

# BLOK TİPİ RIHTIM DUVARLAR İÇİN SİSMİK TASARIM YAKLAŞIMLARI

**Hülya Karakuş**  
**İnşaat Yük. Mühendisi**  
**ODTÜ**  
khulya@metu.edu.tr

**Ayşen Ergin**  
**Prof.Dr.**  
**ODTÜ**  
ergin@metu.edu.tr

**Işıkhan Güler**  
**Dr. İnşaat Mühendisi**  
**Yüksel Proje Uluslararası**  
iguler@yukselproje.com.tr

**Kemal Önder Çetin**  
**Doç.Dr.**  
**ODTÜ**  
ocetin@metu.edu.tr

**Ahmet Cevdet Yalçın**  
**Doç.Dr.**  
**ODTÜ**  
yalciner@metu.edu.tr

## ÖZET

Bu çalışmada, geleneksel metodların yeniden incelenmesi ile blok tipi rihtim duvarların sismik tasarımı için yeni tasarım yaklaşımları ortaya konulmaktadır. Yeni tasarım yaklaşımlarında sismik toprak basınçlarının ve sismik süsarj basınçlarının tanımlanabilmesi için ters üçgen dinamik basınç dağılımları uygulanmaktadır. Geleneksel tasarım yöntemlerinden farklı olarak, dinamik kuvvetler belirlenirken hidrodinamik kuvvetler de gözönünde bulundurulmuş ve statik ve dinamik hesaplamalar sırasında eşdeğer zemin birim ağırlığı kullanılmıştır. Yeni tasarım yaklaşımlarının uyumluluğu 1999 Marmara Depreminde hasar gören Derince Limanı blok tipi rihtimi için örnek çalışmalar kullanılarak test edilmiş ve elde edilen sayısal sonuçların gözlemsel ölçümler ile uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

## GİRİŞ

Son yıllarda meydana gelen depremlerin kıyı yapılarında oluşturduğu hasarlar kullanılmakta olan tasarım yöntemlerinin eksikliklerini ve yeni yaklaşımların gerekliliğini göstermektedir.

## YENİ TASARIM YAKLAŞIMLARI

Tasarım parametrelerinin belirlenmesi aşamasında;

1. Zemin sıvılaşmasının göz ardı edildiği
2. Aktif toprak basıncının oluşması için duvarın hareket ettiği
3. Zeminin kohezyonsuz olduğu
4. Deniz ve kara bölgeleri arasında su seviyesi farkı olmadığı
5. D1 (depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50) deprem seviyesinin geçerli olduğu
6. Hesaplamalarda birim genişlik kullanıldığı
7. Denge analizi yapılırken, blok-blok arası sürtünme katsayısı 0.5, blok zemin arası sürtünme katsayısı ise 0.6 alındığı (OCDI, 2002)
8. Kaymaya ve dönmeye karşı güvenlik katsayılarının ( $FS_s > 1.1$ ) ( $FS_o > 1.2$ ) değerlerini aldıkları kabul edilmiştir.

### 2. Kuvvetler

Blok tip kıyı yapısına etkiyen kuvvetler yatay ve düşey kuvvetler olarak incelenirler.

#### 2.1. Yatay Kuvvetler

##### 2.1.1 Statik Kuvvetler

###### 2.1.1.1 Aktif Toprak Kuvveti

Coulomb Yöntemi kullanılarak aktif toprak basıncı katsayısı ( $K_A$ ) ve aktif toprak basıncı ( $P_A$ ) belirlenir (Kramer 1996).

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2(\theta) \cos(\theta + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \theta) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2} \quad (2.1)$$

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2 \quad (2.2)$$

burada,  $\gamma$  zemin birim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ ),  $\theta$  duvar arka yüzünün düşeyle kapladığı açı (der.),  $\delta$  duvar-zemin sürtünme açısı (der.),  $\beta$  duvar arkası zemin üst yüzünün yatayla yaptığı açı (der.),  $\phi$  içsel sürtünme açısı (der.),  $H$  yapı yüksekliği (m).

Her bir bloğa etkiyen aktif toprak basıncı ( $P_{i(se)}$ ) ve kuvveti ( $F_{i(se)}$ ); (Çizim 2.1) ;

$$P_{i(se)} = K_A \gamma h_i \quad (2.3)$$

$$F_{i(se)} = \left( \frac{P_{i(se)} + P_{i-1}}{2} \right) h_i \quad (2.4)$$

kullanılarak hesaplanır. Burada;  $P_{i(se)}$  blok  $i$  için aktif toprak basıncı,  $F_{i(se)}$  blok  $i$  için aktif toprak kuvveti ve  $h_i$  blok  $i$  için yükseklik değeridir.

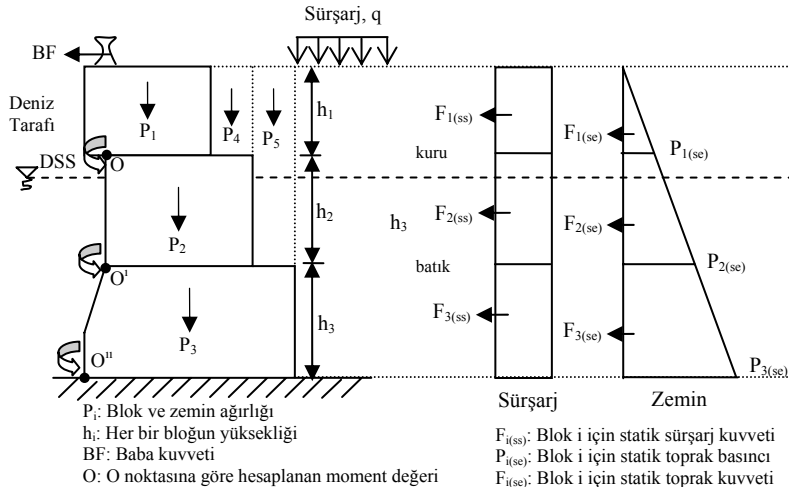
### 2.1.1.2 Sürşarj

Sürşarj basıncı ve kuvveti her blok için (Çizim 2.1);

$$P_{i(ss)} = q K_A \quad (2.5)$$

$$F_{i(ss)} = P_i h_i \quad (2.6)$$

kullanılarak hesaplanır. Burada;  $P_{i(ss)}$  blok  $i$  için statik sürşarj basıncı;  $F_{i(ss)}$  blok  $i$  için statik sürşarj kuvveti ve  $h_i$  blok  $i$  için yükseklik değeridir.



Çizim 2.1: Statik durumda blok tip rıhtım duvara etkiyen toprak ve sürşarj kuvvetleri

### 2.1.1.3 Hidrostatik Kuvvet

Blok tip rıhtımın deniz ve kara bölgeleri arasında su seviyesi farkı olmadığı kabul edildiği için hidrostatik kuvvet ve yapı tabanında oluşabilecek kuvvet (kaldırma kuvveti) ihmal edilmiştir.

## 2.1.2 Dinamik Kuvvet

### 2.1.2.1 Dinamik Toprak Kuvveti

Mononobe Okabe (M-O) Yöntemi kullanılarak dinamik aktif toprak basıncı katsayısı ( $K_{AE}$ ) ve aktif toprak basıncı ( $P_{AE}$ ) belirlenir (Kramer, 1996).

$$K_{AE} = \frac{(1 - k_v) \cos^2(\phi - \theta - \psi)}{\cos \psi \cos^2(\theta) \cos(\theta + \delta + \psi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2} \quad (2.7)$$

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma H^2 (1 - k_v) \quad (2.8)$$

$\phi$  içsel sürtünme açısı (der.),  $\delta$  duvar-zemin sürtünme açısı (der.),  $\beta$  duvar arkası zemin üst yüzünün yatayla yaptığı açı (der.),  $H$  yapı yüksekliği,  $\psi$  sismik açı (der.),  $k_v$  düşey sismik katsayı ( $\approx 0$ ).

Parametrelerin belirlenmesinde **Kıyı Yapıları, Demiryolları ve Hava Limanları için Türk Sismik Standartları, 2007'den (TSS, 2007)** yararlanılmıştır.

- **Etkin yer ivme katsayısı ( $A_{10}$ );**

Farklı zemin sınıfları için spektral ivme değeri ( $S_{MS}$ ) Denklem 2.9 ve Tablo 2.1 (bkz TSS, 2007'de Tablo 2.1) kullanılarak hesaplanır.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.9)$$

burada  $F_a$  kısa periyot zemin katsayısı ve  $S_s$  periyoda bağlı spektral ivme değeridir.

$S_s$  değerinin ilgili alanın koordinatlarına bağlı olarak (TSS, 2007) hesaplanması önerilmiştir. D1 deprem seviyesi için önerilen (TSS, 2007);

$$A_{10} = 0,4 \times S_{MS} \quad (2.10)$$

- **Yatay sismik katsayı ( $k_h$ );**

D1 deprem seviyesi için önerilen (TSS, 2007);

$$k_h = (2/3) A_{10} \quad (2.11)$$

- **Eşdeğer birim ağırlık ( $\gamma_{eq}$ );**

M-O Yöntemi kuru zeminler için geliştirilmiş bir yöntemdir, aktif dinamik basınç ( $P_{AE}$ ) değeri hesaplanırken M-O Yönteminin temel prensibine uyması bakımından, dinamik ve statik hesaplamalarda toprak basıncı için eşdeğer zemin birim ağırlık ( $\gamma_{eq}$ ) kullanılmıştır (Kramer, 1996)

- **Eşdeğer deprem ivmesi katsayısına bağlı olarak hesaplanan açı ( $\psi$ );**

Tamamen kuruda olan zemin tabakaları için (PIANC, 2001),

$$\psi = \arctan\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) \quad (2.12)$$

Su altında olan zemin tabakaları için (PIANC, 2001),

$$\psi = \arctan(k_h^1) \quad (2.13)$$

ile hesaplanır. Eşdeğer deprem ivmesi katsayısı (su altında) ( $k_h^1$ ) ise (TSS, 2007);

$$k_h^1 = \frac{\sum_{j=1}^{ND} (\gamma_j h_j) + \sum_{j=ND+1}^N (\gamma_{sj} h_j) + q_0}{\sum_{j=1}^{ND} (\gamma_j h_j) + \sum_{j=ND+1}^N (\gamma_{bj} h_j) + q_0} k_h \quad (2.14)$$

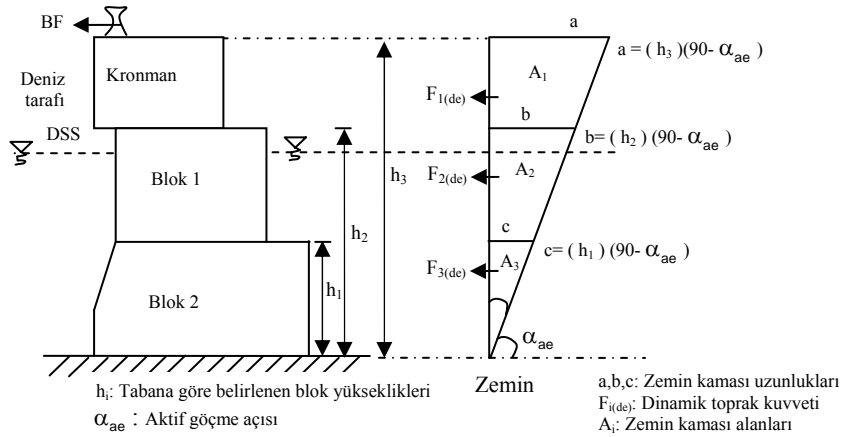
burada  $\gamma_j$ , kurudaki j'inci zemin tabakasının birim hacim ağırlığı;  $h_j$ , j'inci zemin tabakasının kalınlığı;  $\gamma_{sj}$ , suya doymun j'inci zemin tabakasının birim hacim ağırlığı;  $q_0$  düzgün yayılı ek yük (sürsarj); ND yüzeyden itibaren kurudaki zemin tabakalarının sayısı;  $\gamma_{bj}$  su altındaki j'inci zemin tabakasının birim hacim ağırlığı;  $k_h$ , eşdeğer deprem ivmesi katsayısı (kuruda).

### • Dinamik bileşen ( $\Delta P_{AE}$ )

M-O Yönteminde, toplam itme kuvveti ( $P_{AE}$ ), statik ( $P_A$ ) ve dinamik ( $\Delta P_{AE}$ ) iki bileşene ayrılır. Buna göre dinamik bileşen (Kramer 1996),

$$\Delta P_{AE} = P_{AE} - P_A \quad (2.15)$$

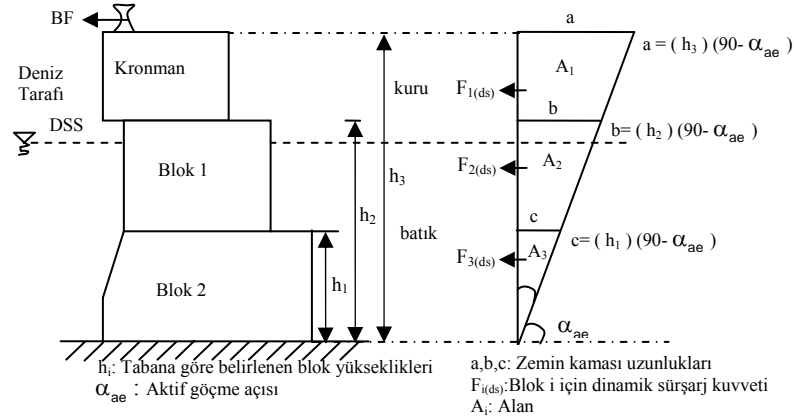
olarak hesaplanır. Dinamik kuvvetin etki noktası M-O Yöntemine göre  $0,6 H$ 'dir. Ancak, bu şekilde belirlenen etki noktası dinamik kuvvetin tek bir noktadan yapıya etkideği kabulünü beraberinde getirmektedir. Oysa, depremlerden sonra kıyı yapılarında yapılan gözlemler, yapının üst kısmında yer alan blokların daha çok etkilendiklerini göstermektedir (Yüksel ve diğerleri, 2002). Bu gözleme dayanarak elde edilen dinamik kuvvetin bloklara ters üçgen şeklinde dağıldığı kabulü yapılarak, her bir bloğa etkiyen dinamik kuvvet hesaplanabilmektedir (Çizim 2.2) (bkz. Karakuş, 2007)



**Çizim 2.2:** Blok tip rıhtımlar için dinamik toprak kuvveti

### 2.1.2.2 Sürsarj

Dinamik sürsarj kuvvetini bulmak için sürsarj yarı değeri ( $q/2$ ) (bkz. Karakuş, 2007). kullanılır (Çizim 2.3)



**Çizim 2.3:** Blok tip rıhtımlar için dinamik sürsarj kuvveti

### 2.1.2.3 Hidrodinamik Kuvvetler

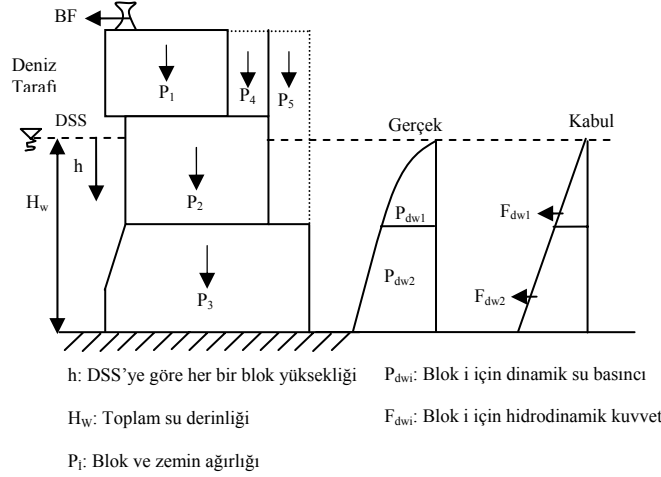
Depremde oluşan hidrodinamik basınç;

$$p_{dw} = \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{H_w h} \quad (\text{Westergaard, 1933}) \quad (2.16)$$

Depremde oluşan hidrodinamik kuvvet;

$$P_{dw} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2 \quad (\text{Westergaard, 1933}) \quad (2.17)$$

burada  $\gamma_w$  deniz suyu birim ağırlığı,  $H_w$  toplam su derinliği,  $h$  her bir blok için yüzeyden itibaren belirlenen su derinliği (Çizim 2.4) (Kramer, 1996).



**Çizim 2.4:** Blok tip rıhtımlar için hidrodinamik kuvvetler

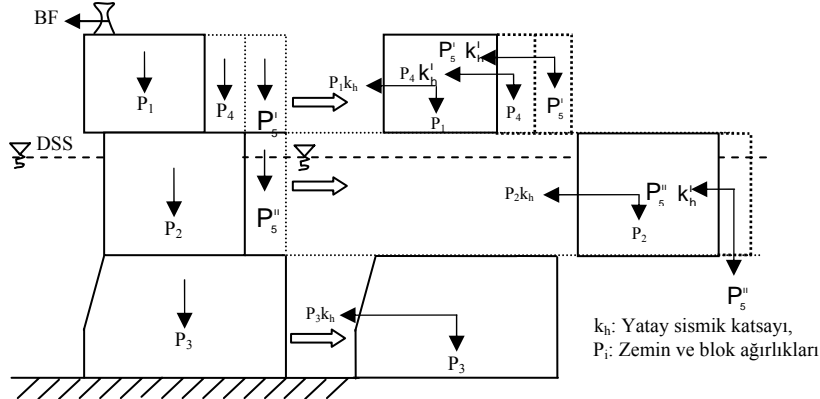
Hidrodinamik kuvvet Çizim 2.4'de görüldüğü gibi parabolik bir dağılım gösterir, ancak ağırlık merkezi hesaplamalarında karşılaşılan güçlük nedeniyle, parabolik dağılım üçgen dağılım olarak kabul edilmiştir.

### 2.1.2.4 Yapı kütesine etkiyen deprem kuvveti

Yapı kütesine etkiyen bloktan ve zeminden kaynaklanan deprem yükleri Pseudostatik Analiz kullanılarak belirlenir (Çizim 2.5) (Kramer 1996).

$$F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W \quad (2.18)$$

burada;  $F_h$ , yatay kuvvet;  $a_h$ , en yüksek yerçekimsel ivme;  $W$ , blok yada zemin ağırlığı;  $g$ , yerçekim ivmesi;  $k_h$ , yatay sismik katsayı.



**Çizim 2.5:** Yapı kütesine etkiyen deprem kuvveti

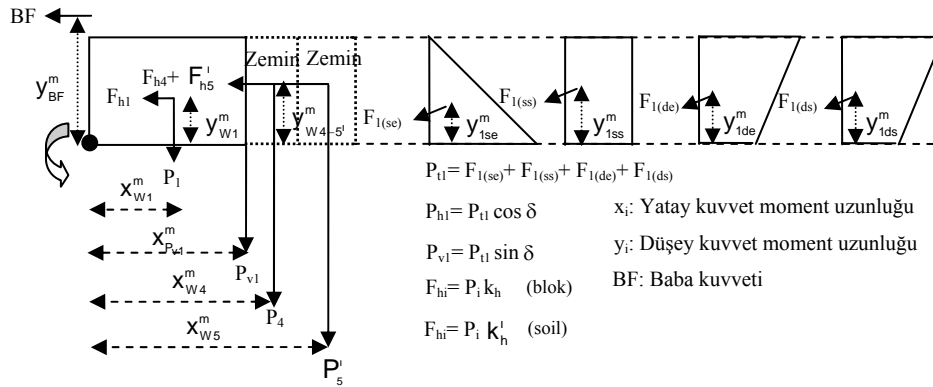
Statik ve dinamik toprak ve zemin kuvvetleri blok tip yapıya zeminle ( $\delta$ ) açısı yapacak çizimde etkir, bu nedenle yatay ( $P_{hi}$ ) ve düşey ( $P_{vi}$ ) kuvvetlerin hesaplanabilmesi için toplam kuvvetin ( $P_{ti}$ ) bileşenlerine ayrılması gerekmektedir (Çizim 2.6).

## 2.2 Düşey Kuvvetler

Düşey kuvvetler 3 kısımda incelenir, blok ağırlıkları, zemin ağırlıkları ve kaldırma kuvveti. Blok ve zemin ağırlıkları hesaplamalarında ise durgun su seviyesi (DSS) altında kalan blokların ağırlık hesaplamalarında batık birim ağırlık ( $\gamma_{sub}$ ) değerleri kullanılır.

## 2.3 Denge Analizi

Blok tip rıhtıma etkiyen yatay ve düşey kuvvetlerin belirlenmesinden sonra her bir bloğun denge analizi yapılır. Çizim 2.6 kronman duvara etkiyen kuvvetleri göstermektedir.



Çizim 2.6: Kronman duvara etkiyen yatay ve düşey kuvvetler

**Toplam yatay kuvvet ( $F_{Hc}$ )** =  $P_{h1} + F_{h1} + F_{h4} + F_{h5}' + BF$

**Toplam düşey kuvvet ( $F_{Vc}$ )** =  $P_1 + P_{v1}$

**Dönme momenti ( $M_{oc}$ )** =  $(F_{1(se)})(y_{1se}^m) + (F_{1(ss)})(y_{1ss}^m) + (F_{1(de)})(y_{1de}^m) + (F_{1(ds)})(y_{1ds}^m) \cos \delta + (F_{h1})(y_{w1}^m) + (F_{h4} + F_{h5}')(y_{w4-5'}^m) + (BF)(y_{BF}^m)$

**Karşı koyma momenti ( $M_{rc}$ )** =  $(P_1)(x_{w1}^m) + (P_{v1})(x_{pv1}^m)$

Kayma için ;  $FS_s = \frac{\mu F_v}{F_H}$       Dönme için ;  $FS_o = \frac{\sum M_r}{\sum M_o}$

Bu çalışmada 4 farklı yaklaşım uygulanarak kaymaya ve dönmeye karşı güvenlik katsayıları hesaplanmaktadır ( $FS_s$  ve  $FS_o$ ).

Yaklaşım 1'de sismik hesaplamalarda eşdeğer deprem ivmesi katsayısı (su altında) ( $k_h'$ )(Denklem 2.14) kullanılır ve yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin bulunabilmesi için yapılan blok ağırlığı hesaplamalarında bloğun suyun altında yada üstünde olması durumu göz önünde bulundurulur.

Yaklaşım 2'de sismik hesaplamalarda eşdeğer deprem ivmesi katsayısı (su altında) ( $k_h'$ ) (Denklem 2.14) kullanılır ve yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin bulunabilmesi için yapılan blok ağırlığı hesaplamalarında bloğun kuru ağırlığı kullanılır.

Yaklaşım 3’de sismik hesaplamalarda eşdeğer deprem ivmesi katsayısı (kuruda) ( $k_h$ ) kullanılır (Denklem 2.11) ve yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin bulunabilmesi için yapılan blok ağırlığı hesaplamalarında bloğun suyun altında yada üstünde olması durumu göz önünde bulundurulur.

Yaklaşım 4’de sismik hesaplamalarda eşdeğer deprem ivmesi katsayısı (kuruda) ( $k_h$ ) kullanılır (Denklem 2.11) ve yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin bulunabilmesi için yapılan blok ağırlığı hesaplamalarında bloğun kuru ağırlığı kullanılır

## SONUÇ

Derince Limanı blok tip rıhtım tasarımı için kullanılan parametreler;

$\Phi = 40^\circ$ ,  $\delta = 13.33^\circ$ ,  $\beta = 0$ ,  $\theta = 0$ ,  $H = 15\text{m}$ ,  $H_{\text{sub}} = 12.5\text{m}$ ,  $q = 30\text{ kN/m}^2$ ,  $B_{\text{aba}} = 800\text{ (kN)}$ ,

Kronman boyu = 16.16 (m),  $\gamma_{\text{conc}} = 23\text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{b-conc}} = 13\text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{dry}} = 18\text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{sub}} = 11\text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_w = 10\text{ kN/m}^3$ ,

Etkin yer ivme katsayısı ( $A_{10}$ ) (Denklem 2.10) ve yatay sismik katsayı ( $k_h$ ) (Denklem 2.11);

$$A_{10} = 0,4 \times 0,61 = 0,243$$

$$k_h = (2/3)(0,243) = 0,16$$

olarak hesaplanır.

Diğer bilinmeyen parametrelerde hesaplandıktan sonra 4 farklı yöntem için denge analizi yapılır. Bulunan sonuçlar Tablo 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4’de özetlenmiştir.

**Tablo 2.1:** Yaklaşım 1 için güvenlik katsayıları

Blok	Yaklaşım 1	
	FS <sub>s</sub>	FS <sub>o</sub>
Kronman	<b>0.63</b>	2.32
Blok 1	<b>0.64</b>	0.95
Blok 2	<b>0.65</b>	0.80
Blok 3	0.69	<b>0.79</b>
Blok 4	0.77	0.88
Blok 5	0.75	0.89
Blok 6	0.88	1.00

**Tablo 2.2:** Yaklaşım 2 için güvenlik katsayıları

Blok	Yaklaşım 2	
	FS <sub>s</sub>	FS <sub>o</sub>
Kronman	<b>0.63</b>	2.32
Blok 1	<b>0.62</b>	0.93
Blok 2	<b>0.61</b>	<b>0.77</b>
Blok 3	<b>0.64</b>	<b>0.75</b>
Blok 4	0.71	0.82
Blok 5	0.68	0.83
Blok 6	0.80	0.93

**Tablo 2.3:** Yaklaşım 3 için güvenlik katsayıları

Blok	Yaklaşım 3	
	FS <sub>s</sub>	FS <sub>o</sub>
Kronman	<b>0.80</b>	2.74
Blok 1	<b>0.82</b>	1.15
Blok 2	<b>0.81</b>	<b>0.98</b>
Blok 3	<b>0.84</b>	<b>0.97</b>
Blok 4	0.92	1.08
Blok 5	0.87	1.08
Blok 6	1.00	1.20

**Tablo 2.4:** Yaklaşım 4 için güvenlik katsayıları

Blok	Yaklaşım 4	
	FS <sub>s</sub>	FS <sub>o</sub>
Kronman	0.80	2.72
Blok 1	0.77	1.11
Blok 2	<b>0.74</b>	<b>0.93</b>
Blok 3	0.76	<b>0.91</b>
Blok 4	0.82	0.99
Blok 5	0.78	0.99
Blok 6	0.89	1.09

Bulunan sonuçlara bakıldığında;

- ✓ uygulanan tüm yaklaşımlarda kaymaya karşı elde edilen güvenlik katsayılarının dönmeye karşı elde edilen güvenlik katsayılarından daha küçük olduğu
- ✓ sismik durumlarda üst blokların alt bloklara göre daha riskli oldukları
- ✓ Yaklaşım 1 ve 2'nin en düşük güvenlik katsayılarını vermelerinden dolayı en kritik yaklaşım oldukları görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

Center for Civil Engineering research and Codes (CUR), (2005), "Quay Wall Hand Book", 717 Pages, published by CUR, PO Box 420, 2800 AK, Gouda, The Netherland, ISBN 0 415 364396.

International Navigation association (PIANC), (2001), "Seismic Design Guidelines for Port Structures", 474 pages, ISBN 90 265 1818 8.

Kramer S.L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering", Editor; Hall W.J. 653 pages, ISBN 0-13-374943-6.

Meijer E., (2006), "Comparative Analysis of Design Recommendations for Quay Walls", M.Sc. Thesis, TUDelft.

Motta E., (1993), "Generalized Coulomb Active Earth Pressure for Distanced Surcharge", Journal of Geotechnical Engineering, Vol.120, No.6, June, 1994, ISSN 0733-9410/94/0006-1072, technical note No. 5597

The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), (2002), "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan", editors for translation version: Goda, Y., Tabata, T., Yamamoto, S., printed by Daikousha Printing Co., Ltd.

US Army Corps of Engineers (USACE), (2003), "Earthquake Forces from Backfill", EC 1110-2-6058.

Yüksel Y., Alpar B., Yalçiner A.C., Çevik E., Özgüven O., Çelikoğlu Y., (2002), "Effects of the Eastern Marmara Earthquake on Marine Structures and Coastal Areas", Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Water & Maritime Engineers 156, June 2002, Issue WM2, pages 147-163.