

Konsol İstinat Duvar Tasarımı Üzerine Parametrik Bir Çalışma

Engin BİNİCİ¹

Şevki ÖZTÜRK^{1*}

ÖZET: İstinat duvarları, genellikle yanal toprak basına karşı koymak amacıyla kullanılırlar. Tabii zeminler ve sıkıştırılmış dolgu zeminler; uygun şev açlarına sahip değilse dengede duramayıp göçebilirler. Göçme; uygun şev açıları veya istinat duvarı ile engellenebilir. Bu çalışmada, güvenli bir tasarım için gereken taban genişliğinin, istinat duvarının geometrik özellikleri (duvar yüksekliği, duvar kalınlığı, temel yüksekliği) ve dolgu malzemesinin özellikleri (birim hacim ağırlığı ve içsel sürtünme açısı) ile değişimi araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, kayma ve dönmeye karşı güvenli bir tasarım için gereken taban genişliğinin, artan duvar yüksekliği ve artan dolgu birim hacim ağırlığı ile arttığı görülmüştür. Ayrıca, duvar kalınlığının ve temel yüksekliğinin etkisinin oldukça az olduğu ve artan birim hacim ağırlıkla bu etkinin ortadan kalktığı sonucuna varılmıştır. Artan dolgu içsel sürtünme açısı, beklendiği gibi güvenli bir tasarım için gereken taban genişliğini azaltmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstinat duvarı, kayma, göçme, taban genişliği, dolgu ağırlığı

A Parametric Study on Design of Cantilever Retaining Walls

ABSTRACT: Retaining walls are mainly used in order to resist lateral earth pressure. If soil or fill material stands with an unstable slope angle, there may be instabilities and shear failures. This situation can be prevented with retaining walls. The change in the width of base required for a safe design with some geometric properties of wall (height of wall, width of wall and height of base) and soil (unit weight and friction angle) is investigated in this study. It is observed that the width of base required to have adequate factor of safety against sliding and overturning increases considerably as height of wall and unit weight of backfill increases. It is also seen that the effect of wall thickness is very small and with increasing unit weight of backfill there is no effect of wall thickness. Increasing friction angle of fill material decreases the required width of base as expected.

Keywords: Retaining wall, sliding, shear failure, width of base, unit weight of backfill

¹ Engin BİNİCİ (Orcid ID: 0000-0002-0208-2551), Şevki ÖZTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-0208-2551), Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Şevki ÖZTÜRK, e-mail: sevki.ozturk@erzurum.edu.tr

Bu çalışma Engin BİNİCİ'nin Bitirme Tezinin bir bölümüdür.

Geliş tarihi / Received: 29.07.2018
Kabul tarihi / Accepted: 02.10.2018

GİRİŞ

İstinat duvarları, yüksekliğin değişim gösterdiği yerlerde zemin yanal basınçlarına karşı koymak amacıyla kullanılan yapılardır (Brooks, 2013). Temel istinat duvar tipleri Şekil 1’de özetlenmiştir. Geoteknik mühendisliğinde, ağırlık ve konsol istinat duvarları sıklıkla kullanılmaktadır. Konsol istinat duvarları tasarımında, dönme ve devrilmeye karşı yeterli güvenlik sağlanmalı ve istinat duvarının tabanında oluşacak gerilmeler taban zemini taşıma kapasitesini aşmamalıdır (Day, 1997). Bu tip istinat duvarlarında, yatay toprak basınçları ve bu basınçtan kaynaklanan kayma ve dönme, istinat duvarının ve duvarın üstünde bulunan dolgunun ağırlığı ile engellenir.

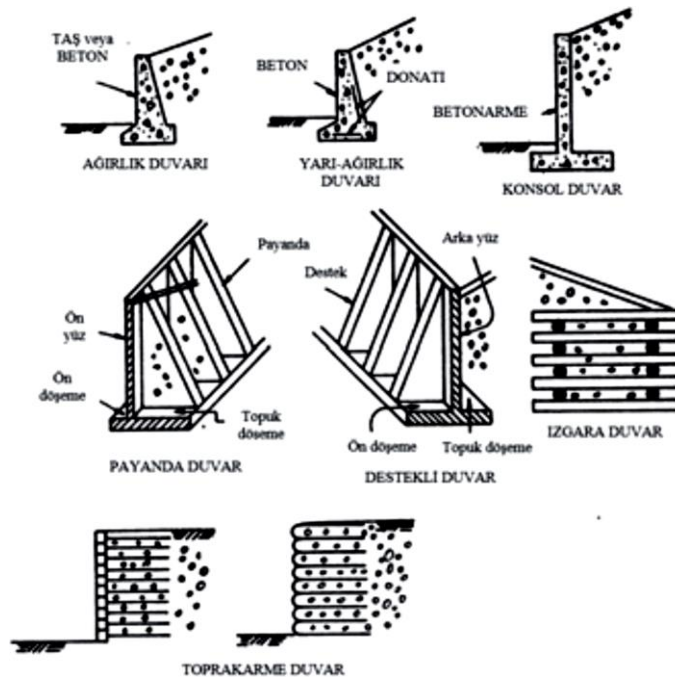
İstinat duvarları çok uzun zamandan beri çalışılan bir konudur. Literatürde, çoğunlukla statik ve dinamik yüklerin istinat yapılarına etkisi çalışılmıştır (Durgunoğlu ve ark., 2003; Madabhushi ve Zeng, 2006; Çakır ve Livaoğlu, 2013; Tripathi ve Jawaid, 2014; Güneş ve ark., 2015). Duvarların sonlu elemanlar yöntemi ile davranışları (Fourie ve Potts, 1989; Goh, 1993, Ling ve ark., 2010) ve konsol duvarların

performansları (Carder ve Symons, 1989; Tatsuoka ve ark., 1996; Bentler ve Labuz, 2006) konularında çalışmalar devam etmektedir.

Literatürde, istinat duvarlarında geometrik özelliklerin ve zemin özelliklerinin etkileri konusunda çeşitli çalışmalar mevcuttur. Tezcan (1965) duvar yüksekliği, taban zemini taşıma kapasitesi ve dolgu zemin içsel sürtünme açısının taban genişliğine etkisini çalışmıştır. Kaymaya ve devrilmeye karşı güvenliği sağlayarak, zemin taşıma kapasitesini kontrol ederek ekonomik ve güvenli bir tasarım için çeşitli tablolar önermiştir.

Babu ve Basha (2008) dolgu ve taban zemin özelliklerinin, duvarın geometrik özelliklerinin, beton ve donatı özelliklerinin etkilerini çalışmışlar ve değişik durumlar için içsel sürtünme açısına bağlı tasarım abakları hazırlamışlardır.

Pei ve Xia (2012) ise konsol istinat duvarlarında sezgisel optimizasyon yöntemleri ile maliyet optimizasyonu ve otomatik tasarım yapmayı amaçlamışlardır.



Şekil 1. Temel istinat duvarları tipleri (Birand ve ark., 2002)

Çalışmada 5 adet geometrik, 4 adet tasarım değişkeni dikkate alınmış ve örnek bir problem ile sezgisel optimizasyon yöntemlerinin tasarım için kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Çakır ve Kara (2015) temel zemin rijitliğinin ve dolgu zeminin birim hacim ağırlığının, konsol istinat duvarlarının sismik davranışlarına etkilerini incelemiştir. Çalışma neticesinde, temel zemin rijitliğinin konsol istinat duvarının sismik davranışını ciddi şekilde etkilediği, birim hacim ağırlık değeri değişiminin duvar dinamik davranışı üzerinde ihmal edilebilir düzeyde bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının azalması ile istinat duvarına gelen yanal etkiler azalmakta ve daha ekonomik kesitler elde edilebilmektedir. Bu yüzden, son zamanlarda hafif dolgu malzemeleri konularında araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Aksoy ve Haşal (2000) uçucu kül-çimento-köpük, Aksoy ve Horoz (2007) tarama çamuru-çimento-köpük, Teymür ve Ahmedov (2012) çimento-EPS köpük-kum, Keskin ve Laman (2012) atık lastik-kum karışımlarının; Ertuğrul ve ark. (2012) ise EPS köpük malzemesinin özelliklerini inceleyip bu karışım veya malzemelerin hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada konsol istinat duvarının geometrik özelliklerinin (duvar yüksekliği, duvar kalınlığı, temel yüksekliği) ve dolgu malzemesinin özelliklerinin (birim hacim ağırlığı ve içsel sürtünme açısı) tasarıma etkileri incelenmiştir. Hafif dolgu malzemelerinin sıklıkla kullanılmaya başlanmasından dolayı özellikle dolgu birim hacim ağırlığının etkilerinin anlaşılması amaçlanmıştır.

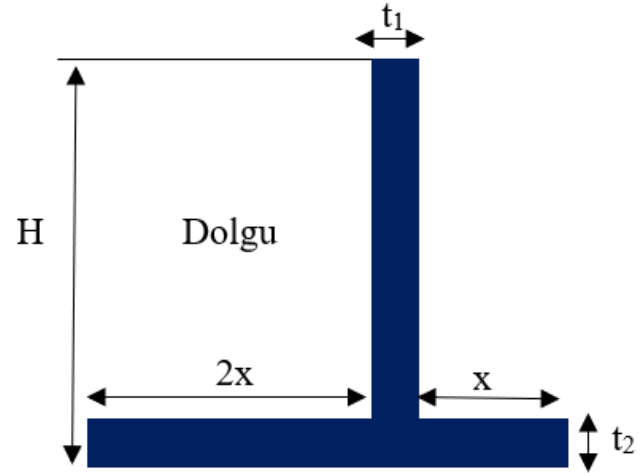
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada çeşitli parametrelerin konsol istinat duvarının tasarımına etkisi incelenmiştir. Çalışılan konsol istinat duvarı geometrisi Şekil

2'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi taban genişliğinin dolgu altındaki kısmının uzunluğu, genel uygulamalar dikkate alınarak diğer kısmın uzunluğunun iki katı olarak seçilmiştir. Bu çalışmada dolgu altındaki genişliğin etkisinden ziyade diğer değişkenlerin etkisi incelenmiştir. Dolgunun birim hacim ağırlığı (γ), istinat duvarı yüksekliği (H), zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ), duvar ve taban kalınlıkları (t_1 ve t_2) Çizelge 1'de gösterildiği gibi değiştirilmiş, kaymaya ve dönmeye karşı güvenli bir tasarım için gereken istinat duvarı taban genişliği hesaplanmıştır.

Yapılan analizler ile değiştirilen bu parametrelerin, gerekli istinat duvarı taban genişliğine etkisi incelenmiştir.

Yapılan analizlerde kaymaya karşı güvenlik 1.5; dönmeye karşı güvenlik 2.0 olarak alınmış ve taban zemininde taşıma kapasitesi sınırlaması yapılmamıştır.



Şekil 2. Konsol istinat duvarı geometrisi

Analizlerde öncelikle diğer değişkenler (t_1, t_2, ϕ) sabit tutularak çeşitli dolgu birim hacim ağırlık ve duvar yükseklikleri için kaymaya ve dönmeye karşı belirtilen güvenlik için gereken taban genişlikleri (L) elde edilmiştir. Bu sayede çeşitli duvar yükseklikleri için dolgu birim hacim ağırlığının duvar tasarımına etkisi elde edilmiştir.

Çizelge 1. Analizlerde kullanılan değişken parametreler

| Birim Hacim Ağırlığı, γ (kNm ⁻³) | Duvar Yüksekliği, H(m) | Zemin İçsel Sürtünme Açısı, Φ (°) | Duvar Kalınlığı, t_1 (m) | Temel Yüksekliği, t_2 (m) |
|--|---------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|
| 2 | 5 | 30 | 0.5 | 0.5 |
| 5 | 10 | 35 | 1 | 1 |
| 10 | 15 | 40 | - | - |
| 20 | - | - | - | - |

Benzer şekilde, çeşitli duvar yükseklikleri için diğer parametrelerin (t_1 , t_2 , ϕ) değiştirilmesi ile gereken taban genişliği (L) hesaplanmış ve bu parametrelerin tasarıma etkisi elde edilmiştir.

Duvar tasarımı için sıklıkla kullanılan mevcut yöntem, duvarın arkasında meydana gelecek hareketlerin tam aktif koşulları oluşturacağı varsayımıyla Rankine veya Coulomb'un klasik teorik formülasyonlarına dayanmaktadır (Goh, 1993). Tasarımda; konsol istinat duvarının üstündeki zeminin ağırlığı, duvarın ağırlığı, aktif toprak basıncı dikkate alınmış ve aktif toprak basınçları Rankine teorisi kullanılarak elde edilmiştir. Duvarın arkasında oluşabilecek pasif toprak basıncı dikkate alınmamıştır. Hesaplamalar ve karşılaştırmalar, eğimli olmayan duvar arkası zemin yüzeyi durumu için yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

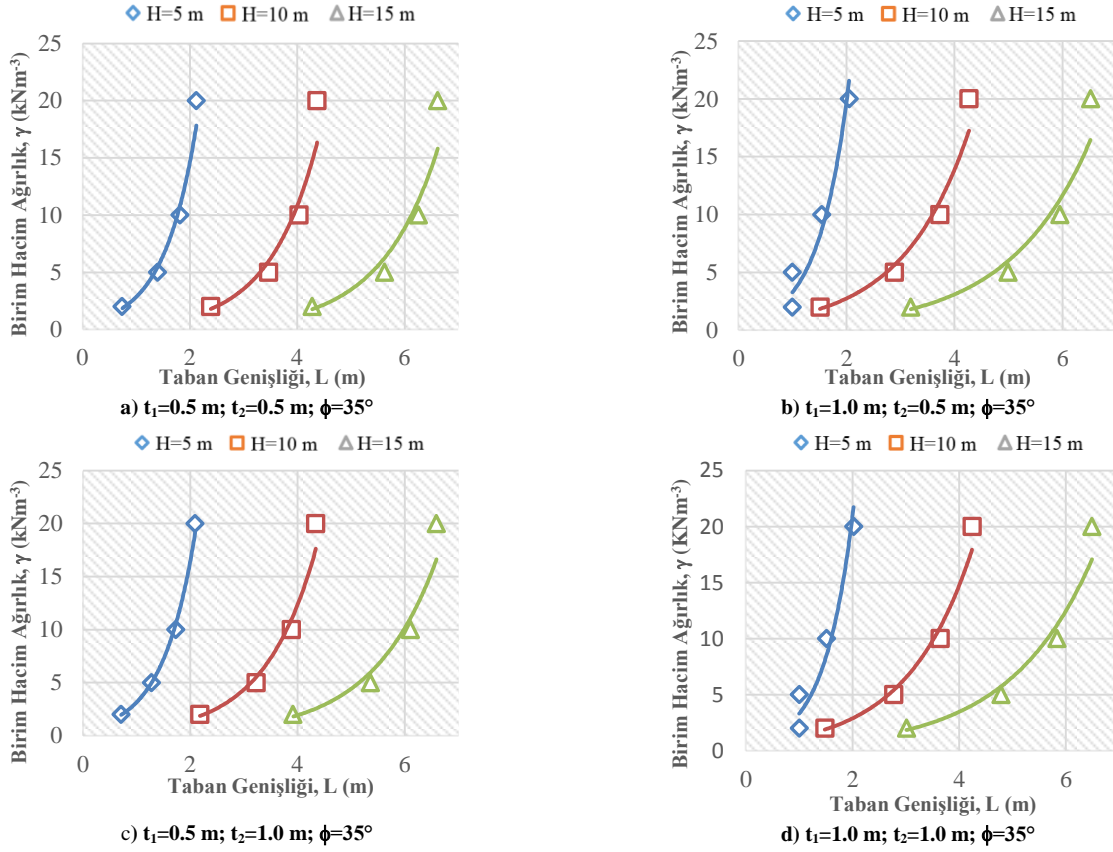
İlk olarak, sabit içsel sürtünme açısı ($\phi=35^\circ$) için, duvar kalınlıkları (t_1 ve t_2) değiştirilmiş ve değişik duvar yükseklikleri için birim hacim ağırlık ile taban genişliği ilişkisi saptanmıştır (Şekil 3). Belirli bir duvar yüksekliği (H) için birim hacim ağırlık azaldıkça, taban genişliği beklendiği gibi parabolik bir biçimde azalmaktadır. Farklı yükseklikler için (H=5 m,

H=10 m ve H=15 m) birim hacim ağırlık ve taban genişliği ilişkisi benzer olmakla birlikte; daha yüksek duvarlar için etkinin daha belirgin olduğu görülmüştür. t_1 ve t_2 değerlerinin değiştirilmesi (0.5 ve 1) sonuçlarda ihmal edilebilecek derecede değişiklik meydana getirmiştir.

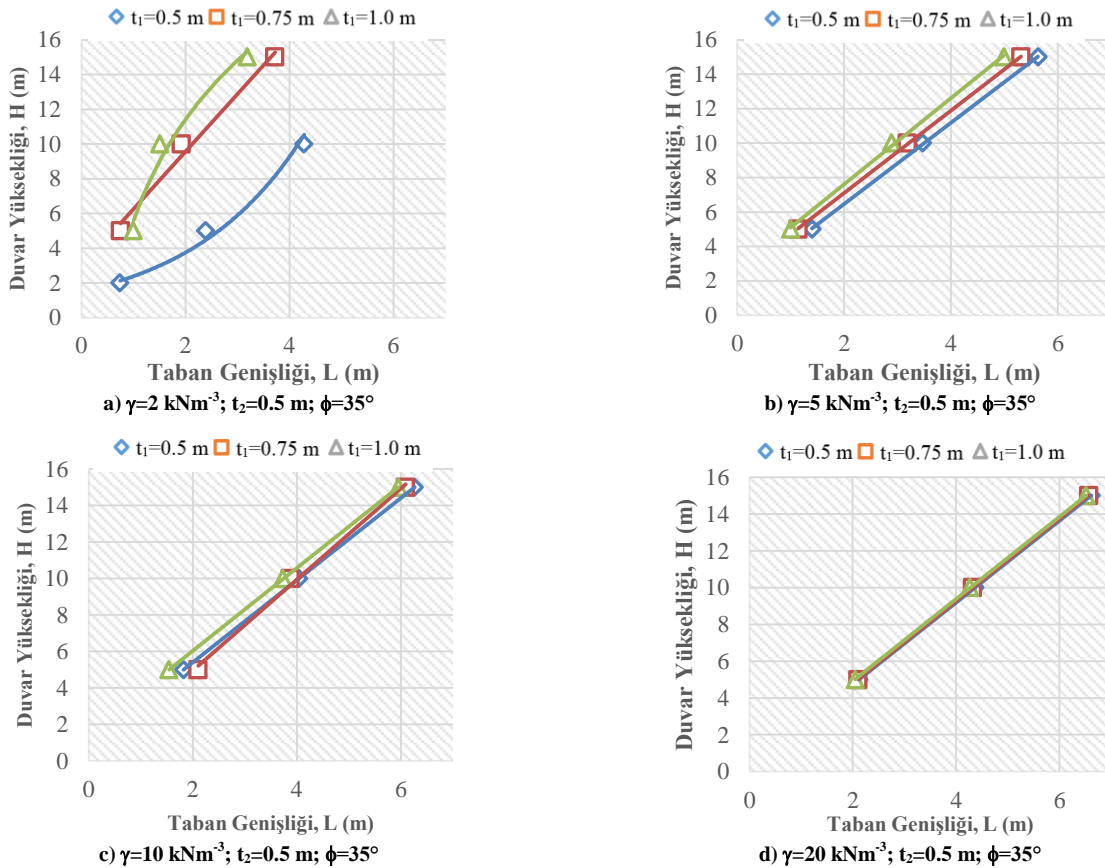
Sabit içsel sürtünme açısı ve temel yüksekliğinde ($\phi=35^\circ$, $t_2=0.5$) dolgu birim hacim ağırlığı değiştirilerek, değişik duvar kalınlıklarında duvar yüksekliği taban genişliği ilişkisi incelenmiştir (Şekil 4).

Şekil 4'te görüldüğü gibi duvar kalınlığının artması ile gerekli minimum taban genişliği azalmaktadır. Ayrıca dolgu birim hacim ağırlığı arttıkça duvar kalınlığının etkisinin gittikçe azaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin birim hacim ağırlık arttıkça kaymayı ve dönmeyi engelleyen kuvvetlerin de artması olduğu düşünülmektedir. Dolgu birim hacim ağırlığının 20 kNm⁻³ olması durumunda, duvar kalınlığının gerekli taban genişliğine etkisinin tamamen kaybolduğu görülmüştür (Şekil 4d).

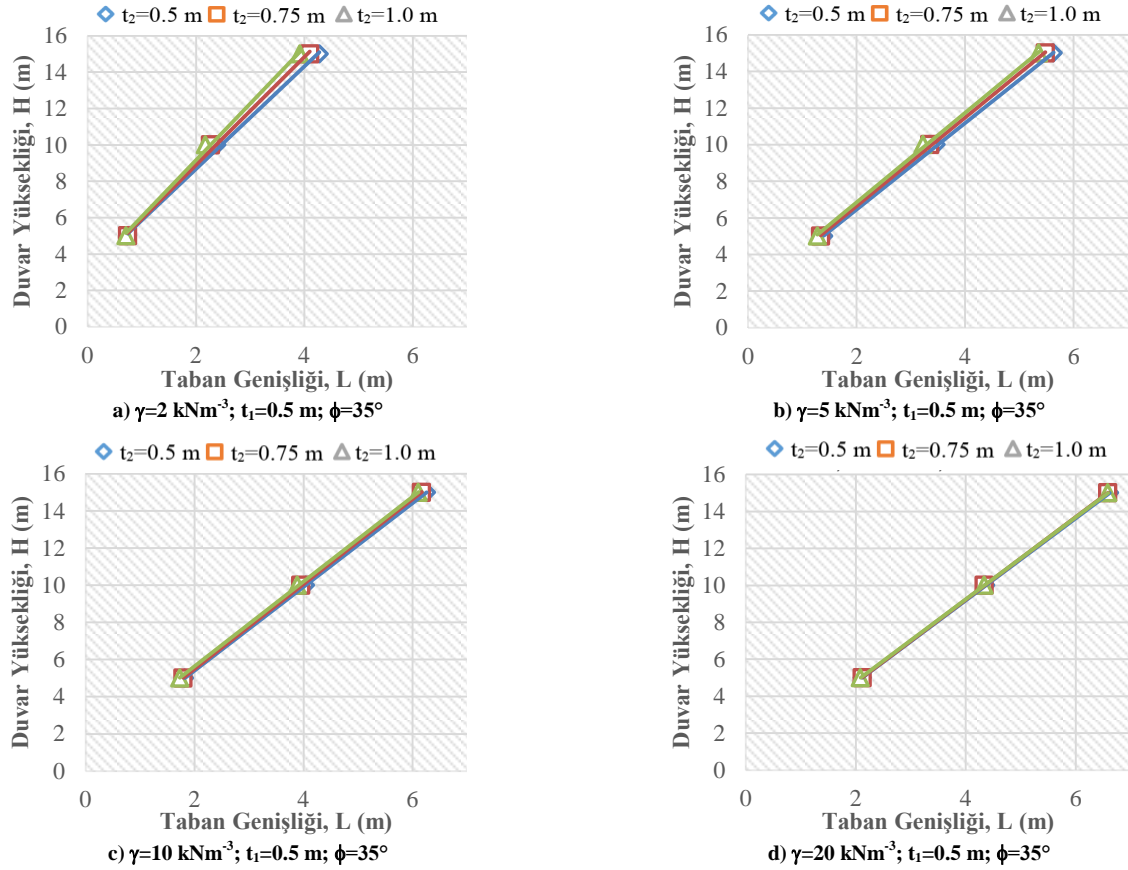
Sabit içsel sürtünme açısı ve gövde kalınlığında ($\phi=35^\circ$, $t_1=0.5$) dolgu birim hacim ağırlığı değiştirilerek değişik temel yüksekliklerinde duvar yüksekliği taban genişliği ilişkisi incelenmiştir (Şekil 5).



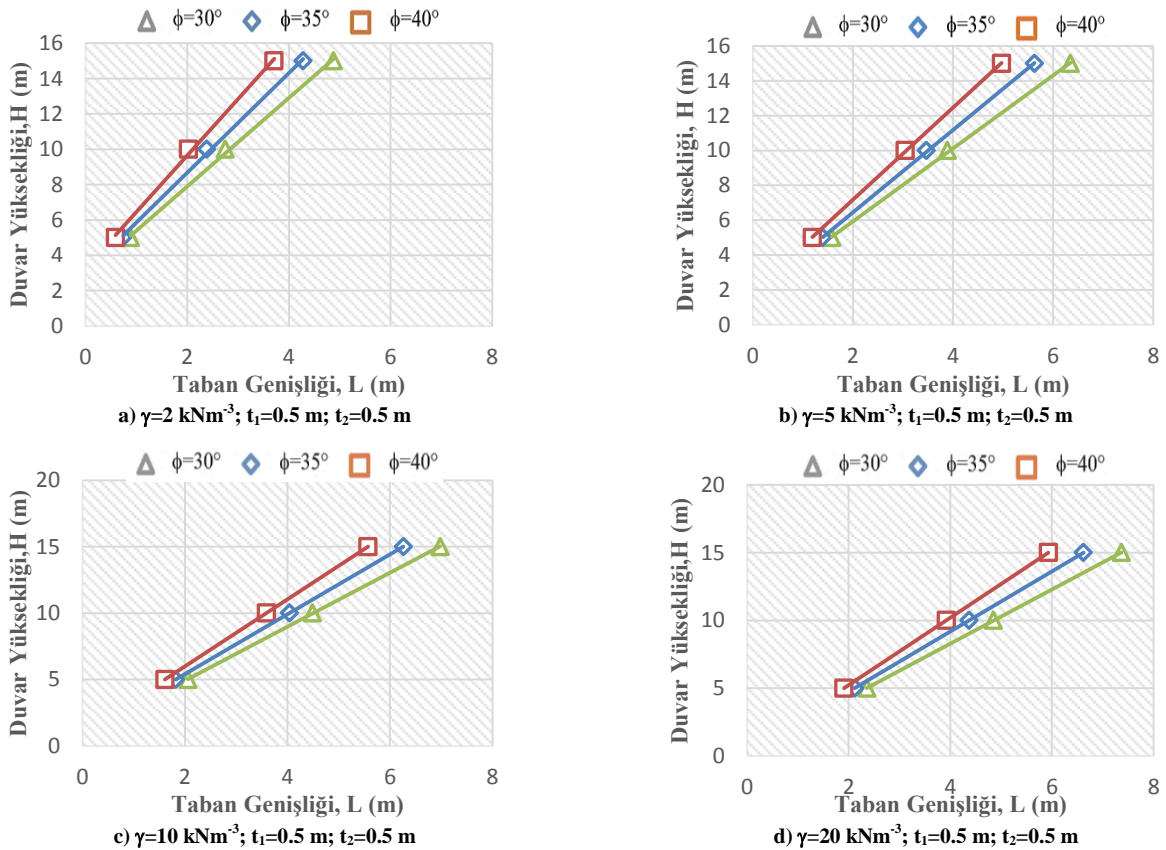
Şekil 3. Değişik duvar yükseklikleri için birim hacim ağırlık-taban genişliği ilişkisi



Şekil 4. Değişik duvar kalınlığı için duvar yüksekliği-taban genişliği ilişkisi



Şekil 5. Değişik temel yüksekliği için duvar yüksekliği-taban genişliği ilişkisi



Şekil 6. Değişik içsel sürtünme açıları için duvar yüksekliği-taban genişliği ilişkisi

Şekil 5’te görüldüğü gibi temel yüksekliğinin artması ile taban genişliğinde çok ufak bir değişiklik meydana gelmektedir ve bu ufak değişiklik artan birim hacim ağırlıkları ile tamamen ortadan kalkmaktadır.

Sonuç olarak, temel yüksekliğinin taban genişliği üzerindeki etkisi (düşük birim hacim ağırlık değerleri de dahil olmak üzere) göz ardı edilebilecek derecede azdır.

Şekil 6’da içsel sürtünme açısının etkisi gösterilmektedir. Sabit gövde ve temel yüksekliklerinde ($t_1=0.5$ ve $t_2=0.5$) dolgu birim hacim ağırlığı değiştirilerek değişik zemin içsel sürtünme açılarında duvar yüksekliği taban genişliği ilişkisi incelenmiştir.

İçsel sürtünme açısı arttıkça gerekli olan taban genişliği azalmaktadır. Bunun temel nedeni; zemin içsel sürtünme açısı arttıkça aktif toprak basıncı katsayısı ve dolayısıyla aktif itkinin azalmasıdır. Ayrıca, zemin içsel sürtünme açısının artması, daha mukavemetli bir dolgu anlamına gelmekte ve bu durumda beklendiği gibi taban genişliği azalmakta ve tasarımda ekonomi sağlanmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada belirli parametrelerin, özellikle dolgunun birim hacim ağırlığının, istinat duvar tasarımı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, eğimli olmayan duvar arkası zemin yüzeyine sahip bir istinat duvarında, zemin birim hacim ağırlığı, zemin içsel sürtünme açısı, duvar kalınlığı, duvar yüksekliği ve temel yüksekliği değerleri değiştirilerek taban genişliği değerleri hesaplanmış ve sonuçlar grafiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bazı önemli bulgular maddeler halinde sıralanmıştır:

- Birim hacim azaldıkça duvara gelen itki kuvveti ve buna bağlı olarak gerekli minimum taban genişliği azalmaktadır.

- Duvar yüksekliği arttıkça duvarın gelen yanal itki ve buna bağlı olarak gerekli minimum taban genişliği artmaktadır.

- Duvar kalınlığı arttıkça duvar kütlesi artmakta, yanal itkilere karşı koyan kuvvet artmakta ve buna bağlı olarak gerekli minimum taban genişliği azalmaktadır.

- Temel yüksekliği arttıkça gerekli minimum taban genişliğinde kayda değer bir değişim olmamaktadır. Temel yüksekliğinin taban genişliği üzerinde etkisi göz ardı edilebilecek derecede azdır.

Zemin içsel sürtünme açısı arttıkça aktif toprak basıncı katsayısı azalmaktadır ve bunun sonucunda yanal itkiler azalmaktadır. Yanal itki azaldığı için gerekli minimum taban genişliği azalmaktadır

KAYNAKLAR

- Aksoy İH, Haşal ME, 2000. Uçucu Kül – Çimento – Köpük Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Aksoy İH, Horoz Ç, 2007. Haliç Tarama Çamuru-Çimento-Köpük Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Babu, GLS, Basha MB, 2008. Optimum Design of Cantilever Retaining Walls Using Target Reliability Approach, International Journal of Geomechanics. 8(4), 240-252.
- Bentler JG, Labuz JF, 2006. Performance of a Cantilever Retaining Wall, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(8), 1062-1070.
- Birand A, Ergun U, Erol O, 2002. CE 366 Foundation Engineering I Lecture Notes, Middle East Technical University. Ankara-Turkey.
- Brooks H, 2013. Basics of Retaining Wall Design, HBA Publications, USA.

- Carder DR, Symons IF, 1989. Long-term Performance of an Embedded Cantilever Retaining Wall in Stiff Clay, *Geotechnique*, 39(1), 55-75.
- Çakır T, Livaoğlu R, 2013. Dolgu-Konsol İstinat Duvarı-Temel/Zemin Etkileşim Sisteminin Dinamik Davranışının İncelenmesi, 18. Ulusal Mekanik Kongresi, 26-30 Ağustos 2013, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Day WR, 1997. Design and Construction of Cantilevered Retaining Walls. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 2 (1), 16-21.
- Durgunoğlu T, Tarı T, Çatana MC, 2003. Esnek İstinat Yapılarının Depremde Davranışı. Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Ertuğrul ÖL, Trandafir AC, Özkan MY, 2012. Yanal Zemin Basınçlarının EPS Köpük Kullanımı Vasıtasıyla Azaltılması, *İMO Teknik Dergi*, 2012, 5885-5901.
- Fourie AB, Potts DM, 1989. Comparison of Finite Element and Limiting Equilibrium Analyses for an Embedded Cantilever Retaining Wall, *Geotechnique*, 39(2), 175-188.
- Goh ATC., 1993. Behavior of Cantilever Retaining Walls, *Journal of Geotechnical Engineering*, 119 (11), 1751-1770.
- Güneş BE, Yağız M, Vural İ, 2015. Farklı Yükler Etkisindeki İstinat Duvarlarının Statik Hesapları ve Boyutlandırılması: Sapanca Örneği, *ISITES 2015*, Valencia, İspanya.
- Keskin MS, Laman M, 2012. Atık Lastik-Kum Karışımlarının Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleriyle İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 27-36.
- Ling HI, Yang S, Leshchinsky D, Liu H, Burke C, 2010. Finite-Element Simulations of Full-Scale Modular-Block Reinforced Soil Retaining Walls under Earthquake Loading, *Journal of Engineering Mechanics*, 136(5), 653-661.
- Madabhushi SPG, Zeng X, 2006. Seismic Response of Flexible Cantilever Retaining Walls With Dry Backfill, *Geomechanics and Geoengineering: An International Journal*, 1(4), 275-289.
- Pei Y, Xia Y, 2012. Design of Reinforced Cantilever Retaining Walls Using Heuristic Optimization Algorithms, *Procedia Earth and Planetary Science*, 5, 32-36.
- Tatsuoka F, Tateyama M, Koseki J, 1996. Performance of Soil Retaining Walls for Railway Embankments, *Special Issue of Soil and Foundations*, 311-324.
- Teymür B, Ahmedov R, 2012. Çimento – Eps Köpüğü – Kum Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Tezcan SS, 1965. Cantilever Retaining Walls, *Civil Engineering*, 60(709), 1187-1192.
- Tripathi A, Jawaid SMA, 2014. Parametric Study of A Retaining Wall Under Static & Seismic Loading, *Gjesr Research Paper*, 1(10), 40-50.
- Yang KH, Liu CN, 2007. Finite Element Analysis of Earth Pressures for Narrow Retaining Walls, *Journal of Geo Engineering*, 2(2), 43-52.