

İstinat Duvarlarına Etkiyen Aktif Zemin İtkilerinin Eurocode–8 ve Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Karşılaştırılması

Şenol GÜRSOY^{1,*}

¹*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, TURKEY*

Received:11.11.2013 Accepted:30.10.2013

ÖZET

Deprem yönetmelikleri teknik literatürdeki gelişmelere bağlı olarak belirli aralıklarla güncellenmekte ve değiştirilmektedir. Deprem yönetmeliklerindeki bu güncelleme ve değişiklikler genellikle tasarım yöntemleri üzerinde yapılmaktadır. Bu makalede, istinat duvarlarına ilişkin Türkiye Depreme Yönetmeliği ve Eurocode–8’de önerilen tasarım yöntemleri karşılaştırma için dikkate alınmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı istinat duvarlarının depreme göre tasarımında anılan yönetmeliklerdeki farklılıkları incelenmektedir. Bu inceleme istinat duvarlarının tasarımında kullanılan sözkonusu deprem yönetmeliklerindeki bağıntılarla yapılmaktadır. Elde edilen bulguların tartışılmasıyla bahsedilen deprem yönetmeliklerindeki tasarım yöntemlerinin önemli farklılıkları tablolarda ve şekillerde özetlenerek verilmekte ve böylece bazı sonuçlar ve öneriler getirilmektedir. Bu bulgulardan elde edilen sonuçlar, Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre istinat duvarlarının depreme göre daha emniyetli tasarımları için tepki (tasarım) spektrumlarındaki zemin parametrelerinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem yönetmelikleri, istinat duvarları, tasarım

Comparison of Active Soil Thrusts Acting on the Retaining Walls According to Eurocode-8 and Turkish Earthquake Code

ABSTRACT

Earthquake codes have been periodically revised and updated depending on the technical literature improvements. This revises and update in earthquake codes has been generally performed on the design methods. In this paper, the design methods which recommended Turkish Earthquake Code and Eurocode-8 related to retaining walls are considered for comparison. The main purpose of this study is to investigate differences in the aforementioned codes in the design according to earthquake of retaining walls. These investigate done with relation in the as mentioned earthquake codes used in the design of retaining walls. The important differences of design methods in the mentioned earthquake codes by discuss of obtained findings are briefly given in tables and figures and thus some conclusions and recommendations are brought. The results obtained from this findings revealed that, should be considered of soil parameters in the response (design) spectrums for the safer designs according to earthquake of retaining walls according to Turkish Earthquake Code.

Keywords: Earthquake codes, retaining walls, design

1. GİRİŞ

Türkiye’de meydana gelmiş olan depremler sonrası deprem yönetmeliği, özellikle son yıllarda, sıklıkla değiştirilmekte ve/veya güncellenmektedir. Zira Türkiye Deprem Yönetmeliği [1] Ocak 1998’de yürürlüğe girdikten sonra 1999 yılında Kocaeli ve Düzce’de maalesef iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremler sonrası farklı disiplinlerdeki bilim adamları söz konusu hasarların nedenlerini araştırmışlardır. Bazı bilim adamları bu yıkıcı hasarlar üzerinde zeminin çok önemli etkisi olduğunu savunmuşlar [2-5]. Diğerleri ise yapısal elemanlardaki ve/veya tasarım yöntemindeki bazı eksiklerden kaynaklandığını belirtmişlerdir [6-10]. 1999 depremlerinin öğrettikleri ve gözlemleri ışığı altında halen birçok çalışma gerçekleştirilmektedir.

Yapım ve işlevleri yönünden özellik arzeden istinat duvarlarının diğer yapılar gibi depreme de dayanımlı olarak tasarlanıp inşa edilmeleri gerektiği açıktır. Oysa bu duvarların da depremlerden dolayı kabul sınırlarının ötesinde hasar gördüğü yada göçtüğü bilinmektedir. Bu durumu, yapım aşamalarında denetime gerekli özenin gösterilmiş olması durumunda, tasarımlarında kullanılan hesap yöntemlerine atfetmek mümkün olmaktadır. Yaygın olarak kullanılan tasarım yöntemlerine göre, istinat duvarlarına etkiyen statik zemin basınçları hesaplanmakta ve belirli emniyet faktörleri ile duvarın stabilite denetimleri yapılmaktadır. Ancak sadece statik zemin basınçları dikkate alınarak tasarlanan istinat duvarlarının deprem bölgelerinde inşa edilmeleri durumunda yetersiz kalacağı açıktır. Zira deprem bölgelerindeki istinat duvarlarına yer hareketinden dolayı etkiyen dinamik zemin basınçları, dağılım ve büyüklük olarak statik basınçlarından farklı olmaktadır [11]. Diğer taraftan Avrupa birliği ülkelerinde kullanılmakta olan Eurocode-8’de [12] önerilen koşullar Türk deprem komitesi için son derece önemlidir. Zira Eurocode-8 (EC-8) ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY) [13] önerilen tasarım yöntemleri ve aralarındaki farklılıkların karşılaştırılmasının yararlı olacağı açıktır.

2. EC-8 VE TDY’DE ÖNERİLEN YÖNTEMLERLE İSTİNAT DUVARLARININ DEPREME GÖRE TASARIM

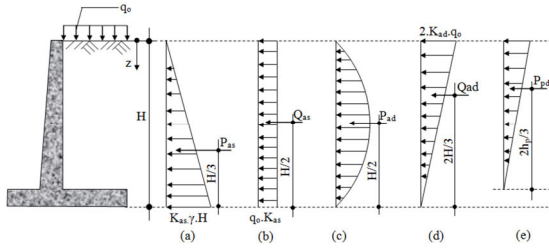
Aktif deprem kuşağında bulunan ülkelerde, depreme dayanıklı yapı tasarımı, yapım ve kullanımına ilişkin yönetmelikler mevcut olduğu bilinmektedir. Her ülkenin ekonomisi, yapım teknolojisi, maruz bulunduğu deprem tehlikesi, deprem kayıtlarının yeterlilik düzeyi, bölgelere göre beklenen deprem büyüklüğü ve zemin durumu gibi etkenler birbirinden çok farklı olduğundan, bir ülkenin yönetmeliğinin başka ülkede aynen uygulanması genellikle uygun olmamaktadır. Türkiye’de deprem bölgelerinde inşa edilecek yapılara ilişkin esaslar TDY’de ve Avrupa Birliği ülkelerinde inşa edileceklerle ilişkinler ise EC-8’de verilmektedir. Yürürlükteki bu yönetmeliklerde istinat duvarlarının tasarımına ilişkin olarak önerilen yöntemler aşağıda verilmektedir.

2.1. TDY’de Önerilen Yönteme Göre Hesap

TDY Türkiye’yi depremselliklerine göre çeşitli deprem bölgelerine ayırarak bu bölgelerdeki yapıların başta stabilite olmak üzere yeterli dayanım, dayanıklılık, rijitlik ve sünekliğe sahip olabilmeleri için gerekli hesap, tasarım ve yapım kurallarını içermektedir.

Deprem mühendisliğinin ve onun pratik sonuçlarını içeren deprem yönetmeliklerinin temel felsefesinin, yapıların küçük depremlerde hiç hasar görmemesi, orta büyüklükteki depremlerde taşıyıcı olmayan kısımlarının hasarının kabul edilmesi ancak taşıyıcı eleman hasarlarının onarılabilecek düzeyde olması ve büyük depremlerde onarılamayacak derecede hasar görmesi ancak enkaz haline gelmelerinin önlenmesi olduğu bilinmektedir. Bu felsefenin gereği yeni araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre sözkonusu yönetmeliklerde gerekli değişiklikler yapılmaktadır. Türkiye Deprem Yönetmeliği de şimdiye kadar birçok kez değiştirilmiştir.

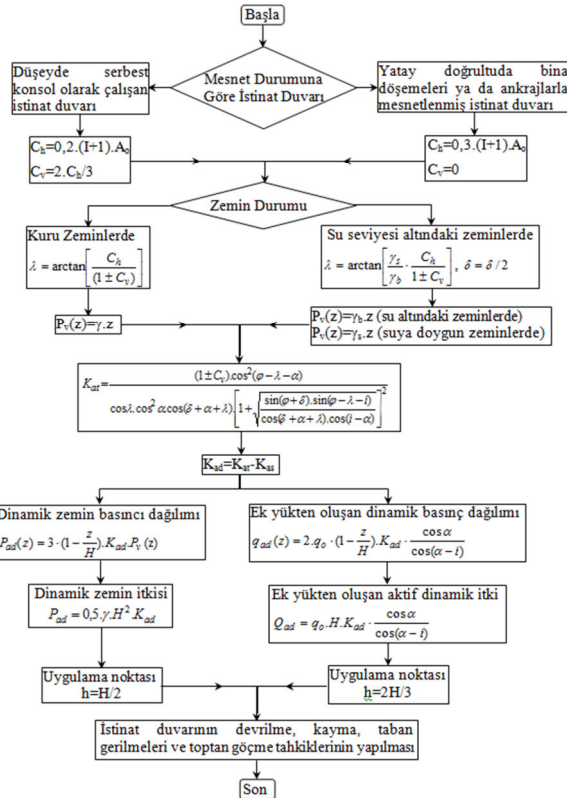
Bugün yürürlükte bulunan TDY’de göre istinat duvarlarının depremler sırasında etkimesi muhtemel yanal yükler Şekil 1’de ve tasarımına ilişkin akış şeması ise Şekil 2’de verilmektedir. Bu şekillerde; I yapı önem katsayısını, A_0 etkin yer ivmesi katsayısını, C_h ve C_v sırasıyla zemin basıncının hesabında kullanılan yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayılarını, α istinat duvarı yüzlerinin düşeyle yaptığı açıyı, H duvar yüksekliğini, h toplam aktif zemin itkisinin duvar tabanından itibaren tatbik noktasını, h_p serbest konsolun yüksekliğini, q_0 eşit yayılı ek yükün şiddetini, z zemin serbest yüzeyinden itibaren derinliği, ϕ zeminin iç sürtünme açısını, δ zeminle duvar arasındaki sürtünme açısını, i dolgu zemini yüzeyinin yatayla yaptığı açıyı, λ toplam aktif basınç katsayısının hesabında eşdeğer deprem katsayılarına bağlı olarak hesaplanan açıyı, γ zeminin doğal birim ağırlığını, γ_s ve γ_b sırasıyla suya doygun ve su altındaki zeminlerin birim ağırlıklarını, P_{as} statik aktif zemin itkisini, P_{ad} dinamik aktif zemin itkisini, P_{at} deprem durumundaki toplam aktif zemin itkisini, Q_{as} eşit yayılı ek yükten doğan statik aktif zemin itkisini, Q_{ad} eşit yayılı ek yükten doğan dinamik zemin itkisini, $p_{v(z)}$ düşey zemin basıncının derinlikle değişimini, K_{ad} dinamik aktif basınç katsayısını, K_{at} toplam (statik+dinamik) aktif basınç katsayısını, K_{as} ise K_{at} ifadesinde $\lambda=C_v=0$ konularak hesaplanan statik aktif basınç katsayısını göstermektedir. Bu yönetmelik istinat duvarları için yapı önem katsayısının I=1 olarak alınmasını önermektedir. Türkiye Deprem Bölgeleri için tasarımda kullanılacak etkin yer ivmesi katsayıları (A_0) ise aşağıdaki Tablo 1’de verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi tasarımda düzgün yayılı ek yük, tabakalı zemin ve yeraltı suyunun bulunması durumları da söz konusu basınçların hesabında dikkate alınabilmektedir. Bu şekildeki bağıntılarda bulunan \pm işaretleri en elverişsiz durumu belirleyecek şekilde kullanılacaktır.



Şekil 1. Ek yükün olması durumunda deprem esnasında betonarme konsol istinat duvarlarına etki eden statik (a ve b) ve dinamik (c, d ve e) yükler

Bu şekilde, W_p serbest konsolun ağırlığını göstermek üzere, serbest konsolun ağırlığı nedeniyle oluşan atalet kuvveti (P_{pd}) Eş.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_{pd} = C_h \cdot W_p \quad (1)$$



Şekil 2. İstinat duvarlarının aktif basınçlara göre TDY'deki yöntemle tasarımına ilişkin akış şeması

Tablo 1. TDY'de verilen etkin yer ivmesi katsayıları

Deprem Bölgesi	Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)
1.	0,40
2.	0,30
3.	0,20
4.	0,10

Burada anılan yönetmeliğe göre konsol istinat duvarlarının depreme göre tasarımında, yatay zemin basıncının yanında duvarın kendi kütlesine ilişkin deprem kuvvetlerinin ihmal edilebileceğini, kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik katsayılarının sırasıyla en az 1.1 ve 1.3 olarak alınabileceği belirtilmiştir.

Deprem bölgelerinde inşa edilen istinat duvarlarının tasarımında kullanılabilir, TDY'deki tüm hüküm ve önerileri dikkate alan, bilgisayar programının listesi kaynak [11]'de mevcuttur.

2.2. EC-8'de Önerilen Yönteme Göre Hesap

EC-8 Avrupa Birliği ülkeleri için geçerli bir yönetmeliktir. Bu yönetmelikte de istinat duvarlarının depreme göre tasarımına ilişkin eşdeğer statik bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemle göre, depreme dayanımlı istinat duvarı tasarımı için hesap adımları Şekil 3'de verilmektedir. Bu şekilde; γ_w suyun birim ağırlığını, H_w yer altı su seviyesi yüksekliğini, P_{ws} suyun statik itkisini, P_{wd} suyun dinamik itkisini, γ_ϕ dolgu zeminine ilişkin bir katsayıyı, d_r istinat duvarı tepe noktasına ait yer değiştirmeyi, α' zemin tasarım ivmesinin yerçekimi ivmesine oranını, r yatay deprem katsayısına (C_h) ilişkin bir parametreyi ve S zemin faktörünü göstermekte olup tasarımlarda kullanılması önerilen değerleri ise sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 2. EC-8'e göre istinat duvarının tiplerine ilişkin yatay deprem katsayısının hesabı için r parametresinin değerleri

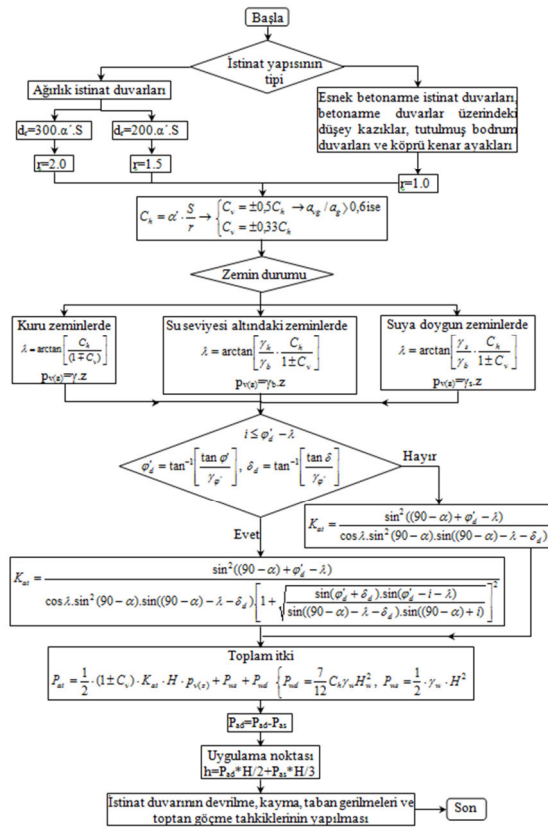
İstinat Duvarı Tipi	r
İzin verilen yer değiştirmesi $d_r=300 \cdot \dot{a} \cdot S$ (mm) olan ağırlık istinat duvarları	2
İzin verilen yer değiştirmesi $d_r=200 \cdot \dot{a} \cdot S$ (mm) olan ağırlık istinat duvarları	1.50
Esnek betonarme duvarlar, düşey kazıklar üzerine inşa edilmiş betonarme duvarlar, yanall desteklenmiş bodrum duvarları ve köprü kenar ayakları	1

Tablo 3. Tip 1 ve tip 2 elastik tepki spektrumunda tanımlanan zemin faktörü (S) değerleri

Zemin Grubu	Zemin Faktörü (S)	
	Tip 1 elastik tepki spektrumu	Tip 2 elastik tepki spektrumu
A	1	1
B	1.2	1.35
C	1.15	1.5
D	1.35	1.8
E	1.4	1.6

Bu yönetmelikte deprem katsayısının 10m'den yüksek olmayan istinat duvarları için yükseklik boyunca sabit alınabileceği, boşluk suyu basıncı oluşması muhtemel doymuş kohezyonsuz zeminlerde r katsayısının 1'den büyük olmayacağı ve sıvılaşmaya karşı emniyet

faktörünün 2'den daha az olmaması gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca aktif zemin basınçları (statik ve/veya dinamik) için zeminle duvar arasındaki sürtünme açısı değerinin $(2/3)\phi'$ 'den büyük olmayacağı ve betonarme istinat duvarları için düşey ivmenin etkisinin ihmal edilebileceği belirtilmiştir.



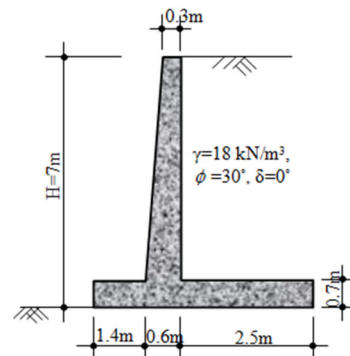
Şekil 3. İstinat duvarlarının aktif basınçlara göre EC-8'deki yöntemle tasarımına ilişkin akış şeması

EC-8'deki tüm hüküm ve önerileri dikkate alan, bilgisayar programının listesi kaynak [11]'de mevcuttur.

3. SAYISAL UYGULAMALAR

3.1. Sayısal Uygulama 1

Bu sayısal uygulama için dikkate alınan istinat duvarı ve zemin koşulları Şekil 4'de verilmektedir. Bu duvarın 1. derece deprem bölgesinde inşa edildiği ve pasif itkinin ihmal edilebilecek düzeyde kaldığı kabul edilmektedir.



Şekil 4. Konsol istinat duvarı boyutları ve dolgu zemin özellikleri

Deprem yükleri altında istinat duvarına gelen, TDY ve EC-8'e göre hesaplanan, toplam aktif zemin itkisi, bu itkinin duvar tabanından itibaren tatbik noktası ve devirici momenti değerleri Tablo 4'de verilmektedir.

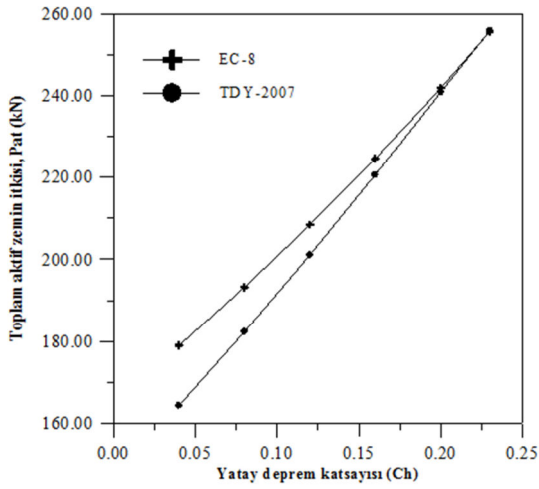
Tablo 4. İstinat duvarının, TDY ve EC-8'göre, hesaplanan toplam zemin itkileri, bu itkilerin tatbik noktaları ve devirici momentleri

Deprem Yönetmeliği	Toplam aktif zemin itkisi (kN)	İtkinin duvar tabanından itibaren tatbik noktası (m)	Devirici moment (kNm)
TDY'de Önerilen Yöntem ($C_h=0.16$)			
Duvar ağırlığının dikkate alınmaması durumunda	209.28	2.68	560.9
Duvar ağırlığının dikkate alınması durumunda	209.28+11.34 (220.62)	2.794	616.6
EC-8'de Önerilen Yöntem ($C_h=0.16$)	224.65	2.736	614.64

Bu tablodan da görüldüğü gibi TDY'de önerilen yöntemle sayısal uygulamamıza konu olan istinat duvarı gövdesinde ağırlığından oluşan atalet kuvvetlerinin dikkate alınması durumunda hesaplanan devirici moment en büyük değeri almakta ancak toplam aktif zemin itkisi değeri EC-8'e göre hesaplanandan daha olmaktadır.

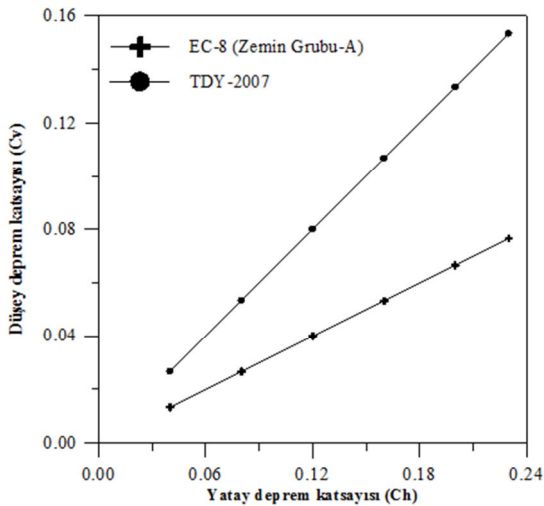
TDY'e göre Türkiye depremselliklerine göre çeşitli deprem bölgelerine ayrılmakta ve bu bölgelere göre etkin yer ivmesi katsayısı da 0.1 ile 0.4 arasında değerler almaktadır. Bu nedenle istinat duvarına etkiyen toplam zemin basıncına yatay deprem katsayısının (C_h) önemini göstermek için TDY ve EC-8'göre yatay deprem katsayısıyla toplam zemin basıncının değişimi Şekil 5'de verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi, yatay deprem katsayısının büyük değeri için bahsedilen her iki yönetmelikten elde edilen sonuçlar birbirlerine oldukça yakın olmakta ve hatta pratik olarak çakışmaktadır. Ancak yatay deprem katsayısının küçük değerleri EC-8'göre elde edilen toplam aktif zemin

basıncı değerleri TDY'den daha büyük değerler almaktadır.



Şekil 5. Yatay deprem katsayılarıyla toplam aktif zemin itkisinin değişimi

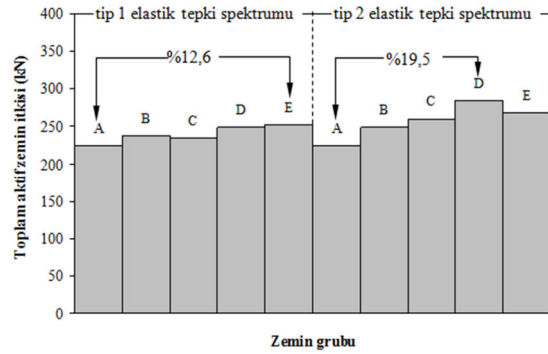
Depreme göre istinat duvarlarının tasarımlarında bazen düşey deprem katsayısı (C_v) ihmal edilmektedir. TDY ve EC-8'de önerilen tasarım yöntemlerine göre düşey deprem katsayısıyla yatay deprem katsayısının değişimi Şekil 6'da verilmektedir. Bu şekilden TDY'de önerilen tasarım yöntemiyle elde edilen düşey deprem katsayısı değerleri EC-8'de önerilen tasarım yönteminden daha büyük değerler almaktadır. Diğer taraftan anılan her iki yönetmelikte de yatay deprem katsayısı arttığında düşey deprem katsayısı artmaktadır.



Şekil 6. TDY ve EC-8'de önerilen tasarım yöntemlerine göre yatay deprem katsayıları ile düşey deprem katsayılarının değişimi

TDY'de 1. derece deprem bölgeleri için etkin yer ivmesi katsayısının (A_0) 0,4 alınması önerilmektedir. Diğer bir ifadeyle depremselliği fazla olan bölgelerde inşa edilecek istinat duvarlarının tasarımında kullanacak olan yatay deprem katsayısı 0,16 olarak hesaplanmaktadır. Diğer taraftan EC-8'de yatay deprem katsayısı sözkonusu yönetmelikte bahsedilen

zemin gruplarına göre değişmektedir. Diğer bir deyişle yatay deprem katsayısı yerel zemin koşulları ile değişmektedir. Oysa TDY'de yerel zemin koşullarının toplam aktif zemin itkisi üzerindeki etkisi ile ilgili herhangi bir hüküm ve öneri bulunmamaktadır. EC-8'de tanımlanan tip 1 ve tip 2 elastik tepki spektrumlarına göre farklı zemin grupları için toplam aktif zemin itkisi ve maksimum farklılıklar Şekil 7'de verilmektedir.

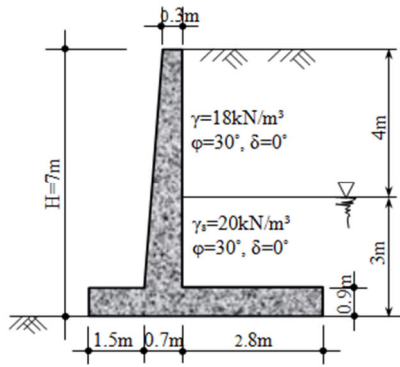


Şekil 7. EC-8'de önerilen yöntemle farklı zemin grupları için elastik tepki spektrumlarına göre hesaplanan toplam aktif zemin itkisi değerleri

Bu şekilden görüldüğü gibi tip 2 elastik tepki spektrumundaki D grubu zemindeki toplam aktif zemin itkisi en büyük değeri almasına rağmen, tip 1 elastik tepki spektrumundaki D grubu zemindeki toplam aktif zemin itkisi en büyük değeri almamaktadır. Diğer bir ifadeyle tip 1 elastik tepki spektrumunda en büyük toplam aktif zemin itkisi değerini E grubu zemin sınıfı vermekte ve A grubu zemin sınıfı ile E grubu zemin sınıfı arasındaki maksimum fark %12,6 kadar ulaşmaktadır. Tip 2 elastik tepki spektrumuna göre en büyük toplam aktif zemin itkisi değerini veren D grubu zemin sınıfı ile A grubu zemin sınıfı arasındaki maksimum fark da %19,5 kadar ulaşmaktadır. Ayrıca bu şekilden zemin esnekliği arttıkça toplam aktif zemin itkisi değerinin arttığı görülmektedir.

3.2. Sayısal Uygulama 2

İkinci sayısal uygulama olarak dikkate alınan konsol istinat duvarı ve dolgu zemini özellikleri Şekil 8'de verilmektedir. Bu duvarın 1. derece deprem bölgesinde inşa edildiği ve pasif itkinin ihmal edilebilecek düzeyde kaldığı kabul edilmektedir.



Şekil 8. Konsol istinat duvarı boyutları ve dolgu zemini özellikleri

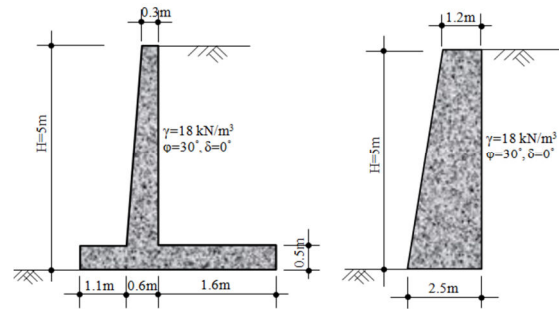
Bu şekilden görüldüğü gibi dolgu zemini iki farklı tabakalı olarak dikkate alınmakta ve yeraltı su seviyesi dolgu yüzeyinden 4m aşağıda yer almaktadır. TDY ve EC-8'de önerilen yöntemlere göre sözkonusu istinat duvarına etkiyen toplam aktif zemin itkisi, bu itkinin duvar tabanından itibaren tatbik noktası ve devirici momenti değerleri Tablo 5'de verilmektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi, EC-8'de önerilen yöntemle bu sayısal uygulamaya konu olan istinat duvarına etkiyen devirici moment değeri TDY ile hesaplanandan daha büyük değer almakta ancak toplam aktif zemin itkisi değeri TDY'ye göre, duvar gövdesi ağırlığından oluşan atalet kuvvetlerinin dikkate alınması durumundaki, hesaplanandan daha küçük olmaktadır.

Tablo 5. İstinat duvarının, TDY ve EC-8'göre, hesaplanan toplam zemin itkileri, bu itkilerin tatbik noktaları ve devirici momentleri

Deprem Yönetmeliği	Toplam aktif zemin itkisi (kN)	İtkinin duvar tabanından itibaren tatbik noktası (m)	Devirici moment (kNm)
EC-8'de Önerilen Yöntem ($C_h=0.16$)	237.73	2.74	651.38
TDY'de Önerilen Yöntem ($C_h=0.16$)	269.878	2.403	648.447

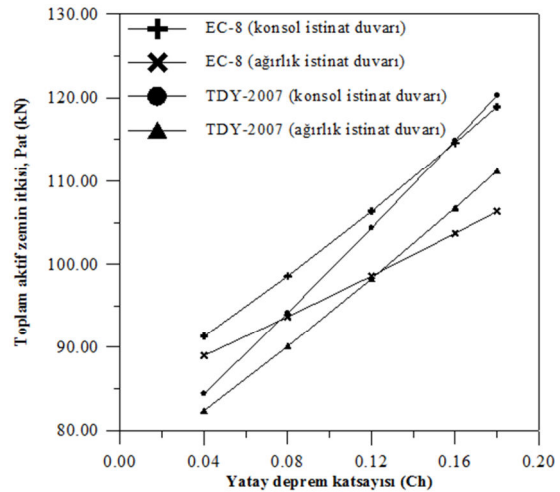
3.3. Sayısal Uygulama 3

Bu sayısal uygulamada duvar tipinin önemi göstermek için aynı yükseklikteki bir konsol ve ağırlık istinat duvar dikkate alınmaktadır. Sayısal uygulamada dikkate alınan konsol ve ağırlık istinat duvarlarının boyutları ve dolgu zemini özellikleri Şekil 9'da verilmektedir. Diğer sayısal uygulamalarda olduğu gibi bu sayısal uygulamada da duvarların 1. derece deprem bölgesinde inşa edildiği ve pasif itkinin ihmal edilebilecek düzeyde kaldığı kabul edilmektedir.



Şekil 9. Konsol ve ağırlık istinat duvarı boyutları ve dolgu zemini özellikleri

TDY ve EC-8'göre dikkate alınan konsol ve ağırlık istinat duvarına etkiyen toplam aktif zemin itkisinin yatay deprem katsayısının (C_h) değişimi Şekil 10'da verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi, dikkate alınan her iki deprem yönetmeliğine göre konsol istinat duvarı için elde edilen toplam aktif zemin itkisi değerleri ağırlık istinat duvarı için elde edilenlerden daha büyük olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, bahsedilen her iki yönetmeliğe göre istinat duvarı tipine bağlı olarak toplam aktif zemin itkisi değişmektedir. Diğer taraftan, konsol ve ağırlık istinat duvarının yatay deprem katsayısının küçük değerleri için EC-8'deki yöntemle elde edilen toplam aktif zemin itkisi değerleri daha büyük iken yatay deprem katsayısının büyük değerleri için TDY ile elde edilen toplam aktif zemin itkisi değerleri daha büyük olmaktadır. Bu durum istinat duvarlarının tasarımlarında duvar tipinin dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.



Şekil 10. Duvar tipine bağlı olarak yatay deprem katsayılarıyla toplam aktif zemin itkisinin değişimi

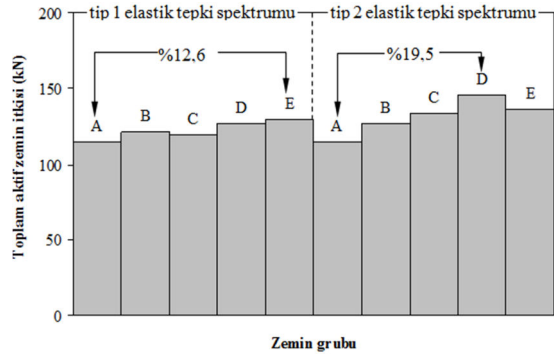
TDY ve EC-8'de önerilen yöntemlere göre konsol ve ağırlık istinat duvarına etkiyen toplam aktif zemin itkisi, bu itkinin duvar tabanından itibaren tatbik noktası ve devirici momenti değerleri Tablo 6'da verilmektedir. Bu tablodan da görüldüğü gibi TDY'de önerilen yöntemle hesaplanan, duvar gövdesinde ağırlığından oluşan atalet kuvvetlerinin dikkate alınması durumundaki, devirici moment ve toplam aktif zemin itkisi değerleri EC-8'e göre hesaplanandan daha büyük olmaktadır. Diğer

tarafından dikkate alınan her iki deprem yönetmeliğine göre konsol istinat duvarları için elde edilen devirici moment ve toplam aktif zemin itkisi değerleri ağırlık istinat duvarı için elde edilenlerden daha büyük olmaktadır.

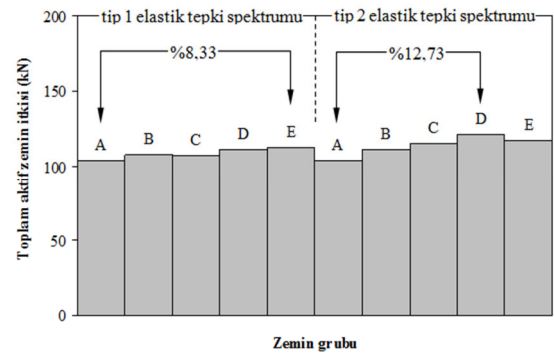
Tablo 6. TDY ve EC-8'göre konsol ve ağırlık istinat duvarlarına etkiyen toplam zemin itkileri, bu itkilerin tatbik noktaları ve devirici momentleri

Deprem Yönetmeliği		Toplam aktif zemin itkisi (kN)	İtkinin duvar tabanından itibaren tatbik noktası (m)	Devirici moment (kNm)
EC-8'de Önerilen Yöntem ($C_h=0.16$)	Konsol istinat duvarı	114.598	1.955	224.039
	Ağırlık istinat duvarı	103.698	1.897	196.715
TDY'de Önerilen Yöntem ($C_h=0.16$)	Konsol istinat duvarı	114.875	2.026	232.787
	Ağırlık istinat duvarı	106.775	1.915	204.474

Dikkate alınan konsol ve ağırlık istinat duvarının EC-8'de tanımlanan tip 1 ve tip 2 elastik tepki spektrumları ve farklı zemin gruplarına göre hesaplanan toplam aktif zemin itkisi ve maksimum farklılıkları sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmektedir.



Şekil 11. Konsol istinat duvarına EC-8'de önerilen yöntemle farklı elastik tepki spektrumları ve zemin grupları için etkiyen toplam aktif zemin itkisi değerleri



Şekil 12. Ağırlık istinat duvarına EC-8'de önerilen yöntemle farklı elastik tepki spektrumları ve zemin grupları için etkiyen toplam aktif zemin itkisi değerleri

Bu şekillerden görüldüğü gibi konsol ve ağırlık istinat duvarı için tip 1 elastik tepki spektrumundaki E grubu zemindeki toplam aktif zemin itkisi en büyük değeri almasına rağmen, tip 2 elastik tepki spektrumunda D grubu zemindeki toplam aktif zemin itkisi en büyük değeri almaktadır. Diğer bir ifadeyle konsol ve ağırlık istinat duvarı için tip 1 elastik tepki spektrumunda en büyük toplam aktif zemin itkisi değerini E grubu zemin sınıfı vermekte ve A grubu zemin sınıfı ile E grubu zemin sınıfı arasındaki maksimum fark sırasıyla %12,6 ve %8,33 kadar olmaktadır. Konsol ve ağırlık istinat duvarının tip 2 elastik tepki spektrumuna göre en büyük toplam aktif zemin itkisi değerini veren D grubu zemin sınıfı ile A grubu zemin sınıfı arasındaki maksimum fark da sırasıyla %19,5 ve %12,73'e kadar ulaşmaktadır. Ayrıca bu şekillerden, daha önce hesaplandığı gibi, zemin esnekliği arttıkça toplam aktif zemin itkisi değerinin arttığı görülmektedir.

Burada TDY'e göre istinat duvarlarına etkiyen toplam aktif zemin itkisinin hesabında tasarım spektrumu ve zemin sınıfı ile ilgili herhangi bir hüküm ve öneri bulunmadığı belirtmek yararlı olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada istinat duvarlarının depreme göre tasarımında TDY ve EC-8 yönetmeliklerindeki farklılıklar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilebilen başlıca sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir:

- EC-8'de önerilen yöntemle aktif zemin itkilerinin, yerel zemin koşulları ve elastik tasarım spektrumuna bağlı olarak hesaplanma imkanı bulunmasına karşın, TDY'de zemin koşullarının toplam aktif zemin itkisi üzerindeki etkisiyle ilgili herhangi bir hüküm ve öneri bulunmamaktadır. Diğer bir ifadeyle bütün zemin grupları için aynı yatay deprem katsayısının (C_h) kullanılmasını önerilmektedir.
- Yatay deprem katsayısının küçük değerleri için EC-8'e göre elde edilen toplam aktif zemin itkisi değerleri TDY'ye elde edilenlerden daha büyük olmaktadır. Ancak yatay deprem katsayısının değerinin artmasıyla EC-8 ve TDY'ye elde edilen toplam aktif zemin itkisi değerleri çakışmakta daha sonra ise TDY'ye elde edilen toplam aktif zemin itkisi değerleri daha büyük olmaktadır. Diğer taraftan TDY'de önerilen tasarım yöntemiyle elde edilen düşey deprem katsayısı değerleri EC-8'de önerilen tasarım yönteminden daha büyük değerler almaktadır.
- EC-8'de, istinat duvarlarının türüne bağlı olarak yer değiştirmesi ilgili hükümler bulunmasına karşın, TDY'de yer değiştirmesi ilgili herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. TDY'de göre EC-8'deki gibi istinat duvarları yer değiştirmesi ilgili hükümlerin getirilmesi yararlı olacaktır.
- EC-8 ve TDY'e göre, konsol istinat duvarları için elde edilen toplam aktif zemin itkisi ve devirici moment değerleri ağırlık istinat duvarı için elde edilenlerden daha büyük olmaktadır. Bu durum istinat duvarlarının depreme göre emniyetli ve ekonomik tasarımları için duvar tipinin dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

- EC-8'e göre, tip 1 elastik tepki spektrumundaki E grubu zemindeki toplam aktif zemin itkisi en büyük değeri almasına karşın, tip 2 elastik tepki spektrumundaki D grubu zemindeki toplam aktif zemin itkisi en büyük değeri almaktadır. Bu husus istinat duvarlarının tasarımında zemin tipinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.
- Bu çalışmanın bulguları dikkate alındığında, aktif deprem kuşağında bulunan Türkiye'de deprem bölgelerinde inşa edilecek istinat duvarlarına ilişkin tasarımların daha emniyetli olmaları bakımından Türkiye Deprem Yönetmeliğinde önerilen tasarım yönteminin istinat duvarı tipine ve zemin gruplarını da dikkate alarak iyileştirilmesini önermektedir. Örneğin, elde edilen bulgular ışığında, zemin esneklikçe diğer bir ifadeyle Z_1 grubu zemin sınıfından Z_4 grubu zemin sınıfına kadar her bir zemin sınıfı için aktif zemin itkilerinin %2,5-3 artırılmasının bu duvarların depreme göre tasarımı için daha yararlı olacağı açıktır. Böylelikle değişik zemin durumları da dikkate alınmış olmaktadır.

SEMBOLLER

- a_g : Eurocode-8'e göre A tipi zeminler üzerindeki tasarım ivmesi ($a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}$)
- a_{vg} : Düşey yöndeki tasarım ivmesi (Eurocode-8'e göre)
- $p_{ad(z)}$: Dinamik aktif zemin basıncının derinlikle değişimi
- $p_{wd(z)}$: Suyun dinamik basıncının derinlikle değişimi
- $p_{ws(z)}$: Suyun statik basıncının derinlikle değişimi
- $q_{ad(z)}$: Eşit yayılı ek yükten doğan dinamik aktif basıncın derinlikle değişimi
- γ_d : Zeminin kuru birim ağırlığı

KAYNAKLAR

1. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.
2. Çetin, K.O., Youd, T.L., Seed, R.B., Bray, J.D., Sancio, R., Lettis, W., Yılmaz, M.T., Durgunoğlu, H.T., "Liquefaction-Induced Ground Deformations at Hotel Sapanca During Kocaeli (İzmit), Turkey Earthquake", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v 22, 1083-1092, 2002.
3. Sancio, R.B., Bray, J.D., Stewart, J.P., Youd, T.L., Durgunoğlu, H.T., Önalp, A., Seed, R.B., Christensen, C., Baturay, M.B., Karadayılar, T., "Correlation Between Ground Failure and Soil Conditions, In Adapazari, Turkey", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v22, 1093-1102, 2002.
4. Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, İ.E., Özdemir, Z., "Seismic Amplification at Avcılar, İstanbul", Engineering Structures, v 24, 661-667, 2002.
5. Bakır, B.S., Yılmaz, M.T., Yakut, A., Gülkan, P., "Re-examination of damage distribution in Adapazari: Geotechnical considerations", Engineering Structures, v27 1002-1013, 2005.
6. Sezen, H., Whittaker, A. S., Elwood, K. J., Mosalam, K.M., "Performance of Reinforced Concrete Buildings During the August, 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practise in Turkey", Engineering Structures, v25, 103-114, 2003.
7. Erdik, M., Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) earthquakes, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute/TURKEY, available at <http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/eqspecials/kocaeli/Kocaelireport.pdf>, 2004.
8. Doğangün, A., "Performance of Reinforced Concrete Buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey", Engineering Structures, v26, 841-856, 2004.
9. Arslan, M.H., Korkmaz, H.H., "What Is to Be Learned From Damage And Failure of Reinforced Concrete Structures During Recent Earthquakes in Turkey?", Engineering Failure Analysis, v 14, 1-22, 2007.
10. Kirac, N., Dogan, M., Ozbasaran, H., "Failure of weak-storey during earthquakes", Engineering Failure Analysis, v18, 572-581, 2011.
11. Gürsoy, Ş., "Betonarme İstinat Duvarlarının, Zemin Etkileşimini de Dikkate Almak Suretiyle, Deprem Yüklerine Göre Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
12. Eurocode-8, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, European Standard, European Committee for Standardisation, Brussels, 2003.
13. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.