



Silindirik Sıvı Depolarının Dinamik Analizinin ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre Karşılaştırılmalı olarak İrdelenmesi

*¹Badradine Ali, ²Adem Doğangün

¹Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye,

badradineali@yahoo.com, 

²Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye,

ademdogangun@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 08.12.2018

Kabul Tarihi: 09.04.2019

Öz

Nüfusun sürekli artması ve sanayinin gelişmesi, başta su olmak üzere farklı sıvıların depolanma ihtiyacı, sıvı depolarının inşaa edilmesini gerekli kılmaktadır. Diğer taraftan depoların dinamik davranışlarını daha gerçekçi olarak belirleyebilmek için çalışmalar da yapılmaktadır. Bu çalışmalardan uygun görülenler yönetmeliklere alınmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sıvı depolarının depreme göre hesabını yapmak durumunda kalan ya da bu konuya ilgi duyan mühendislerin; sıvı depolarının dinamik yükler etkisindeki davranışını anlamalarına yardımcı olmak, bunlar için yönetmeliklerde öngörülen bağıntıları karşılaştırmalı olarak sunmak ve sıvı depolarının hesap ve tasarımını yapabilmelerine katkı sağlamaktır. Bu amaçla çalışmada, silindirik sıvı depolarının sismik analizi için ACI 350 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerinde öngörülen hesap esasları ve parametrelerin belirlenmesinde kullanılan bağıntılar karşılaştırılmalı olarak irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: ACI 350, EUROCODE 8, impuls kütlesi, salınım kütlesi

Comparative Investigation of Dynamic Analysis of Cylindrical Liquid Storage Tanks according to ACI 350 and EUROCODE 8

*¹Badradine Ali, ²Adem Doğangün

¹Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye, badradineali@yahoo.com

²Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye, ademdogangun@gmail.com

Abstract

The continuous increase in population and the development of industries necessitate the construction of liquid tanks for the storage of different liquids, especially water. Moreover, this study will be conducted to determine the dynamic behavior of liquid storage in more realistic manner. Likewise, the study have taken into consideration the usage of the appropriates international standard code. The aim of this study is to help engineers and those that are interested in this area to understand the behavior of liquid tanks under dynamic loads and to make comparism using the international standard code. The results obtained will contribute in terms the calculation and the design of liquid tanks. For this purpose, the relationship between the ACI 350 and EUROCODE 8 regulations for the seismic analysis of cylindrical liquid tanks and the formulas used in the determination of the parameters are compared.

Keywords: ACI 350, EUROCODE 8, impulsive masse, convective masse

*Sorumlu Yazar:Uludağ Üniversitesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüs, Bursa, Türkiye, badradineali@yahoo.com, 5442330292

Doi: 10.21541/apjes.492871

1. GİRİŞ

Bir yapıyı güvenli bir şekilde tasarlamak için, farklı yükleme koşulları altındaki davranışının ayrıntılı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Farklı yüklemelerden doğacak gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin incelenmesi için farklı teorik, sayısal ve deneysel yöntemler bulunmaktadır. Deprem etkisi altında, sıvı depolarının projelendirilmesi, hem yükleme açısından hem de deponun özellikleri açısından önem arz etmektedir. Akaryakıt ve kimyasal sıvı depolarının tasarımında, özellikle deprem sonrasında çıkan yangınlar nedenleriyle daha hassas davranmak gerekmektedir. Çünkü önemli can kayıplarının yanında çevreye de telafisi zor olan zararlar verebilmektedir. Sıvı depoları; ahşap, çelik veya betonarme olarak inşa edilebilmektedir. Betonarme ya da çelik olarak inşa edilen sıvı depolarının ekonomik ömürleri genellikle 40 ila 75 yıl arasında değişmektedir [13].

Bir sıvı deponun yapımına karar verildiğinde, hidrolik ve yapısal düşüncelerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü bir depo; yapısal olarak mükemmel bir şekilde olsa da, hidrolik açıdan yetersiz olabilir. Bunun tersinin olması da mümkündür. Özel mühendislik yapılarından olan betonarme depolar için verilen hesap esasları ve geçirimsizliğin sağlanması için alınan önlemler, yüzme havuzları için de geçerlidir.

2. DEPOLARIN KULLANIM AMAÇLARI VE SINIFLANDIRILMASI

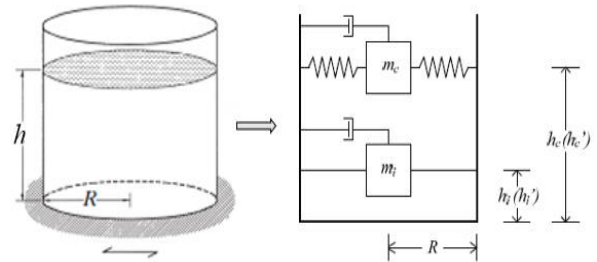
Sıvı depoları genel olarak; dairesel, dikdörtgen veya kare kesitli olabilirler. Sıvı depoları için farklı açıdan yapılan sınıflandırmalar Şekil 1'deki şemada sunulmaktadır. Bu çalışmanın uygulamasına konu olan depo; sunulan depo sınıflarından zemine nazaran konumlarına göre yer üstü ve hazne geometrisine göre de silindirik olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Depoların sınıflandırılması [9]

3. SIVI DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ İÇİN ÖNERİLEN MEKANİK MODEL

Sıvı depoları; dinamik bir etkiye maruz kaldığında, depo içindeki sıvının hareketi, asıl olarak iki kütleli hareketi olarak modellenmektedir. Bunlardan ilki deponun yapısal kısmı ile birlikte hareket eden sıvı kütlesi (impuls kütlesi), ikincisi yapısal kısımdan bağımsız olarak hareket eden ve impuls kütlesine nazaran değişik periyotlarla salınım yapan sıvı kütlesi (salınım kütlesi) dir. Bu model Şekil 2 de görülmektedir. Şekilde R Silindirik depoların iç yarıçapını, h sıvının yüksekliğini göstermektedir. Şekilde m_i ve m_c sırasıyla impuls ve salınım kütlelerini, h_i ve h'_i ise impuls kütlelerinin ve devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliklerini temsil etmektedir. Benzer şekilde, h_c ve h'_c salınım kütlelerinin ve devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 2. Silindirik betonarme deponun dinamik modeli [6]

Deponun alt kısmındaki sıvının meydana getireceği etki impuls kuvveti, üst kısmındaki sıvının meydana getireceği etki ise salınım kuvveti ile temsil edilmektedir. Depo içindeki sıvı impuls kütlelerinin depo duvarları ile birlikte hareket ettiği, salınım kütlelerinin ise depo duvarlarından farklı olarak hareket ettiği belirtilebilir. İmpuls ve salınım titreşimi temsil eden toplanmış kütle kavramını kullanarak depoların dinamik analizi yapılabilmektedir. Bu modeller basit ve hızlı bir değerlendirme sağlamaktadır. Silindirik depolar için iki kütleli olarak tanımlanan bu model Housner tarafından yönetmelikleri girebilecek hale getirilmiştir.

4. ACI 350 VE EUROCODE 8 DE DİKKATE ALINAN MODELLER

Sıvı depolarının dinamik hesapları ile ilgili olarak ACI 350 ve EUROCODE 8 de toplanmış kütle yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu bağlamda ilk olarak sıvı deposunun geometrik şekline göre sıvı deposu içindeki toplam kütle belirlenmekte, daha sonra bu kütleyle ilgili katsayılar kullanılarak impuls ve salınım kütleleri hesaplanmaktadır. Doğal olarak deponun boyutlarına bağlı olarak bu kütlelerin oranları da değişmektedir. En genel olarak çok sığ depolarda beklendiği gibi depo içindeki sıvının önemli bir kısmı salınım kütlelerine katılmakla ve salınım kütlesi ön plana çıkabilmekte, derin depolarda ise impuls kütlesi daha etkin olabilmektedir. ACI 350 ve EUROCODE 8 de dikkate alınan

kütelerin değerleri Tablo 1 de bunların etkime yüksekliklerinin değerleri ise Tablo 2 de verilen bağıntılarla belirlenmektedir. Bu tabloda R depo yarıçapını, D depo çapını, h sıvının yüksekliğini, I_1 değiştirilmiş bessel fonksiyonu, I_1' değiştirilmiş bessel fonksiyonun türevini, λ_n birinci mertebeden bessel fonksiyonu, v_n mod ve frekansa göre değişen bir katsayıyı göstermektedir.

EUROCODE 8 koduna göre, deponun bağıntılar deponun doluluk oranının fonksiyonuna göre belirlenmektedir, kütlelerin hesabından önce oranı hesaplayıp deponun sığ mı derin mi olduğunu karar verilmektedir:

$h/R < 1.5$ ise depo sığ,
 $h/R > 1.5$ ise depo derin.

Silindirik kesitli sığ ve derin depolardaki oranına göre impuls ve salınım kütlelerinin değişimi Şekil 3 de, bu kütlelerin etkime yüksekliklerinin değişimi ise Şekil 4 de görülmektedir. Şekil 3 den görüldüğü gibi doluluk oranının çok küçük değerleri için salınım kütle oranı çok büyük olurken, bu oran 0.8 civarında her iki kütle değeri birbirine eşit olmakta, bu değerden sonra da artık impuls kütle oranı artarak devam etmektedir.

Tablo 1. Silindirik depo içindeki sıvı kütlelerinin ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre belirlenmesi

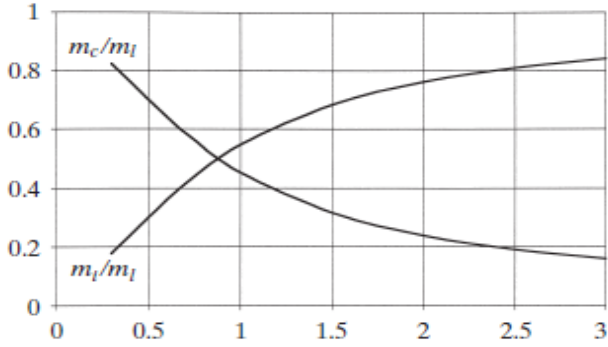
Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_l = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_l$	$m_l = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_l$
İmpuls kütlesi oranı	$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh\left(0.866\left(\frac{D}{h}\right)\right)}{0.866\left(\frac{D}{h}\right)}$	$\frac{m_i}{m_l} = 2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^3 I_1'[v_n/(h/R)]}$
Salınım kütlesi oranı	$\frac{m_c}{m_l} = 0.230 \times \left(\frac{D}{h}\right) \times \tanh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)$	$\frac{m_c}{m_l} = \frac{2 \tanh[\lambda_n(h/R)]}{\lambda_n(h/R)(\lambda_n^2 - 1)}$

Tablo 2. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin etkili yüksekliklerin belirlenmesi

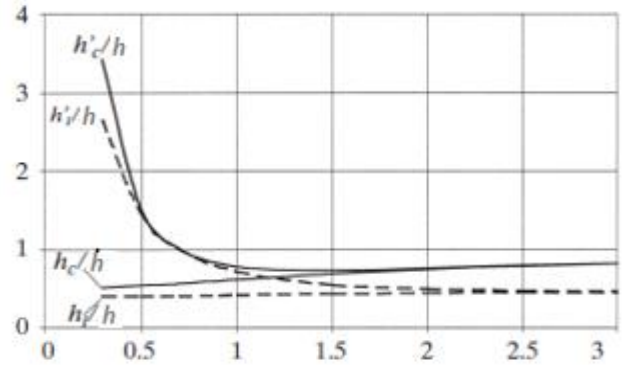
Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls kütlesi etkime yüksekliği oranı	$\frac{D}{h} \geq 1.333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0.375$ Eğer $\frac{D}{h} < 1.333 \Rightarrow$ $\frac{h_i}{h} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{h}{D}\right)$	$\frac{h_i}{h} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^4 I_1'[v_n/(h/R)]} [v_n (-1)^n - 1]}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^3 I_1'[v_n/(h/R)]}}$
Salınım kütlesi etkime yüksekliği oranı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68 \times \frac{h}{D}\right] - 1}{3.68 \times \frac{h}{D} \times \sinh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)}$	$\frac{h_c}{h} = 1 + \frac{1 - \cosh[\lambda_n(h/R)]}{\lambda_n(h/R) \sin[\lambda_n(h/R)]}$
Devirici moment hesabında impuls kütlesi etkime yüksekliği oranı	$\frac{D}{h} < 0.75 \Rightarrow \frac{h_i'}{h} = 0.45$ Eğer $\frac{D}{h} \geq 0.75 \Rightarrow$	$\frac{h_i'}{h} = \frac{\frac{1}{2} + 2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{v_n + 2(-1)^{n+1} I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^4 I_1'[v_n/(h/R)]}}{2\left(\frac{h}{R}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{I_1[v_n/(h/R)]}{v_n^3 I_1'[v_n/(h/R)]}}$

	$\frac{h'_i}{h} = \frac{0.866 \times \frac{D}{h}}{2 \tanh\left(0.866 \times \frac{D}{h}\right)} - \frac{1}{8}$	
Devirici moment hesabında salınım kütleleri etkime yüksekliği oranı	$\frac{h'_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68 \times \frac{h}{D}\right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{h}{D}\right) \sinh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)}$	$\frac{h'_c}{h} = 1 + \frac{2 - \cosh[\lambda_n(h/R)]}{\lambda_n(h/R) \sin[\lambda_n(h/R)]}$

Şekil 4 den görüldüğü gibi impuls ve salınım kütlelerin etkime yüksekliklerinin değişimleri de doluluk oranının küçük değerleri için birbirinden çok farklı olmakta, ancak bu oranın 1 değerinden itibaren aralarındaki farklar azalmakta ve yataya yakın bir şekilde ilerlemektedir.



Şekil 3. h/R oranına göre m_i/m_l ve m_c/m_l oranları [4]

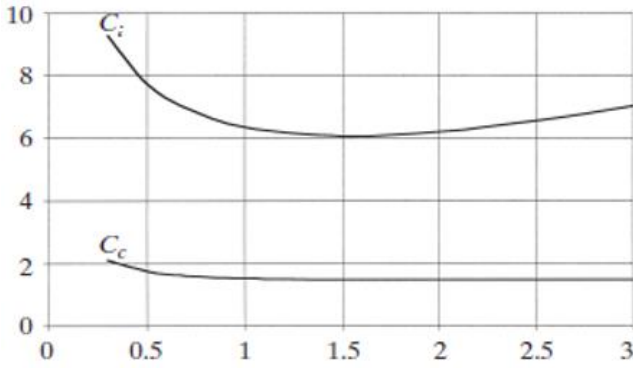


Şekil 4. h/R oranına göre h_i/h , h_c/h , h'_i/h , h'_c/h oranları [4]

EUROCODE 8'e göre h/R oranına göre, C_i ve C_c katsayıların, kütlelerin ve etkime yüksekliklerinin değerleri Tablo 3 de sunulmaktadır. C_i ve C_c katsayılarının h/R oranına göre değişimleri grafik olarak Şekil 5 de sunulmaktadır. Bu şekilden görüldüğü gibi C_i katsayısındaki değişim daha fazla olmaktadır.

Tablo 3. Eurocode 8'e göre h/R oranına göre dinamik parametrelerin değerleri

h/R	C_i	C_c (s/m _l /2)	m_i/m_l	m_c/m_l	h_i/h	h_c/h	h'_i/h	h'_c/h
0,3	9,28	2,09	0,176	0,824	0,400	0,521	2,640	3,414
0,5	7,74	1,74	0,300	0,700	0,400	0,543	1,460	1,517
0,7	6,97	1,60	0,414	0,586	0,401	0,571	1,009	1,011
1,0	6,36	1,52	0,548	0,452	0,419	0,616	0,721	0,785
1,5	6,06	1,48	0,686	0,314	0,439	0,690	0,555	0,734
2,0	6,21	1,48	0,763	0,237	0,448	0,751	0,500	0,764
2,5	6,56	1,48	0,810	0,190	0,452	0,794	0,480	0,796
3,0	7,03	1,48	0,842	0,158	0,453	0,825	0,472	0,825

Şekil 5. h/R oranına göre C_i , C_c katsayılarının değişimi [4]

Silindirik bir deponun titreşimi için impuls ve salınım periyotları olmak üzere iki farklı periyot belirlenmektedir. Bu periyotların belirlenmesi için gerekli olan bağıntılar Tablo 4 de sunulmaktadır. Bu tablodaki semboller: E elastisite modülü, C_w ve C_l periyodun hesabında kullanılan katsayılar, g yerçekimi ivmesi, γ_c beton yoğunluğu, C_c periyodun hesabında kullanılan katsayılar, ρ sıvı yoğunluğu, S duvar kalınlığı, C_i periyodun hesabında kullanılan katsayı.

Tablo 4. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin periyotların belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
İmpuls periyodu (T_i)	$C_l = C_w \times \sqrt{\frac{t_w}{10 \times R}}$ ve $w_i = C_l \times \frac{1}{h} \sqrt{10^3 E g / \gamma_c}$ olmak üzere $T_i = \frac{2\pi}{w_i}$	$T_i = C_i \times \frac{\sqrt{\rho \times h}}{\sqrt{S/R} \times \sqrt{E}}$
Salınım periyodu hesabı (T_c)	$\lambda = \sqrt{3.68 g \tanh \left[3.68 \left(\frac{h}{D} \right) \right]}$ olmak üzere $T_c = \frac{2\pi}{\lambda} \times \sqrt{D}$	$T_c = C_c \times \sqrt{R}$

Bir deponun toplam sismik tepkisi için doğal titreşim periyotları, kesme kuvveti ve devirici moment açısından analiz edilmesi gerekmektedir. ACI 350 ve EUROCODE 8'e

göre kesme kuvveti hesabı Tablo 5 de, moment hesabı ise Tablo 6 da sunulmaktadır.

Tablo 5. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre depremde oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ <p>İmpuls kuvvetinin hesabı (P_i)</p> $P_i = Z.S.I.C_i \times \frac{m_i}{R_{W_i}}$ <p>Duvar kütlesi etkisi ile oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = Z.S.I.\varepsilon.C_i \times \frac{m_w}{R_{W_i}}$	$V = (m_i + m_w + m_r) \times S_e(T_i) + m_c S_e(T_c)$ <p>Duvar kütlesi hesabı</p> $m_w = 2 \times \pi \times R \times H \times t_w \times \rho_c$ <p>Kapak kütlesi hesabı</p> $m_r = \pi \times R^2 \times t_r \times \rho_c$ <p>Periyoda göre $S_e(T_n)$ hesabını yapılması</p>

<p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = Z.S.I.C_i \times \frac{m_r}{R_{W_i}}$ <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = Z.S.I.C_c \times \frac{m_c}{R_{W_c}}$ <p>ACI 350 de verilen tablolardan alınacak katsayılar ($Z, S, I, R_{W_i}, R_{W_c}$)</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan $\varepsilon \leq 1.0$ katsayı</p> $\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{D}{h} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{D}{h} \right) + 1.021 \right]$ <p>C_i impuls periyoduna göre hesaplanır, eğer</p> $T_i \leq 0.31s \text{ ise } C_i = 2.5$ $T_i \geq 0.31s \text{ ise } C_i = \frac{1.25}{T_i^{2/3}}$ <p>C_c salınım periyoduna göre hesaplanır.</p> $T_c \geq 2.4s ; C_c = \frac{6}{T_c^2}$	$0 \leq T_n \leq T_B :$ $S_e(T_n) = a_g . S . \left[1 + \frac{T_n}{T_B} . (\eta . 2,5 - 1) \right]$ $T_B \leq T_n \leq T_C :$ $S_e(T_n) = a_g . S . \eta . 2,5$ $T_C \leq T_n \leq T_D :$ $S_e(T_n) = a_g . S . \eta . 2,5 . \left[\frac{T_c}{T_n} \right]$ $T_D \leq T_n \leq 0.4s$ $S_e(T_n) = a_g . S . \eta . 2,5 . \left[\frac{T_c . T_D}{T_n^2} \right]$ <p>İvme hesabında alınan değerler EUROCODE 8 Part I den kullanılmıştır.</p>
--	---

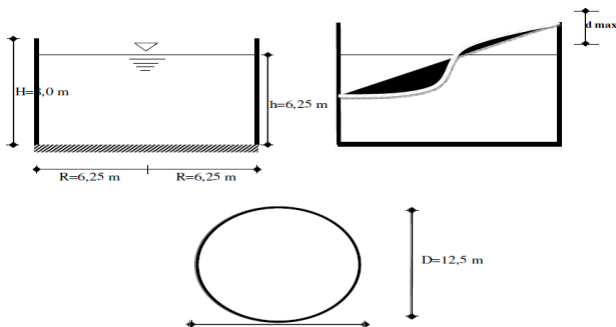
Tablo 6. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin moment ve yüksekliklerin belirlenmesi

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Eğilme momenti (M_b)	$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ <p>İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momenti</p> $M_i = P_i \times h_i$ <p>Duvar kütlelerinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w = P_w \times h_w$ <p>Çatı kütlelerinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r = P_r \times h_r$	$M_b = (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) . S_e(T_i) + m_c h_c . S_e(T_c)$

	Salınım kuvvetinden oluşan salınım momenti $M_c = P_c \times h_c$	
Deprem esnasında oluşabilecek devirici momenti (M_o)	$M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2}$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan impuls momenti</p> $M_i' = P_i \times h_i'$ <p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c' = P_c \times h_c'$ <p>Duvar kütesinden meydana gelen duvar momenti</p> $M_w = P_w \times h_w$ <p>Çatı kütesinden meydana gelen çatı momenti</p> $M_r = P_r \times h_r$	$M_o = (m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) \cdot S_e(T_i) + m_c h_c' \cdot S_e(T_c)$
Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliği (d_{\max})	$d_{\max} = \left(\frac{D}{2}\right) I \times \eta_c \times \frac{1.226 S_D}{T_c^2}$	$d_{\max} = R \times \frac{S_e(T_c)}{g}$

5. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde pratik uygulama için EUROCODE 8'e göre rijit ve esnek, ACI 350 ye göre esnek çözüm yapılmıştır. Dördüncü (4) deprem bölgeye göre analiz edilmiştir (her iki standart için yer ivmesi ve yapı davranış katsayısı aynı seçilmiştir).



Şekil 6. Kullanılan depo modeli

Table 7. Verilen parametre

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$E = 21.10^3 N / m^2$	$h = 6.25m$
$\nu = 0.17$	$R = 6.25m$
$t_w = 0.5m$	$H = 8m$
$g = 9.81m / s^2$	$\gamma_l = 1000k_g / m^3$
$Z = 1.226$	$a_{gR} = 0.1g$

Tablo 8. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin kütle, etkili yükseklik ve salınım periyodunun hesabı

Yönetmelikler	ACI 350.3-06	EUROCODE 8
Toplam sıvı kütlesi	$m_l = \pi \times \frac{12.5^2}{4} \times 6.25 \times 1000$ $m_l = 766601.563k_g$	$m_l = \pi \times 6.25^2 \times 6.25 \times 1000$ $m_l = 766601.563k_g$
İmpuls kütlesi oranı	$\frac{m_i}{m_l} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right)}$ $m_i = 415611.356k_g$	$h/R = \frac{6.25}{6.25} \Rightarrow h/R = 1 ;$ $\frac{m_i}{m_l} = 0.548 \Rightarrow m_i = 0.548m_l$ $m_i = 0.548 \times 766601.563$ $m_i = 420097.656k_g$
Salınım kütlesi oranı	$\frac{m_c}{m_l} = 0.230 \left(\frac{12.5}{6.25} \right) \cdot \tanh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right]$ $m_c = 352636.434k_g$	$\frac{m_c}{m_l} = 0.452 \Rightarrow m_c = 0.452m_l$ $m_c = 0.452 \times 766601.563$ $m_c = 346503.907k_g$
İmpuls kütlesi etkili yükseklik hesabı	<p>Depoda $\frac{D}{h} > 1.333 \Rightarrow \frac{h_i}{h} = 0.375$</p> $h_i = 0.375 \times 6.25$ $h_i = 2.344m$	$\frac{h_i}{h} = 0.419 \Rightarrow h_i = 0.419h$ $h_i = 0.419 \times 6.25$ $h_i = 2.619m$
Salınım kütlesi etkili yükseklik hesabı	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right] - 1}{3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \cdot \sinh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right]}$ $\frac{h_c}{h} = 0.602 \Rightarrow h_c = 0.602h \Rightarrow h_c = 3.763m$	$\frac{h_c}{h} = 0.616 \Rightarrow h_c = 0.616h$ $h_c = 0.616 \times 6.25$ $h_c = 3.850m$
Devirici moment hesabında etkili impuls yüksekliği hesabı (h'_i)	<p>Depoda $\frac{D}{h} \geq 0.75$</p> $\frac{h'_i}{h} = \frac{0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right)}{2 \tanh \left[\left(0.866 \left(\frac{12.5}{6.25} \right) \right) \right]} - \frac{1}{8}$ $\frac{h'_i}{h} = 0.797 \Rightarrow h'_i = 4.981m$	$\frac{h'_i}{h} = 0.721 \Rightarrow h'_i = 0.721 \times h$ $h'_i = 0.721 \times 6.25$ $h'_i = 4.506m$

Devirici moment hesabında etkili salınım yüksekliği hesabı (h'_c)	$\frac{h'_c}{h} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \times \sinh \left[3.68 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) \right]}$ $\frac{h'_c}{h} = 0.784 \Rightarrow h'_c = 4.900m$	$\frac{h'_c}{h} = 0.785 \Rightarrow h'_c = 0.785h$ $h'_c = 0.785 \times 6.25$ $h'_c = 4.906m$
Salınım periyodu hesabı (T_c)	$T_c = \frac{2\pi \times \sqrt{12.5}}{\sqrt{3.68 \times 9.81 \times \tanh \left[3.68 \times \frac{6.25}{12.5} \right]}}$ $T_c = 3.789s$	$T_c = 1.52 \times \sqrt{6.25}$ $T_c = 3.800s$

Tablo 9. ACI 350 ve EUROCODE 8'e göre sıvıya ilişkin impuls periyodun hesabı (T_i)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$ <p>C_l Katsayısı hesabında kullanılan C_w katsayısının hesabı :</p> $C_w = 9.375 \cdot 10^{-2} + 0.2039 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) - 0.1034 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^2 - 0.1253 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^3 + 0.1267 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^4 - 3.186 \cdot 10^{-2} \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^5$ $C_w = 0.1611099$ <p>C_l Katsayısının hesabı :</p> $C_l = 0.1611099 \sqrt{\frac{0.5}{10 \times 6.25}}$ $C_l = 0.0144$ <p>Açısal hız hesabı</p> $\omega_i = 0.0144 \times \frac{1}{6.25} \sqrt{\frac{10^3 \times 21.10^3 \times 9.81}{2.4}}$ $\omega_i = 21.346$ $T_i = \frac{2\pi}{21.346}$ $T_i = 0.300s$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde sıvı deposu deprem esnasında zemin hareketini taklit edecektir.</p> <p>Dördüncü deprem bölgesi kabulüne göre zemin ivmenin hesabı :</p> $\gamma_i \geq 1 \Rightarrow a_{gR} = 0.1g$ $a_{gR} = 0.1 \times 9.81$ $a_{gR} = 0.981$ $a_g = \gamma_l \times a_{gR}$ $a_g = 1.25 \times 0.981$ $a_g = 1.226m/s^2$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman impuls periyodun hesabını yapılmalı :</p> $T_i = 6.36 \times \frac{\sqrt{1} \times 6.25}{\sqrt{\frac{0.5}{6.25}} \times \sqrt{21.10^3}}$ $T_i = 0.306s$

Tablo 10. Deprem esnasında oluşabilecek kesme kuvveti hesabı (V)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>C_c ve C_i katsayılarının hesabı</p> <p>$T_i \leq 0.31s$; $C_i = 2.5$</p> <p>$T_c \geq 2.4s$; $C_c = \frac{6}{T_c^2}$; $C_c = \frac{6}{3.789^2}$; $C_c = 0.4179$</p> <p>Duvar yükü etkisiyle oluşacak kuvvet hesabında kullanılan ε katsayısı hesabı</p> $\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{6.25}{12.5} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{6.25}{12.5} \right) + 1.021 \right]$ <p>$\varepsilon = 0.9294$; $\varepsilon \leq 1.00$</p> <p>İmpuls kuvvetin hesabı (P_i)</p> $P_i = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 2.5 \times \frac{4074.621}{1.25}$ $P_i = 14986.456KN$ <p>Salınım kuvvetinin hesabı (P_c)</p> $P_c = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 0.4179 \times \frac{3457.219}{1.00}$ $P_c = 2656.935KN$ <p>Duvar kütlesi etkisiyle oluşan kuvvet hesabı (P_w)</p> $P_w = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 0.929 \times 2.5 \times \frac{3694.118}{1.25}$ $P_w = 12622.291KN$ <p>Çatı kütlesi etkisiyle meydana gelen kuvvet hesabı (P_r)</p> $P_r = 1.226 \times 1.2 \times 1.25 \times 2.5 \times \frac{577.206}{1.25}$ $P_r = 2122.963KN$ $V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2}$ $V = \sqrt{(29731.71)^2 + (2656.935)^2}$ $V = 29850.019KN$	<p>Duvar kütlesi hesabı :</p> $m_w = 2 \times \pi \times 6.25 \times 8 \times 0.5 \times 2400 \quad m_w = 376800k_g$ <p>Kapak kütlesi hesabı</p> $m_r = \pi \times 6.25^2 \times 0.2 \times 2400$ $m_r = 58875k_g$ <p>İmpuls ivmesi hesabı :</p> <p>$s = 1.2$ olursa ve %5 sönüm için</p> $T_B \leq T_i \leq T_C$ $S_e(T_i) = 1.226 \times 1.2 \times 1 \times 2.5$ $S_e(T_i) = 3.678$ <p>salınım ivmesi hesabı :</p> $T_D \leq T_C \leq 4s$ $S_e(T_c) = 1.226 \times 1.2 \times 1 \times 2.5 \times \left(\frac{0.5 \times 2}{3.8^2} \right)$ $S_e(T_c) = 0.255$ <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $V = 4118.604 \times 1.226 + 3397.097 \times 0.255$ $V = 5915.668KN$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $V = 8389.927 \times 3.678 + 3397.097 \times 0.255$ $V = 31724.410KN$

Tablo 11. Deprem esnasında oluşabilecek Eğilme momentin hesabı (M_b)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>İmpuls kuvvetinden oluşan impuls momentini</p> $M_i = 14986.456 \times 2.344$ $M_i = 35128.253 \text{KNm}$	$h_i = 2.619 \text{m}$ $h_w = 4 \text{m}$ $h_r = 8.10 \text{m}$ <p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde :</p> $M_b = a + b$
<p>Salınım kuvvetinden oluşan salınım momentini</p> $M_c = 2656.935 \times 3.763$ $M_c = 9998.046 \text{KNm}$	$a \Rightarrow m_i h_i S_e(T_i) = 4118.656 \times 2.619 \times 1.226$ $m_i h_i S_e(T_i) = 13224.567 \text{KNm}$ $b \Rightarrow m_c h_c S_e(T_c) = 3397.097 \times 3.85 \times 0.255$ $m_c h_c S_e(T_c) = 3335.099 \text{KNm}$ $M_b = 13224.567 + 3335.099$ $M_b = 16559.666 \text{KNm}$
<p>Duvar kütlelerinden meydana gelen duvar momentini</p> $M_w = 12622.291 \times 4$ $M_w = 50489.164 \text{KNm}$	<p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_b = a + b$ $a \Rightarrow$ $(m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 111217.02 \text{KNm}$ $b \Rightarrow$ $m_c h_c S_e(T_c) = 3335.099 \text{KNm}$ $M_b = 111217.02 + 3335.099$ $M_b = 114552.119 \text{KNm}$
<p>Çatı kütlelerinden meydana gelen çatı momentini</p> $M_r = 2122.963 \times 8.10$ $M_r = 17196 \text{KNm}$ $M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$ $M_b = \sqrt{(102813.417)^2 + (9998.046)^2}$ $M_b = 103298.401 \text{KNm}$	

Tablo 12. Deprem esnasında oluşabilecek devirici momentin hesabı (M_o)

ACI 350.3-06	EUROCODE 8
<p>Devirici momentini hesabında kullanılan impuls momentini</p> $M_i' = 14986.456 \times 4.981$ $M_i' = 74647.537 \text{KNm}$	<p>Depo rijit olarak kabul edildiğinde : $M_o = c + d$</p> $c \Rightarrow$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 4118.656 \times 4.506 \times 1.226$ $m_i h_i' S_e(T_i) = 22752.922 \text{KNm}$ $d \Rightarrow$

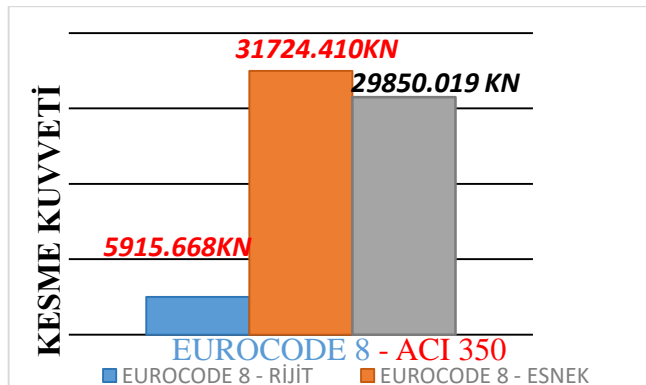
<p>Devirici momenti hesabında kullanılan salınım momenti</p> $M_c' = 2656.935 \times 4.9$ $M_c' = 13018.981 \text{KNm}$ $M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2}$ $M_o = \sqrt{(142332.701)^2 + (13018.981)^2}$ $M_o = 142926.875 \text{KNm}$	$m_c h_c' S_e(T_c) = 3397.097 \times 4.906 \times 0.255$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 4249.870 \text{KNm}$ $M_o = 22752.922 + 4249.870$ $M_o = 27002.792 \text{KNm}$ <p>Depo esnek olarak kabul edildiği zaman :</p> $M_o = c + d$ $c \Rightarrow$ $(m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) S_e(T_i) = 139802.58 \text{KNm}$ $d \Rightarrow$ $m_c h_c' S_e(T_c) = 4249.870 \text{KNm}$ $M_o = 139802.58 + 4249.870$ $M_o = 144052.45 \text{KNm}$
--	---

Tablo 13. Maksimum oluşabilecek dalga yüksekliğinin hesabı (d_{\max})

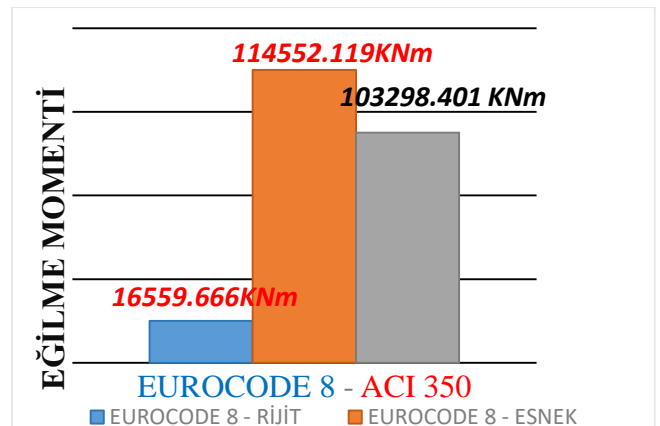
ACI 350.3-06	EUROCODE 8
$d_{\max} = \left(\frac{12.5}{2}\right) \times 1.25 \times 1 \times \frac{1.226 \times 0.255}{3.8^2}$ $d_{\max} = 0.174 \text{m}$	$d_{\max} = 6.25 \times \frac{0.255}{9.81}$ $d_{\max} = 0.162 \text{m}$

6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

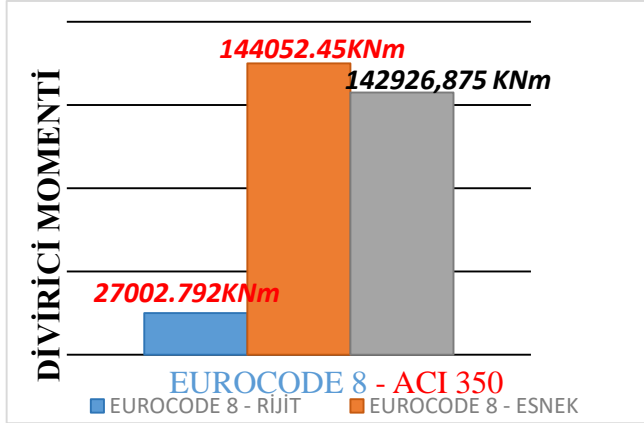
Gerçekleştirilen dinamik analizden ACI 350 ve EUROCODE 8 göre gerçekleştirilen çözümlerden hesaplanan kesme kuvvetinin karşılaştırılması Şekil 7 de, Eğilme momentinin karşılaştırılması Şekil 8 de, devirici momentin karşılaştırılması Şekil 9 da, dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması ise Şekil 10 da sunulmaktadır.



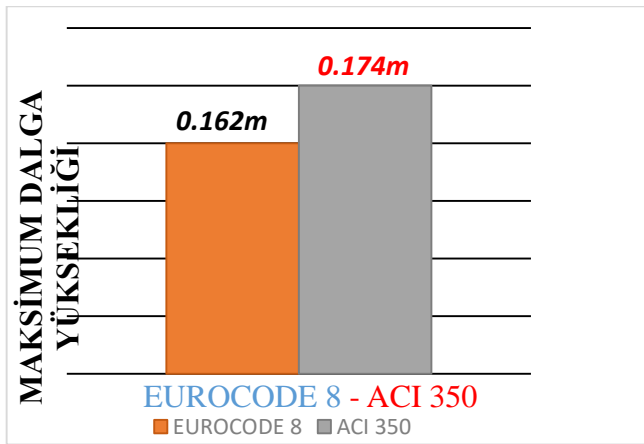
Şekil 7. Kesme kuvvetinin karşılaştırılması



Şekil 8. Eğilme momentinin karşılaştırılması



Şekil 9. Devirici momentin karşılaştırılması



Şekil 10. Maksimum dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

7. SONUÇ

Çalışma kapsamında ACI 350 ve EUROCODE 8'de silindirik sıvı depoları için öngörülen bağıntılar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Örnek bir silindirik depo seçilerek belirtilen iki koda göre depreme göre hesabı yapılarak dinamik parametreleri belirlenmiştir. Buna göre; Eurocode 8'e göre gerçekleştirilen rijit ve esnek çözümler arasında çok büyük farklar çıkmaktadır. Dolayısıyla depoyu rijit olarak kabul ederek gerçekleştirilen çözümler gerçekte elverişsiz durumda kalabilmektedir.

Elde edilen impuls ve salınım kütleleri ile bunların etkime yükseklikleri birbirine yakın olarak belirlenmiş aralarındaki maksimum fark %4 olmuştur.

Kesme kuvveti, eğilme momenti, sıvı deposunun devirici momenti ve deprem esnasında oluşacak maksimum dalga yüksekliğinin değerleri de birbirine yakın olarak belirlenmiştir. Maksimum fark %6 olmuştur.

KAYNAKÇA

- [1]. Eurocode 8, "Design of structures for earthquake resistance", Part 4: Silos, Tanks and Pipelines, Brussels, Belgium, no. prEN1988-4, pp. 44–81, 2006.
- [2]. Eurocode 8, "Design of structures for earthquake resistance", Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Ground Conditions and Seismic Action, Brussels, Belgium, no. EN1988-1, pp. 33–44, 2004.
- [3]. ACI 350.3-06, "American concrete institute committee ", Seismic design of liquid containing concrete structures and Commentary, America, 1–63, 2006.
- [4]. P.K. Malhotra, T. Wenk, and M. Wieland, "Simple procedure for seismic of liquid storage tanks", Structural engineering international, 10 (3), 197-201, (2010).
- [5]. M. Faridkhouri and W.J. Elias, "Determination of hydrodynamic forces in rectangular storage tanks under seismic action ", International Journal of Scientific Research and Reviews, 4 (1), 50-67, (2015).
- [6]. V. Vukobratovic and D. Ladinovic, "A simplified seismic analysis of simplified seismic analysis of circular liquid storage tanks ", The 6th psu-uns international conference on engineering and technology, Novi sad, Serbia, 2013.
- [7]. F. Majid, M. Lahlou, M. El ghorba, and A. Hachim, "Réservoirs de stockage : Méthodologie de calcul et analyse sécuritaire", 22^{ème} congrès français de mécanique, Paris, France, 2015.
- [8]. K. Meskouris, B. Holtschoppen, C. Butenweg, and J. Rosin, "Seismic analysis of liquid storage tanks", 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering, Corinth, Greece, 2011.
- [9]. A. Doğançün, "Betonarme sıvı depoları ve projelendirme ilkeleri", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 1989.
- [10]. A. Doğançün, "Dikdörtgen kesitli su depolarının sonlu elemanlar yöntemiyle depo-Sıvı zemin etkileşimini dikkate alarak Analitik yöntemlerle karşılaştırmalı deprem analizi ", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 1995.
- [11]. R. Livaoğlu, "Ayaklı depoların sıvı-yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak deprem davranışlarının incelenmesi ", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 2005.
- [12]. Y. Yıldız, "Betonarme sıvı depolarının farklı yönetmeliklere göre karşılaştırmalı deprem analizi ", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye, 2009.
- [13]. I. T. Avval, "Dyanic response of concrete rectangular liquid tanks in three-dimensional space", Ph. D. thesis, Ryerson University, Toronto, Canada, 2012.