

AYGM KIYI VE LİMAN YAPILARI İNŞAATLARINA İLİŞKİN DEPREM TEKNİK YÖNETMELİĞİNE (2008) GÖRE AĞIRLIK TİPİ RIHTIM DUVARLARININ LİMİT DURUM DUYARLILIK ANALİZİ

*Burak AYDOĞAN**

Alınma: 14.03.2017; düzeltme: 24.08.2017; kabul: 25.08.2017

Öz: Bu çalışmada ağırlık tipi monoblok bir rıhtım yapısının kayma ve devrilmeye karşı güvenliği, AYGM Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliğince (2008) tanımlanan geleneksel pseudo-statik analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Basitleştirilmiş ağırlık tipi bir rıhtım yapısının tasarım parametrelerine olan hassasiyetinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Sistemin devrilme ve kayma güvenlikleri açısından limit boyutlarının tasarım parametrelerinin değişimi ile değişkenliği incelenmiştir. Değerlendirmeler hem Kontrollü Hasar (KH) hem de Minimum Hasar (MH) performans düzeyleri için yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; düşük eşdeğer deprem ivme katsayısı (k_h) değerlerinde yapı boyutunu belirleyen etki devrilme güvenliği olurken, k_h yükseldikçe kayma güvenliği belirleyici olmaktadır. Sürtünme katsayısının kritik yıkılma modunun değişimini etkilediği, yüksek sürtünme katsayısının daha yüksek k_h değerlerinde devrilme modundan kayma moduna geçişe sebep olduğu ve bunun sonucunda yapı boyutlarının küçüldüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ağırlık tipi rıhtım yapısı, Pseudo–statik analiz, Sismik kuvvetler, Duyarlılık analizi

Limit State Sensitivity Analysis of Gravity Type Quaywalls According to AYGM Technical Code for Coastal and Port Structures in Seismic Zones (2008)

Abstract: In this study, the stability of a monoblock gravity type quaywall was evaluated based on the traditional pseudo-static approach as suggested by AYGM Technical Code for Coastal and Port Structures in Seismic Zones (2008). Sensitivity analysis of the stability of a simplified monoblock quaywall structure to the design parameters was conducted. Variability of the critical structure dimensions with the variability of the design parameters in terms of sliding and overturning is studied. Controlled (CD) and Minimum Damage (MD) performance levels were considered in the evaluation of the results. Results indicated that overturning criteria limits the structure dimensions for relatively small horizontal seismic coefficient (k_h) values, while the structure dimensions are limited by the sliding criteria for relatively high values of k_h . Friction coefficient is found to be effective on the critical failure mode. Higher values of friction coefficient causes a transition from overturning mode to sliding mode at higher values of k_h which results with smaller structure dimensions.

Keywords: Gravity type quaywall, Pseudo–static analysis, Seismic forces, Sensitivity analysis

1. GİRİŞ

Kıyı ve liman yapılarının depreme dayanıklı olarak tasarlanması günümüz kıyı mühendisleri için en önemli konulardan biridir. Türkiye’de ve dünyada pek çok liman sismik olarak aktif bölgelerde konumlanmışlardır. Limanlardaki yanaşma yapıları kazıklı iskeleler gibi açık tipte ya da palpaş duvarlar, keson duvarlar ya da bloklu ağırlık tipi yapılar şeklinde kapalı tipte olabileceği gibi gelgit etkilerinin yüksek olduğu yerlerde yüzen tipte yanaşma yapıları şeklinde de olabilir. Keson yanaşma yapıları ya da bloklu tipteki ağırlık tipi rıhtım duvarlarının sismik

* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler/İSTANBUL
İletişim Yazarı: Burak AYDOĞAN (baydogan@inm.yildiz.edu.tr)

kuvvetler altındaki analizi, istinat duvarlarına göre daha karmaşıktır. Bunun nedeni duvara etkiyen duvar ataleti ve dinamik toprak basınçlarının yanısıra duvarın her iki yüzünde de etkili olan hidrodinamik kuvvetlerdir. Ağırlık tipi rıhtım yapılarının analizi genellikle üç kategoride ele alınmaktadır: 1. Geleneksel pseudo-statik yaklaşımı esas alan basitleştirilmiş yöntemler 2. Newmark kayan blok analizi (Newmark, 1965) gibi basitleştirilmiş dinamik analiz yöntemleri, 3. Dinamik yöntemler (PIANC, 2001). Dinamik yöntemler sistemin sismik etkiler karşısındaki davranışının en yüksek doğrulukta ve en detaylı bir biçimde analizini mümkün kılmaktadır. Ancak bu yöntemi esas alan sayısal modellerin doğruluğu girdi parametrelerinin doğruluğuna bağlıdır ve burada pek çok belirsizlik söz konusudur. Tüm bu nedenlerle günümüzde halen pseudo-statik yöntemler her ne kadar depremin dinamik doğasını tam olarak yansıtmaları da yaygın bir kabul görmekte ve uygulama alanı bulmaktadır. Bu tür analizde, kullanılan sismik katsayının değeri duvardaki yerdeğiştirmelerle doğrudan ilişkili değildir. Bu nedenle literatürde pseudo-dinamik yöntemler ve yerdeğiştirmeye dayalı tasarım yöntemleri de yer bulmuştur. Yerdeğiştirmeye dayalı tasarım yöntemlerinden özellikle Newmark kayan blok analizi pseudo-statik ve pseudo-dinamik yöntemler arasında oldukça iyi bir geçiş olmuştur. Bu yöntem pseudo-statik yaklaşımın kolaylığını korumakla birlikte izin verilen yerdeğiştirmeler esasında daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak ağırlık tipi rıhtım duvarlarının tasarımı için gerçekçi ve uygulanabilir yöntemler geliştirmek ve tasarım esasları oluşturabilmek için geçtiğimiz yıllar boyunca çok sayıda çalışma araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir (Choudhury ve Ahmad, 2007; Choudhury ve Ahmad, 2008; Choudhury ve Nimbalkar, 2006; Ahmad ve Choudhury, 2009 gib). Sismik kuvvetler altında kıyı ve liman yapılarının tasarım esasları çok az sayıda ülkede ulusal bazda teknik şartnamelerle düzenlenmiştir. Böyle bir düzenlemenin olmadığı ülkelerde genel tasarım esasları kullanılmaktadır. Açık tipteki kıyı yapılarının tasarımında bina ve köprülerin sismik kuvvetlere karşı tasarım esaslarını veren kodlar kullanılırken, kapalı tipteki rıhtım duvarlarının tasarımında ise istinat duvarlarının tasarımını esas alan yönetmelikler kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, kıyı yapılarına özgü hidrodinamik kuvvetlerin etkisi dikkate alınmadığında önemli tasarım hatalarına neden olabilmektedir. Kıyı yapılarının sismik kuvvetlere karşı tasarım esaslarını veren yönetmelikler ABD (USACE, 1989), Japonya (OCDI, 2009), Avrupa (EN, 2005), İtalya (2008), Yunanistan (EPPO, 2000) ve Türkiye’de (AYGM, 2008) yürürlüktedir.

Türkiye’de özellikle Kocaeli depreminden sonra limanların büyük ölçüde hasar alması (Yüksel ve diğ., 2003) üzerine yönetmeliklerde yenilenmeye gidilmiş ve 2007 yılında Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM) Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği’ni yayınlamıştır. 2008 yılında yayınlanan değişiklikle birlikte yönetmelik bu günkü halini almıştır. Bu yönetmelik bundan sonra metin içerisinde DTY olarak anılacaktır. Bu yönetmeliğin amacı, Türkiye’de yeni yapılacak, büyütülecek, değiştirilecek kıyı-liman, demiryolu ve hava meydanı yapılarının depreme dayanıklı tasarımı ve bu tür mevcut yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli kuralları ve minimum koşulları düzenlemektir (AYGM, 2008). Yönetmelikte performans dayalı tasarım yöntemi benimsenmiş ve yapının tipine, önemine ve tasarım depreminin büyüklüğüne bağlı olarak hangi durumlarda şekil değiştirmeye veya hangi durumlarda dayanıma göre tasarım yapılabileceği belirtilmiştir. Ağırlık tipi rıhtım duvarlarının dayanıma göre tasarım yöntemi ile çözümlenmesinde esas olan statik ve dinamik aktif ve pasif basınç katsayılarının pseudo-statik bir yöntem olan Mononobe-Okabe yöntemi ile hesaplanması gerektiği hem DTY, hem de Eurocode 8 yönetmeliklerinde belirtilmiştir. Pseudo-statik yöntemlerde deprem kuvvetleri statik eşdeğer bir yük şeklinde yapıya etki ettirilir. DTY’de bunun için eşdeğer deprem ivmesi katsayısı (k_n) kullanılmaktadır. Bu değer ise yine DTY’nin ekinde tüm Türkiye için verilen kısa periyotlu spektral ivme değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

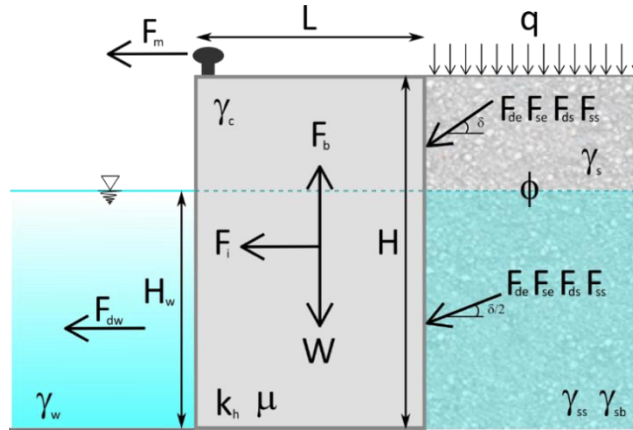
Performansa dayalı tasarımda sistemin ve bileşenlerinin sismik yükler altındaki davranışının olasılıksal değerlendirilmesi önemli bir aşamadır. DTY’de depremin oluşma olasılığına bağlı

olarak üç ayrı deprem düzeyi; D1, D2 ve D3 tanımlanmıştır. Bu depremler 50 yılda aşılma olasılığı sırası ile %50, %10 ve %2 olan depremlerdir. Ayrıca yapıdan beklenen hizmete göre dört farklı performans düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar sırası ile Minimum Hasar (MH), Kontrollü Hasar (KH), İleri Hasar (İH), ve Göçme Hasarı (GH) performans düzeyleridir. MH durumu yapılarda işletmeye mani olmayacak veya işletmede bir kaç gün içerisinde onarımı mümkün olan hasar miktarını gösterirken, KH durumunda; onarımlar birkaç hafta veya birkaç ay sürebilir, İH durumunda liman operasyonlarında uzun süreli aksamalar veya iptaller mümkün iken, GH oluşması halinde ise liman operasyona devam edemez. DTY yalnızca MH ve KH performans düzeyleri için hesap yöntemini tanımlamıştır.

Bu çalışma kapsamında dayanıma göre tasarım yöntemi ağırlık tipi rıhtımlar için irdelenmiş, yapı özellikleri, geri dolgu özellikleri, deprem büyüklüğü ve beklenen performans düzeyine bağlı olarak seçilmesi gereken minimum yapı uzunluğu boyutsuz olarak grafiklere dökülmüştür. Ayrıca boyutsuz yapı uzunluklarının seçilen parametrelere bağlı olarak hangi oranlarda değiştiği de detaylı bir duyarlılık analizi ile ortaya konulmuştur. Bu tür bilgiler gerek ön boyutlandırma sırasında, gerek seçilen parametredeki belirsizliklerin sonuçları ne oranda etkileyeceğinin bilinmesi açısından oldukça faydalıdır. Bu çalışmada hem geri dolgu malzemesinin hem de temel zemininin sıvılaşmaya uğramadığı kabul edilmiştir. Pseudo-statik yaklaşımın benimsendiği tasarım kodlarında sıvılaşma dikkate alınmamaktadır. Sıvılaşma ihtimalinin varlığı halinde pseudo statik yaklaşımın kullanılması önerilmemektedir (Shukha ve Baker, 2008).

2. YÖNTEM

Bu çalışmada dikkate alınan tipik bir monoblok ağırlık tipi rıhtım duvarı Şekil 1’de görülmektedir. Şekilde H yapı yüksekliğini, H_w yapı önündeki su derinliğini ve L duvar uzunluğunu göstermektedir. Böyle bir yapıya etkiyen kuvvetler: ağırlık kuvveti, W, suyun kaldırma kuvveti, F_b , yapıya ait atalet kuvveti F_i , hidrodinamik çekme kuvveti, F_{dw} , dolgu zemin kaynaklı dinamik ve statik yükler, F_{de} , F_{se} , sürşarj yükü, q, dolgu zeminden etkiyen dinamik ve statik sürşarj yükü, F_{ds} , F_{ss} , baba çekmesi, F_m ’dir. Sisteme ait diğer parametreler ise; suyun özgül ağırlığı, γ_w , yapının özgül ağırlığı, γ_c , geri dolgunun kuru, doymun ve su altındaki özgül ağırlığı, γ_s , γ_{ss} , γ_{sb} , geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı, ϕ , zemin-yapı sürtünme açısı, δ , statik eşdeğer deprem ivme katsayısı, k_h , zemin yapı sürtünme katsayısı, μ ’dür.

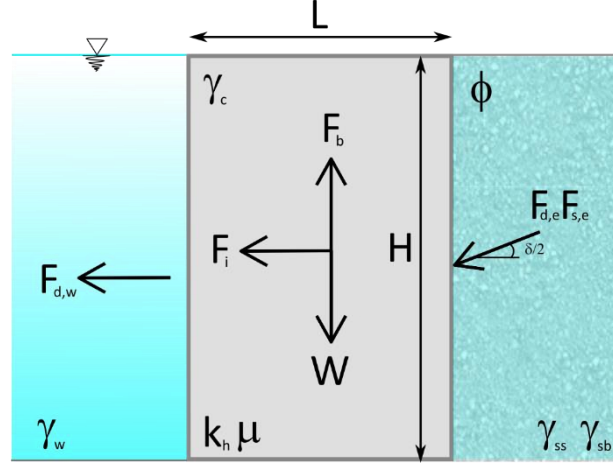


Şekil 1:

Tipik monoblok ağırlık tipi rıhtım duvarına etkiyen kuvvetler ve tasarım parametreleri

Yapıda boyutsuzlaştırma kolaylığı sağlamak, etkili parametreleri azaltmak ve parametrelerin yapı stabilitesine etkisini daha net görebilmek amacı ile bazı basitleştirmelere gidilmiştir. Bu basitleştirmeler kapsamında, su seviyesi, apron üst kotu ve geri dolgu üst kotunun eşit olduğu varsayılmış, sürşarj ve baba çekişi kuvvetleri ihmal edilmiştir. Bu

parametreler yapının yüksekliği ile doğrudan bağlantılı olmadığından ve çoğunlukla gemi tipine ve liman tipine bağlı olarak belli değerler alabildiğinden basitleştirme bu parametreler üzerinden yapılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan basitleştirilmiş model şekil 2’de gösterilmiştir.



şekil 2:

Çalışmada dikkate alınan basitleştirilmiş monoblok ağırlık tipi rıhtım duvarına etkili kuvvetler ve tasarım parametreleri

şekil 2’de gösterilen basitleştirilmiş yapı řu kuvvetlere maruz kalmaktadır: dinamik ve statik toprak kuvvetleri, hidrodinamik kuvvet, hidrolik kaldırma kuvveti, yapının zati ağırlığı ve atalet kuvveti. Deprem etkisi altında ağırlık tipi yapıların, geri dolgunun aksi doğrudan hareket ettiği kabul edilmektedir. Bu hareket geri dolguda aktif toprak basınçlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu aktif toprak basınçları pseudo-statik yaklaşımla hesaplanabilmektedir. Bu aktif gerilmelerin hesaplanabilmesi için DTY tarafından benimsenen yöntem Mononobe-Okabe’dır (Okabe, 1924 ve Mononobe ve Matsuo, 1929). Mononobe-Okabe yöntemine göre toplam aktif basınç katsayısı K_{at} denklem 1’de verilmiştir.

$$K_{at} = \frac{\cos^2(\phi - \lambda - \alpha)}{\cos \lambda \cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha + \lambda)} \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \lambda - \beta)}{\cos(\delta + \alpha + \lambda) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^{-2} \quad (1)$$

Denklem 1’de λ sismik atalet açısını, α duvar-zemin arakesitinin düşey düzlemle yaptığı açısı, β ise geri dolgu zemin yüzeyinin yatay düzlem ile yaptığı açısı ifade etmektedir. Aktif statik toprak basınç katsayısının (K_{as}) hesabı için $\lambda=0$ alınarak hesap yapılmaktadır. Aktif dinamik basınç katsayısı (K_{ad}) ise hesaplanan toplam aktif basınç katsayısından, aktif statik basınç katsayısı çıkartılarak ($K_{ad}=K_{at}-K_{as}$) hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada $\alpha=\beta=0$ olacak şekilde bir sistem tasarlanmıştır. DTY eşdeğer deprem ivme katsayısının su altındaki değerini, denklem 2’de gösterildiği şekilde vermektedir.

$$k'_h = \frac{\sum_{j=1}^{ND} (\gamma_{sj} h_j) + \sum_{j=ND+1}^N (\gamma_{ssj} h_j) + q_o}{\sum_{j=1}^{ND} (\gamma_{sj} h_j) + \sum_{j=ND+1}^N (\gamma_{sbj} h_j) + q_o} k_h \quad (2)$$

Burada ND kuru zemin katman sayısını ve N ise toplam zemin katman sayısını göstermektedir. Bu çalışmada tanımlanan sitemdeki basitleştirmeler uygulandıktan sonra denklem 2, denklem 3 formuna dönüşmektedir.

$$k'_h = k_h \gamma_{ss} / \gamma_{sb} \quad (3)$$

Bu durumda sismik atalet açısı su altında denklem 4'te gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$\lambda' = \tan^{-1} k'_h \quad (4)$$

Bu çalışmada yapılan kabuller ile basitleştirilmiş Kat, Kas ve Kad ifadeleri, sırasıyla denklem 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Denklemlerde dikkati çeken bir sınırlama kök içerisindeki $\sin(\phi - \lambda')$ ifadesidir. Sismik atalet açısının içsel sürtünme açısını geçtiği durumlarda ($\lambda' > \phi$) denklem gerçel bir sonuç vermemektedir.

$$K_{at} = \frac{\cos^2(\phi - \lambda')}{\cos \lambda' \cos(\delta + \lambda')} \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \lambda')}{\cos(\delta + \lambda')}} \right]^{-2} \quad (5)$$

$$K_{as} = \frac{\cos^2(\phi)}{\cos(\delta)} \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi)}{\cos(\delta)}} \right]^{-2} \quad (6)$$

$$K_{ad} = K_{at} - K_{as} \quad (7)$$

Bu çalışmada stabilite hesapları DTY'de tanımlanan dayanıma göre tasarım yöntemi ve liman yapıları için verilmiş olan yükleme kombinasyonu esas alınarak yapılmıştır. Yatay ve düşey yükleme kombinasyonu sırasıyla denklem 8 ve denklem 9'da verilmiştir.

$$\Sigma F_X = F_i + F_{de} + F_{se} + F_{dw} + 0.5(F_{ds} + F_{ss}) + 0.5F_m \quad (8)$$

$$\Sigma F_Y = W + F_b \quad (9)$$

Yükleme kombinasyonunda, statik ve dinamik sürşarj yükleri (F_{ds} , F_{ss}) ile baba çekme kuvveti (F_m) önceden izah edilen basitleştirme gereği 0 olarak alınmıştır. Kuvvetler bir metre genişlik için olup ağırlık kuvveti, W denklem 10'da, atalet kuvveti, F_i denklem 11'de, suyun kaldırma kuvveti, F_b denklem 12'de verilmiştir.

$$W = L \times H \times 1 \times \gamma_c \quad (10)$$

$$F_i = m \times g \times k_h = W \times k_h \quad (11)$$

$$F_b = L \times H \times 1 \times \gamma_w \quad (12)$$

Deprem kaynaklı hidrodinamik kuvvet yönetmeliğe göre denklem 13'te gösterilen Westergaard (1933) ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_{dw} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2 \quad (13)$$

Geri dolgu kaynaklı statik kuvvet, F_{se} ve dinamik kuvvet, F_{de} sırasıyla denklem 14 ve 15'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$F_{se} = \frac{1}{2} K_{as} \times \gamma_{sb} \times H^2 \quad (14)$$

$$F_{de} = \frac{1}{2} K_{ad} \times \gamma_{sb} \times H^2 \quad (15)$$

Dinamik toprak yükleri Mononobe-Okabe yöntemine göre hesaplanmış ve farklı deprem yüklerini temsilen farklı statik eşdeğer deprem ivme katsayılarında (k_h) hesap yapılmıştır. Boyutlandırma yine DTY’de tanımlanan MH ve KH performans düzeyleri dikkate alınarak ayrı ayrı yapılmıştır. Bu iki performans düzeyini hesaplar açısından birbirinden ayıran tek özellik dikkate alınan güvenlik katsayılarıdır. KH performans düzeyinde kayma güvenliği $G_k=1,0$, devrilme güvenliği $G_d=1,1$ alınırken, MH performans düzeyi için kayma güvenliği $G_k=1,2$, devrilme güvenliği $G_d=1,3$ olmaktadır. Hesaplarda limit durum dikkate alınmış, diğer bir deyiş ile devrilme ve kaymaya karşı MH ve KH performans düzeylerini sağlayacak L_{min}/H değerlerinin seçilen farklı zemin ve yapı parametrelerine karşılık k_h değerindeki değişime göre aldığı değerler hesaplanmış ve sonuçlar grafiklere dökülmüştür. Böylece yapı boyutlarının bu parametrelere hassasiyeti ortaya konulmuştur.

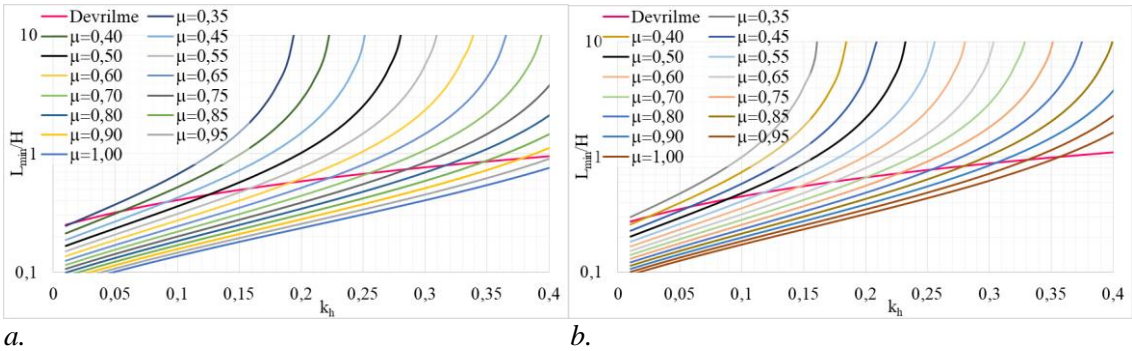
3. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

Çalışma sonuçlarının sistematik bir şekilde değerlendirilmesi açısından temel bir parametre takımı seçilmiştir. Bu sistem bundan sonra referans sistem olarak adlandırılacak ve parametrelerdeki değişimin yapı boyutlarına etkisi referans sistem baz alınarak yapılacaktır. Referans sistemde esas alınan parametreler Tablo 1’de verilmiştir. Sürtünme katsayısı referans sistemin bir parametresi değildir.

Tablo 1. Referans sistem parametreleri

Parametre	ϕ (°)	$\delta=\phi/6$ (°)	γ_c (kN/m ³)	γ_{ss} (kN/m ³)
Değer	40	6,67	24	21

Şekil 3’te referans sistemin KH ve MH performans düzeyleri için devrilme ve kayma stabilitesinin sağlandığı L_{min}/H değerleri, k_h değerlerine karşılık çizilmiştir. Dikkate alınan k_h değerleri 0,01–0,4 arasındadır. Burada unutulmamalıdır ki sistem suya doygun olduğundan K_{at} hesabında kullanılan k_h' değeri (Denklem 3) verilen k_h değerinin yaklaşık 1,91 katıdır. Şekil 3’ten devrilme güvenliğini sağlayan L_{min}/H değerleri ile k_h arasında doğrusala çok yakın bir ilişki olduğu görülmektedir. Küçük k_h değerleri için yapı boyutlarını sınırlayan etken devrilme güvenliği iken k_h büyüdükçe kayma güvenliği boyutlarda sınırlayıcı olmaktadır. Örneğin; KH performans düzeyi için $\mu=0,5$ için $k_h=0,12$ değerinden sonra kayma güvenliği sistemi limitlerken $\mu=0,6$ değeri için $k_h=0,19$ değerinden sonra kayma güvenliği etkili olmaktadır.



Şekil 3:

Referans sistemin çözümü; a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Verilen referans sistem için KH ve MH performans düzeyleri için devrilme güvenliğini sağlayan L_{min}/H değerlerini veren ifadeler denklem 16’da verilmiştir. Denklemlerin determinasyon katsayıları $R^2=0,999$ değerinden büyüktür.

$$\left. \begin{aligned} L_{\min}/H &= 1.8041k_h + 0.2269 \rightarrow (\text{KH performans düzeyi}) \\ L_{\min}/H &= 2.1144k_h + 0.2442 \rightarrow (\text{MH performans düzeyi}) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Şekil 3'ten devrilme güvenliğini sağlayan L_{\min}/H değerlerinin KH ve MH performans düzeyleri için, sırasıyla 0,95 ve 1,09'u aşmadığı görülmektedir. Devrilme çizgisi ile kayma çizgilerinin kesişimleri hem devrilme hem de kayma güvenliği açısından kritik boyutları göstermektedir. Bunun dışındaki herhangi bir k_h değeri için kayma veya devrilme hesaplarından kritik olan grafiğin yukarısında kalandır. Bu anlatımdan devrilme çizgisinin altındaki değerlerin mühendislik tasarımları açısından önemli olmadığı anlaşılmaktadır, grafiklere eklenmiş olmalarının sebebi okuyucunun olayın fiziğini anlamasına yardımcı olmaktır. DTY'de sürtünme katsayısı beton-taban kayası arakesiti için $\mu=0,5$, beton – taş sergi arakesiti için $\mu=0,6$ ve su altı betonu-taş sergi arakesiti için $\mu=0,7-0,8$ olarak verilmiştir. $\mu=0,5$ olması durumunda, $k_h=0,24$ için $L_{\min}/H=2$ için KH performans düzeyi sağlanabilmekte, ancak aynı k_h değeri için MH performans düzeyini yakalamak mümkün olmamaktadır. $\mu=0,6$ olması durumunda, KH performans düzeyi için $k_h=0,29$ ve MH performans düzeyi için $k_h=0,24$ değerlerinde $L_{\min}/H=2$ değerine ulaşmaktadır. Ayrıca yine Şekil 3'ten, farklı sürtünme katsayıları için kayma güvenliği eğrilerinin farklı noktalarda düşeye asimptotik olarak ilerlediği görülmektedir. Bu asimptotik durum yapı uzunluğunu içeren iki terimin (yapı ataleti ve sürtünme kuvveti) belli değer kombinasyonları için birbirlerini götürmesi ve bu k_h değerinin aşılmasından sonra hiçbir yapı uzunluğu için kayma güvenliğinin sağlanamamasından kaynaklanmaktadır. Yapı ataleti ve sürtünme kuvveti terimlerinin birbirine eşitlenmesi ve bu eşitlikten k_h değerinin çekilmesi ile denklem 17 elde edilir.

$$k_h = \frac{\mu(\gamma_c - \gamma_w)}{G_k \times \gamma_c} \quad (17)$$

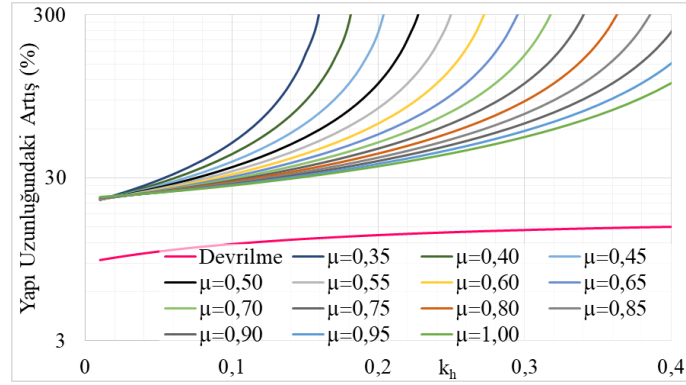
Denklem 17 kullanılarak kayma güvenliğinin sağlanamadığı limit k_h değerini hesaplamak mümkündür. Referans sistemde KH ve MH performans düzeyleri için hesaplanmış teorik limit k_h değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Referans sistemde KH ve MH performans düzeyleri için teorik limit k_h değerleri.

μ	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
KH	0,204	0,233	0,263	0,292	0,321	0,350	0,379
MH	0,170	0,194	0,219	0,243	0,267	0,292	0,316
μ	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
KH	0,408	0,438	0,467	0,496	0,525	0,554	0,583
MH	0,340	0,365	0,389	0,413	0,438	0,462	0,486

Tablo 2'de $k_h=0,41$ 'in üzerinde değerler olmasına karşın bu değerden daha yüksek k_h değerlerinde referans sistemde zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak K_{at} değeri gerçel olmamaktadır. Bu nedenle grafikler $k_h=0,4$ değerinde kesilmiştir.

MH performans düzeyine göre boyutlandırma sonucunda KH performans düzeyine göre boyutlandırma ile karşılaştırıldığında daha büyük L_{\min}/H oranları elde edileceği aşikârdır. Burada MH performans düzeyi için boyutlandırma yapılması halinde, yapı uzunluğunda KH performans düzeyine göre meydana gelecek artış (%) Şekil 4'te kayma ve devrilme güvenliği için ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4:

Referans sistem için kayma ve devrilme güvenliği ayrı ayrı değerlendirildiğinde, MH performans düzeyi için boyutlandırma yapılması halinde, yapı uzunluğunda KH performans düzeyine göre meydana gelecek artış.

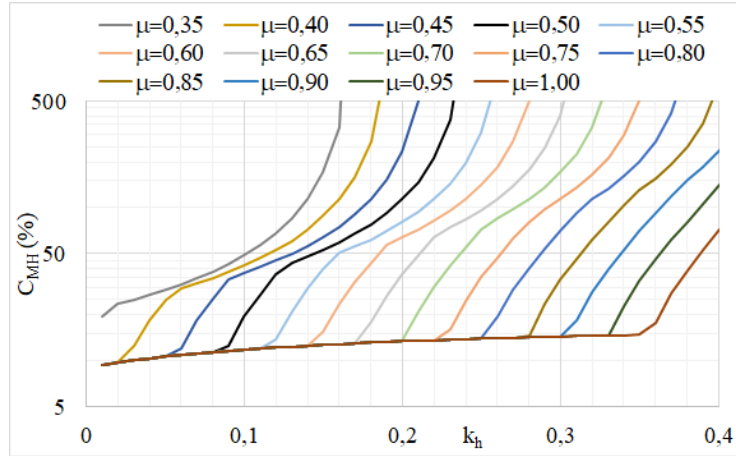
Şekil 4'ten görüldüğü gibi, devrilme güvenliği yönünden KH performans düzeyinden MH performans düzeyine geçişte yapı boyutunun %9 ile %15 arasında arttığı görülmektedir. Kayma güvenliğinin sağlanabilmesi için ise yapı uzunluğunun en az %23 artırılması gerektiği ve kayma eğrilerinin MH performans düzeyinin belirsizlik noktalarında sonsuza gittiği görülmektedir. Şekil 4 kayma güvenliği ve devrilme güvenliği açısından sistemin davranışı hakkında değerli bilgiler vermesine karşın sistemin her iki güvenliğini de sağlayacak değerlerin değişimi hakkında bilgi vermemektedir. Kayma ve devrilme güvenliğinin birarada değerlendirilmesi ile MH performans düzeyi için yapı uzunluğunda KH performans düzeyine göre meydana gelecek artış oranı (C_{MH}) denklem 18 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{MH} = \left(\frac{\text{Max}\left(\left(L_{\min} / H\right)_{k,MH}, \left(L_{\min} / H\right)_{d,MH}\right)}{\text{Max}\left(\left(L_{\min} / H\right)_{k,KH}, \left(L_{\min} / H\right)_{d,KH}\right)} - 1 \right) \times 100 \quad (18)$$

Denklemden C_{MH} ve L_{\min}/H değerleri μ ve k_h değerlerinin fonksiyonu olmak üzere alt indis k kayma güvenliğinin, d ise devrilme güvenliğinin, yine alt indislerde belirtilen MH ve KH performans düzeyleri için sağlandığını ifade etmektedir. Denklem 18'e göre MH performans düzeyi dikkate alındığında KH performans düzeyine göre yapı uzunluğunun değişim oranı farklı sürtünme katsayıları için Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'te $\mu=0,35$ hariç tüm çizgiler devrilme eğrisinden başlamakta ve sürtünme katsayısı arttıkça daha yüksek bir k_h değerinde bu çizgiden ayrılmaktadır. Yine yapı uzunluğundaki artış oranının k_h arttıkça arttığı görülmektedir. Devrilme güvenliğinden kayma güvenliğine geçişte sürtünme katsayısının artmasıyla genişleyen bir geçiş bölgesi olduğu görülmektedir. Geçiş bölgesinden sonra eğriler Şekil 4 ile çakışmaktadır.

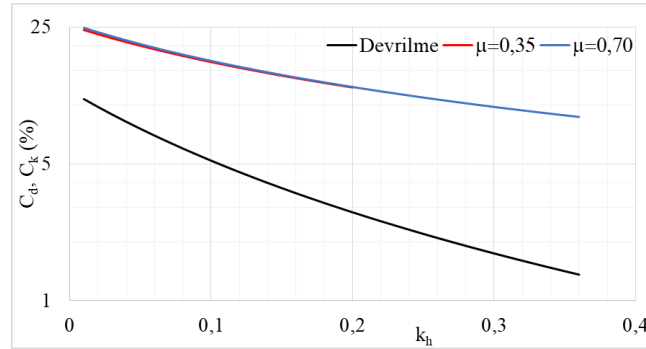
Sürtünme katsayısının ve performans düzeyinin boyutlar üzerindeki etkisinin incelenmesinden sonra tasarımda yapı boyutlarını etkileyen diğer parametreler ele alınmış ve yapı boyutlarının bu parametrelere hassasiyeti tartışılmıştır. Herbir parametrede tanımlanan bir değişim miktarına karşılık, yapı uzunluğunda meydana gelecek değişim devrilme ve kayma güvenliği açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bunun için sonuçlar iki ayrı katsayı kullanılarak sunulmuştur: C_d : Devrilme güvenliği açısından yapı uzunluğunun referans sisteme göre artış oranı (%) ve C_k : Kayma güvenliği açısından yapı uzunluğunun referans sisteme göre artış oranı (%) olarak tanımlanmıştır. Devrilme ve kayma güvenliğinin yapı boyutları üzerindeki bileşik etkisi ise, C_{net} : Devrilme ve kayma güvenliği birarada değerlendirildiğinde yapı uzunluğunun referans sisteme göre artış oranı (%) katsayısı kullanılarak sunulmuştur.



Şekil 5:

Referans sistem için kayma ve devrilme güvenliği birarada değerlendirildiğinde, MH performans düzeyi için boyutlandırma yapılması halinde, yapı uzunluğunda KH performans düzeyine göre meydana gelecek artış, C_{MH} .

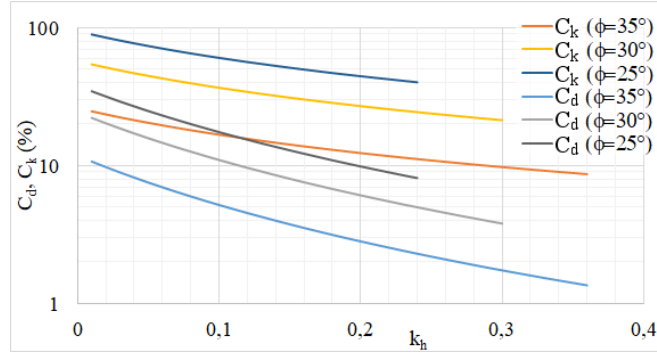
Hassasiyet analizinde ilk olarak geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının yapı boyutları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu bağlamda hesaplar $\phi=35^\circ$ için tekrarlanmış ve sonuçlar aynı sürtünme katsayısına sahip referans sistem ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da $\mu=0,35$ ve $\mu=0,70$ değerleri için geri dolgunun içsel sürtünme açısının $\phi=40^\circ$ 'den $\phi=35^\circ$ 'ye düşmesi durumunda devrilme ve kayma güvenliği açısından yapı uzunluğunun hangi oranda (C_d , C_k) artırılması gerektiği görülmektedir. Şekil 6 KH performans düzeyi için verilmiş olup MH performans düzeyi için çizildiğinde iki grafik arasındaki fark %0,05 civarında kalmaktadır. Fark ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan Şekil 6 her iki performans düzeyi için de kullanılabilir. Yüksek sürtünme katsayısı ($\mu=0,7$) yapı genişliğinde düşük k_h değerlerinde düşük sürtünme katsayısına göre ($\mu=0,35$) %1 daha büyük yapı uzunluğu vermektedir. Fark artan k_h ile birlikte kapanmaktadır. Sistemin yapı uzunluğunda kayma güvenliğinin sağlanması için düşük k_h değerlerinde %25 değerinden, $k_h=0,35$ 'te yaklaşık %9 değerine kadar azalan miktarda, devrilme güvenliğinin sağlanması için ise düşük k_h değerlerinde %11'den, $k_h=0,35$ 'te %1,5'e doğru azalan miktarda bir artış gerekmektedir.



Şekil 6:

$\phi=35^\circ$ olması halinde farklı sürtünme katsayıları için MH ve KH performans düzeyleri için C_d ve C_k .

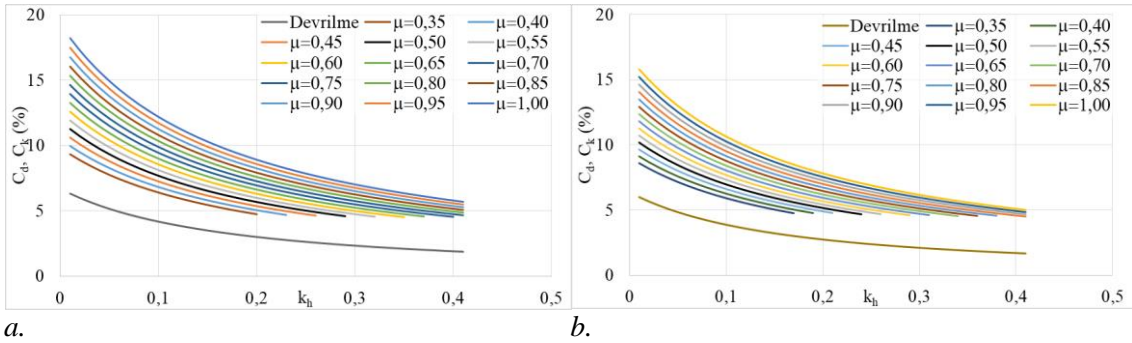
Benzer şekilde Şekil 7'de sadece $\mu=0,7$ için farklı geri dolgu içsel sürtünme açıları ($\phi=35^\circ$, $\phi=30^\circ$ ve $\phi=25^\circ$) ile yapı uzunluğu büyütme oranları (C_d , C_k) verilmiştir.



Şekil 7:

Farklı geri dolgu içsel sürtünme açıları ($\phi=35^\circ$, $\phi=30^\circ$ ve $\phi=25^\circ$) için C_d ve C_k .

Aktif toprak basıncı katsayılarının belirlenmesinde kullanılan bir diğer parametre de zemin-duvar sürtünme açısı (δ)'dır. DTY'de suya doygun zemin durumunda değerin yarısının ($\delta/2$) dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Referans sistemde $\delta=\phi/3$ alınmış, sistem suya doygun olduğundan denklemlerde $\delta/2=\phi/6=6,67^\circ$ olarak dikkate alınmıştır. Zemin-duvar sürtünme açısının değeri duvarın ve geri dolgunun özelliğine göre değişiklik göstermekle beraber $\phi/3$ ile $2\phi/3$ arasında değerler alabilmektedir. Güvenli tarafta kalmak adına açığı $\delta=0^\circ$ almak da mümkündür. Şekil 8'de $\delta=0^\circ$ olması durumunda kayma güvenliğinin ve devrilme güvenliğinin sağlandığı yapı uzunluğu artış oranları, C_d ve C_k sırasıyla KH ve MH performans düzeyleri için verilmiştir.



a.

b.

Şekil 8:

$\delta=0^\circ$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak C_d ve C_k :
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 8'den görüldüğü gibi devrilme güvenliğinin sağlanması için referans sistemin devrilme güvenliğini sağlayan değerlere göre k_h 'in düşük olduğu bölgede %6'dan başlayarak, k_h değeri arttıkça %2'ye kadar azalan miktarda genişlikte bir artışa ihtiyaç duyulurken; kayma güvenliğini sağlayabilmek için yüksek sürtünme katsayılarında daha büyük olmak üzere KH performans düzeyinde, düşük k_h değerlerinde %18 ile %8 den başlayarak büyük k_h değerlerinde %5-%6'ya doğru azalan miktarlarda, MH performans düzeyi için ise %8-%16'dan başlayarak %4-%5 değerlerine kadar azalan miktarlarda yapı uzunluğunda bir artışa ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak kayma ve devrilme ayrı ayrı değerlendirildiğinde bulunmuş olan bu artış oranları devrilme ve kayma güvenlikleri birlikte değerlendirildiğinde büyük oranda düşmektedir. Net artış oranlarının hesabı için denklem 19 verilmiştir.

$$C_{net} = \left(\frac{\text{Max}\left(\left(\frac{L_{\min}}{H}\right)_d, \left(\frac{L_{\min}}{H}\right)_k\right)}{\text{Max}\left(\left(\frac{L_{\min}}{H}\right)_{d,ref}, \left(\frac{L_{\min}}{H}\right)_{k,ref}\right)} - 1 \right) \times 100 \quad (19)$$

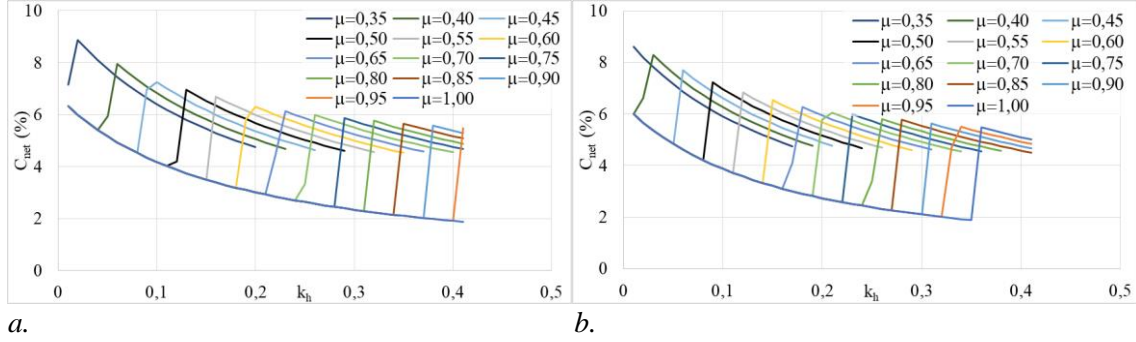
Denklemlerde C_{net} ve L_{min}/H değerleri μ , k_h ve performans düzeyinin fonksiyonu olmak üzere alt indis k kayma güvenliğini, d ise devrilme güvenliğinin ilgili performans düzeyi için sağlandığını ifade etmektedir. Alt indis "ref" ise referans sisteme ait değerleri belirtmektedir. Denklemdaki $(L_{min}/H)_d$, $(L_{min}/H)_k$ değerleri ise Şekil 3'de sırası ile KH ve MH performans düzeyleri için verilen $(L_{min}/H)_{d,ref}$, $(L_{min}/H)_{k,ref}$ değerleri ile Şekil 8'de verilen devrilme güvenliği açısından yapı uzunluğundaki artış oranı (C_d) ve kayma güvenliği açısından yapı uzunluğundaki artış oranı (C_k) değerlerinin denklem 20'deki gibi çarpılması ile elde edilebilir.

$$\begin{aligned} (L_{min}/H)_d &= \left(1 + \frac{C_d}{100}\right) (L_{min}/H)_{d,ref} \\ (L_{min}/H)_k &= \left(1 + \frac{C_k}{100}\right) (L_{min}/H)_{k,ref} \end{aligned} \quad (20)$$

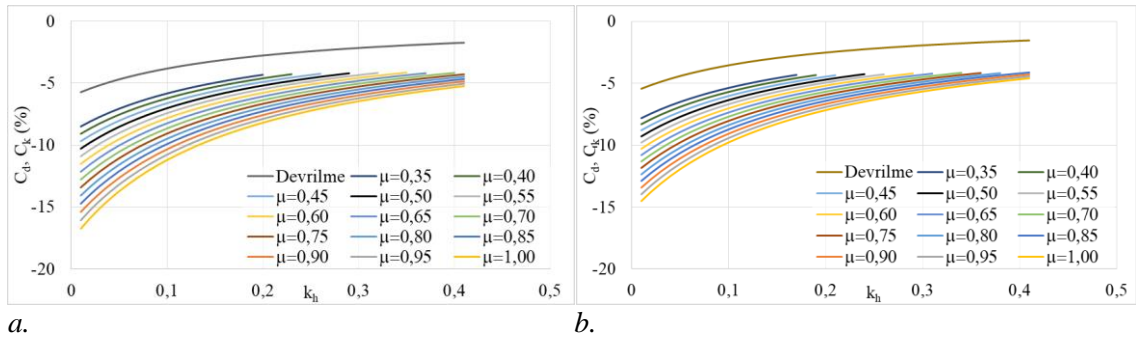
$(L_{min}/H)_{net}$ ise denklem 21 ile hesaplanabilir.

$$(L_{min}/H)_{net} = \max \left(\left(1 + \frac{C_d}{100}\right) (L_{min}/H)_{d,ref}, \left(1 + \frac{C_k}{100}\right) (L_{min}/H)_{k,ref} \right) \quad (21)$$

Yapı uzunluğunda devrilme ve kayma güvenliğinin bileşik olarak değerlendirilmesi ile meydana gelecek net değişim (C_{net}) KH ve MH performans düzeyleri için Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9:
 $\delta=0^\circ$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak C_{net} ;
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

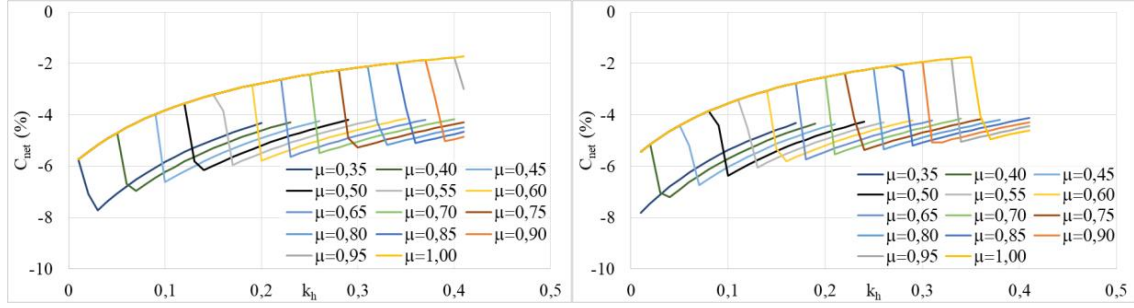


Şekil 10:
 $\delta=2\phi/3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak C_d ve C_k ;
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 9'da görüldüğü gibi yüksek sürtünme katsayısına sahip sistemler düşük k_h değerlerinde devrilme yönünden kritik olduğundan Şekil 8'de görülen düşük k_h değerlerindeki yüksek artış oranları Şekil 9'da görülmemektedir.

Duvar-zemin sürtünme açısının $\delta=2\phi/3$ değerine çıkartılması durumunda kayma ve devrilme yönünden limit yapı boyutlarının referans sisteme göre değişimleri (C_d ve C_k) Şekil 10'da sırasıyla ile KH ve MH performans düzeyleri için gösterilmiştir.

Şekil 10 incelendiğinde duvar-zemin arakesitinde sürtünme açısının iki kat artırılmasının düşük k_h değerlerinde daha fazla olmak üzere hem kayma yönünden hem de devrilme yönünden hesaplanan yapı uzunluklarının sırası ile yaklaşık %16-%4 ve %6-%2 arasında azaldığı görülmektedir. Şekil 11’de referans sisteme göre yapı uzunluğunun net artış oranları (C_{net}) kayma ve devrilme güvenliğinin birlikte değerlendirilmesi hali için verilmiştir.



a.

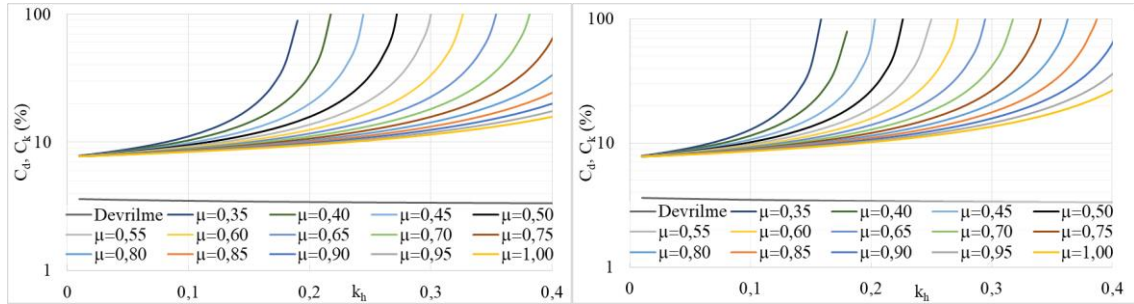
b.

Şekil 11:

$\delta=2\phi/3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; devrilme ve kayma güvenliğinin birlikte değerlendirilmesi halinde yapı uzunluğu artış oranı, C_{net} ;
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 11’de yapı uzunluğundaki azalma değerlerinin Şekil 10’da hesaplanan azalma miktarlarına ulaşmadığı ve %8 ile %2 arasında kaldığı görülmektedir. Kayma ve devrilme limitlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda C_{net} , düşük k_h değerlerinde devrilme etkin olduğundan devrilme eğrisi ile değişirken artan sürtünme katsayısı ile artan k_h değerlerinde ilgili kayma eğrisine geçiş yapmaktadır.

Yapı stabilitesine etkileyen en önemli parametrelerden bir diğeri de yapının özgül ağırlığıdır. denklem 17’ye göre kayma güvenliğinin sağlanamadığı limit k_h değeri yapının özgül ağırlığının fonksiyonudur. Yapının özgül ağırlığını değiştirmek asimptot değerlerinin yerlerini değiştirdiğinden; bu yapı uzunluklarının referans sistem uzunluğuna oranları da sonsuza gitmektedir. Çalışma kapsamında referans sitemde $\gamma_c=24 \text{ kN/m}^3$ olan yapının özgül ağırlığı önce $\gamma_c=23 \text{ kN/m}^3$ sonra da $\gamma_c=25 \text{ kN/m}^3$ olarak alınmıştır. Bu değerler yapı özgül ağırlığında $\pm 4,2\%$ ’lik bir değişime karşılık gelmektedir. Şekil 12 yapı özgül ağırlığının $\gamma_c=23 \text{ kN/m}^3$ olması durumunda yapı uzunluğunun referans sisteme göre değişimini sırasıyla KH ve MH performans düzeyleri için devrilme ve kayma güvenliğini ayrı ayrı ele alarak göstermektedir.

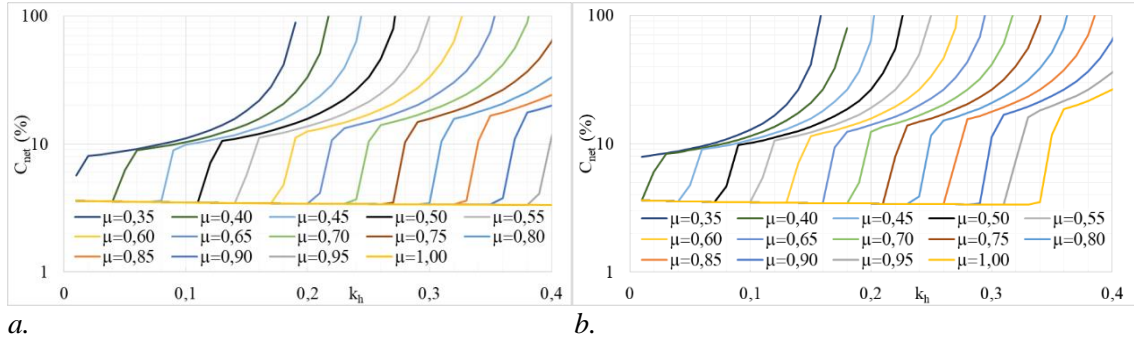


a.

b.

Şekil 12:

$\gamma_c=23 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_d ve C_k ;
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

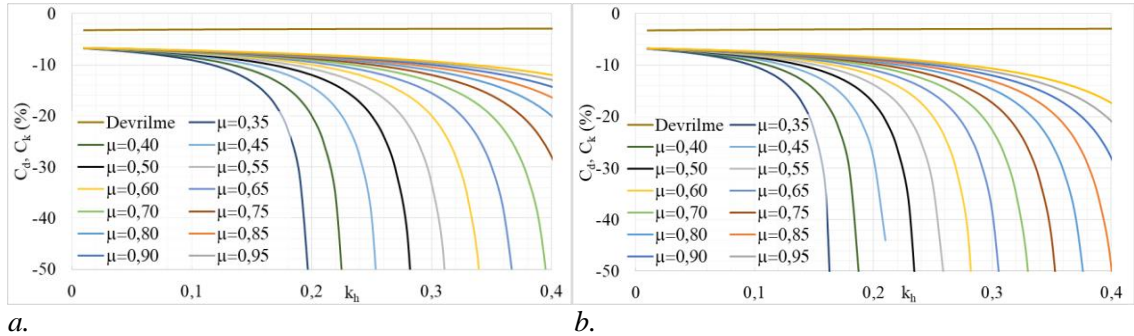


Şekil 13:
 $\gamma_c=23 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_{net}
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 13'te farklı sürtünme katsayısı değerleri için devrilme ve kayma güvenliğinin bileşik olarak değerlendirilmesi halinde yapı uzunluğundaki net artış miktarı (C_{net}) gösterilmiştir. Sistem boyutlandırma devrilme etkisinin etkin olduğu bölgede boyutlarda %3,6 ile %3,4 arasında k_h 'ın artması ile azalan bir değişim gösterirken kayma etkisindeki eğriler %7,8 ile başlamakta ve k_h ile denklem 17'den hesaplanabilecek değerlerde sonsuza gidecek şekilde artmaktadır.

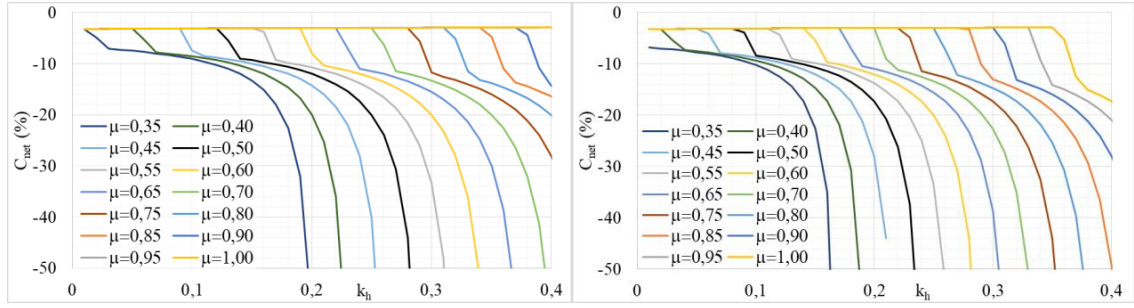
Şekil 13'ten düşük k_h değerlerinde sistemin devrilme kontrolünde olduğu ancak sürtünme katsayısına bağlı olarak sistemin daha yüksek k_h değerlerinde kayma kontrolüne girdiği görülmektedir. Devrilme bölgesinden kayma bölgesine geçişte sürtünme katsayısının artması ile genişleyen bir geçiş bölgesi mevcuttur.

Şekil 14'te yapının özgül ağırlığının $\gamma_c=25 \text{ kN/m}^3$ olması durumunda yapı uzunluğunun referans sisteme göre değişimini sırasıyla KH ve MH performans düzeyleri için devrilme (C_d) ve kayma güvenliğini (C_k) ayrı ayrı ele alarak göstermektedir. Devrilme eğrileri artan k_h ile %3,24'ten %2,94'e doğru azalan bir eğilim gösterirken, kayma limit durumundaki değişimi gösteren eğriler k_h değerleri ile %6,75 değerinden başlayarak artmaktadır.



Şekil 14:
 $\gamma_c=25 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_d ve C_k
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 15'te farklı sürtünme katsayısı değerleri için devrilme ve kayma güvenliğinin bileşik olarak değerlendirilmesi halinde $\gamma_c=25 \text{ kN/m}^3$ için yapı uzunluğundaki net artış miktarı (C_{net}) gösterilmiştir. Yapı uzunluğundaki net değişim oranları sürtünme katsayısına bağlı kritik bir k_h değerine kadar devrilme çizgisini üzerinden ilerlemekte, sonrasında ise kayma çizgisine geçiş yapmaktadır. Yapı uzunluğunda $\mu=0,5$ değeri için $k_h=0,14$ değerinde %9'luk bir azalma değeri ile kayma eğrisine geçilirken, $k_h=0,25$ 'te uzunlukta %20'lik bir azalma meydana gelmektedir.



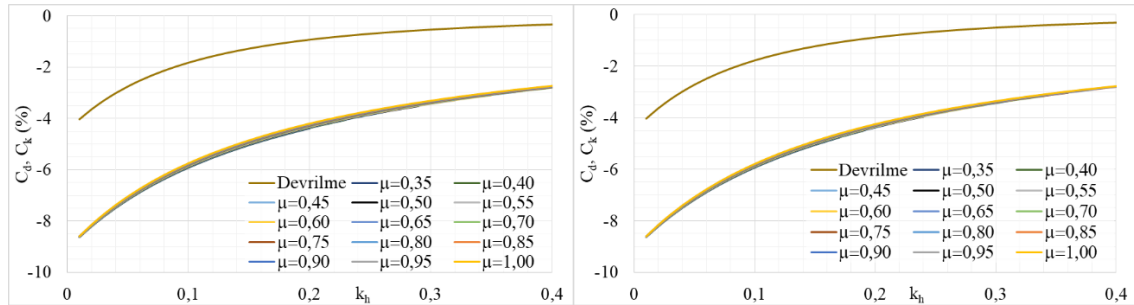
a.

b.

Şekil 15:

$\gamma_c=25 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_{net} ;
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Son olarak boyutlandırmanın dolgu zemininin özgül ağırlığına olan hassasiyeti değerlendirilmiştir. Zeminin özgül ağırlığındaki azalma sistemi yıkmaya çalışan kuvvetleri azalttığından limit yapı boyutlarında azalmaya sebep olmaktadır. Şekil 16'da zeminin suya doygun özgül ağırlığının $\gamma_{ss}=20 \text{ kN/m}^3$ olması, diğer bir deyişle suya doygun özgül ağırlığın yaklaşık %5 (4,76) azalması hali göz önüne alınmıştır. Şekil 16'ya bakıldığında sonuçların KH ve MH performans düzeyleri için hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca farklı sürtünme katsayıları için verilmiş olan kayma stabilite eğrileri yaklaşık olarak üst üste çıkmıştır. Değerler en düşük sürtünme katsayısından en büyük sürtünme katsayısına doğru negatif yönde azalmakta ve maksimum fark %0,2'den küçük olmaktadır. Yapı uzunluğundaki azalma oranının hem kayma hem de devrilme güvenliği açısından k_h 'ın artması ile azaldığı görülmektedir. Devrilmeye bağlı olarak yapı uzunluğundaki değişim miktarı artan k_h ile %4 değerinden %0,5 değerine kadar azalmakta, kayma eğrisi incelendiğinde ise yapı uzunluğundaki değişim miktarı %9'dan %3'e doğru azalmaktadır.



a.

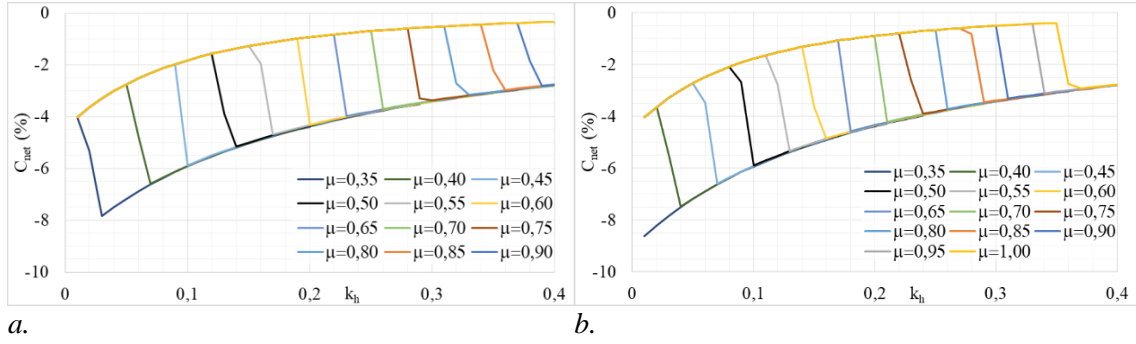
b.

Şekil 16:

$\gamma_{ss}=20 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_d ve C_k ;
a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 17'de $\gamma_{ss}=20 \text{ kN/m}^3$ için devrilme ve kayma güvenliğinin birarada değerlendirilmesi durumunda yapı uzunluğundaki değişim oranları gösterilmiştir.

Şekil 17'den sürtünme katsayısının bir eğriden diğer eğriye geçişte önemli olduğu, sürtünme katsayısı arttıkça devrilme eğrisinden kayma eğrisine geçişin daha yüksek k_h değerlerinde olduğu görülmektedir.



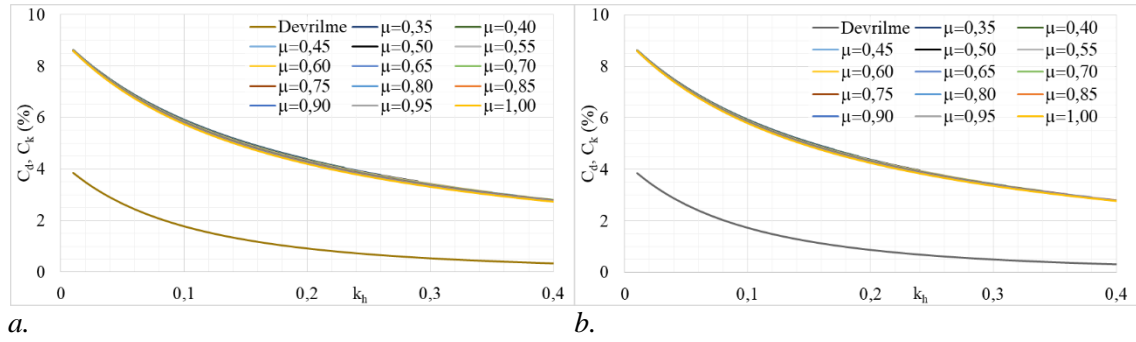
a.

b.

Şekil 17: $\gamma_{ss}=20 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_{net} :

a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 18’de geri dolgu zemininin suya doymun özgül ağırlığının $\gamma_{ss}=22 \text{ kN/m}^3$ değerine çıkartılması, diğer bir deyişle suya doymun özgül ağırlığın yaklaşık %5 (4,76) arttırılması halinde yapı boyutlarında meydana gelecek değişim oranları kayma ve devrilme güvenliklerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile sırasıyla KH ve MH performans düzeyleri için gösterilmiştir. Şekil 18’e bakıldığında sonuçların bir önceki analize benzer şekilde KH ve MH performans düzeyleri için hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Yine benzer şekilde farklı sürtünme katsayıları için sonuçların değişmediği görülmektedir.

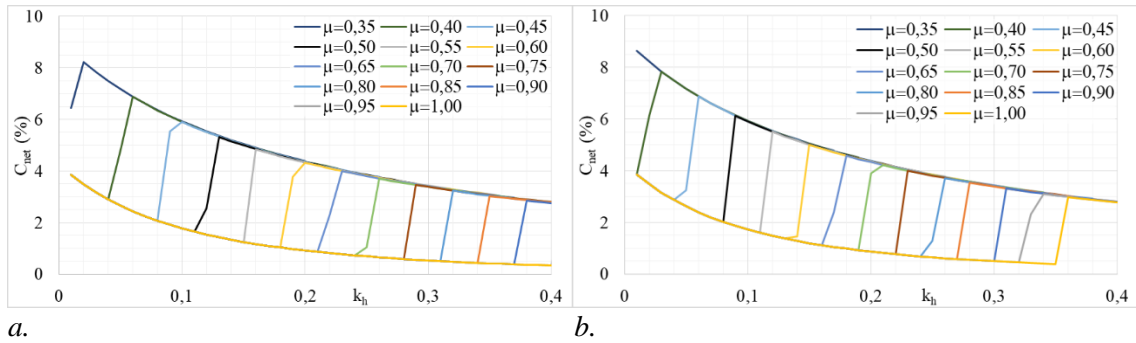


a.

b.

Şekil 18: $\gamma_{ss}=22 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_d ve C_k :

a. KH ve b. MH performans düzeyleri için



a.

b.

Şekil 19: $\gamma_{ss}=22 \text{ kN/m}^3$ için farklı sürtünme katsayılarına bağlı olarak; C_{net} :

a. KH ve b. MH performans düzeyleri için

Şekil 19’da $\gamma_{ss}=22 \text{ kN/m}^3$ için devrilme ve kayma güvenliğinin birarada değerlendirilmesi durumunda yapı uzunluğundaki değişim oranları gösterilmiştir. Şekil 19 incelendiğinde farklı sürtünme katsayılarının aslında sistemin davranışında etkili olduğu ve diğer grafiklerde olduğu

gibi devrilme eğrisinden kayma eğrisine geçiş değerini değiştirdiği görölmektedir. Sürtünme katsayısının artması ile daha yüksek k_h değerlerinde devrilme eğrisinden kayma eğrisine geçiş meydana geldiği görölmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada AYGM K1y1 ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliğinin (2008) ağırlık tipi yapılar için vermiş olduğu dayanıma göre tasarım yöntemi idealize edilmiş bir sisteme uygulanmıştır. Sistemin devrilme ve kayma güvenlikleri açısından limit boyutlarının tasarım parametrelerinin değişimi ile değişkenliği incelenmiş, KH ve MH performans düzeyleri için çeşitli grafikler yardımı ile yönetmelikte tanımlanan yöntemin duyarlılığı ortaya konulmuştur.

Sonuçlar göstermiştir ki düşük statik eşdeğer deprem ivme katsayısı (k_h) değerlerinde yapı boyutunu belirleyen devrilme güvenliği olurken k_h değeri yükseldikçe kayma güvenliği belirleyici olmaktadır.

Sürtünme katsayısının kritik yıkılma modunun değişimini etkilediği, yüksek sürtünme katsayısının daha yüksek k_h değerlerinde devrilme modundan kayma moduna geçişe sebep olduğu ve bunun sonucunda yapı boyutlarının küçüldüğu görölmüştür.

Yönetmelikte tarif edilen çözüm yöntemi ile kayma güvenliği açısından yapı uzunluğunun belli k_h değerlerinde sonsuza gittiği gösterilmiş ve bu limit k_h değerlerini veren ifade elde edilmiştir (Denklemler 17). Bu durumun tasarımda büyük yapı boyutları elde edilmesinin ana sebebi olduğu düşünölmektedir. Sürtünme katsayısını arttıran mühendislik çözümleri ile yapı boyutlarının makul ölçülerde tutulması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Ahmad S.M. and Choudhury D. (2009) Seismic design factor for sliding of waterfront retaining wall, *Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering*, 162, 269-276. doi:10.1680/geng.2009.162.5.269
2. Choudhury D., Nimbalkar S.S. (2006) Pseudo-dynamic approach of seismic active earth pressure behind retaining wall, *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, 1103-1113. doi:10.1007/s10706-005-1134-x
3. Choudhury D., Ahmad S.M. (2007) Stability of waterfront retaining wall subjected to pseudo-static earthquake forces, *Ocean Engineering*, 34, 1947- 1957. doi: 10.1016/j.oceaneng.2007.03.005
4. Choudhury D., Ahmad S.M. (2008) Stability of waterfront retaining wall subjected to pseudo-dynamic earthquake forces, *Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering*, ASCE, 134, 252-262. doi:10.1061/(ASCE)0733-950X(2008)134:4(252)
5. EN 1998-5:2005, (2005). Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects, CEN, Bruxelles, Belgium.
6. EPPO, (2000). Earthquake planning and protection organization, Greek Seismic Code EAK2000 (amended in 2003), Athens, Greece (in Greek).
7. Italian Government Ministry of Infrastructures, (2008). Italian code for structural design (Norme tecniche per le costruzioni) (In Italian), Official Bulletin no. 29.
8. Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929) On the determination of earth pressures during earthquakes, Proc. of the World Engineering Congress, Tokyo-Japan, 9, 179-187.
9. Newmark N. M. (1965) Effects of earthquakes on dams and embankments, *Geotechnique*, 15 (2), 139-160. doi:10.1680/geot.1965.15.2.139

10. OCEDI the Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, (2009). Technical standards and commentaries for port and harbor facilities in Japan, Tokyo, Japan.
11. Okabe S. (1924) General theory of earth pressure and seismic stability of retaining wall and dam, *Journal of the Japanese Society of Civil Engineers*, 10 (5), 1277-1323.
12. PIANC Permanent International Navigation Association, (2001). Seismic design guidelines for port structures, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, the Netherlands.
13. Shukha R., Baker R. (2008) Design implications of the vertical pseudo-static coefficient in slope analysis, *Computers and Geotechnics*, 35, 86–96. doi: 10.1016/j.compgeo.2007.01.005
14. Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM), (2008). Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Ankara, Türkiye.
15. USACE, US Army Corps of Engineers, (1989). Engineering and design of retaining and flood walls. EM 1110-2-2502.
16. Westergaard H . M. (1933) Water pressures on dams during earthquakes, *Transactions of the American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 98 (2), 418-433.
17. Yuksel Y., Alpar Ş.B., Yalciner A., Cevik E., Ozguven O., Celikoglu Y. (2003) Effects of the eastern Marmara earthquake on marine structures and coastal areas, *Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Water and Maritime Engineering*, 156, 147-163. doi: 10.1680/wame.2003.156.2.147

