



The Evaluation of the Effective Parameters on the Geotechnical Design of Reinforced Concrete Retaining Walls According to the Turkish Building Earthquake Code 2018

Ilknur Dalyan¹, Muhammed Selahaddin Akin² and Zulal Akbay Arama³

¹Disaster and Emergency Management Presidency, Cankaya 06800 Ankara

²Kartal Municipality, Kartal 34862 Istanbul

³Istanbul University-Cerrahpasa, Engineering Faculty, Civil Engineering Division, Avcilar 34320 Istanbul
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0003-1980-1812, 0000-0001-8185-7329

Keywords

Reinforced Concrete Retaining Walls, Geotechnical Design, Turkish Building Earthquake Code, Earthquake Resistant Design

Highlights

- * Earthquake resistant design of retaining walls
- * Turkish Building Earthquake Code 2018
- * The effective parameters of geotechnical design of retaining walls

Acknowledgements

--

Aim

In this study, the effects of the soil properties on the geotechnical design of reinforced concrete retaining walls are investigated depending on the conducted parametrical analysis based on the Turkish Building Earthquake Code 2018. The dimensions obtained from the dynamic analysis were also compared with the retaining wall preliminary design limits accepted in the literature.

Location

Turkey

Methods

The effects of the soil properties on the geotechnical design of reinforced concrete retaining walls are investigated by conducted parametric analysis depending on Turkish Building Earthquake Code 2018.

Results

Comparative charts are obtained to show the effects of the change of the soil shear strength angle, the soil unit weight, the excavation depth and the amount of external surcharge load on the sizing of the wall system with respect to Turkish Building Earthquake Code 2018.

Supporting Institutions

--

How to cite

Dalyan I., Akin M.S., Akbay Arama Z., 2020. The Evaluation of the Effective Parameters on the Geotechnical Design of Reinforced Concrete Retaining Walls According to the Turkish Building Earthquake Code 2018, *Turk. J. Earthq. Res.* 2 (2), 176-192, <https://doi.org/10.46464/tdad.804289>

Manuscript

Research Article

Received: 02.10.2020

Revised: 07.10.2020

Accepted: 12.11.2020

Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.804289

Corresponding Author

Ilknur Dalyan

Email: ilknur.dalyan@afad.gov.tr

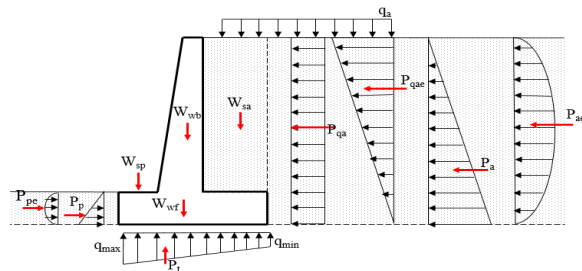


Figure
Stresses or loads acting along a T-shaped cantilever retaining wall



Betonarme İstinat Duvarlarının Geoteknik Tasarımında Etkili Parametrelerin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Değerlendirilmesi

İlknur Dalyan¹, Muhammed Selahaddin Akın² ve Zülal Akbay Arama³

¹Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Çankaya 06800 Ankara

² Kartal Belediyesi, Kartal 34862 İstanbul

³ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320 İstanbul
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0003-1980-1812, 0000-0001-8185-7329

ÖZET

Bu makale kapsamında, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin 16. Bölüm esaslarına dayanarak, betonarme istinat duvarlarının geoteknik tasarımında zemin özelliklerinin etkileri, yapılan parametrik analizler ile incelenmiştir. Bu bağlamda, duvar geri dolgusunun tamamen granüler zeminlerden oluştuğu ve duvar temelinin kohezyonlu zemine oturduğu varsayılarak, istinat duvarının dinamik tasarımında zemin birim hacim ağırlığının, kayma mukavemeti açısının, kazı derinliğinin ve sürşarj yükünün istinat duvarının boyutlarına etkisi irdelenmiştir. İstinat duvarının boyutlandırılmasında "TS 7994 Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları" standardında yer alan kayma, devrilme ve zeminin taşıma gücü için tanımlanmış kurallar uygulanmıştır. Yapılan dinamik analizler sonucunda elde edilen boyutlar, literatürde kabul gören istinat duvarı ön tasarım boyutlandırma sınırları ile de karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler

Betonarme İstinat Duvarları, Geoteknik Tasarım, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018), Depreme Dayanıklı Tasarım

Öne Çıkanlar

- * İstinat duvarlarının depreme dayanıklı tasarımı
- * 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
- * İstinat duvarlarının geoteknik tasarımında etkili parametreler

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.10.2020
Düzeltilme: 07.10.2020
Kabul: 12.11.2020
Basım: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.804289

Sorumlu yazar

İlknur Dalyan
Eposta:
ilknur.dalyan@afad.gov.tr

The Evaluation of the Effective Parameters on the Geotechnical Design of Reinforced Concrete Retaining Walls According to the Turkish Building Earthquake Code 2018

İlknur Dalyan^{1,*}, Muhammed Selahaddin Akın² and Zülal Akbay Arama³

¹ Disaster and Emergency Management Presidency, Çankaya 06800 Ankara

² Kartal Municipality, Kartal 34862 İstanbul

³ İstanbul University-Cerrahpaşa, Engineering Faculty, Civil Engineering Division, Avcılar 34320 İstanbul
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0003-1980-1812, 0000-0001-8185-7329

ABSTRACT

In this paper, the effects of the soil properties on the geotechnical design of reinforced concrete retaining walls are investigated depending on the conducted parametrical analysis based on the Turkish Building Earthquake Code 2018- Part 16. In this connection, the effects of the change of the unit weight of the backfill soil, the shear strength of the backfill soil, the excavation depth and the external surcharge load on the dynamic design of retaining walls is examined with the assumption of the formation of the backfill soil as pure frictional and the foundation as soil pure cohesive. The rules that are defined for sliding, overturning and soil bearing capacity adequateness of the wall system based on "TS 7994 Soil Retaining Structures: Classification, Properties and Projecting Principles" are used to size the wall system. The dimensions which are obtained as the result of the dynamic analysis were compared with the retaining wall preliminary design limits accepted in the literature.

Keywords

Reinforced Concrete Retaining Walls, Geotechnical Design, Turkish Building Earthquake Code, Earthquake Resistant Design

Highlights

- * Earthquake resistant design of retaining walls
- * Turkish Building Earthquake Code 2018
- * The effective parameters of geotechnical design of retaining walls

Manuscript

Research Article

Received: 02.10.2020
Revised: 07.10.2020
Accepted: 12.11.2020
Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.804289

Corresponding Author

İlknur Dalyan
Email:
ilknur.dalyan@afad.gov.tr

1. GİRİŞ

İstinat duvarları eğimli toprak kütlelerinin dengesini sağlamak veya arttırmak için kullanılan yapısal sistemlerdir (Gandomi ve diğ. 2015). Bu dayanma yapıları, genellikle köprüler, ulaşım sistemleri gibi yapısal uygulamalarda alt yapının ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadırlar. İstinat yapılarının tasarımında stabilite ve yapısal dayanım gereksinimleri dikkate alınmalıdır (Das 2010, Kaveh ve diğ. 2013). Bu yapılar, dolgu toprağını güvenli bir şekilde destekleyecek, kayma ve devrilmeye karşı stabilite sağlayacak, yapı ve topraktaki gerilmeleri sınırlayacak ve tüm göçme şekilleri için güvenlik faktörlerinin kabul edilebilir sınırlarda kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır (Camp ve Akin 2012, Talatahari ve Sheikholeslami 2014). Betonarme konsol istinat duvarı en yaygın inşa edilen istinat yapılarıdır ve deprem etkisi altında bir istinat duvarının tasarımı karmaşık bir mühendislik problemidir. Bu durumda deprem etkisi altında tasarlanacak istinat duvarlarına statik zemin basınçlarının yanında dinamik zemin basınçları da etki etmektedir (Arslan ve diğ. 2018).

Literatürde, dinamik zemin basınçlarını da göz önüne alarak tasarlanan ve tasarım üzerinde etkili faktörleri değerlendiren birçok çalışma mevcuttur. Bilgin (2006) tarafından yapılan çalışmada devrilme, kayma, göçme güvenliklerini sağlayacak şekilde statik veya dinamik yükler altında istinat duvarlarının tasarımı için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Farklı zemin etkilerine sahip istinat duvarlarının depremlili ve depremsiz durumda analizleri gerçekleştirilmiş ve duvarların davranışları karşılaştırmıştır. Gürsoy (2013), DBYBHY-2007 ve Eurocode 8 yönetmeliklerine göre istinat duvarlarının deprem etkisi altındaki tasarımını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik esaslarına göre istinat duvarlarının depreme dayanıklı tasarımı için tasarım spektrumlarındaki zemin parametrelerinin göz önüne alınması gerektiği sonucuna varmıştır. Çakır (2016) çalışmasında sonlu elemanlar yöntemi kullanarak dolgu zemin özelliklerinin değişiminin konsol bir istinat duvarının sismik tepkisi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Dört farklı dolgu zemininde doğrusal olmayan analizler yaparak yer değiştirme ve gerilmeleri belirlemiş ve değişen zemin koşulları ile yanal yer değiştirmelerin ve gerilmelerin maksimum değerlerinin değiştiğini belirtmiştir. Kayhan ve Demir (2018), diferansiyel gelişim algoritması kullanarak betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımını yapmışlardır. Tasarımda statik ve depremlili durumdaki dinamik zemin etkilerinin yanı sıra düşey yükleri de göz önüne almışlardır. Diferansiyel gelişim algoritmasının betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımında etkili bir yol olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Temür ve Bekdaş (2018) yaptıkları çalışmada statik ve dinamik yükler altındaki betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımı için bir yöntem önermişlerdir. İstinat duvarı gövde ve ön ampatman kalınlığının ve farklı deprem yüklerinin duvar maliyetine etkisini de incelemişlerdir. Binici ve Öztürk (2019), istinat duvarının geri dolgu zeminin, özellikle birim hacim ağırlığı değerinin duvarın taban genişliğine olan etkisini araştırmışlardır. Duvar yüksekliği ve dolgu birim hacim ağırlığı arttıkça taban genişliğinin arttığını belirtmişlerdir. Tuğrul (2019), TBDY 2018 ve DBYBHY 2007'ye göre istinat duvarlarına etkiyen dinamik zemin etkilerini karşılaştırmıştır. Bunun için 3 farklı duvar modelini göz önüne almıştır. Deprem tehlikesinin artmasının DBYBHY 2007'den elde edilen sonuçları TBDY 2018'den elde edilen sonuçlara göre daha fazla etkilediği sonucuna varmıştır.

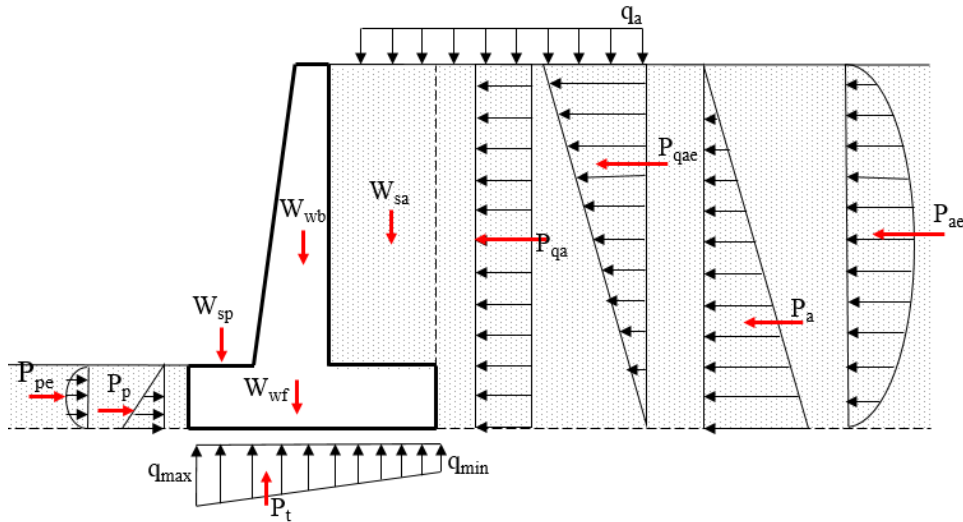
Bu çalışmada, betonarme istinat duvarlarının dinamik tasarımında Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) uygulama esasları kullanılmış olup, istinat duvarlarının boyutlandırılmasında Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları (TS 7994) standardında yer alan kayma, devrilme ve zeminin taşıma gücü için tanımlanmış kurallar uygulanmıştır. İstinat duvarlarının geoteknik tasarımı üzerinde zemin özelliklerinin etkileri, geri dolgunun birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti açısı değişimine bağlı olarak incelenmiştir. Aynı zamanda, desteklenen kazı derinliğinde ve geri dolgu üzerinden etkiyen sürşarj yükünün miktarındaki artıma bağlı olarak boyutlarda meydana gelen farklılık oranı da değerlendirmeye alınmıştır. Dinamik kuvvetler etkisi altında tasarlanan istinat duvarlarının boyutları, literatürde önerilen ve uygulamalarda sıklıkla kullanılan ön tasarım

boyutlandırma kriterleri ile de karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda makalenin ikinci bölümünde bahsi geçen yönetmeliklere ait uygulama detayları paylaşılmış, üçüncü bölümünde parametrik analizlerde kullanılan özellikler tanımlanmış ve dördüncü bölümde tasarım değişkenlerinin etkileri karşılaştırmalı bir şekilde yorumlanmıştır.

2. YÖNTEM

Şekil 1'de konsol bir istinat duvarı ve bu duvara etkiyen yükler gösterilmiştir. W_{wb} istinat duvarının gövde ağırlığını, W_{wf} istinat duvarının temel ağırlığını, W_{sp} ön ampatman üzerindeki zeminin ağırlığını, W_{sa} arka ampatman üzerindeki zeminin ağırlığını, q_a geri dolgu üzerinden etkiyen sürşarj yükünü, P_{qa} sürşarj yükü sebebi ile oluşan aktif toprak basıncını, P_{qae} depremlı durumda sürşarj yükünden oluşan aktif toprak basıncını, P_a statik durumda aktif toprak basıncını, P_{ae} depremlı durumdaki aktif toprak basıncını, P_p statik durumda pasif toprak basıncını, P_{pe} depremlı durumdaki pasif toprak basıncını P_t taban kesme kuvvetini temsil etmektedir.

Aktif ve pasif toprak basınçlarının hesabında kullanılan yatay statik-eşdeğer deprem katsayısı k_h ve düşey *statik-eşdeğer deprem katsayısı* k_v Denklem 1'de verilmiştir.



Şekil 1: T kesitli bir konsol istinat duvarına etki eden yükler

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r} \quad (1a)$$

$$k_v = 0.5k_h \quad (1b)$$

Denklem 1a'daki S_{DS} (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) değeri Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan elde edilen S_S değerine göre hesaplanmaktadır. S_{DS} zemin sınıfına göre farklılık göstermektedir. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) değeri denklem 2'de verilmiştir.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (2)$$

Denklem 2'deki S_s değeri Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan (TDTH 2018) elde edilen harita spektral ivme katsayısı, F_s ise kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısıdır. F_s değerleri yerel zemin sınıfı ve S_s değerlerine bağlı olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Denklem 1a'da verilen r katsayısı değerleri değişik dayanma yapısı tipleri için Tablo 2'de verilmiştir.

İstinat duvarına etkiyen toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşkesi Denklem 3'te verilmiştir.

$$P_t = K(1 \mp k_v) \left(\frac{1}{2} \gamma^* H^2 + qH \right) + P_{su} + \Delta P_{su} \quad (3)$$

Burada K toplam (statik+dinamik) aktif (K_a) veya pasif (K_p) toprak basıncı katsayısını, k_v düşey statik-eşdeğer deprem katsayısını, γ^* zeminin tipik birim hacim ağırlığının, H duvar yüksekliğini, q sürşarj yükünü, P_{su} ve ΔP_{su} ise bileşke statik ve dinamik su basınçlarını göstermektedir. İstinat duvarının arkasındaki su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda zemin birim hacim ağırlığı γ^* 'ın değeri zemin tabii birim hacim ağırlığı γ 'ya eşit olarak alınmaktadır.

Tablo 1: Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Tablo 2: Dayanma Yapıları için r katsayıları (TBDY 2018)

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

$\beta \leq \phi'_d - \theta$ olması durumunda, toplam aktif basınç katsayısı (K_a), Denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Burada, ψ duvarın yataya göre (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) ölçülen açısını, ϕ'_d zeminin tasarım kayma direnci açısını, δ_d zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısını, β ise duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısını göstermektedir.

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (4)$$

Toplam pasif basınç katsayısı (K_p), zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak, Denklem 5 ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan K_p değeri statik ve dinamik etkileri içermektedir.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin \phi'_d \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (5)$$

İstinat duvarının arkasındaki su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda sismik açı (θ) denklem 6'da verilmiştir.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \mp k_v} \right] \quad (6)$$

Statik durumda devrilme tahkiki için kullanılacak güvenlik katsayısı ($F_{s_{devrilme}}$) Denklem 7'deki koşulu sağlamalıdır.

$$F_{s_{devrilme}} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \geq 2.5 \quad (7)$$

Depremler durumunda istinat duvarının devrilmeye karşı güvenli olması için Denklem 8'deki koşul sağlanmalıdır.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (8)$$

Denklem 7 ve 8'de; $\sum M_R$, R_{dev} devrilmeye karşı direnen kuvvetlerin (duvarın zati ağırlığı, arka ampatman üzerindeki zemin ağırlığı ve sürşarj yükü) oluşturduğu momentlerin toplamını, $\sum M_o$, E_{dev} ise devrilmeye neden olan kuvvetlerin (duvar arkası aktif toprak basıncı) oluşturduğu momentlerin toplamını ifade etmektedir.

Statik durumda duvarın kaymaya karşı güvenliğinin olması için denklem 9'daki koşul sağlanmalıdır. Burada $F_{s_{kayma}}$ kaymaya karşı güvenlik sayısı, $\sum F_R$ kaymaya karşı koyan kuvvetler toplamı ve $\sum F_d$ kaymaya neden olan kuvvetlerin toplamını göstermektedir.

$$F_{s_{kayma}} = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d} \geq 1.5 \quad (9)$$

Depremler durumunda duvarın kaymaya karşı güvenliğinin olması için denklem 10'daki koşul sağlanmalıdır.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (10)$$

Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini göstermektedir.

Tasarım sürtünme direnci (R_{th}) kohezyonlu zeminlerde (drenajsız durumda) denklem 11 ile hesaplanmaktadır.

$$R_{th} = \frac{A_c c_u}{\gamma_{Rh}} \quad (11)$$

Burada, A_c temel altında basınç gerilmelerinin olduğu toplam alanı, c_u drenajsız kayma dayanımını, γ_{Rh} sürtünme direnci dayanım katsayısı ifade etmektedir. γ_{Rh} sürtünme direnci dayanım katsayısı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları (TBDY 2018)

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1.1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1.4

Tasarım pasif direnci R_{pt} Denklem 12 ile hesaplanmaktadır. γ_{Rp} değeri Tablo 3'de verilmiştir.

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (12)$$

Burada, R_{pk} karakteristik pasif direnci, γ_{Rp} dayanım katsayısını ifade etmektedir. Karakteristik pasif direnci Denklem 13 ile hesaplanmaktadır.

$$R_{pk} = K_p(1-k_v) \left(\frac{1}{2} \gamma D^2 \right) \quad (13)$$

Temelin taşıma gücü kontrolü denklem 14 ile yapılabilir.

$$0 < q_{min} \quad ; \quad q_{max} < q_a \quad (14)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir.

q_{min} ve q_{max} Denklem 15 ile hesaplanabilir. Burada e eksantrisiteyi, $\sum V$ düşey yükler toplamını, B ise toplam temel genişliğini ifade etmektedir.

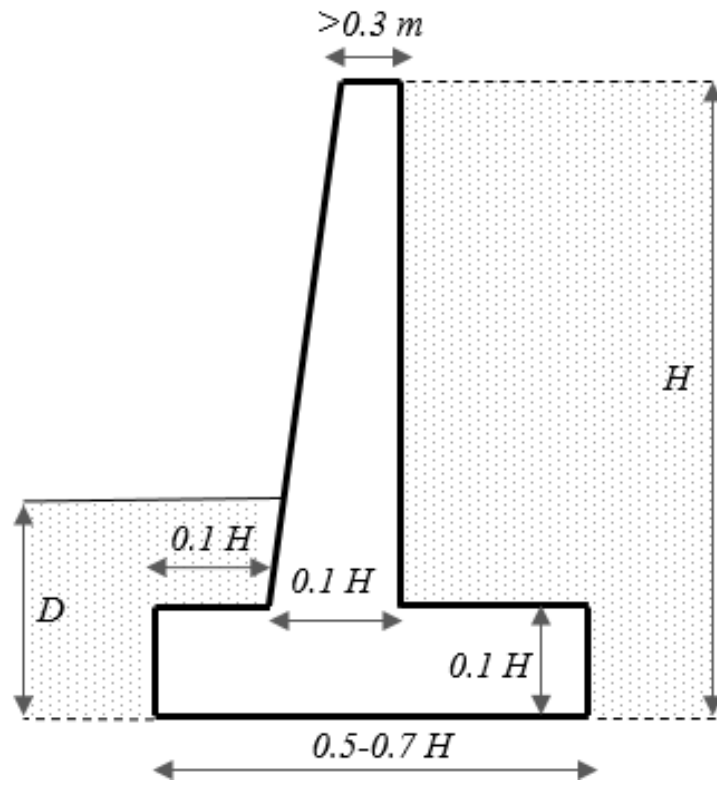
$$q_{max,min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (15)$$

Eksatrisite,

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_0}{\sum V} \quad (16)$$

denklemlerle hesaplanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, yukarıda bahsi geçen tasarım kriterleri Microsoft Excel programı macro özellikleri kullanılarak formüle edilmiş ve aynı zamanda statik tasarım kriterleri de göz önüne alınarak boyutlandırma yapılmıştır. İlâveten, Şekil 2'de verilen ve literatürde kabul görmüş istinat duvarı ön boyutlandırma kriterlerine bağlı olarak (Azizi 1999), söz konusu öngörülen koşullar etkisi altında tasarlanabilecek minimum boyutlu duvar kesitleri elde edilmiştir. Bu yolla, dinamik koşullar etkisi altında tasarlanan duvar ile öntasarım kriterlerine göre tasarlanabilecek istinat duvarları arasında oluşacak göreceli boyutlandırma farklarına dikkat çekilmiştir.



Şekil 2: Konsol istinat duvarı ön tasarım kriterleri (Azizi 1999)

3. VERİ

Betonarme istinat duvarlarının dinamik tasarımına jeoteknik parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile yürütülen çalışmalar kapsamında, tamamen granüler zeminlerden oluştuğu varsayılan geri dolgu zeminin birim hacim ağırlığı değeri, (Bowles 1988) tarafından iri daneli zeminler için önerilen değerlerden seçilerek 16-18-20-22 kN/m³ kabul edilmiş, kayma mukavemeti açısı (Das 2007) tarafından önerilen 28-38° aralığında ikişer artımlı olacak şekilde öngörülmüştür. Kazı derinliğinin 4-6-8-10 metre ve sürşarj yükünün 0-10 kPa olması durumları da ayrıca değerlendirilmiştir. Kullanılan zemin profilinde yeraltı suyu varlığı dikkate alınmamıştır. İstinat duvarı temelının kohezyonlu zemin üzerinde yer aldığı ve ilgili kohezyonlu zeminin drenajsız kayma dayanımı (c_u) değerinin 250 kN/m² olduğu varsayılmıştır. Kurgulanan tüm vaka analizlerinde duvar altında bulunan temel zemini özelliklerinin aynı

kaldığı varsayılmıştır. Duvar-zemin ara kesidinin düşeyle açığı yapılmadığı ve duvar arkası zemin yüzeyinin şev oluşturmadığı varsayılmıştır. Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açığı ise dik olarak kabul edilmiştir. Betonun birim hacim ağırlığı 24 kN/m^3 olarak kullanılmıştır.

İncelenen betonarme istinat duvarlarının bulunduğu bölge için zemin sınıfının ZC olduğu varsayılmış ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH, 2018) kullanılarak DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için bölgenin spektral ivme katsayıları $S_s=0.926$; $S_1=0.255$ olarak belirlenmiştir.

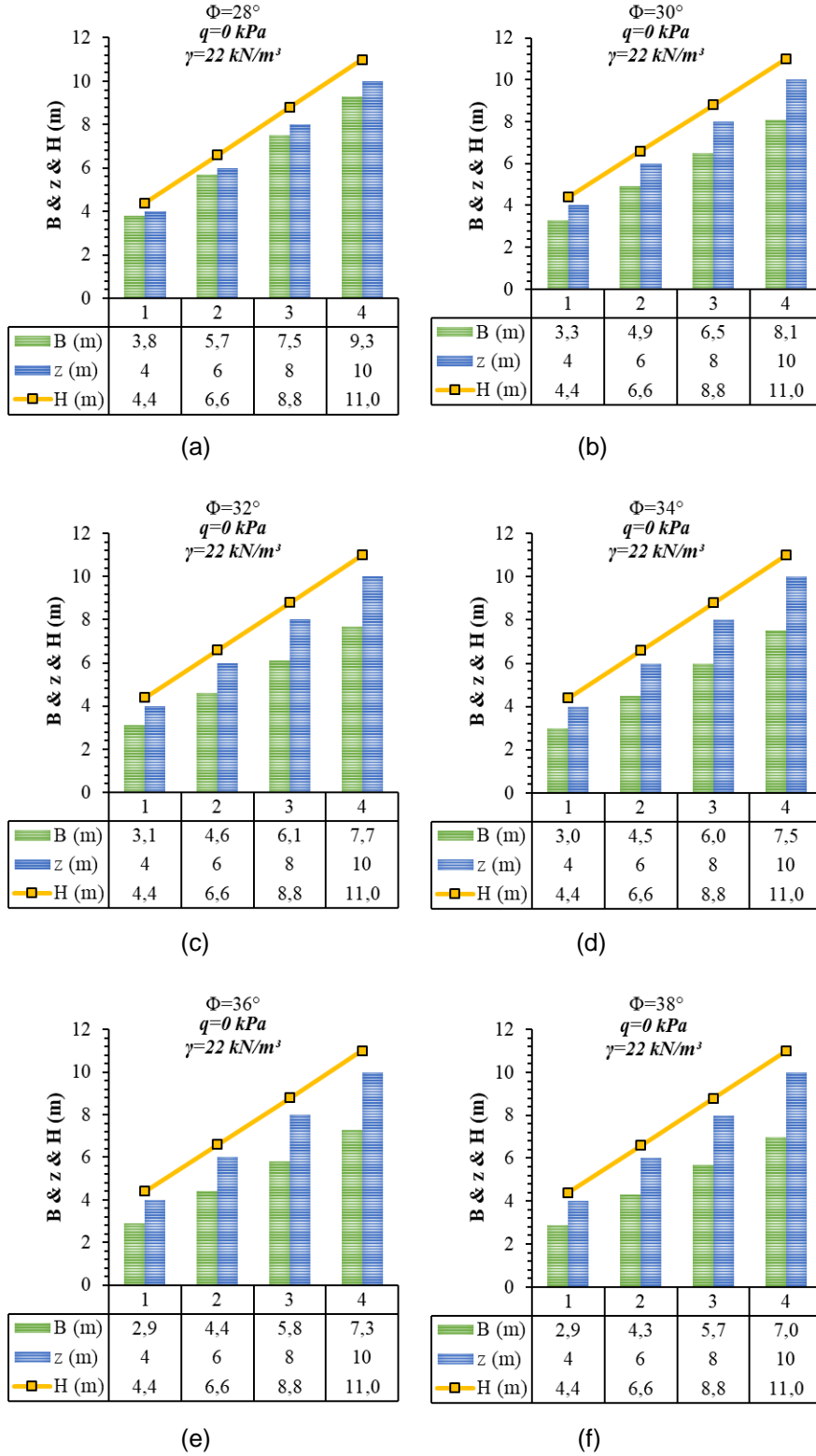
İstinat duvarlarının tasarımına (Azizi 1999) tarafından önerilen ön tasarım boyutlarından başlanmış ve stabilite analizlerinin sınır duruma geldiği koşulda elde edilen boyutlandırma ölçüleri, nihai tasarım boyutu olarak seçilmiş ve karşılaştırmalarda kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında toplamda 384 adet istinat duvarı boyutlandırma analizi gerçekleştirilmiş olup analiz sonuçları temel tabanı genişliği ve duvar yüksekliğindeki değişime bağlı olarak grafikler halinde sunulmuştur. Söz konusu analizlerdeki değişken ve veri sayısı fazlalığına bağlı olarak, seçilen bazı referans vakalar için değerlendirilmeler elde edilmiştir. Bu bağlamda, Şekil 3'te kayma mukavemeti açısından meydana gelen değişimin, TBDY 2018'e göre tasarlanan istinat duvarı boyutlarına etkileri incelenmiştir.

Şekil 3'te düşey ekseninde, duvar temeli genişliği (B), desteklenen kazı derinliği (z) ve toplam duvar boyu (H) değerlerinin sırası ile kayma mukavemeti açısının 28, 30, 32, 34, 36, 38° olması durumlarında hesaplanan değerleri Şekil 3a-f'de oluşturulan pareto grafikleri ile sunulmuştur. Kayma mukavemeti açısının tasarıma etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile yapılan bu analizlerde geri dolgu zeminin birim hacim ağırlığı sabit 22 kN/m^3 değerinde göz önüne alınmış ve sürşarj yükü etkisinin bulunmadığı düşünülmüştür. Öngörülen kazı derinlikleri ile orantılı olarak, Azizi (1999) tarafından önerilen minimum temel taban kalınlığı değeri olarak " $0.1 \cdot z$ " ön analizlerde başlangıç kalınlık değeri olarak kullanılmış ve tüm kayma mukavemeti açısı değeri değişimlerinde, ilgili temel kalınlığının denge koşullarını yeterli güvenlikte sağlayabildiği görülmüştür. Aynı zamanda, taban kalınlığı da artırılarak denge koşulları sorgulandığında elde edilen sonuçlar, odaklanması gereken faktörün, TBDY 2018'e göre yapılan tasarımlarda da temel genişliği olduğu yaklaşımını oluşturmuştur. Şekil 3 aynı zamanda kazı derinliğinin artmasının duvar boyutlarına etkisini de yansıtmaktadır. Beklendiği üzere, kazı derinliğindeki artım, her bir seçilen vakada, temel genişliğinin artmasına neden olmuştur. Kayma mukavemeti açısının 28, 30, 32, 34, 36, 38° şeklinde artması ve kazı derinliğinin 4 metreden sırası ile 6, 8, 10 metrelere yükselmesi durumlarında ise duvar temel genişliğinde meydana gelen artım tüm değerlendirilen vakalarda yaklaşık olarak %50, %97, %145 oranlarındadır. Aynı zamanda, kayma mukavemeti açısının 28, 30, 32, 34, 36, 38° şeklinde artması, minimum kayma mukavemeti açısı değerinde elde edilen temel genişliği değeri referans olarak değerlendirildiğinde, temel taban boyutlarını her bir aynı kazı derinliğinde ortalama olarak %13, %18, %20, %23, %24 oranlarında azalma sevk etmektedir. Geri dolgu malzemesine ait kayma mukavemeti değerinin değişmesi olgusu, duvar tasarımının ilk adımını oluşturan yatay toprak basınçlarının hesaplanmasından itibaren etkilidir.

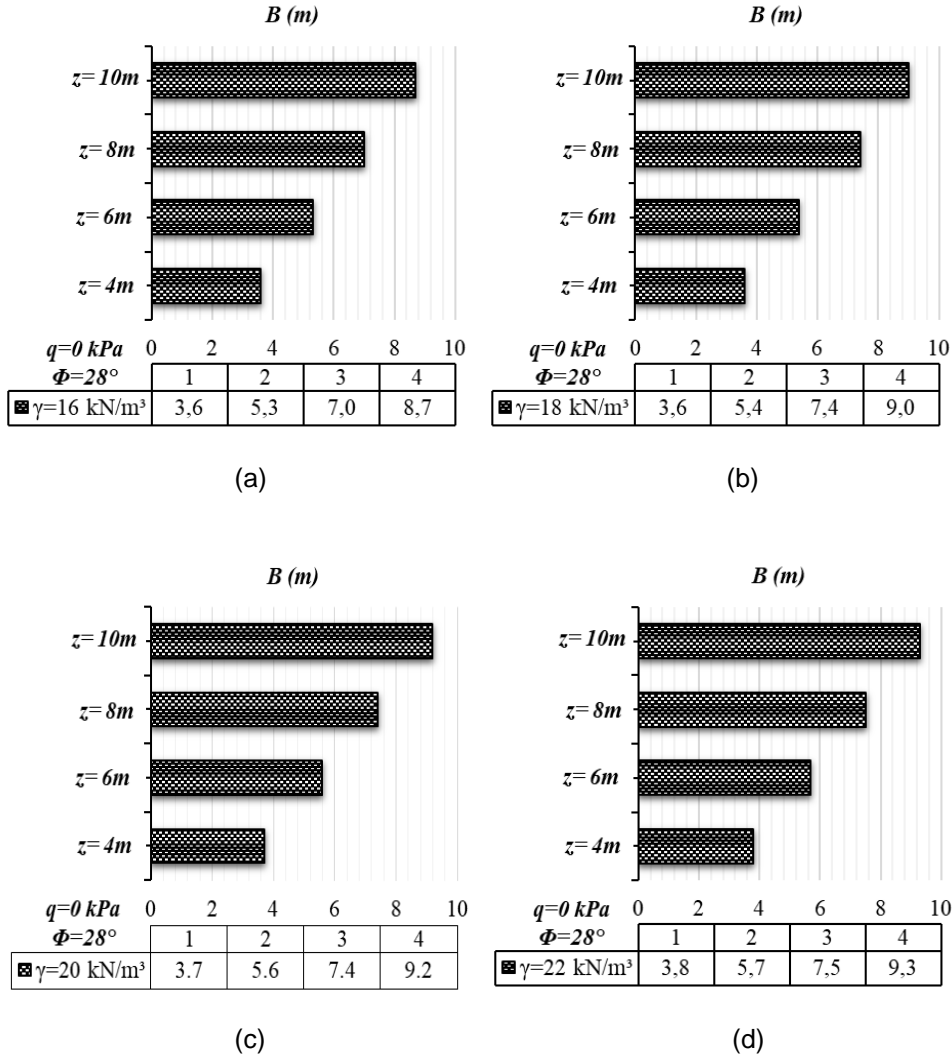
Bu durumda, kayma mukavemeti açısından meydana gelen herhangi bir artım, aktif toprak basıncı katsayısını düşürmekte ve dolaylı olarak zemin aktif gerilmelerinin de azalmasına yol açmaktadır. Bu durum, geri dolgu olarak seçilen malzemenin mukavemet özelliklerinin duvar boyutlarının seçilmesi üzerindeki etkilerini doğrudan yansıtmaktadır.



Şekil 3: İstinat duvarı tasarımının kayma mukavemeti açısına bağlı değişimi (a) $\Phi=28^\circ$, (b) $\Phi=30^\circ$, (c) $\Phi=32^\circ$, (d) $\Phi=34^\circ$, (e) $\Phi=36^\circ$, (f) $\Phi=38^\circ$

Şekil 4'te geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı değerinin değişiminin temel genişliği üzerindeki etkileri kazı derinliğine bağlı olarak gösterilmiştir. Şekil 4a-d'de sırası ile 16, 18, 20, 22 kN/m³ birim hacim ağırlığı değerleri sabit bir kayma mukavemeti açısı değeri (28°) için değerlendirilmiştir. Birim hacim ağırlığının etkisinin gözlemlenebilmesi için grafik yatay ve düşey eksenleri aynı değer aralığında numaralandırılmıştır. Geri dolgu malzemesinin birim

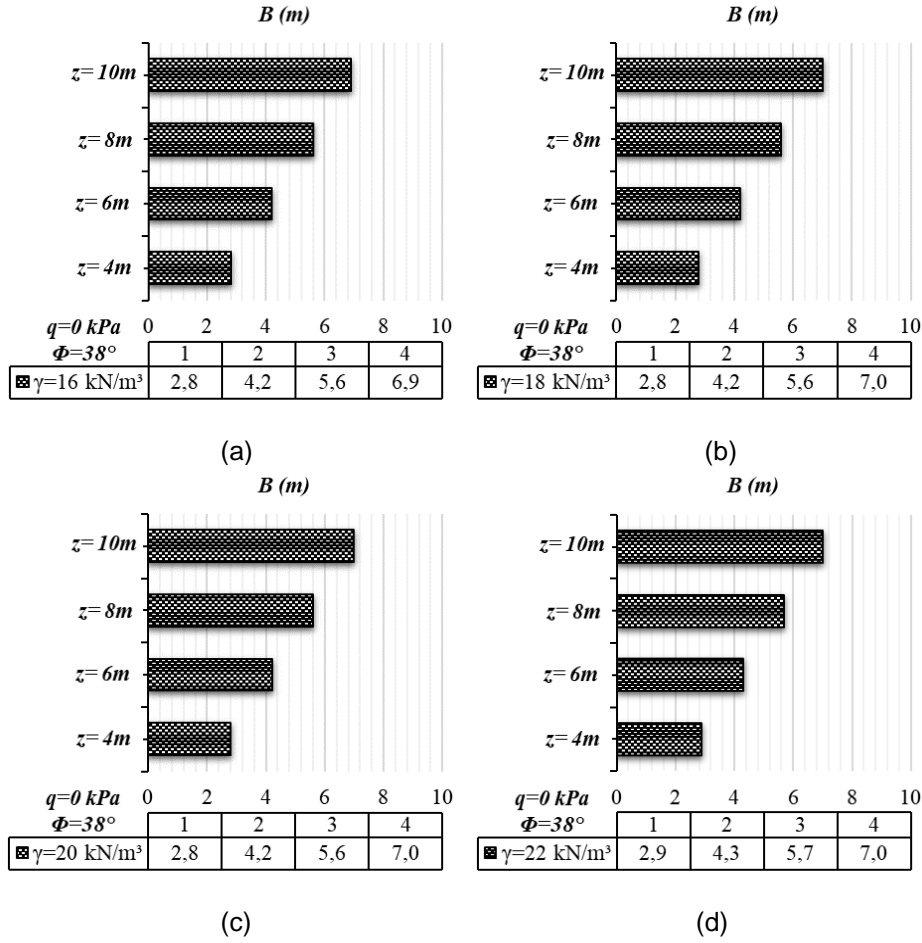
hacim ağırlığındaki artış, duvar kesitine etkiyen zemin gerilmelerinin artışına neden olarak, beklenildiği üzere, duvar temel genişliğinin artışına neden olmuştur.



Şekil 4: İstinat duvarı temel taban genişliğinin zemin birim hacim ağırlığına bağlı değişimi ($\Phi=28^\circ$), (a) $\gamma=16$ kN/m³, (b) $\gamma=18$ kN/m³, (c) $\gamma=20$ kN/m³, (d) $\gamma=22$ kN/m³

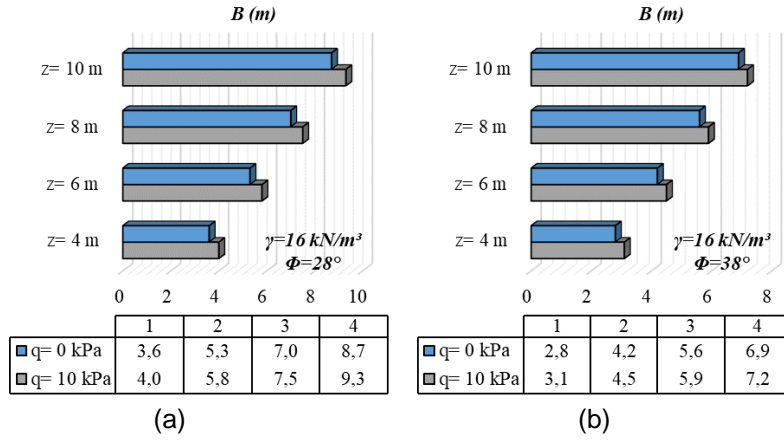
Ancak söz konusu artış, değerlendirilen minimum birim hacim ağırlığı değeri olan 16 kN/m³'ten maksimum birim hacim ağırlığı değeri olan 22 kN/m³'e çıkması durumunda dahi en yüksek %7 oranında bir değişime sebep olmuştur. Bu artış açısından dikkat çeken bir unsur da, maksimum boyut değişiminin en derin kazı kotunda meydana gelmiş olmasıdır. Nispeten yüzeysel olan kazı derinliklerinde, geri dolgu zemin birim hacim ağırlığının duvar temel genişliği üzerindeki etkisi çok daha azdır.

Şekil 5'te ise kayma mukavemeti açısının 38° olması durumunda zemin birim hacim ağırlığındaki değişimin etkileri sunulmuştur. Kayma mukavemeti açısının artması birim hacim ağırlıkta meydana gelen artımın neden olabileceği boyut farklılıklarını önlemiştir. Birim hacim ağırlığı değerinin en düşükten (Şekil 5a-d) en yüksek değerine çıkması durumunda, bu analizler kapsamında öngörülen en derin kazı kotu için meydana gelen maksimum farklılık ortalama %1 olarak elde edilmiştir. Boyutlarda meydana gelen bu değişim oranları, istinat duvarlarının deprem etkisi altındaki tasarımlarında, kayma mukavemeti açısındaki değişimin birim hacim ağırlıkta meydana gelen değişimden daha etkili olduğunu göstermektedir.



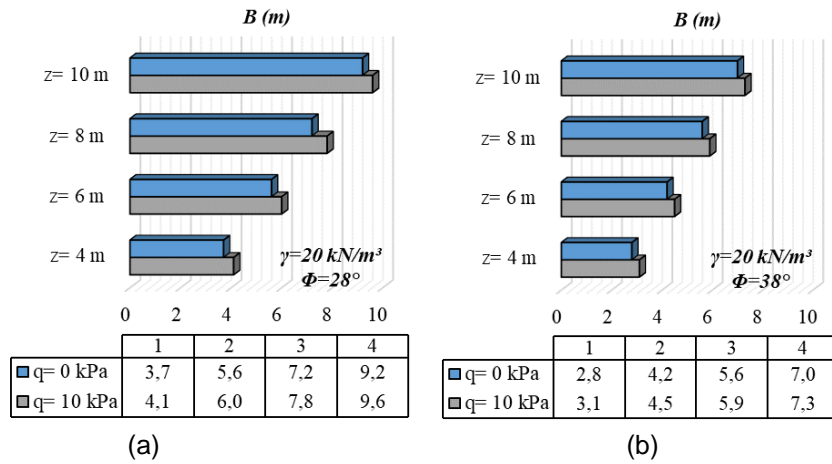
Şekil 5: İstinat duvarı temel taban genişliğinin zemin birim hacim ağırlığına bağlı değişimi ($\Phi=38^\circ$), (a) $\gamma=16$ kN/m³, (b) $\gamma=18$ kN/m³, (c) $\gamma=20$ kN/m³, (d) $\gamma=20$ kN/m³

Şekil 6'da istinat duvarının TBDY 2018'e göre tasarımında, geri dolgu üzerine sürşarj yükü etkimesi durumunda tasarımda meydana gelen değişim gösterilmiştir. Sürşarj yükünün bulunmaması ve sürşarj yükünün 10 kPa değerine yükselmesi durumlarında, sabit geri dolgu birim hacim ağırlığı (16 kN/m³), 4-6-8-10 metre kazı derinlikleri ve 28 ile 38° kayma mukavemeti açılarında temel taban genişliğinde oluşan farklılıklar sırası ile Şekil 6a ve b'de verilmiştir. Her iki değerlendirilen vakada da, sürşarj yükü değerinin artması temel taban genişliğinin artmasına neden olmuştur. Bu durum, duvar kesitine geri dolgu (aktif taraf) tarafından etkiyen yükün, yatayda derinlikle sabit kalan ve doğrusal seyreden bir gerilme artmasına neden olmasından ileri gelmektedir. Söz konusu yük artışı, nispeten az olan kayma mukavemeti açısında (Şekil 6a), 4 metre kazı derinliğinden 10 metre kazı derinliğine %11 oranından %7 oranına kadar boyut değişimine sebebiyet vermiştir. Kayma mukavemeti açısının 38° olması durumunda (Şekil 6b) kazı derinliğinin 4 metreden 10 metreye yükselmesi %11 oranından %4 oranına kadar boyut değişimi oluşturmuştur. Sürşarj yükünde meydana gelen bu artış, yüksek kayma mukavemeti açılarında, kazı derinliğinin artması ile meydana gelebilecek boyut değişikliğini azaltmaktadır.



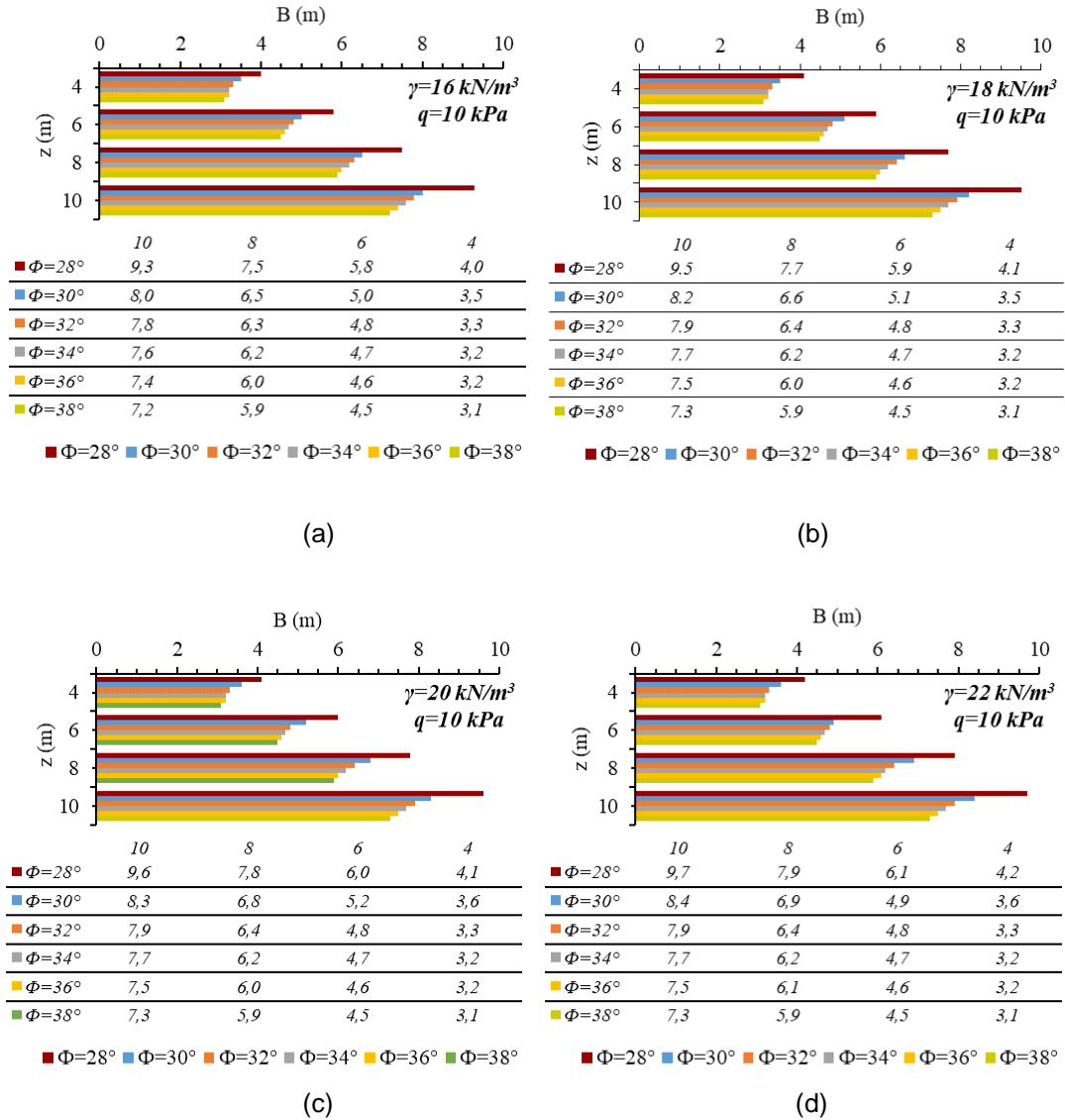
Şekil 6: İstinat duvarı temel taban genişliğinin sürşarj yüküne bağlı değişimi ($\gamma= 16 \text{ kN/m}^3$), (a) $\Phi=28^\circ$, (b) $\Phi=38^\circ$

Şekil 7'de ise sürşarj yükünün değişim etkisi geri dolgu malzemesi birim hacim ağırlığının 20 kN/m^3 değerine artması durumu için gösterilmiştir. Sürşarj yükünün artmasının yanı sıra birim hacim ağırlığı değerinin de artması durumu, Şekil 6a ve Şekil 7a'da verilen değerlerin karşılaştırılması ile yorumlanabilmektedir. Söz konusu yük artışı, nispeten az olan kayma mukavemeti açısında (Şekil 7a), 4 metre kazı derinliğinden 10 metre kazı derinliğine %11 oranından %4 oranına kadar boyut değişimine sebebiyet vermiştir. Bu durum, zemin birim hacim ağırlığının artmasının sürşarj yükü ile etkileşimli olarak değerlendirilmesi sonucunda, boyutlarda meydana gelebilecek derinlikle değişim oranını azalttığı sonucunu doğurmaktadır. Kayma mukavemeti açısının 38° olması durumunda ise (Şekil 7b) kazı derinliğinin 4 metreden 10 metreye yükselmesi %11 oranından %4 oranına kadar boyut değişimi oluşturmuştur. Bu boyut değişimi Şekil 6b'de elde edilen değişim ile aynıdır. Dolayısı ile göreceli olarak yüksek olan kayma mukavemeti açıları, birim hacim ağırlığında meydana gelen değişimin temel boyutlarındaki değişime etki oranının az olduğu görüşünü oluşturmaktadır. Aynı zamanda, Şekil 6a ve Şekil 7a'da sunulmuş olan sayısal değerler karşılaştırıldığında ise sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etki yaptığı söylenebilmektedir. Şekil 6b ve Şekil 7b'de sunulmuş olan sayısal değerler karşılaştırıldığında ise sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti açısı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etkisinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 7: İstinat duvarı temel taban genişliğinin sürşarj yüküne bağlı değişimi ($\gamma= 20 \text{ kN/m}^3$), (a) $\Phi=28^\circ$, (b) $\Phi=38^\circ$

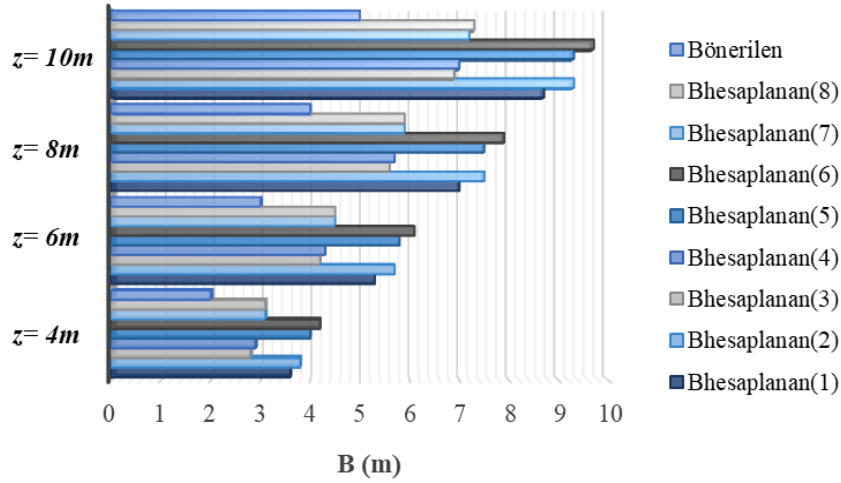
Şekil 8a-d'de ise sürşarj yükü değerinin 10 kPa ve geri dolgu birim hacim ağırlığının sırası ile 16, 18, 20, 22 kN/m³ olması durumları için kayma mukavemeti açısı ve derinliğe bağlı temel taban genişliği değişiminin etkileri bütünsel olarak verilmiştir. Kayma mukavemeti açısının 28, 30, 32, 34, 36, 38° şeklinde artması ile birlikte geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının sabit kalması durumunda bu çalışmada öngörülen kazı derinliklerinde duvar temel genişliğinde azalma meydana gelmiştir. Geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının sabit kalması ile birlikte geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının 16, 18, 20, 22 kN/m³ şeklinde artması durumunda ön görülen kazı derinliklerinde duvar temel genişliğinin arttığı görülmüştür. Duvar temel genişliğindeki bu artış maksimum % 4 mertebelerindedir. Kayma açısı ve geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının artmasıyla birlikte bu artış %1 mertebelerine düşmektedir.



Şekil 8: İstinat duvarı temel taban genişliğinin derinliğe ve kayma mukavemeti açısına bağlı değişimi (a) $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$, (b) $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$, (c) $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$, (d) $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$

Tüm bu değerlendirmelere ilave olarak, TBDY 2018 uygulanarak yapılan boyutlandırma ile birlikte literatür kapsamında ön boyutlandırma için araştırmacı ve uygulamacılara sunulan minimum boyutlarda (Azizi, 1999) hesaplanmış ve önerilen boyut olarak ifade edilerek Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9, istinat duvarı temel taban genişliğinin TBDY 2018'e göre hesaplanan ve literatürde önerilen değerlerinin karşılaştırılması imkânını sunmaktadır. Şekil 9 aynı zamanda, hesaplanan temel taban genişliğinin farklı değişkenlerle hesaplanan değerlerini de içermektedir. Bu bağlamda, $B_{\text{hesaplanan}(1)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(2)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(3)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(4)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(5)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(6)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(7)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(8)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 9, literatürde önerilen minimum tasarım boyutların TBDY 2018'e göre yapılan dinamik tasarımlar açısından kullanılabilirliğinin ve uygulanabilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Çünkü önerilen boyutlar ile kurgulanan vakalar doğrultusunda elde edilen boyutlar arasında minimum %50 maksimum %100 farklılık oluştuğu gözle çarpmaktadır.



Şekil 9: İstinat duvarı temel taban genişliğinin hesaplanan ve önerilen değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Bu makale kapsamında, TBDY 2018'e göre betonarme istinat duvarlarının tasarımı kurgulanan çok değişkenli vakalar için yapılan parametrik analizler ile değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler, geri dolgu zemininin kayma mukavemeti açısı ve birim hacim ağırlığı, desteklenen kazı derinliği ve geri dolgu üzerine etkiyen sürşarj yükü değeri olarak seçilmiştir. Geri dolgu malzemesinin saf granüler zeminden oluştuğu, temel zeminin kohezyonlu zemin olduğu ve duvar arkasında herhangi bir eğimin söz konusu olmadığı durumlar için tasarımlar kurgulanmıştır. İstinat duvarının temel kalınlığı ve ön-arka ampatman uzunlukları değiştirilerek, yazılan bir Microsoft Excel-Macro programı ile TBDY 2018'e göre önerilen güvenlik sayıları dâhilinde limit dengede kalınacak duvar boyutları elde edilmiştir ve analiz sonuçları grafiksel olarak sunulmuştur. Yapılan analizler ve karşılaştırmalar sonucunda, çalışma kapsamında kullanılan verilere bağlı olarak elde edilen değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. İstinat duvarının depreme dayanıklı tasarımında, tasarım boyutlarını etkileyen en önemli etken kazı derinliğinin değişimidir. Kazı derinliğinin artımı ile duvar yüzeyine etkiyen aktif

- basınçlar artmakta ve stabilitenin sağlanması amacı ile gerekli boyutlandırma, en etkili şekilde, duvar temelinin genişliğinin artırılması ile elde edilebilmektedir.
2. Geri dolgu temel zeminin kayma mukavemeti özellikleri iyileştikçe (kayma mukavemeti açısı arttıkça) aktif toprak basıncı katsayısının azalması ile yanal toprak kuvvetleri de azalmaktadır. Bu durum, duvar boyutlarının dikkate değer seviyede azalmasına neden olmaktadır.
 3. Stabilitenin sağlanması amacı ile kurgulanan her vakada referans alınan minimum istinat duvarı boyutlarına göre, temel genişliğinin artırılması temel yüksekliğinin artırılmasından daha fazla etkiye sahip olmaktadır.
 4. Geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığındaki artış, duvar kesitine etkileyen zemin gerilmelerinin artışına neden olmaktadır. Bu durum, duvar yüksekliğinden ziyade temel genişliğinin artırılması ile gerekli stabilize koşullarının elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak bu artış, makale kapsamında değerlendirilen minimum birim hacim ağırlığı değerinden maksimum birim hacim ağırlığı değerine çıkması durumunda dahi en yüksek %7 oranında bir değişime sebep olmuştur. Bu artış açısından dikkat çeken bir durum da, maksimum boyut değişiminin en derin kazı kotunda meydana gelmiş olmasıdır. Nispeten yüzeysel olan kazı derinliklerinde ise geri dolgu zemin birim hacim ağırlığının duvar temel genişliği üzerindeki etkisi çok daha azdır. Bu bağlamda geri dolgu malzemesinin kayma mukavemeti parametrelerinin, duvarın dinamik tasarımı üzerinde en etkili faktörlerden biri olduğu söylenebilmektedir.
 5. Sürşarj yükü değerinin artması, kurgulanan vakalar için temel taban genişliğinin artımına neden olmuştur. Zemin birim hacim ağırlığının artmasının sürşarj yükü ile etkileşimli olarak değerlendirilmesi sonucunda boyutlarda meydana gelebilecek farklılığın derinlikle değişim oranını azalttığı sonucunu doğurmaktadır ancak sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etki yaptığı söylenebilmektedir. Ayrıca, sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti açısı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etkisinin daha düşük olduğu görülmektedir.
 6. Göreceli olarak yüksek olan kayma mukavemeti açılarında, birim hacim ağırlığında meydana gelen değişimin temel boyutlarındaki değişime etki oranının düşük olduğu görüşü oluşmuştur.
 7. Literatür kaynakları kapsamında önerilen ön-boyutlandırma kriterleri istinat duvarlarının dinamik yükler altındaki tasarımı açısından uygun görülmemektedir. Yapılan analizler, söz konusu geleneksel öngörüler ile elde edilen boyutların, dinamik analizler sonucunda %50-100 aralığında değişim gösterebileceğini sergilemiştir.

KAYNAKLAR

- Arslan Ö., Keskin İ., Ateş A., 2018. Farklı Deprem Yüklerinin Betonarme Konsol Bir İstinat Duvarının Maliyetine Etkisinin Analizi, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler* 6, 28-35.
- Azizi F., 1999. Applied Analyses in Geotechnics, Taylor and Francis Group, New York, USA, 776 p.
- Bilgin H., 2006. İstinat Duvarlarının Dinamik ve Statik Yükler Altındaki Davranışının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 102 s.
- Binici E., Öztürk Ş., 2019. Konsol İstinat Duvar Tasarımı Üzerine Parametrik Bir Çalışma, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9(1), 203-210.
- Bowles J.E., 1988. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, New York, USA, 1175 p.

Camp C.V., Akin A., 2012. Design of Retaining Walls Using Big Bang–Big Crunch Optimization, *Journal of Structural Engineering* 138, 438-448.

Çakır T.A., 2016. Parametric Study on Evaluation of Backfill Interaction on Seismic Response of a Cantilever Wall, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 31(2), 199-204.

Das B.M., 2007. Principles of Foundation Engineering, Thomson, Toronto, Canada, 750 p.

Das B.M., 2010. Principles of Foundation Engineering, Cengage Learning, Stamford, USA, 795 p.

Gandomi A.H., Kashani A.R., Roke D.A., Mousavi M.H., 2015. Optimization of retaining wall design using recent swarm intelligence techniques, *Engineering Structures* 103, 72-84.

Gürsoy Ş., 2013. İstinat Duvarlarına Etkiyen Aktif Zemin Etkilerinin Eurocode-8 ve Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji* 1(4), 153-160.

Kaveh A., Ahani K.A., Farzam M.F., 2013. Constructability optimal design of reinforced concrete retaining walls using a multi-objective genetic algorithm, *Structural Engineering and Mechanics* 47(2), 227-245.

Kayhan A.H., Demir A., 2018. Statik ve dinamik yüklere maruz betonarme konsol istinat duvarlarının diferansiyel gelişim algoritması ile optimum tasarımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 24(3), 403-4012.

Talatahari S., Sheikholeslami R., 2014. Optimum Design of Gravity and Reinforced Retaining Walls using Enhanced Charged System Search Algorithm, *KSCE Journal of Civil Engineering* 18(5), 1464-1469.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf>

TDTH, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, Ankara. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>

Temür R., Bekdaş G., 2018. Betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımı *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1043-1050.

TS-7994,1990. Türk Standartları Enstitüsü. "Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları". Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 7994, 1990.

Tuğrul A.T., 2019. İstinat Yapılarının Depreme Dayanıklı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 202 s.