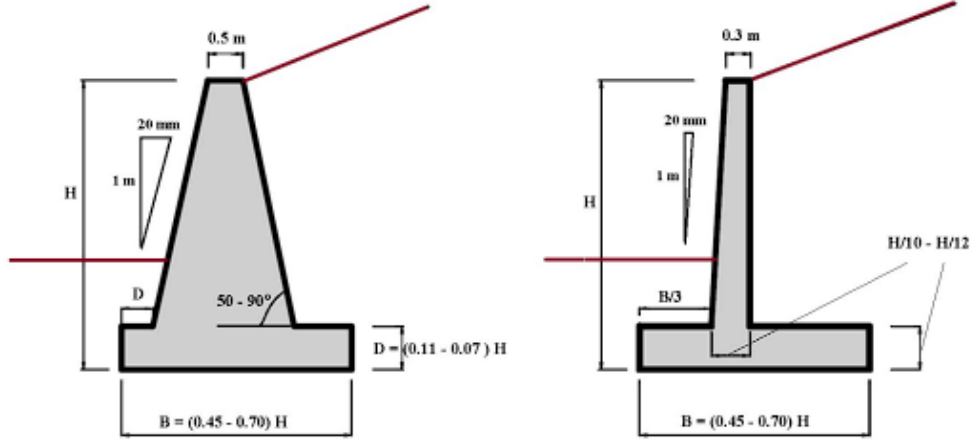
$$P_E = \frac{3}{8} \left(\frac{a_{maks}}{g} \right) (H^2 \gamma_t) \quad (26)$$

Psödostatik yöntem ile karşılaştırıldığında Denklem (22)'de $\frac{1}{2} \sqrt{K_a} = \frac{3}{8}$ olduğu durum için iki denklemin de aynı olduğu görülmektedir. Seed ve Whitman elde edilen psödostatik kuvvetin duvar tabanı üzerinde $\frac{3H}{5}$ mesafede etki ettiğini varsaymıştır.

1.4. Rijit Dayanma Yapılarının Tasarımı

Tasarım aşamasının ilk adımı olarak istinat yapısının inşa edileceği bölge ile ilgili bölgenin topografik yapısı, çevre koşulları ve iklim yapısı gibi genel bilgiler toplanır. Daha sonra arazide veya laboratuvarında yapılacak olan deneyler ile zeminin özellikleri belirlenerek arazinin zemin profili oluşturulmalıdır. Bu verilerin ardından arazideki oluşabilecek ek yük durumu belirlenmeli ve istinat duvarının türü seçilmelidir. Seçilen istinat duvarına etkiyecek yüklerin saptanmasına başlanmalı ve ön boyutlandırmaya geçilmelidir.

İstinat yapılarının ön boyutlandırılması, istinat yapısının yüksekliğine göre belirlenir. Şekil 22'de görüldüğü gibi ağırlık ve konsol tipi istinat duvarlarının ön boyutlandırmasında; temel genişliği, temel yüksekliği, ön ampatman genişliği ve duvar yüksekliği H değerine bağlı olarak değişir. Ön boyutlandırma sonrasında yapılacak olan stabilite tahkiklerine göre duvar boyutları değişebilir. Deprem etkisi altında dayanma yapıları tasarımında hem limit denge (göçme) hem de servis durumları göz önüne alınacaktır. Ayrıca istinat yapıları deprem sonrasında işlevlerine zarar vermeyecek mertebelerde yer değiştirmelere izin verilecek şekilde tasarlanabilirler (TBDY, 2018).



Şekil 22. İstinat yapılarının ön boyutlandırması (Tuğrul, 2019)

İstinat duvarlarının tasarımında ön boyutlandırma sonrasında duvara etkiyen zemin itkileri belirlenmelidir. Duvara etkiyen kuvvetler ile duvarda oluşabilecek göçme mekanizmaları irdelenmelidir. Statik şartlar altında bir istinat duvarına duvarın kendi ağırlığından kaynaklı kuvvetler, statik zemin itkileri ve varsa dış yükler etki etmektedir. Dinamik koşullarda yani deprem etkisi altında ise bu kuvvetlere dinamik zemin itkileri ve duvarın ve dolgunun ağırlığından kaynaklanan yatay yönlü itkiler dahil olmaktadır. İki durum için de istinat duvarı stabilite tahkiklerini sağlamalıdır. İstinat duvarı stabilitesi iç ve dış stabilite olarak iki başlık altında incelenebilir.

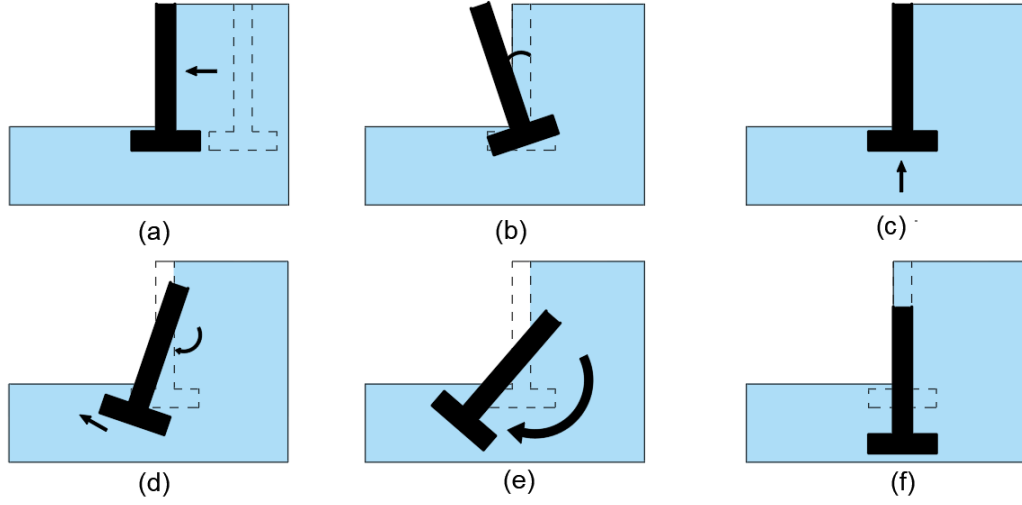
1.4.1. Dış Stabilite

İstinat yapıları tasarlanırken hangi göçme durumları ile karşılaşılacağı iyi bilinmelidir. Bir istinat duvarı statik koşullar altında; kendi ağırlığından kaynaklanan kuvvet, yanal zemin basınçları ve sürşarj yükü gibi dış yüklerine maruz kalmaktadır. Tasarımı düzgün yapılmış bir istinat duvarı kayma dayanımına yaklaşan zeminin kayma gerilmeleri de dahil tüm bu kuvvetlerin dengesini sağlayabilir. Fakat sismik etkiler ile atalet kuvvetleri ve zeminden kaynaklanan kuvvetlerin değişmesi sebebiyle kuvvet dengesi bozulabilir ve istinat duvarında kalıcı deformasyona sebep olabilir.

İstinat duvarları birçok farklı şekilde göçme durumuna gelebilir. Ağırlık tipi duvarlar kayma, devrilme ve toptan göçme gibi sebeplerle göçebilir. Konsol duvarlar da ağırlık tipi duvarlar ile aynı tipte göçme durumları ile karşılaşabilirler fakat konsol duvarlar ek olarak maruz kalacakları moment sebebiyle eğilmeden dolayı da göçebilirler (Kramer, 1996).

Bir istinat duvarında dış stabilitenin sağlanabilmesi için;

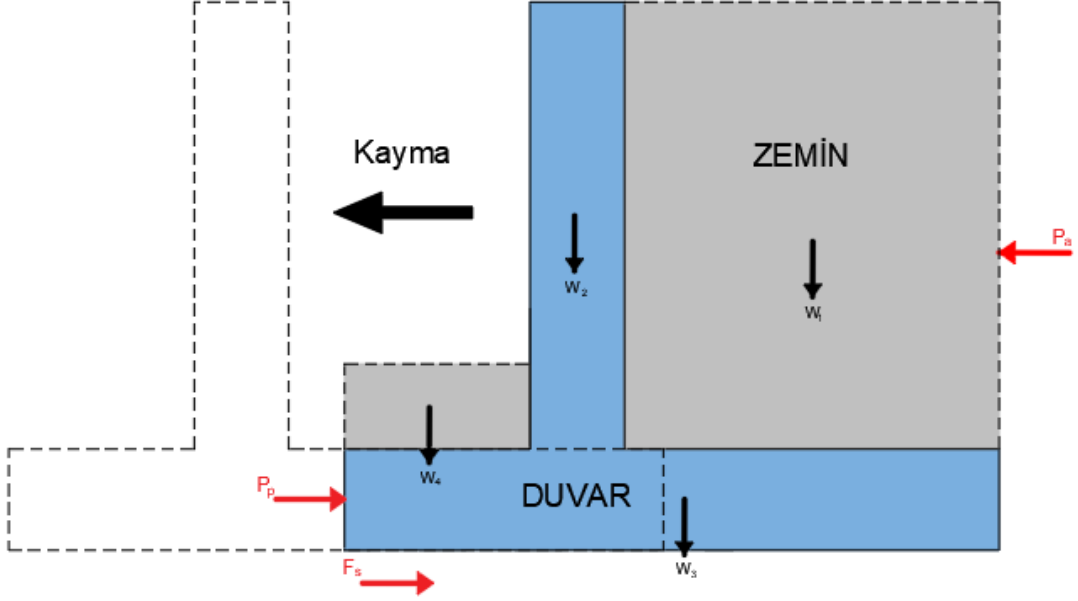
- Kaymamalı
- Dönmemeli
- Temel yükü temel genişliğinin altıda birinden fazla dış merkezli olmamalı
- Yeterli taşıma gücüne sahip olmalı
- Derin göçme problemine karşı stabil olmalı
- Çok fazla oturma yapmamalı



Şekil 23. İstinat yapısı dış stabilite göçme tipleri (Sivrikaya, 2021a).

İstinat yapıları yanal itkilerin altında öne doğru kaymamalı ve kaymaya karşı belli bir güvenlikte olmalıdır. Duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetler, duvara yanal olarak etki eden aktif kuvvetlerdir. Kaymaya karşı koyan kuvvetler ise tabanda oluşan sürtünme kuvvetleri ve ihmal edilmeyecekse pasif kuvvetlerdir. Sürtünme kuvveti duvar tabanında oluşan tüm düşey kuvvetlerin sürtünme katsayısı ile çarpımına eşit olur. Kayma tahkikinde pasif kuvvetler güvenli tarafta kalmak için genellikle ihmal edilir. Eğer zemin kohezyonlu ise temel zemini ile istinat yapısı tabanında adhezyon sebebi ile oluşan kuvvet de kaymaya karşı etki yaratır. Kaymaya karşı koyan tüm kuvvetlerin kaydırmaya çalışan kuvvetlere oranı ile güvenlik sayısı belirlenir. Güvenlik sayısının kohezyonlu zeminlerde 2'den, kohezyonsuz zeminlerde ise 1.5'ten büyük olması yapının kaymaya karşı güvenli olduğunu gösterir. Şekil 24'te bir istinat duvarını kaydırmaya çalışan ve kaymaya karşı koyan kuvvetler ile kayma şekli gösterilmiştir.

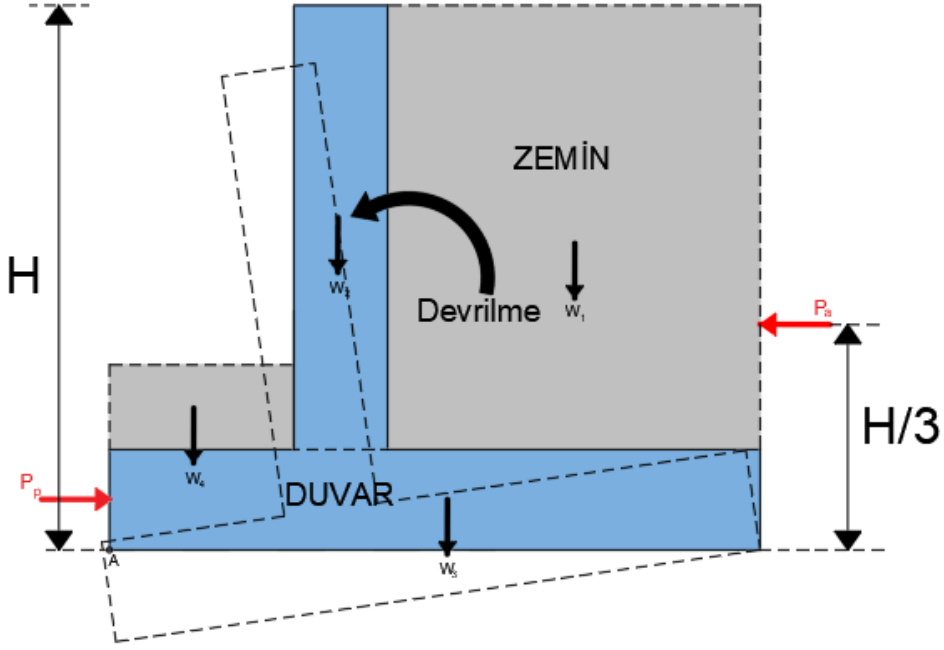
$$(G_{skayma}) = \frac{\sum F_{(kaymaya\ karşı\ koyan)}}{\sum F_{(kaydıran)}} \geq 1.5 \quad (27)$$



Şekil 24. İstinat duvarı kayma modeli

İstinat yapıları yanal basınç etkileri altında devrilmeye karşı belli bir güvenlikte olmalıdır. Duvar arkasında oluşan yanal zemin basınçları aktif yanal zemin basınçlarıdır. Bu etkiler altında istinat yapılarının öne doğru yatması veya hareket etmesi aktif durum meydana getirir. İstinat duvarının topuk noktasında yapının kendi ağırlığının oluşturduğu devrilmeye karşı koyan momentlerin $\sum M_{(karşı\ koyan)}$, yanal zemin basınçlarının aynı topuk noktasında oluşturduğu yapıyı devirmeye çalışan momentlere $\sum M_{(deviren)}$ oranı ile güvenlik sayısı (G_{sdev}) belirlenebilir. Bu güvenlik sayısının 2'den büyük olması yapının devrilmeye karşı güvenli olduğunu gösterir. Şekil 25'de bir istinat duvarını deviren ve devirmeye karşı koyan kuvvetler ile devrilme şekli gösterilmiştir.

$$(G_{sdev}) = \frac{\sum M_{(karşı\ koyan)}}{\sum M_{(deviren)}} \geq 2 \quad (28)$$



Şekil 25. İstinat duvarı devrilme modeli

İstinat yapılarında statik ve dinamik etkiler altında temel tabanında gerilmeler oluşmaktadır. Oluşan bu gerilmeler zeminin taşıma gücü kapasitesini aşmaması gereklidir. İstinat yapısının ön ampatman bölgesinde maksimum gerilmeler oluşurken, arka ampatman bölgesinde minimum gerilmeler meydana gelmektedir. Oluşan maksimum gerilmelerin azaltılması gereken durumlarda temel kesitleri büyütülebilir. Taşıma gücü kontrolü yapılırken temelde taban basıncı dağılımına dikkat edilmelidir. Temel tabanında oluşan gerilmelerin eksantrisitesi (dış merkezlik) temel taban genişliğinin altıda birinden büyük olduğu durumda oluşacak minimum gerilme değerleri negatif olacağından bu noktalarda çekme gerilmesi oluşacaktır. Temel zemini çekmeye çalışmadığından bu noktalarda temel ve zemin birbirinden ayrılacaktır. Bu sebeple analizler sonucunda eksantrisite değeri temel taban genişliğinin altıda birinden büyük ise bu istenmeyen bir durumdur ve tasarım değiştirilmelidir.

İstinat duvarının bulunduğu şevde, istinat duvarını da içine alacak şekilde kayma meydana gelmemelidir ve kaymaya karşı belli bir güvenlikte olmalıdır. İstinat duvarının derin göçme problemine karşı stabilitesi duvarın boyutlandırılması ile ilgili değildir. Bu problem tamamen zemin şartları ile ilgilidir. İnceleme sırasında duvarı kesmeyen daire şeklinde bir kayma yüzeyi belirlenir. Bu yüzey boyunca kaymaya karşı koyan ve kaydırıcı kuvvetler belirlenerek güvenlik sayısı elde edilir. Birden fazla kayma yüzeyi elde

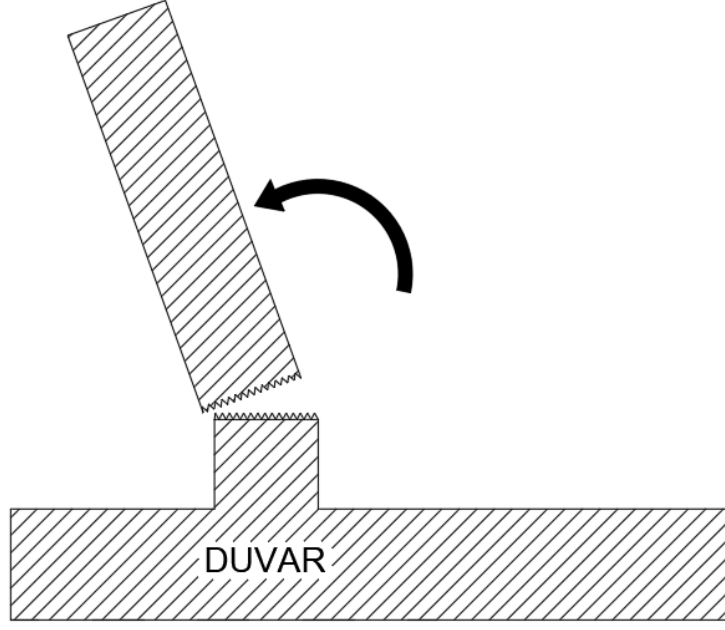
edileceğinden en düşük güvenlik sayısının elde edilmesi için deneme-yanılma yöntemi kullanılır. Bunun için dilim metodu veya sonlu elemanlar analizi kullanan programlar ile analiz yapılabilir.

İstinat duvarlarında karşılaşılan diğer bir dış stabilite problemi ise temel tabanının fazla oturma yapmasıdır. İstinat duvarı altındaki temel zemini yüklemeler ile sıkışması sonucu oturmaya uğrar. Temel zemininin kohezyonlu veya kohezyonsuz olduğu durumlar için oturma değerleri hesaplanır. Bu değerlerin izin verilebilir oturma değerlerini aşmadığı kontrolü yapılarak yapının oturmaya karşı güvenli olup olmadığına karar verilir.

1.4.2. İç Stabilite

İstinat duvarlarının iç stabilite tahkikleri, duvarın kendi yapısı içindeki denge ve dayanıklılığını analiz etmek için yapılan hesaplamalar ve değerlendirmelerdir. Bu tahkikler, duvarın yüklere (zemin basıncı, kendisi ve diğer yükler) nasıl tepki verdiğini anlamak amacıyla gerçekleştirilir. İç stabilite tahkikleri, duvarın tasarım aşamasında, inşaat sırasında ve hizmetteyken güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olur.

İç stabilite kontrolleri yapılırken ilk olarak zemin basıncı analizi doğru şekilde yapılmalıdır. İstinat duvarı yamacın üzerindeki zemin yükünü taşımalıdır. Bu nedenle duvarın arkasındaki zemin basıncı doğru şekilde hesaplanmalıdır. Duvarın tüm yüklere karşı dengede olduğundan emin olunmalıdır. Denge hesapları yatay ve düşey kuvvetlerin dengelenmesi ile yapılır. Daha sonra moment ve kesme kuvveti analizleri yapılmalıdır. Duvarın altındaki temelin üzerinde oluşan moment ve kesme kuvvetleri hesaplanmalıdır. Temel ve duvarın dayanıklılığını değerlendirmek için bu adım oldukça önemlidir. Bu aşamalar hesaplanırken deprem etkileri ve sismik yüklerin istinat duvarı üzerinde oluşturduğu büyük yükler göz önünde bulundurulmalıdır. Yapının inşa edildiği bölgedeki zemin parametreleri ve istinat duvarının geometrisi doğru şekilde belirlenmeli ve hesaplamalara dahil edilmelidir. İstinat duvarındaki destek elemanları ve kullanılan malzeme dayanımı doğru şekilde hesaplanmalıdır. Tüm bu adımlar doğru şekilde yönetildiğinde istinat duvarlarında iç stabilite kaynaklı yapısal göçmeler önlenir. Şekil 26'da konsol tipi bir istinat yapısının iç stabilite problemi kaynaklı oluşan göçme modeli gösterilmiştir.



Şekil 26. Konsol tipi istinat duvarında iç stabilite problemi sonucu oluşan göçme modeli

İç stabilite tahkikleri, mühendislik hesaplamaları, analizleri bazen bilgisayar tabanlı modellemeler içerir. Bu süreç de istinat duvarının sağlam ve güvenli şekilde tasarlanmasını ve inşa edilmesini sağlar.

1.4.3. TBDY (2018)'e Göre Rijit Dayanma Yapılarının Tasarımı

TBDY (2018)'in 16. Bölümünde istinat yapılarının deprem etkisi altında tasarımı için kurallar belirlenmiştir. Zemin basınçlarının belirlenmesi için yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları tanımlanmıştır. Hesaplanan zemin basınç değerlerine göre stabilite tahkikleri için kullanılacak hesaplamalara değinilmiştir. İstinat yapılarının deprem etkisi altında tasarımında hem limit denge (göçme) hem de servis durumlarının göz önüne alınacağı ve yapının deprem sonrasında işlevlerine zarar vermeyecek mertebelerde yer değiştirmelerine izin verilecek şekilde tasarlanabileceği tasarımda ana kural olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabı için belirlenen düşey ve yatay statik-eşdeğer deprem katsayıları aşağıdaki denklemlerde tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r} \quad (29)$$

$$k_v = 0.5k_h \quad (30)$$

Burada; S_{DS} , yapının inşa edileceği bölge için belirlenmiş kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısıdır. Bu değer yeni AFAD tarafından hazırlanmış Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinden dijital yöntemlerle elde edilmektedir. Ayrıca dayanma yapısının tipi için belirlenen r katsayısı için Tablo 1'deki değerler kullanılmaktadır.

Tablo 1. Dayanma yapıları için belirlenen r katsayıları (TBDY, 2018).

Dayanma Yapısı Tipi	r
En fazla $120S_{DS}$ (mm) yer değiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	2.0
En fazla $80S_{DS}$ (mm) yer değiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	1.5
Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar	1.0

Belirlenen yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayılarına istinaden toplam (statik ve dinamik) zemin basıncının bileşkesi Denklem (31)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_t = K(1 \pm k_v) \left(\frac{1}{2} \gamma^* H^2 + qH \right) + P_{su} + \Delta P_{su} \quad (31)$$

Burada;

H : duvar yüksekliği

γ^* : zeminin tipik birim hacim ağırlığı

q : ek sürşarj yükü

K : toplam (statik ve dinamik) aktif veya pasif zemin basıncı katsayısı

k_v : düşey statik-eşdeğer deprem katsayısı

P_{su} : bileşke statik su basıncı

ΔP_{su} : bileşke dinamik su basıncı

Oluşan toplam aktif veya pasif zemin basıncını hesaplayabilmek için toplam aktif veya pasif basınç katsayılarının belirlenmesi gerekir.

Toplam aktif basınç katsayısı iki ayrı durum için Denklem (32) ve (33)'teki gibi hesaplanmaktadır.

a) $\beta \leq \phi'_d - \theta$ olduğunda;

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (32)$$

b) $\beta > \phi'_d - \theta$ olduğunda;

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)} \quad (33)$$

Toplam pasif basınç katsayısı zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı ($\delta_d = 0$) varsayılarak Denklem (34)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (34)$$

Bu denklemlerde;

ϕ'_d : zeminin tasarım kayma direnci açısı

δ_d : zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı

β : duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı

ψ : duvarın yataya göre (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) ölçülen açı

θ : statik-eşdeğer deprem katsayılarına bağlı açı

Statik durumda hesap yapılırken θ açısı sıfır alınmaktadır. Dinamik zemin basıncı katsayısı (K_d) ise toplam zemin basıncı katsayısından (K) statik zemin basıncı katsayısının (K_s) çıkarılması ile hesaplanmaktadır ($K_d = K - K_s$). Dinamik bileşke kuvvetin etki noktası, duvar yüksekliğinin orta noktası olarak alınmaktadır. Statik ve dinamik zemin basınçlarının, duvar arkası normaline göre, aktif basınç durumunda en fazla $(2/3)\phi'$ açısı ile, pasif durumda ise sıfır eğimle etki ettiği kabul edilmektedir.

1.4.4. Yer altı Su Seviyesinin Etkisi

İstinat yapısının arka tarafında yer altı su seviyesi etkisine göre θ ve zemin birim hacim ağırlığı γ^* değerleri değişecektir. Yer altı su seviyesinin üç farklı durumu için θ ve γ^* değerleri aşağıda tanımlanmıştır.

- a) Su seviyesinin temel taban seviyesinin altında olması durumunda ($P_{su} = \Delta P_{su} = 0$);

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \text{ ve } \gamma^* = \gamma \quad (35)$$

Bu durumda γ zeminin tabii birim hacim ağırlığıdır.

- b) Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimsiz olması durumunda ($\Delta P_{su} = 0$)

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \text{ ve } \gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su} \quad (36)$$

Bu durumda γ_d zeminin suya doymun birim hacim ağırlığıdır.

- c) Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimli olması durumunda;

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \text{ ve } \gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su} \quad (37)$$

Bu durumda ek dinamik su kuvveti ΔP_{su} ve bileşke kuvvetin su yüzeyinden itibaren derinliği Denklem (38)'deki şekilde hesaplanacaktır.

$$\Delta P_{su} = \frac{7}{12} (0.4 S_{DS}) \gamma_{su} d_{su}^2 \text{ ve } z' = 0.6 d_{su} \quad (38)$$

Burada;

d_{su} : su altındaki duvar yüksekliği

z' : statik-eşdeğer dinamik su basıncının bileşkesinin su yüzeyinden ölçülen derinliği

γ_{su} : suyun birim hacim ağırlığı

1.4.5. Devrilme Tahkiki

İstinat duvarının topuk noktasında, kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin bir kısmı istinat yapısını devrilmeye zorlarken bir kısmı devrilmeye karşı gelecek şekilde moment oluşturur. Topuk noktasında moment etkisi oluşturan kuvvetler aşağıdaki kuvvetlerdir.

- Aktif zemin basıncının yatay bileşeni
- İstinat duvarının ağırlığı
- Topuk üzerindeki zeminin ağırlığı
- Ön ampatmanda oluşan pasif zemin basıncının yatay bileşeni (genellikle ihmal edilebilir).

Bu kuvvetler etkisinde duvarın topuk noktasında oluşan momentler hesaplanır ve statik durum için güvenlik sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$G_{S,dev} = \frac{\sum M_R}{\sum M_0} > 2 \quad (39)$$

Burada;

$G_{S,dev}$: devrilme tahkiki için belirlenen güvenlik sayısı

M_R : duvarın topuk noktasında devrilmeye karşı koyan momentlerin toplamı

M_0 : duvarın topuk noktasında duvarı devirmeye çalışan momentlerin toplamı

Güvenlik sayısının 2'den büyük olduğu durumlarda duvarın devrilmeye karşı kontrolünün sağlandığı kabul edilir.

Depremlı durumda yapılacak olan devrilme tahkiki için depremden dolayı oluşan ilave aktif zemin basıncı ve deprem etkisi ile duvar kütlelerinin oluşturduğu yanal itkiler belirlenerek hesaba dahil edilmelidir. Kuvvetler belirlendikten sonra TBDY (2018)'de belirlenen kurallar ile Denklem (40)'ta gösterildiği şekilde güvenlik sayısı hesaplanabilir.

$$\gamma_{Rdev} \leq \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \quad (40)$$

Burada;

E_{dev} : devrilmeye zorlayan etkiler toplamı

R_{dev} : devrilmeye karşı koyan etkiler toplamı

γ_{Rdev} : devrilmeye karşı tasarım güvenlik sayısıdır.

$\gamma_{Rdev} \geq 1.3$ olmak üzere göçmeden kaynaklanacak riskler göz önüne alınarak projeden sorumlu mühendis tarafından belirlenebilir.

1.4.6. Kayma Tahkiki

İstinat duvarı, yanal kuvvetlerin etkisi altında öne doğru kaymamalı ve kaymaya karşı güvenliği sağlanmalıdır. Bu sebeple kaymaya karşı belirlenen güvenlik sayısı; kaymaya karşı koyan kuvvetlerin, kaydıran kuvvetleri olarak tanımlanmıştır.

$$G_{S,kay} = \frac{\sum F_R}{\sum F_k} \geq 1.5 \quad (41)$$

Burada kaymaya karşı koyan kuvvetler ($\sum F_R$) aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- İstinat duvarının ağırlığı
- Aktif zemin basıncının düşey bileşeni
- Topuk üzerinde bulunan zemin ağırlığı
- Taban zemini ve temel arasında adhezyondan kaynaklanan mukavemet
- Genellikle ihmal edilse de ön ampatmanda oluşan pasif kuvvet

Duvarı kaydırmaya zorlayan kuvvetler ise;

- Aktif zemin basıncının yatay bileşeni

İstinat duvarına etkiyen tüm düşey kuvvetlerin toplamı taban zemini ve temel arasındaki sürtünme katsayısıyla çarpılarak hesaplanır. Sürtünme katsayısı Denklem (42)'de eşitlik ile hesaplanabilir.

$$\mu = \tan\left(\frac{2\phi}{3}\right) \quad (42)$$

Tablo 2. Bazı zeminlerin içsel sürtünme açıları (ϕ) ve betonarme plak ile arasındaki sürtünme katsayıları (Özbey, 2003).

Zemin Cinsi	ϕ	μ
İnce taneler ihtiva etmeyen çok geçirgen kum veya çakıl	33-40	0,5-0,6
Siltle karışık kum veya çakıl, Düşük geçirgenlik	25-35	0,4-0,5
Siltli kum, çok killi kum veya killi çakıl	23-30	0,3-0,4
Orta sertlikte kil	25-35	0,2-0,4

Eğer duvarın oturduğu taban zemini kohezyonlu bir zemin ise temel ile arasında adhezyondan kaynaklı, kaymaya karşı bir etki oluşacaktır. Bu etki temel genişliği ve zeminin azaltılmış kohezyonu ile çarpımına eşit olacaktır. Bu değer c_a ile ifade edildiğinde Denklem (43)'te verilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$c_a = \frac{2c}{3} \quad (43)$$

TBDY 2018'e göre yüzeysel temellerin yatayda kayması ile ilgili statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her biri için Denklem (44)'de verilen eşitsizlik kullanılmaktadır. Kayma tahkiki için depremli durumda statik durumdan farklı olarak depremden dolayı oluşan ilave aktif zemin basıncı ve deprem etkisi ile duvar kütlelerinin oluşturduğu yanal itkiler belirlenmelidir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (44)$$

Burada;

V_{th} : temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti

R_{th} : tasarım sürtünme direnci

R_{pt} : tasarım pasif direnci

Tasarım sürtünme direnci R_{th} drenajlı durumlar için Denklem (45) 'teki şekilde hesaplanır.

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (45)$$

Burada;

P_{tv} : temel tabanına etkiyen toplam düşey kuvvetler

δ : temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısı

TBDY (2018)'e göre bazı zemin ve temel yüzeyleri için belirlenmiş sürtünme katsayıları Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Farklı yüzeysel temeller ile zemin arasında belirlenmiş sürtünme katsayıları (TBDY, 2018).

Sürtünme ara yüzeyi	$\tan \delta$
Yerinde dökme beton-sıkıştırılmış taban zemini	0.6
Ön üretimli beton-sıkıştırılmış temel taban zemini	0.4
Yerinde dökme beton-beton	0.5
Beton-taban kayası	0.5

Tasarım sürtünme direnci R_{th} kohezyonlu zeminlerde (drenajsız durumda) Denklem (46)'daki gibi hesaplanabilir.

$$R_{th} = \frac{A_C * c_u}{\gamma_{Rh}} \quad (46)$$

Burada;

A_C : temel alt kısmında basınç gerilmelerinin olduğu toplam alan

Tasarım pasif direnci R_{pt} , karakteristik pasif direnç R_{pk} 'nın dayanım katsayısına bölünmesi ile hesaplanabilir.

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (47)$$

Dayanma katsayıları için kullanılacak dayanma katsayısı değerleri TBDY (2018)'e göre Tablo 4'teki gibi seçilecektir.

Tablo 4. Yüzeysel temeller için belirlenen dayanım katsayıları (TBDY, 2018).

Dayanım türü	Dayanım katsayısı simgesi	Dayanım katsayısı değeri
Temel taşıma gücü	γ_{R_v}	1.4
Sürtünme direnci	γ_{R_h}	1.1
Pasif direnç	γ_{R_p}	1.4

1.4.7. Taban Zemin Gerilmesi Kontrolü ve Taşıma Gücü Tahkiki

İstinat yapılarında göçme durumunu oluşturabilecek bir diğer durum temel zemininin taşıma gücünün aşıldığı durumdur. Temel zemini eksantrik olarak yüklenmiş istinat yapısını güvenli bir şekilde taşıyabilmelidir. Bu sebeple temel tabanında oluşacak maksimum gerilme değerleri zemin nihai taşıma gücü değerinden küçük olmalıdır.

Statik ve dinamik etkiler altında temel taban basınçlarının hesaplanması için ilk olarak istinat duvarına etkiyen toplan düşey kuvvetler ($\sum N$) ve duvar temelinin orta noktasına göre oluşan toplam moment ($\sum M_0$) değerleri hesaplanır. İstinat duvarına etkiyen tüm kuvvetlerin temel orta noktasına göre eksantrisite (e) değeri Denklem (48)'deki eşitlik ile bulunur.

$$e = \frac{\sum M_0}{\sum N} \quad (48)$$

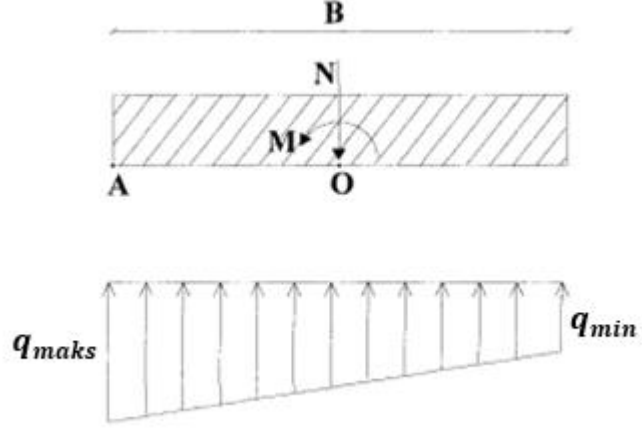
Oluşacak maksimum ve minimum taban gerilmeleri Denklem (49) ve Denklem (50)'deki eşitliklerle hesaplanabilir. Maksimum taban gerilmesi temel taşıma gücü tasarım dayanımından küçük, minimum taban gerilmesi ise sıfırdan büyük ya da eşit olması şartları sağlanmalıdır.

$$q_{maks} = \frac{\sum N}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) < q_t \quad (49)$$

$$q_{min} = \frac{\sum N}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \geq 0 \quad (50)$$

Temel orta noktasına göre belirlenen eksantrisite ile temel genişliği parametleri kullanılarak üç farklı zemin gerilmesi durumu incelenebilir.

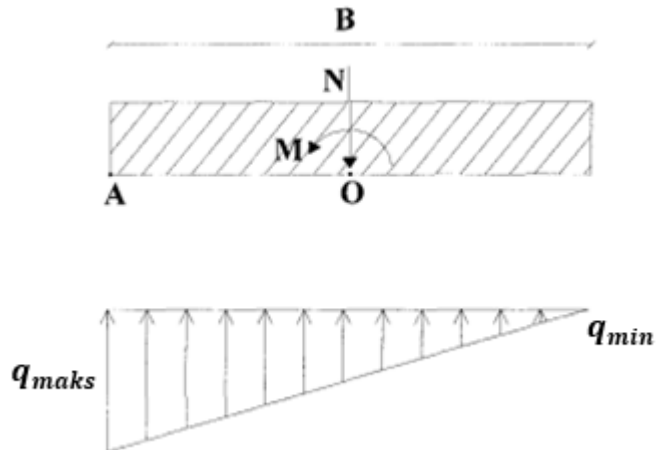
- a) $e < B/6$ durumunda duvar tabanına etkiyen normal kuvvetin etki noktası çekirdek bölgesi içinde kalmaktadır. Bu durumda tabanda istenmeyen çekme gerilmeleri oluşmaz ve minimum emniyet gerilmesi değeri sıfırdan büyüktür.



Şekil 27. $e < B/6$ durumunda oluşan sınır zemin gerilmesi değerleri (Sivrikaya, 2021a).

- b) $e = B/6$ durumunda normal kuvvet çekirdek bölgesindeki sınır çizgi üzerine etki etmektedir ve zeminde oluşan minimum emniyet gerilmesi sıfıra eşittir.

$$q_{maks} = \frac{2N}{B} \quad (51)$$



Şekil 28. $e = B/6$ durumunda oluşan sınır zemin gerilmesi değerleri (Sivrikaya, 2021a).

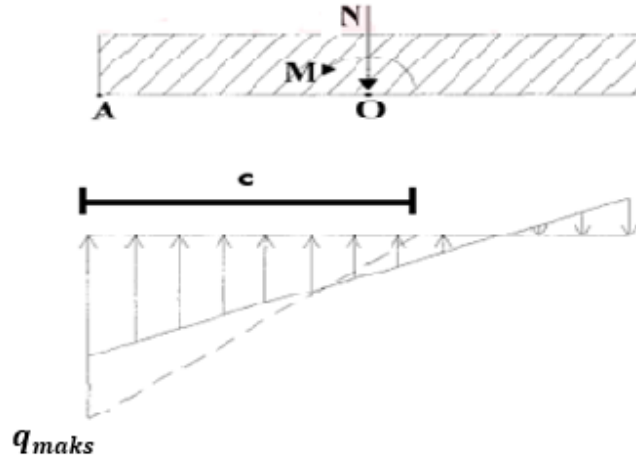
- c) $e > B/6$ durumunda normal kuvvetin etki noktası çekirdek bölgesinin dışında kalmaktadır ve oluşan minimum zemin gerilmesi değeri sıfırdan küçüktür. Bu durum da tabanda istenmeyen çekme gerilmelerinin oluştuğunu göstermektedir (Şekil 29).

Bu durumda maksimum zemin gerilmesini hesaplamak için Denklem (52) ve Denklem (53)'teki eşitlikler kullanılır.

$$c = \frac{B}{2} - e \quad (52)$$

$$q_{maks} = \frac{2N}{3\left(\frac{B}{2} - e\right)} \quad (53)$$

Hesaplanan maksimum zemin gerilmesi değeri zemin nihai taşıma gücü ile kıyaslanarak taşıma gücü tahkiki yapılabilir.



Şekil 29. $e > B/6$ durumunda oluşan zemin gerilmeleri (Sivrikaya, 2021a).

Statik ve dinamik etkiler altında istinat duvarının taban zemin gerilmesi kontrolü duvar tabanında oluşan taban basıncı ile taşıma gücünün kıyaslanması ile belirlenir. Kullanılacak olan eşitsizlik Denklem (54)'te gösterilmiştir.

$$q_0 \leq q_t \quad (54)$$

Burada;

q_0 : temel seviyesinde etkiyen düşey yük, moment etkilerinden oluşan taban basıncı

q_t : temel taşıma gücü tasarım dayanımı

Temel taşıma gücü tasarım dayanımı q_t , Denklem (55)'deki eşitlikle belirlenir.

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}} \quad (55)$$

Burada;

q_k : temel taşıma gücü karakteristik dayanımı

γ_{Rv} : temel taşıma gücü dayanım katsayısı

Temel taşıma gücü karakteristik dayanımının hesaplanması için Denklem (56)'da gösterilen genel nihai taşıma gücü denklemi kullanılacaktır.

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (56)$$

Burada, boyutsuz düzeltme katsayıları olarak yer alan;

s_c, s_q, s_γ : temel şekli katsayıları

d_c, d_q, d_γ : derinlik katsayıları

i_c, i_q, i_γ : yükleme eğikliği katsayıları

g_c, g_q, g_γ : temel zemin eğimi katsayıları

b_c, b_q, b_γ : temel taban eğimi katsayıları

Bu katsayılar literatüre dayanan ve genel kabul görmüş bağıntılar ile hesaplanacaktır.

Denklemde yer alan N_c , N_q , N_γ taşıma kapasitesi katsayıları aşağıdaki denklemler ile veya Tablo 5'ten faydalanılarak bulunabilir.

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (57)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (58)$$

$$N_\gamma = 1.8(N_q - 1) \tan \phi \quad (59)$$

Tablo 5. Belirli ϕ açılara karşılık gelen taşıma kapasitesi katsayıları (Özbey, 2003)

ϕ	N_c	N_q	N_γ	$\tan\phi$
0	5.14	1.00	0	0
5	6.49	1.57	0.45	0.09
10	8.35	2.47	1.22	0.18
15	10.98	3.94	2.65	0.27
20	14.83	6.40	5.39	0.36
25	20.72	10.66	10.88	0.47
30	30.14	18.40	22.40	0.58
35	46.12	33.30	48.03	0.70
40	75.31	64.20	109.41	0.84
45	133.88	134.88	271.76	1.00
50	266.89	319.07	762.89	1.19

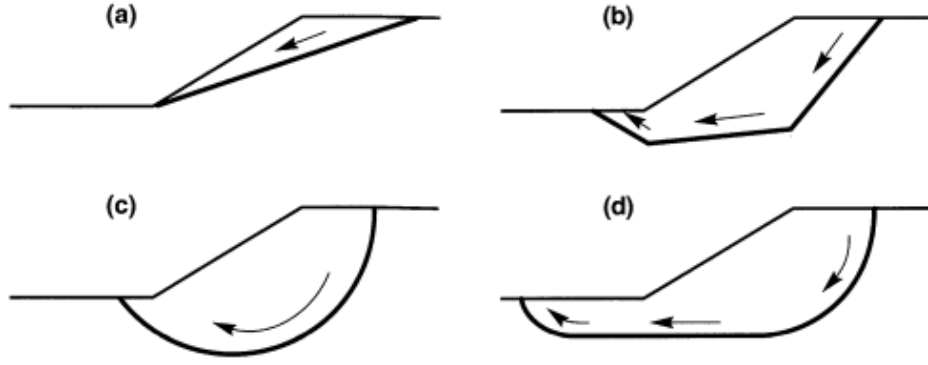
Tablo 6’da boyutsuz düzeltme katsayıları için Meyerhof tarafından önerilen formüller gösterilmiştir. İstinat duvar temeli şerit temel olarak kabul edilerek $s_c = s_q = s_\gamma = 1$ olarak alınır. Zeminin ve temel tabanının düz olduğu kabul edilerek temel zemin eğimi katsayıları; $g_c = g_q = g_\gamma = 1$ ve temel taban eğimi katsayıları; $b_c = b_q = b_\gamma = 1$ alınır.

Tablo 6. Meyerhof taşıma gücü formülü katsayıları

Temel şekil katsayıları (s)	Derinlik katsayıları (d)	Yük eğim katsayıları (i)
Şerit temellerde; $s_c = s_q = s_\gamma = 1$	$\phi = 0^\circ$; $D_f \leq B$ için $d_c = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B}\right)$, $d_q = d_\gamma = 1$ $D_f > B$ için $d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$ $d_q = d_\gamma = 1$ $\phi > 0^\circ$; $D_f \leq B$ için $d_c = d_q - [(1 - d_q)/(N_c \tan\phi)]$, $d_q = 1 + 2 \tan\phi (1 - \sin\phi)^2 \left(\frac{D_f}{B}\right)$, $d_\gamma = 1$ $D_f > B$ için $d_c = d_q - [(1 - d_q)/(N_c \tan\phi)]$, $d_q = 1 + 2 \tan\phi (1 - \sin\phi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$, $d_\gamma = 1$	$i_c = i_q = (1 - \lambda^\circ/90^\circ)^2$ $i_\gamma = (1 - \lambda^\circ/\phi^\circ)^2$ $\lambda^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{H}{V}\right)$

1.4.8. Toptan Göçme

Doğal veya yapay şevlerin etrafında inşa edilecek yapıların tasarımı deprem etkileri sonrasında işlevini devam ettirebilmesi için şevin deprem yüklerinin etkisinde stabil kalacağının tahkik edilmesi gereklidir. Bu sebeple zemin şev stabilitesi analizlerinde zemin cinsine uygun bir göçme modeli belirlenerek zeminin veya kaya kütlelerinin denge durumu incelenir. Şevin toptan göçme durumuna karşı güvenli olması için göçmeye zorlayan etkiler toplamı ve göçmeye karşı koyan dirençler toplamı hesaplanarak tasarım güvenlik sayısı tanımlanır.



Şekil 30. Yaygın göçme yüzeyi geometrileri: a) düzlem; b) çoklu düzlem; c) dairesel; d) dairesel olmayan

$$E_t = \frac{R_t}{\gamma_{Rk}} \quad (60)$$

E_t göçmeye zorlayan etkilerin toplamı, R_t göçmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı, γ_{Rk} ise kaymaya karşı tasarım güvenlik sayısıdır.

Killi zeminlerde şev stabilitesi drenajsız kayma mukavemeti (c_u) kullanılarak toplam gerilme analizi ilw, kumlu zeminlerde ise efektif gerilme analizi ile hesaplanacaktır. Deprem etkisindeki şevlerin stabilite analizleri, eşdeğer statik limit denge analizleri ve sonlu elemanlar yöntemleri ile yapılabilir. Çevrimsel yükler etkisinde sıvılaşma riski olan veya önemli derecede rijitlik kaybına uğrayacak zeminlerde eşdeğer statik analiz yöntemi kullanılmamalıdır. Eşdeğer statik analizlerde, zemin veya şev kütlelerine mevcut kuvvetlere ek yatay ve düşey eylemsizlik kuvvetlerinin etkisi dikkate alınır.

$$F_H = 0.5W(0.4S_{DS}S_T) \quad (61)$$

$$F_V = \pm 0.5 F_H \quad (62)$$

Burada W kaya kütlesinin ağırlığı, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_T ise topoğrafik büyütme katsayısıdır.

Topoğrafik büyütme etkisi (S_T) şev açısının 15 dereceden küçük olduğu şevlerde ihmal edilebilir. Tepe genişliğinin taban genişliğinden küçük olduğu sırtlarda şev açısı 30 dereceden büyük ise topoğrafik büyütme katsayısı 1.4, daha küçük şev açılarında ise 1.2 olarak kullanılacaktır.

Statik durumda toptan göçme analizi için Denklem (63)'teki eşitlik dikkate alınacaktır.

$$\gamma_{Rk} = \frac{1}{\sum W_s \sin \alpha} \sum c'b + \left[\frac{1}{m_\alpha} \left(W_s - \frac{c'b \sin \alpha}{\gamma_{Rk}} - ub \right) \right] \tan \phi' \quad (63)$$

Deprem durumunda toptan göçme analizi için yatay ve düşey eylemsizlik kuvvetlerinin etkisi Denklem (64)'deki gibi dikkate alınır.

$$\gamma_{Rk} = \frac{1}{\sum W_s (1 - k_v) \sin \alpha + k_h W_s (\cos \alpha - \frac{H_c}{R_d})} \sum c'b + \left[\frac{1}{m_\alpha} \left(W_s (1 - k_v) - \frac{c'b \sin \alpha}{\gamma_{Rk}} - ub \right) \right] \tan \phi' \quad (64)$$

Burada;

b : dilim genişliği

W_s : dilim ağırlığı

α : dilim tabanının yatayla yaptığı açı

u : dilim tabanına etkiyen su basıncı

k_h : $0.2S_{DS}$ ve $k_v = \pm 0.5k_h$ sırası ile yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayısını

H_c : dilim tabanının orta noktasından dilim merkezine olan düşey uzaklığı

R_d ise dairesel göçme yüzeyinin yarıçapını ifade etmektedir.

Denklem (63) ve (64)'te yer alan m_α için Denklem (65)'teki eşitlik kullanılacaktır.

$$m_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{\gamma_{Rk}} \right) \quad (65)$$

Özel durumlar dışında TBDY 2018'e istinaden $\gamma_{Rk} \geq 1.10$ yeterli güvenlik düzeyi olarak kabul edilmektedir.

1.4.9. Oturma Tahkiki

Mühendislik yapılarının temel tasarımında dikkate alınacak en önemli noktalardan biri, oturma miktarının ne olacağı ve ne kadar hızla gelişecektir. Yapıya etkiyen yükler altında temelin veya temellerin mutlak veya farklı oturmaları, izin verilebilir oturma değerinden küçük olmalıdır. Oturmaya sebep olan, üst yapının temelinde oluşan taban basıncının neden olduğu, zemindeki gerilme artışıdır. Zeminlerde üç tip oturma meydana gelmektedir.

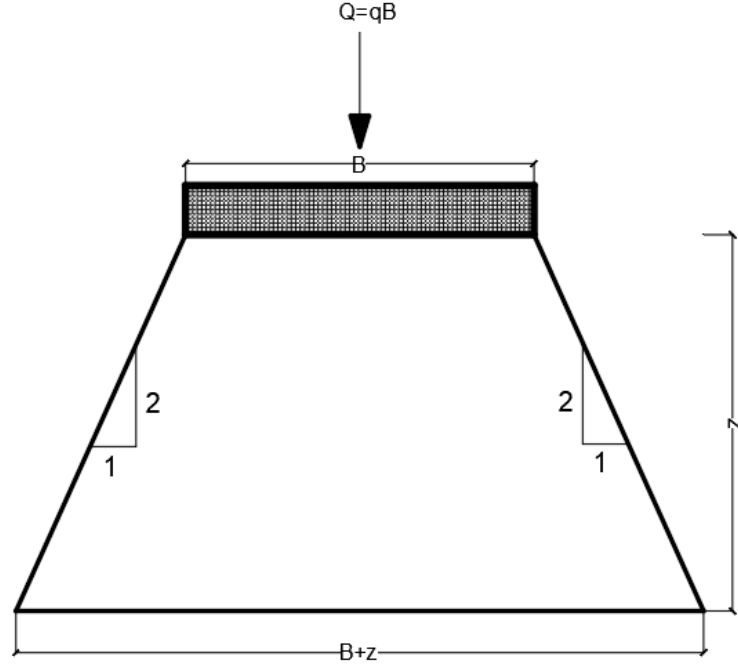
Ani (elastik) oturma yapı yapılı yapılmaz kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde meydana gelen oturmadır. Elastik oturma hesabında; kaba daneli zeminlerde drenajlı, ince daneli zeminlerde ise drenajsız zemin parametreleri kullanılır. Kohezyonlu zeminlerde elastik oturma hesabı için elastik teoriye dayanan bağıntılar kullanılırken, kohezyonsuz zeminlerde ise hem elastik teoriye dayanan hem de arazi deney sonuçlarına dayanan ampirik ve yarı-ampirik bağıntılar kullanılır (Sivrikaya, 2021b).

Birincil konsolidasyon oturması suya doymun kohezyonlu zeminde sabit gerilme altında meydana gelen ek gerilmeler nedeniyle oluşan ilave boşluk suyu basıncının etkisiyle, zemin boşluklarındaki suyun dışarı çıkması ve boşluk hacminin azalması sonucu meydana gelen oturmalar. Konsolidasyon oturması ifadesi genellikle birincil konsolidasyon oturması yerine kullanılır. Laboratuvar ödometre deneyi sonuçları kullanılarak hesaplanır (Sivrikaya, 2021b).

İkincil konsolidasyon (sıkışma) oturması birincil konsolidasyonun bitiminde devam eden oturma türüdür. Yüksek plastisiteye sahip killerde kil danelerinin yer değiştirmesi (krip) sonucu meydana gelir ve bu tür zeminlerde konsolidasyon oturmasından daha önemlidir. Aşırı konsolide inorganik kohezyonlu zeminlerde ikincil sıkışma oturması çok küçüktür ve pratikte çoğu zaman ihmal edilir. Laboratuvar ödometre deneyi sonuçları kullanılarak hesaplanabilir (Sivrikaya, 2021b).

İstinat duvarlarının temel zemini de yüklemeler altında sıkışma sonucu oturmaya uğrar. Oturma hesabı yapılırken düşey gerilme artışları ($\Delta\sigma_v$) belirlenmelidir. Bu artışın belirlenmesi için pratik olması nedeniyle yaklaşık yöntem kullanılmaktadır. Yükteki dağılımın 2:1 yayıldığı kabul edilerek şerit temellerde z derinliğindeki gerilme artışı Denklem (66)'daki gibi belirlenir (Şekil 31).

$$\Delta\sigma_v = \frac{qB}{(B + z)} = \frac{Q}{(B + z)} \quad (66)$$



Şekil 31. Şerit temel altında yaklaşık yöntemle göre düşey gerilme artışı

İstinat duvarlarının temelleri de şerit temel olarak kabul edilmektedir. Temel zemini, kohezyonlu veya kohezyonsuz olabilir. Kohezyonlu zeminlerde ani oturma ve birincil konsolidasyon oturması meydana gelirken, ikincil konsolidasyon oturması sadece yüksek plastisiteli ve organik killerde meydana gelir. Bu tür zeminlerde baskın oturma şekli konsolidasyon oturmasıdır.

Kohezyonlu zeminlerde elastik oturma hesabı için teorik yaklaşıma dayanan Denklem (67)'deki eşitlik kullanılır.

$$s_i = q_{net} \frac{B}{E_u} I_1 I_2 \quad (67)$$

Burada;

q_{net} : net taban basıncı

B : temel genişliği,

E_u : temel zemininin drenajsız elastisite modülü

I_1, I_2 : düzeltme katsayılarıdır.

Konsolidasyon oturması hesabı ise ödometre deneyinden elde edilen sıkışma indisi (C_c ve/veya C_r) değerleri kullanılarak yapılabilir. Yapı inşa edilmeden önce suya doymuş zemin tabakasının ortasındaki efektif gerilme (σ_{v0}') ile yapı inşa edildikten sonraki efektif

gerilmenin toplamı $(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma)$ ön konsolidasyon basıncı ile karşılaştırılarak üç farklı durum için konsolidasyon değeri hesaplanabilir.

Gerilme durumu zeminin normal konsolide çizgisi üzerinde yani zemin normal konsolide ise oturma Denklem (68)'deki şekilde hesaplanır.

$$s_c = \left(\frac{H}{1 + e_0}\right) C_c \log \left(\frac{(\sigma_{v0}') + \Delta\sigma_v}{\sigma_{v0}'}\right) \quad (68)$$

Gerilme durumu zeminin aşırı konsolide çizgisi üzerinde ise yani zeminin aşırı konsolide $(\sigma_{v0}' < \sigma_p' \text{ ve } \sigma_{v0}' + \Delta\sigma < \sigma_p')$ zemin ise konsolidasyon oturması Denklem (69)'daki şekilde hesaplanır.

$$s_c = \left(\frac{H}{1 + e_0}\right) C_r \log \left(\frac{(\sigma_{v0}') + \Delta\sigma_v}{\sigma_{v0}'}\right) \quad (69)$$

Gerilme durumu zeminin aşırı konsolide çizgisinden başlayıp gerilme artışı ile birlikte normal konsolide çizgisi üzerine gelmesi yani zemin aşırı konsolide $(\sigma_{v0}' < \sigma_p' \text{ ve } \sigma_{v0}' + \Delta\sigma > \sigma_p')$ ise konsolidasyon oturması Denklem (70)'deki gibi hesaplanır.

$$s_c = \frac{H}{1 + e_0} \left[C_r \log \left(\frac{\sigma_p'}{\sigma_{v0}'}\right) + C_c \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v}{\sigma_p'}\right) \right] \quad (70)$$

Burada;

H : sıkışabilir killi zemin tabakasının ağırlığı

C_c : sıkışma indisi

C_r : şişme/kabarma indisi

e_0 : zeminin doğal boşluk oranı

$\Delta\sigma_v$: killi zemin tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışı

σ_{v0}' : yapı yapılmadan önce killi zemin tabakasının ortasındaki efektif gerilme olarak tanımlanır.

Kohezyonsuz zeminlerde elastik oturma hesabı için ise yarı ampirik yaklaşım olan deformasyon etki faktörü yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemle göre elastik oturma Denklem (71)'deki şekilde hesaplanabilir (Schmertmann, Hartman ve Brown, 1978).

$$s = C_1 C_2 C_3 (q_t - \sigma_{v0}') \sum \frac{I_{zi}}{E_s} \Delta z \quad (71)$$

Burada;

C_1 : temel derinliği düzeltme katsayısı

C_2 : krip düzeltme katsayısı

C_3 : temel şekli düzeltme katsayısı

q_t : temelin zemine uyguladığı ortalama taban basıncı

σ_{v0}' : temel tabanı seviyesindeki efektif gerilme

I_z : deformasyon etki faktörü

I_{zi} : temel tabakasının ortasındaki I_z değeri

Δz : tabaka kalınlığı

E_s : eşdeğer elastisite modülü (SPT veya CPT ile belirlenir.) olarak tanımlanır.

C_1, C_2 ve C_3 sırasıyla Denklem (72), (73) ve (74)'deki bağıntılarla belirlenir.

$$C_1 = 1 - 0.5 \left[\frac{\sigma_{v0}'}{q_t - \sigma_{v0}'} \right] \geq 0.5 \quad (72)$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \log \left(\frac{t}{0.1} \right) \quad (73)$$

Kumda t, yükün uygulanmasından başlayan ikincil sıkışmalar süresi (yıl) olup $t \geq 0.1$ olmalıdır.

$$C_3 = 1.03 - 0.03 \frac{L}{B} \geq 0.73 \quad (74)$$

Bu yaklaşımda kum tabakası Δz tabaka kalınlığında, şerit temel için temelin tabanından itibaren $4B$ kadar derinliğe kadar tabakalara ayrılır. Her tabaka için ortalama E değeri belirlenir. Bölünen her bir tabaka için deformasyon (ϵ), $I_z(q - \sigma_{v1}')/E$ olarak alınır.

Deformasyon etki faktörü (I_z) derinlikle değişmektedir. Maksimum I_z değeri Denklem (75) ile elde edilir. Şerit temelde $I_{z(maks)}$ değeri $z_1 = B$ derinlikte ve $I_z = 0$ değeri $z_2 = 4B$ derinlikte oluşmaktadır. Şekil 33'de deformasyon etki faktörünün temel tipine göre derinlikle değişimi gösterilmiştir.

$$I_{z(maks)} = 0.5 + 0.1 \sqrt{\frac{q_t - \sigma_{v0}'}{\sigma_{v1}'}} \quad (75)$$

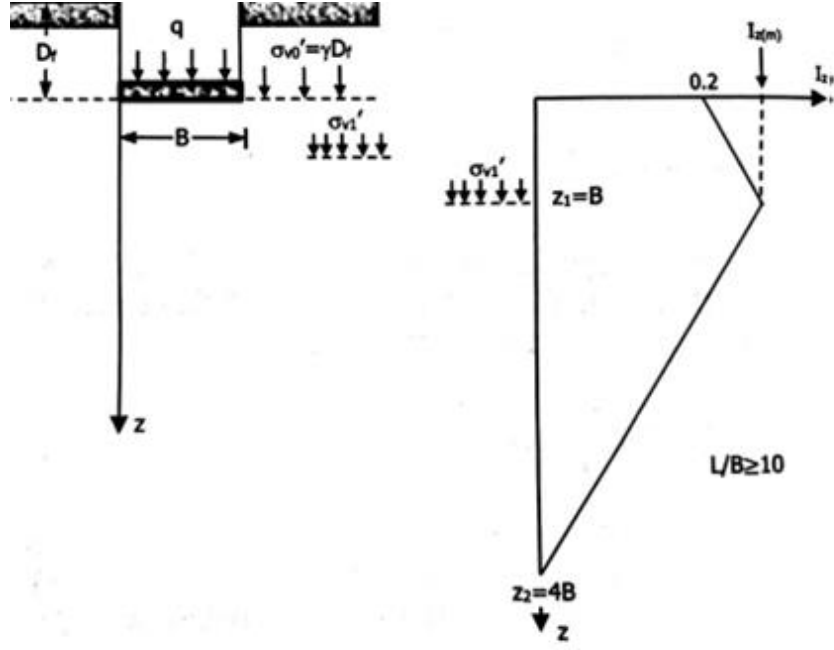
Burada;

q_t : temel taban basıncı

σ_{v0}' : temel tabanı seviyesindeki efektif gerilme

σ_{v1}' : maksimum I_z için z derinlikteki efektif gerilme olarak tanımlanır

Şerit temeller için z derinliği Denklem (76)'daki şekilde belirlenir.



Şekil 32. Şerit temelerde I_z 'nin derinlikle değişimi (Das, 2011)

$$z = D_f + B \quad (76)$$

Şerit temeller için I_z değerini bulmak için kullanılan bağıntılar Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Şerit temeller için I_z 'nin derinlikle değişimine ait ilişkiler (Sivrikaya, 2021b)

z	I_z
Şerit temeller için	
0-B	$I_z = 0.2 + (z_1/B)(2I_{z(maks)} - 0.2)$
B-4B	$I_z = 0.33I_{z(maks)}(4 - z_1/B)$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Teknolojik gelişmelerin getirdiği fırsatlar mühendislik alanında da yenilikçi gelişmeler ortaya çıkarmıştır. Bu yeniliklerin başında yapıların tasarımı için geliştirilen bilgisayar programları yer almaktadır. Tasarımın güvenliğini arttırmak ve tasarım süresinden tasarruf etmek amacıyla bu alanda birçok program geliştirilmiştir. İstinat duvarları için de geliştirilen bu programlar sayesinde istinat duvarlarının güvenli şekilde tasarlanması ve karmaşık yapıya sahip tasarım hesaplarının daha kısa sürelerde çözümlenmesi amaçlanmaktadır.

Tasarım programları, istinat duvarlarının dış ve iç stabilite analizlerini daha hızlı ve hassas bir şekilde yapmayı sağlar. Aynı zamanda farklı senaryoları hızla değerlendirebilme, tasarım parametrelerini ayarlama ve sonuçları görsel olarak inceleme imkanı sunar. Bu programlar manuel hesaplamalara göre daha hızlı sonuçlar üretir ve hızlandırılan tasarım sürecinde tasarım mühendislerinin daha fazla senaryoyu değerlendirmesine olanak sağlar. Gelişmiş matematiksel modeller ve analiz yöntemleri kullanılarak daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar. Programlar ile elde edilen görsel grafikler veya tablolar tasarımın farklı yönlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Tasarım programları ile tasarım parametrelerinin hızla değiştirilme ve iyileştirilmesi daha rahat olduğundan programlar daha optimize tasarımlar elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Otomatik hesap ve kontrol mekanizmaları ile hata yapma olasılığı azaldığından, daha güvenilir tasarımlar oluşturulur.

Tasarım programları kullanılırken programın kullanılması gereken durumlar ve özellikler hakkında yeterli bilgi ve deneyime sahip olmak gerekir. Elde edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile uyumlu olup olmadığı mühendislik görüşü ile değerlendirilmelidir.

İstinat duvarlarının tasarımı için yapılan hesaplamalar yapılırken çeşitli hesap yöntemleri kullanılabilir. TBDY (2018) ile gelen yenilenmiş hesaplamaların el ile yapılması oldukça zorlayıcı bir hale gelmiştir (Sivrikaya, 2021a). Bu sebeple Microsoft Visual Studio C programlama dili kullanılarak istinat duvarlarının tasarımı için TBDY (2018)'e uygun olarak bir Windows Forms uygulaması hazırlanmıştır. Bu program sayesinde istinat duvarı tasarım parametreleri girdi olarak alınır ve çıktı olarak kuvvetler ve tahkik sonuçları görsel ve yazılı olarak elde edilebilir.

2.1. Geliştirilen Program ile İlgili Genel Bilgiler

Program hazırlanırken Microsoft Visual Studio C programlama dili kullanılarak Windows Forms Uygulaması oluşturulmuştur. Visual Studio'nun tercih edilme sebebi veri girişi için kolaylık sağlaması ve görsel açıdan sağladığı kolaylıklardır.

Bu program sayesinde konsol istinat duvarlarının statik ve dinamik etkiler altında ayrı ayrı stabilite tahkikleri yapılabilmektedir. Stabilite tahkikleri ile duvarının kayma, devrilme, taşıma gücü ve oturma açısından uygunlukları değerlendirilir. Yapılan analiz sonuçları depremli ve depremsiz durum için ayrı olarak görülebilmektedir.

2.1.1. Veri Girişi

Program açıldığında ekrana gelen “Veriler” sekmesi içerisinde ön, arka ve temel zemini parametreleri, duvar boyutları ve geometrisi ile ilgili veriler ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinden elde edilen deprem ivme katsayısı bilgileri ilgili kutucuklara doldurulmalıdır. Program ile Coulomb ve Rankine teorilerine göre ayrı ayrı çözümleme yapılabilme özelliğine sahiptir.

Çıktıların alınması için ilk olarak programa veri girişi sağlanmalıdır. Girilecek veriler için tanımlamalara program içerisinde bulunan “Veri Rehberi-1” sekmesinden erişilebilir. Dolgu ve temel zemini için kohezyonlu ve kohezyonsuz seçenekleri ayrı olarak program içine yerleştirilmiştir. Şekil 33’te dolgu ve temel zemini için veri giriş ekranında programa girilmesi gereken zemin parametreleri görülmektedir.

İstinat Duvarı Tasarım Programı 2023 (TBDY-2018 Uyumlu)

Veriler | Devrilme Tahkiki | Kayma Tahkiki | Taşıma Gücü Kontrolü | Oturma Kontrolü | Veri Rehberi-1 | Veri Rehberi-2

Dolgu Zemini Parametreleri

Ön Dolgu (Pasif)

Dolgu Yüksekliği (cm)

B.H.A (kN/m³)

İçsel Sürtünme Açısı (Φ_u)

Kohezyon (kPa)

İçsel Sürtünme Açısı (Φ')

☐ Rankine

☐ Coulomb

Arka Dolgu (Aktif)

β (°)

δ (°)

B.H.A (kN/m³)

İçsel Sürtünme Açısı (Φ_u)

Kohezyon (kPa)

İçsel Sürtünme Açısı (Φ')

☐ Tek Tabakalı Zemin

☐ Çok Tabakalı Zemin

Temel Zemini Parametreleri

B.H.A (kN/m³)

İçsel Sürtünme Açısı (Φ_u)

Kohezyon (kPa)

Sürtünme Açısı (δ)

Temel Derinliği (m)

Elastisite (E)

Elastisite (Eu)

Temel Etki Faktörü (I0)

Poisson Oranı (u)

Boşluk Oranı (e)

σ_p'

Sıkışma İndisi (Cc)

Yeniden Sıkışma İndisi (Cr)

α

Şekil 33. Arka, ön ve temel zemini parametreleri için girdi ekranı

İstinat duvarının boyutları için temel genişliği, temel yüksekliği, perde genişliği, perde yüksekliği, ön ampatman genişliği için uzunluk değerlerinin santimetre cinsinden ve duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açı derece cinsinden veri ekranına girilmesi gerekmektedir. Bu parametreler için hazırlanan rehber “Veri Rehberi-1” sekmesinden görüntülenebilir. “Veri Rehberi-1” Şekil 34’te gösterilmiştir.

İstinat Duvarı Tasarım Programı 2023 (TBDY-2018 Uyumlu)

Veriler Devrilme Tahkiki Kayma Tahkiki Taşıma Gücü Kontrolü Oturma Kontrolü Veri Rehberi-1 Veri Rehberi-2

x_1 : Temel genişliği (cm) β : Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı (derece)
 x_2 : Temel yüksekliği (cm) δ : Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı (derece)
 x_3 : Perde yüksekliği (cm) ψ : Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açı (derece)
 x_4 : Perde genişliği (cm) q : Ek yük (sürşarj) (kN/m²)
 x_5 : Ön ampatman genişliği (cm)

NOT : Deprem harita bilgisi verileri tdth.afad.gov.tr adresinden e-devlet sistemine giriş yapılarak elde edilebilir.

r : Dayanma yapısı tipi katsayısı (TBDY 2018'den alınan aşağıdaki tablo yardımı ile belirlenecektir.)

Dayanma Yapısının Tipi	r
En fazla $120S_{DS}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	2.0
En fazla $80S_{DS}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	1.5
Ankrajlı duvarlar, yerdeğiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar	1.0

Şekil 34. “Veri Rehberi-1” sekmesi

İstinat duvarı için gerekli diğer parametreler istinat duvarının malzeme özellikleri ve bulunduğu konumun harita bilgisi parametreleridir. Burada duvarın yapıldığı betonun birim hacim ağırlığı, dayanma yapısı tipi katsayısı, yerel zemin sınıfı ve AFAD deprem tehlike haritası üzerinden dijital olarak elde edilebilen konumun kısa periyot harita spektral ivme katsayı değeri veya yalnızca kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ilgili kutucukları girilmelidir. Tüm bu parametreler “Dayanma Duvarı ile İlgili Parametreler” başlığı altında

girilecektir. Şekil 35’te dayanma duvarı ile ilgili tüm parametreler program veri ekranı üzerinden gösterilmiştir.

Dayanma Duvarı ile İlgili Parametreler

Duvar Boyutları ve Geometrisi

Temel Genişliği (cm)

Temel Yüksekliği (cm)

Perde Yüksekliği (cm)

Perde Genişliği (cm)

Ön Ampatman Genişliği (cm)

Ψ (°)

Sürüşarj Yüğü (q)

Harita Bilgisi Parametreleri

Yerel Zemin Sınıfı

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (SS)

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SDS)

Malzeme Özellikleri

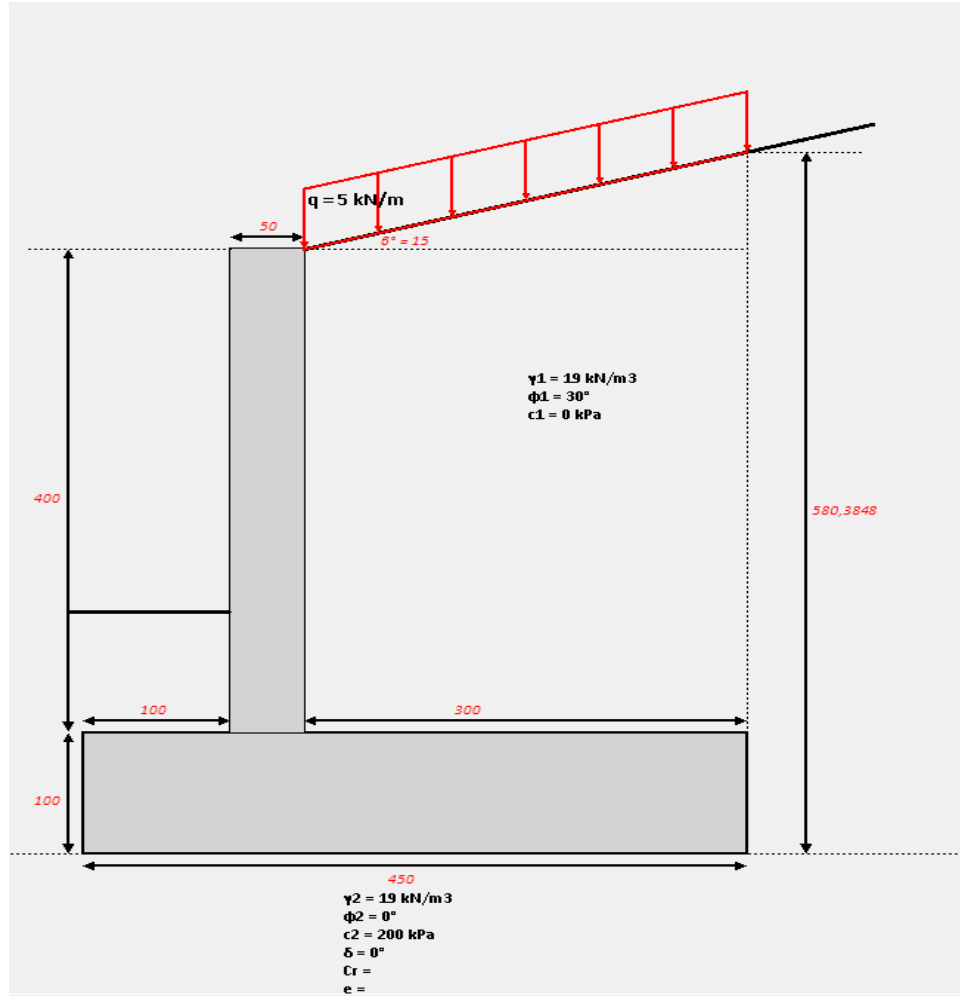
Beton B.H.A (kN/m³)

DYT Katsayısı (r)

Dayanma Yapısının Tipi	r
En fazla 120S ₀₅ (mm) yerdeğıştürmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	2.0
En fazla 80S ₀₅ (mm) yerdeğıştürmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	1.5
Ankrajlı duvarlar, yerdeğıştürmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar	1.0

Şekil 35. Dayanma duvarı parametreleri giriş ekranı

Bütün gerekli veri girişı yapıldıktan sonra “Model Oluştur” seçeneğı ile istinat duvarı modeli oluşturulur. Şekil 36 ‘da programda oluşturulmuş örnek bir istinat duvarı modeli örneğı görölmektedir.



Şekil 36. Veri girişi sonrası elde edilmiş bir konsol istinat duvarı örnek modeli

Model oluşturulduktan sonra veri ekranında istenilen değişiklik yapılarak model tekrardan oluşturulabilir.

2.1.2. Tahkiklerin İncelenmesi

A. Devrilme Tahkiki

Veri giriş ekranında girdilerin programa tanımlanmasının ardından istinat duvarı için incelenecek olan tahkiklerin yapılacağı sekmelere geçilir. Devrilme tahkiki sekmesi içerisinde bulunan “Hesapla ve Model Oluştur” butonu ile bütün tahkikler programda hesaplanır ve devrilme tahkiki modeli oluşturulabilir. Hesaplamaların tümü devrilme tahkiki ekranından yapılırken her tahkik için tahkikin kendi sekme ekranından “Model Oluştur” butonu ile ayrı ayrı model oluşturulabilir. Statik ve dinamik modeller için ayrı ayrı seçenekler kullanılabilir.

Devrilme tahkikinin yapılabilmesi için ekranda statik ve dinamik etkiler altında temel alt uç noktasında istinat duvarını devirmeye çalışan tüm kuvvetlerin oluşturduğu moment değerleri ve devirmeye karşı koyan kuvvetlerin aynı noktada oluşturduğu moment değerleri hesaplanır. Güvenlik sayısının belirlenmesi için devirmeye karşı koyan kuvvetlerin oluşturduğu moment değerleri, devirmeye çalışan kuvvetlerin oluşturduğu momente oranlanmalıdır. Elde edilen değer statik durumda 2’den büyük ise yapının devirmeye karşı güvenli olduğu söylenir. Dinamik durumda ise elde edilen güvenlik sayısının 1.3 değerinden büyük olması istenir. Bu koşulların sağlanıp sağlanmadığı ekranın alt kısmında hesaplama yapıldıktan sonra yeşil veya kırmızı yazılı bildirim ile kontrol belirtilmektedir. Örnek bir istinat duvarı uygulamasının devrilme tahkiki için program üzerinden hesaplanması sonrası statik ve dinamik etkiler altında oluşan kuvvet ve moment değerleri tablosu Şekil 37’de görülmektedir.

İstinat Duvarı Tasarım Programı 2023 (TBDY-2018 Uyumlu)

Veriler Devrilme Tahkiki Kayma Tahkiki Taşıma Gücü Kontrolü Oturma Kontrolü Veri Rehberi-1 Veri Rehberi-2

Statik Koşullar Altında Devrilme Tahkiki

	Kuvvetler (kN/m)	X (m)	Y (m)	Rdev (kNm/m)	Edev (kNm/m)
W1	50,00	1,25		62,50	
W2	112,50	2,25		253,13	
W3	19,00	0,50		9,50	
W4	228,00	3,00		684,00	
W5	22,91	3,50		80,18	
Psah	126,53		1,93		244,80
Psav	33,90	4,50		152,57	
Psp	114,00		0,67	76,00	
Qsah	9,89		2,90		19,12
Qsav	2,65	4,50			11,92

Toplam Rtop= 1.329,80 kNm/n Etop= 263,92 kNm/m

Güvenlik Sayısı 5,04

Tasarım statik koşullarda devirmeye karşı güvenlidir.

Dinamik Koşullar Altında Devrilme Tahkiki

	Kuvvetler (kN/m)	X (m)	Y (m)	Rdev (kNm/m)	Edev (kNm/m)
W1	50,00	1,25	3,00	62,50	150,00
W2	112,50	2,25	0,50	253,13	56,25
W3	19,00	0,50	1,50	9,50	28,50
W4	228,00	3,00	3,00	684,00	684,00
W5	22,91	3,50	5,27	80,18	120,69
Pdah	116,90		2,90		339,23
Psah	126,53		1,93		244,80
Pdav	31,32	4,50		140,95	
Psav	33,90	4,50		152,57	
Psp	114,00		0,67	76,00	
Pdp	-39,32		1,00	-39,32	
Qdah	6,99		2,90		20,30
Qdav	1,87	4,50			8,43

Toplam Rtop= 1.301,89 kNm/n Etop= 886,77 kNm/m

Güvenlik Sayısı 1,47

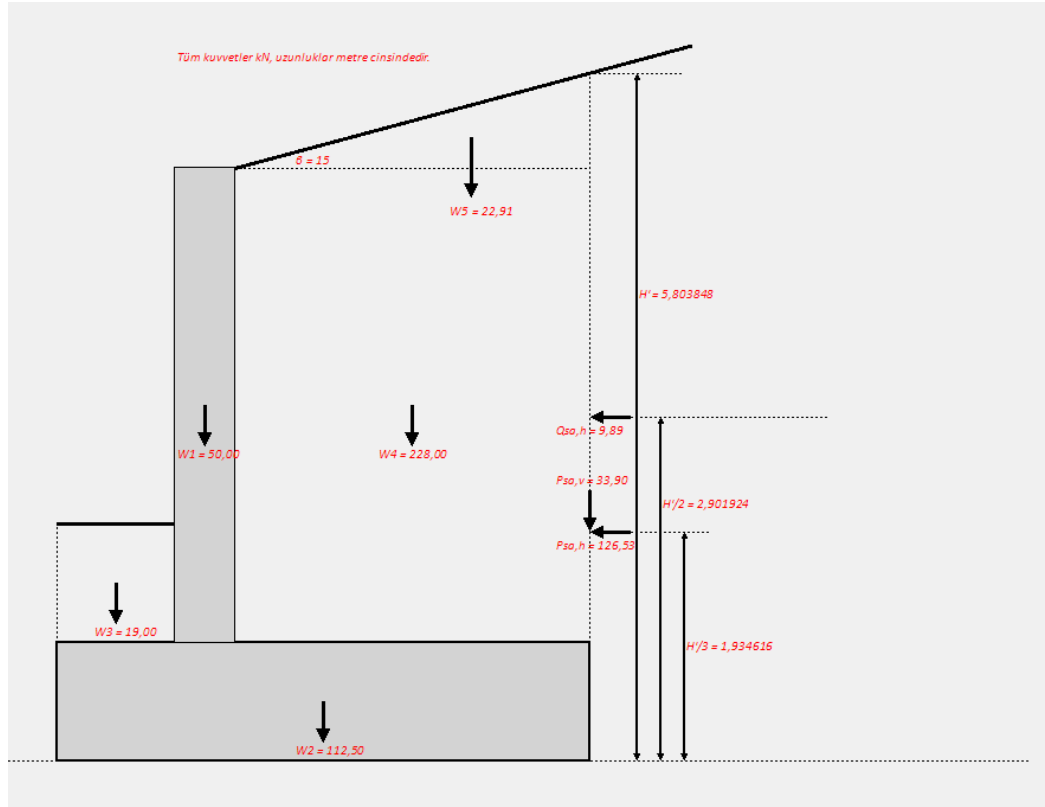
Tasarım dinamik koşullarda devirmeye karşı güvenlidir.

Hesapla ve Model Oluştur

☒ Statik Model ☐ Dinamik Model

Şekil 37. Devrilme tahkiki hesaplanmış bir istinat yapısı için sonuç ekranı

Ekranın sağ tarafında oluşan modelde ise istinat duvarına statik ve dinamik etkiler altında etki eden kuvvetlerin etki noktası ve büyüklükleri görülebilir. Buradaki tüm kuvvetler kN, uzunluklar ise m cinsindedir. Coulomb yöntemi ile statik koşullar altında devrilme tahkiki için oluşturulmuş bir istinat duvarı modeli Şekil 38’de görülmektedir.



Şekil 38. Statik koşullar altında devrilme tahkiki için örnek bir istinat duvarına etkiyen kuvvetler

B. Kayma Tahkiki

Kayma tahkikinin incelenmesi için sekme değiştirilerek kayma tahkiki sekmesine geçilir. Burada TBDY (2018) tarafından öngörülen kayma tahkiki için yapılacak kontroller gösterilmektedir. İstinat duvarı temel tabanına etki eden tasarım yatay kuvveti, tasarım sürtünme direnci ve tasarım pasif direncinin yüzde otuzunun toplamından daha küçük olmalıdır. Hesaplama sonucunda kayma tahkiki için statik ve dinamik etkiler altında tahkik için gerekli kuvvetler hesaplanarak tahkikin uygun olup olmadığı kontrol edilebilir. Örnek bir istinat duvarı uygulaması için hesaplanan kayma tahkiki örneği Şekil 39’da gösterilmiştir.

İstinat Duvarı Tasarım Programı 2023 (TBDY-2018 Uyumlu)

Veriler | Devrilme Tahkiki | **Kayma Tahkiki** | Taşıma Gücü Kontrolü | Oturma Kontrolü | Veri Rehberi-1 | Veri Rehberi-2

TBDY 2018'e göre;

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt}$$

Sürtünme dayanım katsayısı	γ_{Rh}	1.10
Pasif direnç dayanım katsayısı	γ_{Rp}	1.40

Statik Koşullar Altında Yatayda Kayma Tahkiki

Tasarım yatay kuvveti (V_{th}) 136,42 kN/m

Tasarım sürtünme direnci (R_{th}) 818,18 kN/m

Tasarım pasif direnci (R_{pt}) 81,43 kN/m

136,42 < 818,18 + 24,43

Tasarım yatayda kaymaya karşı güvenlidir.

Dinamik Koşullar Altında Yatayda Kayma Tahkiki

Tasarım yatay kuvveti (V_{th}) 369,86 kN/m

Tasarım sürtünme direnci (R_{th}) 818,18 kN/m

Tasarım pasif direnci (R_{pt}) 53,34 kN/m

369,86 < 818,18 + 16,00

Tasarım yatayda kaymaya karşı güvenlidir.

Statik Koşullar Altında Kayma Güvenlik Sayısının Belirlenmesi

Kaymaya Karşı Koşan Kuvvetler (FR) 600,00 kN/m

Kaydırmaya Çalışan Kuvvetler (FK) 136,42 kN/m

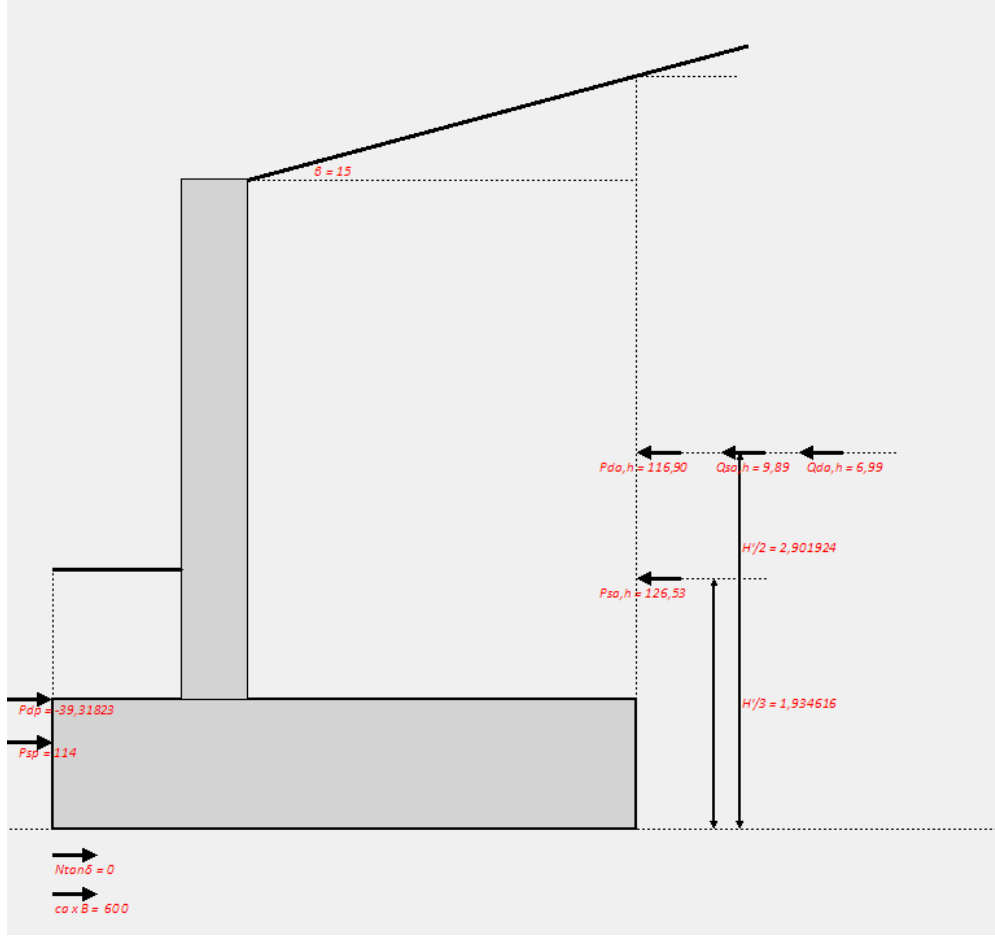
Güvenlik Sayısı 4,40

Model Oluştur

☒ Statik Model
☐ Dinamik Model

Şekil 39. Kayma tahkiki hesaplanmış bir istinat yapısı için sonuç ekranı

Sekme içerisinde ekranın sağ kısmında kayma tahkiki yapılırken ele alınan, statik ve dinamik etkiler sonucunda oluşan kuvvetler ve büyüklükleri istenilen model üzerinden incelenebilir. Buradaki tüm kuvvetler kN cinsindedir. Ayrıca modelde kuvvetlerin duvara etki mesafeleri de görülmektedir. Bir istinat duvarı uygulamasında kayma tahkiki için oluşturulmuş örnek bir model Şekil 40'da görülmektedir.



Şekil 40. Örnek bir istinat duvarı uygulaması için oluşturulmuş dinamik kayma tahkiki modeli

C. Taşıma Gücü ve Taban Basıncı Tahkiki

İstinat duvarını taşıma gücü açısından incelemek ve kontrol edebilmek için taşıma gücü kontrolü sekmesi içerisinde analiz incelenebilir. TBDY (2018) tarafından statik ve deprem etkisi içeren yükleme durumlarında istinat duvarının taşıma gücü kontrolü için kullanılacak eşitsizlikler gösterilmiştir. İlk etapta statik ve dinamik etkiler altında istinat duvarı tabanında oluşan maksimum ve minimum basınç değerleri hesaplanarak daha sonra temel tasarım taşıma gücü ile kıyaslanarak taşıma gücü tahkiki yapılmıştır. Tasarım sırasında Meyerhof taşıma gücü katsayıları ve temel taşıma gücü karakteristik dayanım denklemi kullanılmıştır. Denklemden bulunan temel şekli, taban eğimi, derinlik, temel zemin eğimi, yükleme eğikliği ve taşıma gücü katsayıları Meyerhof'a göre hesaplanmıştır. İstinat duvar temeli şerit temel olduğundan şekil katsayıları (s) 1 olarak kabul edilmiştir. Temel zeminin düz ve zeminin yatay olduğu kabulü ile temel zemin eğimi (g) ve temel taban eğimi (b) katsayıları 1 alınmıştır. Tasarım dayanımının hesaplanması için karakteristik dayanım

değeri temel taşıma gücü katsayısı 1.4'e bölünerek hesaplanmıştır. Şekil 41'de temel taşıma gücü kontrolü için örnek bir istinat duvarı uygulamasında hesaplanmış taban basıncı ve tasarım taşıma gücü gösterilmiştir.

İstinat Duvarı Tasarım Programı 2023 (TBDY-2018 Uyumlu)

Veriler | Devrilme Tahkiki | Kayma Tahkiki | **Taşıma Gücü Kontrolü** | Oturma Kontrolü | Veri Rehberi-1 | Veri Rehberi-2

TBDY 2018'e göre:

16.8.3.1 – Statik ve deprem etkisini içeren yüklem durumlarının her birinde Denk.(16.6)'daki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$q_o \leq q_t \quad (16.6)$$

Burada q_o temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncıdır. q_t ise tasarım dayanımı R_t 'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığıdır ve Denk.(16.7) ile tanımlanır:

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}} \quad (16.7)$$

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4

Statik Koşullar Altında Taban Basıncı

Toplam düşey kuvvetler ($\sum N$)	468,96 kN/m
Orta noktaya göre moment (MO)	76,84 kNm/m
Eksantrisite (e)	0,16
Maksimum taban gerilmesi (qmaks)	126,98 kPa
Minimum taban gerilmesi (qmin)	81,45 kPa

Dinamik Koşullar Altında Taban Basıncı

Toplam düşey kuvvetler ($\sum N$)	552,41 kN/m
Orta noktaya göre moment (MO)	288,00 kNm/m
Eksantrisite (e)	0,52
Maksimum taban gerilmesi (qmaks)	208,09 kPa
Minimum taban gerilmesi (qmin)	37,43 kPa

Statik Koşullar Altında Taşıma Gücü Tahkiki

Şekil katsayıları (s)	Eğim katsayıları (i)	Derinlik katsayıları (d)
sc 1,00	ic 0,97	dc 1,19
sq 1,00	iq 0,97	dq 1,00
sy 1,00	iy 0,00	dy 1,00
Nc 5,14	Nq 1,00	Ny 0,00

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Karakteristik taşıma gücü (qk)	1.232,49 kPa
Tasarım taşıma gücü (qt)	880,35 kPa

e<B/6 --> Tasarım boyutları uygundur.

qmaks<qt ve qmin>0 --> Tasarım taşıma gücü açısından güvenlidir.

Dinamik Koşullar Altında Taşıma Gücü Tahkiki

Şekil katsayıları (s)	Eğim katsayıları (i)	Derinlik katsayıları (d)
sc 1,00	ic 0,61	dc 1,23
sq 1,00	iq 0,61	dq 1,00
sy 1,00	iy 0,00	dy 1,00
Nc 5,14	Nq 1,00	Ny 0,00

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Karakteristik taşıma gücü (qk)	808,24 kPa
Tasarım taşıma gücü (qt)	577,31 kPa

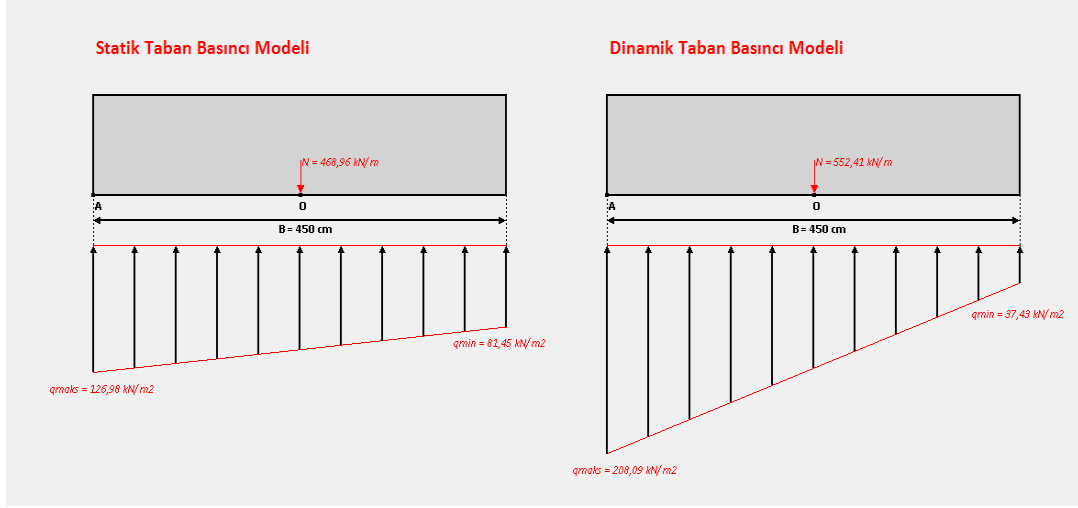
e<B/6 --> Tasarım boyutları uygundur.

qmaks<qt ve qmin>0 --> Tasarım taşıma gücü açısından uygundur.

Model Oluştur

Şekil 41. Örnek bir istinat duvarı uygulamasında program üzerinden hesaplanmış taşıma gücü tahkiki

Taşıma gücü modellemeleri için ise taşıma gücü kontrolü sekmesinde bulunan “Model Oluştur” butonu ile statik ve dinamik durumdaki taban basıncı modelleri oluşturulabilir. Örnek bir istinat duvarı için oluşturulan statik ve dinamik taban basıncı modeli Şekil 42’de görülmektedir.



Şekil 42. Örnek bir uygulamada taban basıncı modelleri

D. Oturma Tahkiki

Programın son bölümünde ise istinat duvar temeli için öngörülen oturma değerleri hesaplanarak oturma tahkiki yapılabilir. Temel zeminin kohezyonsuz olması halinde yapılan oturma hesapları teorik yaklaşımla belirlenmiştir. Kohezyonsuz zeminler için Schmertmann yöntemi kullanılmıştır.

Kohezyonlu zeminlerde hem elastik hem konsolidasyon oturmaları hesaplanmıştır. Kohezyonsuz zeminler için ise yalnızca elastik oturma hesaplanmaktadır. Oturma değerleri statik ve dinamik etkiler altında ayrı ayrı hesaplanmıştır. Örnek bir uygulama için oturma kontrolü sonuç ekranı Şekil 43’da gösterilmiştir.

İstinat Duvarı Tasarım Programı 2023 (TBDY-2018 Uyumlu)

Veniler | Devrilme Tahkiki | Kayma Tahkiki | Taşıma Gücü Kontrolü | Oturma Kontrolü | Veni Rehberi-1 | Veni Rehberi-2

$\sigma_{v0}' = \sigma_p'$
>>>>>>>>

$\sigma_{v0}' < \sigma_p' \text{ ve } \sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v < \sigma_p'$
>>>>>>>>

$\sigma_{v0}' < \sigma_p' \text{ ve } \sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v > \sigma_p'$
>>>>>>>>

$s_c = \frac{H}{1 + e_0} C_c \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v}{\sigma_{v0}'} \right)$

$s_c = \frac{H}{1 + e_0} C_r \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v}{\sigma_{v0}'} \right)$

$s_c = \frac{H}{1 + e_0} \left[C_c \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v}{\sigma_p'} \right) + C_r \log \left(\frac{\sigma_p'}{\sigma_{v0}'} \right) \right]$

Statik Koşullar Altında Oturma Kontrolü

Net taban basıncı (q _{net})	74,40 kPa
De Boor etkin derinliği (D _e)	9,74 metre
Gerilme artışı (Δσ _v)	13,05 kPa
Efektif gerilme (σ _{v0} ')	130,55 kPa
Ön konsolidasyon basıncı (σ _p ')	220 kPa
Oturma (s _c)	22,83 mm
İzin verilebilir oturma	25,00 mm

Oturma izin verilebilir sınırlar içindedir.

Dinamik Koşullar Altında Oturma Kontrolü

Net taban basıncı (q _{net})	121,78 kPa
De Boor etkin derinliği (D _e)	12,18 metre
Gerilme artışı (Δσ _v)	15,37 kPa
Efektif gerilme (σ _{v0} ')	153,66 kPa
Ön konsolidasyon basıncı (σ _p ')	220 kPa
Oturma (s _c)	34,23 mm
İzin verilebilir oturma	25,00 mm

Oturma izin verilebilir sınırlar içinde değildir..

Şekil 43. Örnek bir istinat duvarı uygulaması için oturma tahkiki hesaplamaları

3. SONUÇLAR

Ülkemizde doğru mühendislik hizmeti almayan istinat duvarları zaman zaman ciddi yıkımlara sebep olmaktadır. Bu yıkımlar can ve mal kayıplarına yol açarak toplumda derin üzüntülere sebep olmaktadır. Bu sebeple, istinat duvarlarının güvenli tasarımı için statik ve dinamik etkiler altında duvara etki eden kuvvetler doğru belirlenerek devrilme, kayma, taşıma gücü ve oturma tahkiklerinin TBDY (2018)'e uygun şekilde yapılması oldukça önemlidir. Bu sebeple istinat duvarlarının dinamik etkiler altında tasarımında doğru deprem ivme değerleri tasarıma dahil edilmelidir. Yapının inşa edileceği konumda oluşacak deprem ivme katsayılarının AFAD tarafından çevrimiçi olarak hazırlanmış Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan belirlenerek hesaba katılması ve deprem etkisi altında oluşacak kuvvetlerin doğru olarak belirlenmesi güvenli tasarım için en önemli noktalardan birisidir. Bu sebeple güvenli tasarımlar için, kullanılacak parametrelerin hesaplamalara doğru bir şekilde katılması ve sonuçların doğruluğuna emin olmak gerekir.

Bu tez çalışmasında, istinat duvarı tasarım esasları için TBDY (2018)'e uygun olarak Microsoft Visual Studio üzerinden C programlama dili ile konsol istinat duvarları için bir hesap programı hazırlanmıştır. Bu programın amacı istinat duvarlarının statik ve dinamik durumlar altında tasarımı için yapılacak uzun süreli ve karmaşık hesaplamaların yerine, bilgisayar programı ile birlikte daha hızlı ve anlaşılır biçimde tasarımların hazırlanmasıdır. Hesap programı içerisine dahil edilecek olan istinat duvarı tasarımı için gerekli parametre değerleri kullanıcı tarafından manuel olarak belirlenebilmektedir. Program üzerinden istenilen tahkik sonuçları ve modellemeler görüntülenebilmekte ve görsel olarak analiz yapılabilmektedir. Programın güvenilirliği örnek bir uygulama üzerinde test edilerek el ile yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar ve program ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda el ile yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar ve program üzerinden elde edilen sonuçlarda tasarıma etki edecek bir farklılığa rastlanmamıştır. Program içerisinde yapıya etki eden kuvvetler her tahkik için ayrı ayrı modellenerek tasarımcının yapının tasarımı hakkında fikir yürütmesi ve farklı koşullar için tasarlanacak yapılar için de öngörü yapabilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca program ile birlikte tipik bir konsol istinat duvarı tasarımı için gerekli sonuçlara kolay ve hızlı bir şekilde ulaşılabilmektedir.

4. ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, istinat yapılarının tasarımı için bir program geliştirilmiştir. Bu tez konusu ile çalışma yapmak isteyen araştırmacılara iletmek istenen öneriler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Program ile elde edilen modellemeler bir CAD programı ile entegre edilerek daha dinamik biçimde kullanılabilir.
- Program ağırlık tipi istinat duvarları için de geliştirilebilir.
- Çok tabakalı zeminler için yalnızca Rankine yöntemi kullanılabildiği için çok tabakalı zeminlerin tasarımı program içerisine entegre edilebilir.
- Konsol tipi istinat duvarları için dış stabilite tahkiki olan toptan göçme ve iç stabilite tahkikleri olan kesit tesirleri, betonarme hesap ve donatı şemaları program içerisine eklenebilir.



5. KAYNAKLAR

- Akbay Arama, Z., Dalyan, İ., Akın, M. S. ve Gençdal, H. B. (2020). An Application of TBEC-2018 in the Prediction of Retaining Wall Dimensions with Simple Regression Analysis. *Global Journal in Civil Engineering*, 2(2).
- Brooks, H. ve Nielsen, J. (2010). Basics of retaining wall design. *HBA Publication*, 11.
- Cerrahoğlu, H. (1994). *Yatay Yüklü Kazık, Palplanş Perde ve Ahşap İksa Hesabı*. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Das, B. M. (2010). *Principles of geotechnical engineering* (7.). Cengage learning.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering* (Cengage Learning.).
- Emir, A. S. (2005). *Donatılı Zemin İstinat Duvarlarının Statik ve Dinamik Yüklere Göre Tasarımı*. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karadüz, Ş. ve Çimen, Ö. (2019). Diyafram Duvarlar ve Top-Down Yöntemine Bir Örnek: Atatürk Kültür Merkezi-Kızılay Metro Bağlantı Hattı Projesi. *Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 51-57.
- Kaşlı, H. H. (2019). *Adapazarı'nda Dayanma Yapılarının Deprem Güvenliğine Türkiye Deprem Tehlike Haritasının Getirmiş Olduğu Etkiler*. SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- KDYHY. (2022). Kazı Destek Yapıları Hakkında Yönetmelik. *Resmi Gazete* (32047).
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Pearson Education India.
- NAVFAC, D. M. (1984). *Foundation and Earth Structures*. US Department of the Navy.
- Özbey, K. (2003). *İstinat Duvarı Analizleri*. YTU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Peşin, S. (2021). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Zemin Sınıflarının Dayanma Yapılarının Davranışlarına Getirdiği Farklılıklar*. SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Pitilakis, K. ve Moutsakis, A. (1989). Seismic analysis and behaviour of gravity retaining walls: The case of Kalamata harbour quaywall. *Soils and foundations*, 29(1), 1-17.
- Ramli, M., Karasu, T. J. R. ve Dawood, E. T. (2013). The stability of gabion walls for earth retaining structures. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 705-710. doi:10.1016/J.AEJ.2013.07.005

- Schmertmann, J. H., Hartman, J. P. ve Brown, P. R. (1978). Improved strain influence factor diagrams. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 104(8), 1131-1135.
- Seyhan, Ş. (2021). *Dayanma Duvarlarında Makine Öğrenmesi ile Güvenlik Sayısı Tahmini*. KTO-KÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Sivrikaya, O. (2021a). *İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı II*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Sivrikaya, O. (2021b). *İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı I*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *Resmi Gazete* (30364).
- Tezcan, S. S. ve Buket, Z. S. (1999). *Design of Reinforced Soil Retaining Walls: Including Seismic Performance Principles*. TDV.
- T.S.E. (1990). Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları. TS-7994, s. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Tuğrul, A. T. (2019). *İstinat Yapılarının Depreme Dayanıklı Tasarımı*. PAU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Yavan, O. (2015). *Suya Doygun Kil Zeminlere İnşa Edilen İstinat Duvarlarının Dinamik Yükler Altında Davranışı*. ANAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Yenidoğan, H. C. (2006). *İstinat duvarlarının deprem sırasında davranışı*. YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yıldız, M. C. (2015). *İstinat Duvarına Etkiyen Dinamik Toprak Basınçları*. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yılmaz, F. (2018). *Şerit Donatılı Toprakarme Duvar Sisteminin Uygulanması*. BARÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bartın.

ÖZGEÇMİŞ

Aziz Can TAŞKIN, ilköğrenimini Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra lise öğrenimini 2015 yılında Tefvik Serdar Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2015 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde üniversite öğrenimine başladı. Üniversite öğrenimini tamamladıktan sonra 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde geoteknik anabilim dalında yüksek lisans eğitime başladı. Geoteknik alanında çalışmalarına doktora yaparak devam etmeyi planlamaktadır.

