

KAZIKLI İSKELELERDE DALGA NEDENİYLE OLUŞAN KUVVETLER ve ETKİLERİ

Y. Doç. Dr. Emel İRTEM

Balıkesir Üniversitesi

Mühendislik Mimarlık Fakültesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü

10100 Balıkesir

Arş. Gör. Nuray GEDİK

Balıkesir Üniversitesi

Mühendislik Mimarlık Fakültesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü

10100 Balıkesir

ÖZET

Bu çalışmada, Akım Fonksiyonu Teorisi kullanılarak dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin kazıklı iskeleye etkisi bir sayısal örnek üzerinde açıklanmıştır. Dalga nedeniyle kazıklara dalga yönünde etkiyen kuvvetler sürükleme kuvveti, atalet kuvveti ve akıma dik yönde çevrilerden oluşan yanal kuvvettir. Platforma etkiyen kuvvetler ise darbe kuvveti ve kaldırma kuvvetidir.

Kazıklı iskeleye etki eden yük kombinasyonlarına göre SAP2000 Yapı Analiz programı ile çözümler yapılmıştır. Bu çözümler sonucunda en elverişsiz yükleme sabit yük, hareketli yük ve baba çekme kuvvetinden oluşan yükleme olmuştur. Ancak dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin dalga yönündeki yerdeğistirmeleri artırdığı ve hesaplarda gözönüne alınması gerektiği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Dünyada açık deniz faaliyetleri son yıllarda hızla artarak başlı başına bir endüstri oluşturmuştur. Petrol platformlarının yanı sıra denizlerdeki depolama tankları, tanker yükleme platformları, kazıklar üzerinde inşa edilen deniz yapıları, denizaltı boru hatları ve dolphinler de açık deniz yapıları grubuna girmektedir.

Gemilerin dalga, akıntı, fırtına ve buz gibi dış etkenlere karşı korunduğu, bütün ihtiyaçlarının görüldüğü, yolcu ve yük transferinde gerekli bütün hizmetlerin sağlandığı, inşaa ve tamir edildikleri denizin korunmuş su alanlarına liman denir [17]. Liman yerinde kıyıya paralel olarak yeterli yanaşma yeri uzunluğu sağlanamıyorsa kıyıya dik yönde iskeleler inşa edilir [7]. Günümüzde gemiler giderek artan büyülüklerde yapıldığından manevra yapabilmeleri için derin sulara ve geniş yerlere gereksinim duyulmaktadır. Gemi

tonajlarının gittikçe artması, iskele sisteminin daha hassas bir şekilde hesaplanması gerekmektedir [11]. İskeleler yüzen tiplerinin dışında büyük limanlarda masif blok ve kazıklı olarak inşa edilirler. Masif iskeleler dalgaları yansıtmasının yanı sıra büyük derinliklerde inşa edildiklerinde büyük ağırlıkları nedeniyle oturmomalara neden olduğundan kazıklı tip tercih edilmektedir [7].

Birçok temel mühendisliği çözümünde yapısal yükler grup halindeki kazıklara taşırılır. Zeminle temas halinde veya açık deniz yapılarında olduğu gibi zeminin üzerinde bir kazık başlığı teşkil edilerek kazıkların birlikte yük taşıması sağlanır [16]. Üst yapıya etkiyen rüzgar, deprem kuvvetleri, toprak basıncı, gemi darbe ve baba çekme kuvvetleri, dalga çarpması v.s. nedeniyle temellere de yanal kuvvetler etki eder. Kazıklı temellerin yatay yükler altında projelendirilmesinde kazık-zemin etkileşimi dikkate alınmalıdır [15].

Dalgaların kıyı yapıları üzerinde önemli etkileri olduğu bilindiği halde genellikle hesaplarda dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin gözönüne alınmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, bu kuvvetlerin düşey kazıklı iskeleye etkisini araştırmaktır.

2. KAZIKLI İSKELELERDE DALGA NEDENİYLE OLUŞAN KUVVETLER

Dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin hesabında akım fonksiyonu teorisı kullanılmıştır. Son yıllarda dalga hareketini tanımlayan hidrodinamik denklemlerin çözümü için nümerik yaklaşımlar önerilmiş ve bu yaklaşımlar Dean (1965, 1967), Monkmyer (1970) tarafından geliştirilmiştir. Dean'in yaklaşımı akım fonksiyonu (Stream function) teorisi olarak adlandırılan yüksek mertebeden Stokes teorisine benzeyen bir nonlinear dalga teorisidir.

Akim fonksiyonu teorisi hem laboratuar dalga çalışmalarında çok uygun olmakta hem de bu teori ile doğal olarak oluşan dalgaları diğer teorilerden daha iyi tanımlamak mümkün olabilmektedir.

Seri açılımlardaki terimlerin değerlendirilmesi uzun hesaplamaları içermektedir. Yüksek mertebeden akım fonksiyonlarının çözümleri Dean tarafından verilen çizelgelerin ve grafik gösterimlerin kullanılmasıyla pratik bir hale getirilmiştir [13].

Bu çalışmada kullanılan (Dean, 1974) grafik ve tablolar Bölüm 3'te sayısal uygulamada verilmiştir.

2.1. Kazıklara Etki Eden Kuvvetler

2.1.1. Atalet kuvveti (Inertia force)

Düşey silindirik kazığın birim uzunluğundaki atalet kuvveti

$$F_i = C_M \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{du}{dt} \quad (1)$$

dir. Burada, C_M atalet katsayısını, ρ akışkanın özgül kütlesini, D kazık çapını, du/dt kazık ekseninde toplam yatay su taneciğinin ivmesini göstermektedir [13].

2.1.2. Sürükleme kuvveti (Drag force)

Düşey silindirik kazığın birim uzunluğundaki sürükleme kuvveti

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho D u |u| \quad (2)$$

dir. Burada, C_D sürükleme katsayısını, u kazık ekseninde yatay su taneciğinin hızını göstermektedir [13].

2.1.3. Çevrilerden oluşan yanal kuvvet (Transverse forces due to eddy shedding)

Bu kuvvetler, vortex veya bir yanal çalkantı kuvvetinin sonucunda kazığın bir tarafından diğerine giden çevrilerden kaynaklanıp dalga doğrultusuna ve kazık eksenine dik olarak etkiler.

Laird ve diğerleri (1960), Laird (1962) rıjit ve esnek salınımlı silindirlerde enine (çevri) kuvvetleri incelemişler ve genellikle bu kuvvetlerin yapının dinamik reaksiyonuna bağlı olduğunu bulmuşlardır.

Sadece rıjit yapılarda çevri kuvvetleri sürükleme kuvvetine eşit alınabilir ve bu kuvvetlerin hesabı için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$F_L = F_{LM} \cos 2\theta = C_L \frac{\rho g}{2} D H^2 K_{Dm} \cos 2\theta \quad (3)$$

Burada,

F_L : çevri kuvveti,

F_{LM} : max. çevri kuvveti,

$$\theta = \left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right)$$

C_L : sürükleme katsayısına benzer amprik katsayı

dir. Chang, C_L 'nin Keulegan-Carpenter sayısı $\bar{u}_{max} T / D$ ye bağlı olduğunu bulmuştur. Burada \bar{u}_{max} derinlik ortalamalı maksimum yatay hızdır. Bu sayı 3'den az olduğunda hiçbir belirgin çevirinti yayılması meydana gelmez ve çevri kuvvetleri oluşmaz. Sadece rıjit kazıklar için $\bar{u}_{max} T / D$ artarken C_L yaklaşıklar olarak C_D ye eşit oluncaya kadar artar [13].

2.2. Platforma Etki Eden Kuvvetler

2.2.1. Darbe kuvveti (Slamming force)

Yatay darbe kuvveti,

$$F_s = 0,5 C_s \rho A u^2 \quad (4)$$

olarak ifade edilebilir. Burada;

C_s : darbe katsayısı,

A : dalga kretine bağlı düşey plak alanı,

u : dalga kretindeki akışkanın yatay hızı

dır. Teori ve deneyler darbe katsayısı C_s 'in π 'den 2π 'ye değiştiğini gösterir (Isaacson ve Prasad 1992). C_s 'in π olarak alınabileceği [1]'de açıkça belirtilmiştir.

2.2.2. Kaldırma kuvveti (Uplift force)

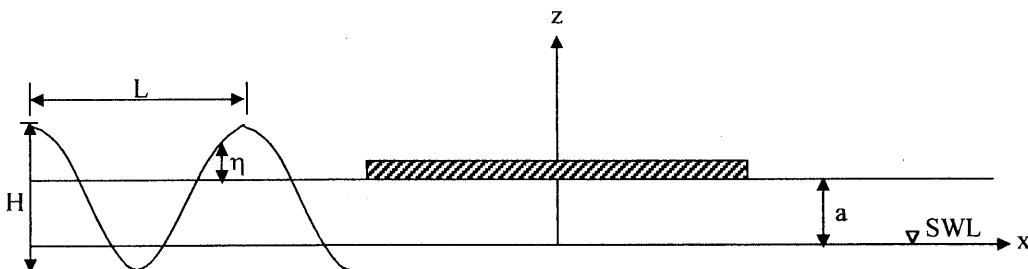
Yatay platformların dizaynında bu platformların altındaki dalga kuvvetleri belirlenmelidir. Laboratuvar araştırmaları yatay plakanın alt tarafındaki kaldırma basıncının genellikle çarpması bileşeni ve yavaş değişen bileşenden oluştuğunu göstermektedir. Basınç değişimleri için aşağıdaki temel denklemler verilmiştir:

$$\frac{P}{\gamma} = 0 \quad \eta < a \quad (5.a)$$

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{P_i}{\gamma} = \frac{1}{A} \frac{d}{dt} \left(\frac{M}{\gamma} V_e \right) \quad \eta = a \quad (5.b)$$

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{P_s}{\gamma} = -z - \frac{1}{g} \int_a^{\eta} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \right) dz \quad \eta > a \quad (5.c)$$

Burada Şekil 2.2'de görüldüğü gibi,



Şekil 2.2 Sembollerin Şekil Üzerinde Gösterimi

x	: yatay koordinatı
z	: düşey koordinatı (pozitif yön yukarı doğru)
P	: basıncı
A	: alanı
M	: çarpmacı sırasındaki su miktarının kütlesini
V _c	: çarpmacı anındaki m kütlesinin düşey doğrultudaki efektif hızı
u ve v	: yüzeydeki su partiküllerinin yatay ve düşey hızları
g	: yerçekimi ivmesini
η	: sakin su seviyesinden serbest su yüzeyinin düşey deplasmanı
SWL	: sakin su seviyesini
H	: dalga yüksekliğini
γ	: suyun özgül ağırlığını
t	: zamanı
a	: SWL'den platformun yüksekliğini

göstermektedir. i ve s indisleri sırasıyla çarpmacı ve yavaş değişen basınç bileşenlerini gösterir. Birinci denklem, dalganın plakanın altına henüz ulaşmadığı durumu gösterir. İkinci denklem "A" alanı üzerindeki ortalama çarpmacı basıncını ifade eder. Üçüncü denklem sıkıştırılmayan, viskoz olmayan akışkan için momentumun korunumu denkleminden elde edilir.

Wang (1970) tarafından yavaş değişen kaldırımı belirlemek için sürekli dalgaların dalga denklemlerinin çözümleri Denklem 5.c'de yerine konularak SWL'in üstündeki a mesafesindeki bir platform için aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir:

$$\frac{P_s}{\gamma} + a = \eta \frac{\cosh \frac{2\pi(h+d)}{L}}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} + H.O.T \quad (6)$$

Burada,

P _s	: yavaş değişen basıncı,
h	: su derinliğini,
L	: h su derinliğindeki dalga uzunluğunu,
H.O.T	: yüksek mertebeden terimleri

göstermektedir.

Eğer yüksek mertebeden terimler ihmal edilemezse denklem (6) denklem (7)'e dönüştürülebilir.

$$\frac{P_s}{\gamma} + a = \beta \eta \quad (7)$$

Burada β , basınç reaksiyon faktörüdür ($1.0 \leq \beta \leq 2.0$). Denklem (7) ilerleyen, sürekli dalgaların yavaş değişen basıncının hesabı için verilmiştir [10].

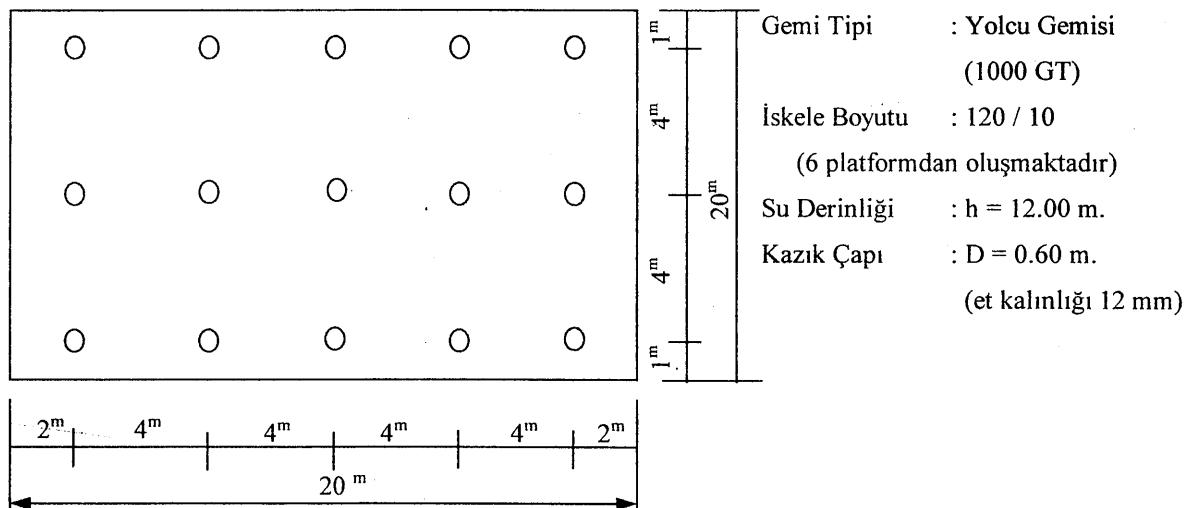
3. SAYISAL ÖRNEK

Ordu'nun Efaklı kazasına bir yolcu iskelesinin yapımı düşünülmüştür. Gemi tonajı 1000 GT olarak seçilmiştir. Tablo 3.1'de görüldüğü gibi yanaşacak gemi tonajı 1000 GT olduğunda iskelenin minimum uzunluğu 80 m, minimum genişliği ise 5 m. olmaktadır [14]. Bu çalışmada, iskele boyutu 120/10 m. seçilmiştir. İskelə platformlardan meydana geleceği için 20'şer metreden altı platformun inşası uygun görülmüştür.

Tablo 3.1 İskelə Boyutları

Tip	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Gemi Hacmi	Tip	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Gemi Hacmi
YOLCU GEMİSİ	80	5.0	GT 1.000	YÜK GEMİSİ	210	11.0	DW 20.000
	125	6.0	3.000		240	12.0	30.000
	155	7.5	5.000		260	13.0	40.000
	180	9.0	10.000		280	14.0	50.000
	225	10.0	20.000		165	9.0	DW 10.000
	250	11.0	30.000		185	10.0	15.000
YÜK GEMİSİ	60	4.5	DW 700	KURU YÜK GEMİSİ	210	11.0	20.000
	70	5.0	1.000		240	12.0	30.000
	90	5.5	2.000		270	13.0	50.000
	105	6.5	3.000		290	15.0	70.000
	130	7.5	5.000		300	16.0	90.000
	165	9.0	10.000		330	18.0	100.000
	185	10.0	15.000		370	20.0	150.000

Kazık grubuna etki eden dalga nedeniyle oluşan kuvvetleri hesaplarken aşağıda boyutları verilen platform gözönüne alınmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Platform Boyutları

1975-1994 dönemi rüzgar verileri ile dalga iklim çalışması, dönüş aralığı 5, 10 ve 20 yıl olan olası extrem belirgin dalga yüksekliği ve peryotları [5]'den alınmıştır.

Kazıklı iskelelerde dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin hesabı ve bu kuvvetlerin etki mesafeleri, dalga yükseklikleri ve peryotlarına bağlı olarak üç ayrı hal için yapılmış, $d = 12$ m., $D = 0.60$ m. ve kazıklar arası mesafe her iki doğrultuda da $L = 4$ m. almıştır.

- I- $H_5 = 5.142 \text{ m}$, $T_5 = 11.7 \text{ s}$
 II- $H_{10} = 6.627 \text{ m}$, $T_{10} = 12.6 \text{ s}$
 III- $H_{20} = 8.111 \text{ m}$, $T_{20} = 13.5 \text{ s}$

Burada sadece I. hal için dalga nedeniyle oluşan kuvvetler ve bu kuvvetlerin etki mesafeleri gösterecektir. Diğer hesaplamaların sonuçları Tablo 3.10'da verilmiştir.

3.1. Kazıklara Etki Eden Kuvvetler

3.1.1. Dalga kuvveti

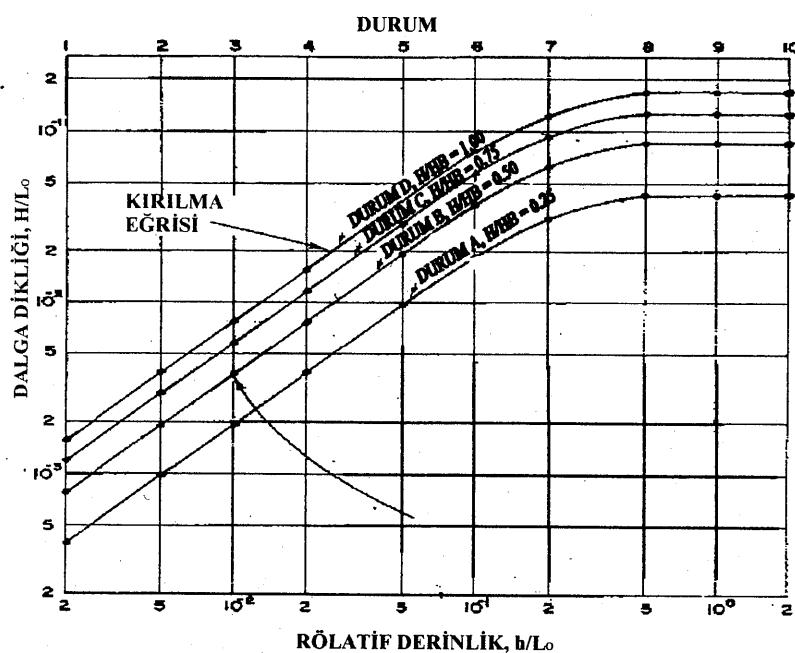
$H_5 = 5.142 \text{ m}$ ve $T_5 = 11.7 \text{ s}$ için dalga boyu

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (8)$$

bağıntısından 213.728 m olarak bulunur. Bu durumda dalga dikliği ve rölatif derinlik,

$$\frac{H}{L_0} = 0.024, \quad \frac{h}{L_0} = 0.056$$

olmaktadır. Bu değerlerle Şekil 3.2'den 5-B durumu belirlenir.



Şekil 3.2 Dalga Karakterine Göre Durumlar

Sürükleme, atalet kuvvetleri ve momentlerinin hesabında 5-B durumu için Dean tarafından hazırlanan tablolar kullanılacaktır. Bu tablolardaki boyutsuz sürükleme kuvveti

$$\frac{C_D \rho D (H/T)^2 h}{2} \quad (9)$$

bağıntısından bulunan 50.912 kg ile, boyutsuz atalet kuvveti

$$\frac{C_M \rho \pi D^2 (H/T^2) h}{4} \quad (10)$$

bağıntısından elde edilen 19.998 kg ile çarpılmıştır [3]. Bu bağıntılardaki C_D sürükleme katsayısı 0.7 ve C_M atalet katsayısı 1.5 olarak alınmıştır [13]. Bu katsayılar aşağıdaki boyutsuz büyülüklerin fonksiyonudur:

$$[C_D, C_M] = f(K, Re, k/D)$$

Burada;

- K : Keulegan-Carpenters sayısını,
- Re : Reynolds sayısını,
- k/D : rölatif pürüzlülüğü

göstermektedir [8,12].

Kazığın tabandan itibaren yüksekliğinin su derinliğine oranı ($s/derinlik$) = 1.167 olarak bulunur. Dean tarafından hazırlanan tablolardan 5-B durumu için bu değere karşılık gelen boyutsuz sürükleme ve atalet kuvveti bileşenleri (F_D, F_I) faz açılarına göre interpolasyonla hesaplanır (Tablo 3.2-3.3) [4].

Tablo 3.2. Boyutsuz Sürükleme Kuvveti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$h + \eta$	59.083	53.096	38.931	23.761	4.510	-.200	-3.281	-7.341	-8.415
1.2	52.667	48.594	38.00						
1.1	45.531	42.127	33.226	22.000					
1.0	39.284	36.435	28.949	19.414	4.306				
0.9	33.756	31.373	25.086	17.009	3.936	-.151	-3.167		
0.8	28.811	26.825	21.566	14.760	3.541	-.100	-2.708	-6.504	-7.541
0.7	24.338	22.695	18.329	12.644	3.128	-.065	-2.290	-5.643	-6.571
0.6	20.244	18.901	15.324	10.641	2.702	-.043	-1.905	-4.801	-5.611
0.5	16.453	15.377	12.506	8.731	2.264	-.028	-1.548	-3.976	-4.661
0.4	12.898	12.065	9.836	6.897	1.819	-.018	-1.213	-3.164	-3.719
0.3	9.524	8.914	7.281	5.122	1.368	-.011	-.895	-2.364	-2.784
0.2	6.280	5.880	4.809	3.391	.914	-.007	-.590	-1.571	-1.853
0.1	3.119	2.921	2.391	1.688	.458	-.003	-.293	-.784	-.926
0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

Tablo 3.3. Boyutsuz Atalet Kuvveti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$s / \text{derinlik}$	$h + \eta$.000	19.741	34.375	42.096				
	1.2	.000	18.051	33.466					
	1.1	.000	15.608	29.056	38.608				
	1.0	.000	13.450	25.132	33.602	38.517			
	0.9	.000	11.530	21.620	29.069	33.876	25.693	14.593	
	0.8	.000	9.812	18.455	24.938	29.488	22.842	13.177	3.892
	0.7	.000	8.260	15.580	21.146	25.324	19.977	11.683	.000
	0.6	.000	6.847	12.945	17.637	21.353	17.109	10.125	3.048
	0.5	.000	5.546	10.507	14.362	17.547	14.242	8.513	2.583
	0.4	.000	4.334	8.226	11.274	13.877	11.382	6.859	2.094
	0.3	.000	3.192	6.066	8.332	10.314	8.528	5.172	1.587
	0.2	.000	2.101	3.996	5.496	6.832	5.681	3.461	1.066
	0.1	.000	1.042	1.983	2.731	3.403	2.839	1.734	.535
	0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

θ faz açısına göre interpolasyonla hesaplanan boyutsuz sürükleme kuvveti bileşeni 50.912 kg ile, boyutsuz atalet kuvveti bileşeni 19.998 kg ile çarpıldığında θ faz açısına göre sürükleme ve atalet kuvvetleri elde edilir (Tablo 3.4). Bir kazığa gelen maksimum sürükleme ve atalet kuvveti toplamı 2.710 ton olarak elde edilir.

Tablo 3.4 Bir Kazığa Gelen Yatay Dalga Kuvveti

θ	0	10	20	30
F_D'	50.31212	46.45989	36.42458	7.2600
F_D	2561.642	2365.505	1854.557	369.643
F_I'	0	17.24481	32.01103	12.74064
F_I	0	344.862	640.157	254.787
F_T (kg)	2561.642	2710.367	2494.714	624.43

Tablolardaki boyutsuz sürükleme momenti

$$\frac{C_D \rho D (H/T)^2 h^2}{2} \quad (11)$$

bağıntısından bulunan 610.978 kgm ile, boyutsuz atalet momenti

$$\frac{C_M \rho \pi D^2 (H/T^2) h^2}{4} \quad (12)$$

bağıntısından elde edilen 239.970 kgm ile çarpılmıştır.

5-B durumu için 1.167 değerine karşılık gelen boyutsuz sürükleme ve atalet momenti bileşenleri (M_D', M_I') faz açılarına göre interpolasyonla hesaplanır (Tablo 3.5-3.6) [4].

Tablo 3.5 Boyutsuz Sürükleme Momenti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180	
$s / \text{derinlik}$	$h + \eta$	44.538	39.110	26.979	15.072	2.287	-.147	-1.653	-3.358	-3.782
	1.2	36.581	33.565	25.792						
	1.1	28.367	26.121	20.299	13.078					
	1.0	21.800	20.138	15.802	10.362	2.077				
	0.9	16.543	15.325	12.130	8.076	1.725	-.101	-1.549		
	0.8	12.336	11.455	9.135	6.163	1.390	-.058	-1.159	-2.648	
	0.7	8.977	8.354	6.705	4.575	1.081	-.032	-.845	-2.002	
	0.6	6.314	5.886	4.750	3.272	.803	-.017	-.594	-1.455	
	0.5	4.226	3.946	3.199	2.221	.563	-.009	-.398	-1.001	
	0.4	2.625	2.454	1.996	1.395	.363	-.004	-.247	-.636	
	0.3	1.443	1.350	1.101	.773	.205	-.002	-.136	-.355	
	0.2	.631	.590	.483	.340	.091	-.001	-.059	-.157	
	0.1	.156	.146	.120	.084	.023	-.000	-.015	-.039	
	0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	

Tablo 3.6. Boyutsuz Atalet Momenti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$s / \text{derinlik}$	$h + \eta$.000	14.681	24.251	27.651	23.333	13.428	6.621	1.776
	1.2	.000	12.599	23.152					
	1.1	.000	9.787	18.076	23.701				
	1.0	.000	7.519	13.952	18.440	20.402			
	0.9	.000	5.694	10.613	10.430	15.990	11.579	6.329	
	0.8	.000	4.232	7.920	10.616	12.258	9.156	5.126	1.478
	0.7	.000	3.067	5.761	7.769	9.133	7.007	4.006	1.174
	0.6	.000	2.147	4.047	5.487	6.551	5.143	2.994	.889
	0.5	.000	1.430	2.704	3.683	4.456	3.566	2.107	.634
	0.4	.000	.885	1.676	2.292	2.804	2.279	1.363	.414
	0.3	.000	.484	.920	1.262	1.556	1.280	.773	.236
	0.2	.000	.211	.401	.552	.685	.568	.346	.106
	0.1	.000	.052	.099	.137	.170	.142	.087	.027
	0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

Boyutsuz sürükleme ve atalet momenti çarpanları ile θ faz açısına göre interpolasyonla hesaplanan sürükleme ve atalet momenti bileşenleri çarpıldığında sürükleme ve atalet momenti elde edilir (Tablo 3.7). Kazığa gelen maksimum moment ise sürükleme ve atalet momenti toplamlarından 21.807 tm elde edilir.

Tablo 3.7 Bir Kazığa Gelen Dalga Momenti

θ	0	10	20	30
M_D	33.87038	31.10848	23.97865	4.31574
M_D	20694.058	19006.597	14650.428	2636.822
M_I	0	11.67104	21.47692	7.82133
M_I	0	2800.699	5153.816	1876.885
$M_T (\text{kgm})$	20694.058	21807.296	19804.244	4513.707

Kuvvetin kazığa etki mesafesi ise kazığa gelen toplam momentin toplam yatay dalga kuvvetine bölünmesiyle 8.047 m bulunur.

3.1.2. Çevrilerden oluşan yanal kuvvet

$H_s = 5.142$ m ve $T_s = 11.7$ s iken 5-B durumu için [4]'deki tablolardan tabandaki ve sakin su seviyesindeki maksimum yatay hız bulunarak

$$(\bar{u}_{\max}) = \frac{(u_{\max})_{\text{taban}} + (u_{\max})_{\text{SWL}}}{2} \quad (13)$$

bağıntısından ortalama maksimum yatay hız elde edilir.

$\theta = 0^\circ$ iken Tablo 3.8'den boyutsuz yatay hız bileşeni, $u_{\text{taban}} = 5.579$ ve $u'_{\text{SWL}} = 7.657$ 'dir [4]. Bu noktalardaki maksimum yatay hız

$$u_{\max} = u' \frac{H}{T} \quad (14)$$

ifadesinden $(u_{\max})_{\text{taban}} = 2.452$ m/s ve $(u_{\max})_{\text{SWL}} = 3.365$ m/s elde edilir. Bu değerler (13) bağntısında yerine konularak ortalama yatay hız 2.909 m/s olarak bulunur.

Tablo 3.8 Boyutsuz Yatay Hız Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$h + \eta$	9.268	8.684	7.192	5.313	1.840	-.894	-2.220	-2.987	-3.142
s / derinlik	1.2	8.744	8.312	7.111					
	1.1	8.161	7.780	6.716	5.181				
	1.0	7.657	7.318	6.369	4.991	1.889			
	0.9	7.222	6.919	6.067	4.820	1.958	-.784	-2.194	
	0.8	6.850	6.576	5.805	4.668	2.011	-.645	-2.091	-2.951
	0.7	6.534	6.285	5.580	4.535	2.051	-.527	-2.001	-2.917
	0.6	6.270	6.040	5.390	4.420	2.080	-.428	-1.923	-2.886
	0.5	6.052	5.839	5.232	4.323	2.102	-.347	-1.858	-2.860
	0.4	5.878	5.678	5.106	4.245	2.117	-.283	-1.804	-2.839
	0.3	5.746	5.555	5.009	4.184	2.128	-.233	-1.763	-2.822
	0.2	5.653	5.468	4.940	4.141	2.135	-.199	-1.733	-2.809
	0.1	5.597	5.416	4.899	4.115	2.138	-.178	-1.716	-2.802
	0.0	5.579	5.399	4.886	4.106	2.140	-.171	-1.710	-2.800

Ortalama maksimum yatay hızın kullanılmasıyla Keulegan-Carpenter sayısı (K) $\bar{u}_{\max} T / D = 56.73$ olarak elde edilir. K , 3'den büyük olduğundan çevri kuvvetleri gözönüne alınmalıdır [13]. Yapı rijit yapı olduğu için çevri kuvveti sürükleme kuvvetine eşit alınabilir, dolayısıyla çevri kuvveti $F_L = F_D = 2.366$ t olur.

3.2. Platforma Etki Eden Kuvvetler

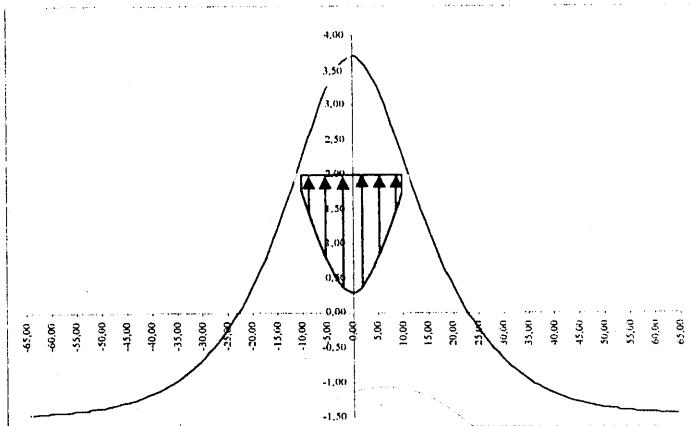
3.2.1. Darbe kuvveti

$H_s = 5.142$ m ve $T_s = 11.7$ s iken dalga kretindeki yatay hız 5-B durumu için $\theta = 0^\circ$ iken boyutsuz yatay hız bileşeni $u' = 9.268$ olarak bulunur (Tablo 3.8). Dalga kretindeki

yatay hız (7) bağıntısından 4.073 m/s olarak elde edilir. (4) bağıntısının kullanılmasıyla darbe kuvveti 27.227 t olarak bulunur.

3.2.2. Kaldırma kuvveti

[6]'dan alınan program yardımıyla $H_s = 5.142 \text{ m}$ ve $T_s = 11.7 \text{ s}$ için dalga profili elde edilir (Şekil 3.3 – Tablo 3.9).



Şekil 3.3 Dalga Profili

Tablo 3.9 Dalga Profili

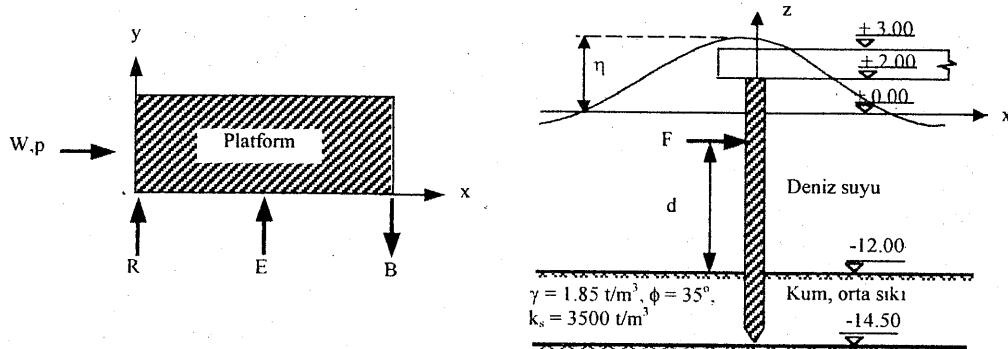
x(m)	Eta (m)	x(m)	Eta (m)	x(m)	Eta (m)	x (m)	Eta (m)
0.0	3.69	16.03	1.05	32.07	-0.80	48.11	-1.34
1.6	3.64	17.64	0.77	33.68	-0.89	49.72	-1.36
3.2	3.50	19.24	0.51	35.28	-0.98	51.32	-1.38
4.81	3.28	20.85	0.28	36.88	-1.05	52.92	-1.40
6.41	3.00	22.45	0.06	38.49	-1.11	54.53	-1.41
8.01	2.68	24.05	-0.12	40.09	-1.16	56.13	-1.42
9.62	2.35	25.66	-0.29	41.70	-1.21	57.73	-1.43
11.22	2.01	27.26	-0.44	43.30	-1.25	59.34	-1.43
12.83	1.67	28.86	-0.58	44.90	-1.28	60.94	-1.44
14.43	1.35	30.47	-0.70	46.51	-1.31	62.55	-1.44
						64.15	-1.44

Şekil 3.3'de SWL'nin 2 m üstüne platformlar yerleştirilerek dalganın platforma etkidiği taralı alan belirlenir. Bu taralı alanda $\Delta x = 0.10 \text{ m}$ aralıklarla her noktadaki η_i değerleri hesaplanıp (7) bağıntısında yerine konursa her η_i 'ye karşı gelen basınç değerleri bulunur. Bu basınç değerleri ($\Delta x \cdot B$) ile çarpıldıkten sonra toplanırsa platforma etki eden toplam kaldırma kuvveti 890.792 t olarak elde edilir.

3.3. Dalga Nedeniyle Oluşan Kuvvetlerin Etkisi Altındaki İskelerin Çözümü

1000 GT'luk yolcu gemisi için seçilen iskele, 120/10 metre boyutunda olup, 20/10'luk toplam 6 platformdan oluşmaktadır. Deniz tabanındaki zemine gömülü kazık derinliği sertleşmiş kil için $3.5D$ 'den $4.5D$ 'ye kadar, yumuşak kil için $7D$ 'den $8.5D$ 'ye kadar alınır, burada D kazığın çapıdır [9]. Buna göre kazıkların zemine gömülü uzunluğu 2.50 m olarak alınmıştır. Su derinliği 12.00 m , iskelenin SWL'den yüksekliği 2.00 m ,

kazık toplam uzunluğu 16.50 m'dir. Kazıklarda çelik, kırışlerde ve dösemelerde beton malzemenin kullanıldığı varsayılmıştır. Dalga nedeniyle oluşan kuvvetler hesaplandıktan sonra iskeleye etki eden yük kombinasyonlarına bağlı olarak SAP2000 Yapı Analiz programı ile çözümler yapılmıştır. Kırışlar ve kazıklar programda çubuk eleman olarak, dösemeler ise kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Prekast ve yerinde dökme döseme, enleme kırışı, boylama kırışı ve kazık ağırlıkları program tarafından hesaplanmaktadır. SAP2000 Yapı Analiz programında koordinat sistemi, platforma etkiyen yüklerin yönleri ve zemin profili Şekil 3.4'de verilmiştir. Kazığın zemin içindeki 2.50 m'lik bölümü yollarla tanımlanmış, yay sabitlerinin hesabunda Bowles (1988) tarafından yazılan BEF adlı bilgisayar programından yararlanılmıştır [2].



Şekil 3.4. Koordinat eksenleri, platforma etkiyen yüklerin yönleri ve zemin profili

Her hal için dalga nedeniyle oluşan kuvvetler ve bu kuvvetlerin etki mesafeleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10 Kuvvetler ve etki mesafeleri

Kuvvetler		F (ton)	d (m)
I H = 5.142 m T = 11.7 s	Kazığa gelen kuvvetler	Atalet	0.344
		Sürükleme	2.366
		Çevri	2.366
	Platforma gelen kuvvetler	Darbe	27.227
		Kaldırma	890.792
II H = 6.627 m T = 12.6 s	Kazığa gelen kuvvetler	Atalet	0.467
		Sürükleme	2.929
		Çevri	2.929
	Platforma gelen kuvvetler	Darbe	55.612
		Kaldırma	1318.912
III H = 8.111 m T = 13.5 s	Kazığa gelen kuvvetler	Atalet	0.557
		Sürükleme	2.688
		Çevri	2.688
	Platforma gelen kuvvetler	Darbe	117.272
		Kaldırma	1659.542

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Akım Fonksiyonu Teorisi kullanılarak dalga nedeniyle oluşan kuvvetler hesaplanmıştır. Bu kuvvetlerin hesabı ve etki mesafeleri dönüş aralığı 5, 10 ve 20 yıl olan olası extrem belirgin dalga yüksekliği ve peryotları esas alınarak üç ayrı durum için yapılmıştır.

Sayısal örnek olarak 120/10 m boyutunda 20/10'luk 6 paltformdan oluşan bir kazıklı iskele sistemi ele alınmıştır. Kazıklarda çelik, kırışerde ve döşemeler de beton malzeme kullanılmıştır. Kazıklar 0.60 m çapında, 16.50 m uzunluğundadır. Su derinliği 12.00m, kazıkların zemine gömülü uzunluğu 2.50 m'dir. Bu 2.50 m'lik bölüm yaylorla tanımlanmış, yay sabitlerinin hesabında Bowles (1988) tarafından yazılan BEF adlı bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Kazıklı iskeleye etki eden sabit yük, hareketli yük, baba çekme kuvveti, gemi yanaşma basıncı, rüzgar kuvveti, deprem kuvveti ve dalga nedeniyle oluşan kuvvetler hesaplandıktan sonra bu yapıya etkiyen yük kombinasyonlarına göre SAP2000 Yapı analiz programı ile çözümler yapılmıştır. Yapılan hesaplamlar sonucunda iskele sistemindeki maksimum yerdeğiştirmeler Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi sabit yük(G), hareketli yük (P) ve baba çekme kuvvetinin (B)($\alpha=90^\circ$) birlikte etkimesi halinde en elverişsiz yükleme oluşmaktadır. Bu yüklemede sistem, dalga yönüne dik yönde (δ_y) maksimum yerdeğiştirme yapmaktadır.

Sadece sabit yük, hareketli yük ve rüzgar kuyvetinin etkisi altındaki sistemin çözümünden δ_x değeri 0.00627 m olarak bulunmaktadır. Bu kuvvetlere, kazıklara dalga yönünde etkiyen, sürükleme ve atalet kuvveti, akıma dik yönde çevrilerden oluşan yanal kuvvetle birlikte platforma etkiyen, kaldırma ve darbe kuvvetleri ilave edilip hesaplar tekrarlanırsa $H_s = 5.142$ m iken dalga yönünde meydana gelen yerdeğiştirme $\delta_x=0.05341$ m olmaktadır. Dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin dalga yönündeki yerdeğiştirmeleri 8.518 kat artırdığı görülmektedir. Dalga yüksekliği arttıkça dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin dalga yönündeki yerdeğiştirmeleri artırdığı ve hesaplarda gözönüne alınması gerekiği görülmüştür. Ayrıca, kaldırma kuvvetinin etkisi gözüne alındığında düşey yöndeki yerdeğiştirmelerin arttığı Tablo 4.1'den görülmektedir.

Tablo 4.1. Yük Kombinasyonlarına Göre Maksimum Yerdeğiştirmeler

Yük Kombinasyonları	Maksimum Yerdeğiştirmeler (m)		
	δ_x	δ_y	δ_z
1 G+P+R	0.00855	0.04301	-0.00138
2 G+P+B($\alpha=90^\circ$)	-0.02416	-0.12148	-0.00171
3 G+P+B($\alpha=30^\circ$)	-0.07189	-0.08173	0.00122
4 G+P/2+E+B/2($\alpha=90^\circ$)	-0.01203	0.03515	-0.00110
5 G+P/2+E+B/2($\alpha=30^\circ$)	-0.03582	0.05183	-0.00198
6 G+P/2+E+R/2	0.00425	0.06913	-0.00134
7 G+P+W+p ($H=5.142$ m)	0.05341	-0.02646	0.00260
8 G+W+p ($H=5.142$ m)	0.05341	-0.02646	0.00268
9 G+P+W+p ($H=6.627$ m)	0.07189	-0.03312	0.00416
10 G+W+p ($H=6.627$ m)	0.07189	-0.03312	0.00423
11 G+P+W+p ($H=8.111$ m)	0.11392	-0.03063	0.00539
12 G+W+p ($H=8.111$ m)	0.11392	-0.03063	0.00547
13 G+P+W	0.00627	0	-6.301E-4
14 G+W	0.00627	0	-5.536E-4

KAYNAKLAR

- [1] BEA, R.G., FELLOW, ASCE, T.Xu, STEAR, J., RAMOS, R., (1999), Wave Forces on Decks of Offshore Platforms, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 125, No.3, s.138.

- [2] BOWLES, J.E., (1988), *Foundation Analysis and Design*, McGraw Hill, 5.th Ed., New York, s. 951-953.
- [3] DEAN, R.G., (1974), *Evaluation and Development of Water Wave Theories for Engineering Application*, U.S. Army, Coastal Engineering Research Center, Special Report No:1, s. 39-68.
- [4] DEAN, R.G., (1974), *Evaluation and Development of Water Wave Theories for Engineering Application*, U.S. Army, Coastal Engineering Research Center, Special Report No:2, s. 237-244.
- [5] ERTARHANACI, M., (1995), Çakma Kazıklı İşkelelerin Projelendirilmesi, Bitirme Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, s. 19.
- [6] [\[6\] http://rad.coastal.udel.edu/faculty/rad/streamless.html](http://rad.coastal.udel.edu/faculty/rad/streamless.html)
- [7] KAPDAŞLI, S., (1994), *Kıyı Mühendisliği*, İTÜ Yayınevi, No: 1054, İstanbul, s. 110-112.
- [8] MOE, G., (1990), Morison Type Wave Loading, *Water Wave Kinematics*, Kluver Academic, Publishers, Netherland, s.652.
- [9] NOVAK, P., MOFFAT, A.B., NALLURI, C., NARAYANAN, R., (1990), *Hydraulic Structures*, Unwin Hyman Ltd., London, s. 504.
- [10] ÖZGEN, Y., (1986), *Wave Forces Under Horizontal Platforms at the Splash Zone*, MSC., Thesis, Middle East Tech. Univ., Civil Eng. Dept., Ankara, s.4-9.
- [11] ÖZKAN, M.T., TOĞROL, E., BAKİOĞLU, M., (1990), *İşkelelere Etkiyen Darbeler*, Zemin Mekanığı ve Temel Mühendisliği, 3. Ulusal Kongresi, Boğaziçi, İstanbul, s. 269
- [12] SARPKAYA, T., and ISAACSON, M., (1981), *Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, s. 298.
- [13] CERC, (1984), *Shore Protection Manual*, Vol. 2., 4th Ed., Coast. Engrg. Res. Ctr., US Army Corps Engrs., Washington, s.132-144.
- [14] Shibata Industrial Co. Ltd., *Shibata Marine Fender Design Manual*, Tokyo, Japonya, s. 39.
- [15] TOĞROL, E., (1970), *Kazıklı Temeller*, Temel Araştırma A.Ş. Yayımları, No:1, İstanbul, s. 106.
- [16] YILDIRIM, S., ÖZAYDIN, İ.K., (1994), *Derin Temeller*, Zemin Mekanığı ve Temel Mühendisliği, 5. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara, s.716.
- [17] YÜKSEL, Y., ÇEVİK, E., ÇELİKOĞLU, Y., (1998), *Kıyı ve Liman Mühendisliği*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, s.287.

ABSTRACT

The Forces Due to Waves and Their Effects at Piled Piers

In this study, at piled piers the effects of forces due to waves by Stream Function Wave Theory have been explained on one numerical example. On the pile, the forces due to waves are drag force, inertia force and transverse forces due to eddy shedding. On the deck, the forces due to waves are slamming force and uplift force.

The solutions were made according to load combinations by SAP2000 (Structural Analysis Programme). The result of these solutions is that the most unsuitable loading is the total load of the constant load (G), live load (P) and bollard pulling force (B). However, it is observed that the force due to waves increase the displacements in the direction of the waves and therefore they should be taken into consideration in calculations.

