

**KAZIKLI İSKELELERDE SİLİNDİRİK DÜŞEY KAZIK GRUBUNA ETKİ EDEN
DALGA KUVVETİNİN İNCELENMESİ**

Emel İRTEM

Y. Doç. Dr.

Balıkesir Üniversitesi Müh. Mim. Fak.

İnş. Müh. Böl.

Balıkesir, Türkiye

Nuray GEDİK

İnş. Yük. Müh.

Hasan Vardar İnşaat San. ve Tic. A.Ş.

Balıkesir, Türkiye

ÖZET

Bir kazıklı iskeleye, iskele üst yapı ve kazık zati ağırlıklarından oluşan ölü ağırlık, tabliye üzerinde düzgün yayılı yük, kara vasıtası, katar yükü, vinç yükü, gemi yanaşma basıncı, baba çekme kuvveti, fren kuvveti, rüzgar kuvveti, deprem kuvvetinin yanı sıra dalga kuvveti de etkimektedir.

Bu çalışmada, kazıklara etki eden dalga kuvvetinin hesabından bahsedilmiş, iskele kazık grubuna etkileyen dalga kuvvetine dalga yüksekliğinin, dalga periyodunun, kazık çapının, kazıklar arasındaki uzaklığın etkisi araştırılmıştır. Dalga yüksekliği, dalga periyodu ve kazık çapı arttıkça düşey kazık grubuna etkileyen dalga kuvvetinin de arttığı, kazıklar arası açıklık arttığında ise dalga kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sonuçlar tablo ve grafiklerle gösterilerek tartışılmıştır.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Masif iskeleler dalgaları yansıtmasının yanı sıra büyük derinliklerde inşa edildiklerinde büyük ağırlıkları nedeniyle oturmaları neden olduklarından kazıklı tip tercih edilmektedir [1]. Bir kazıklı iskeleye etkiyen kuvvetler ele alınırken dalgaların kıyı yapıları üzerinde önemli etkileri olduğu bilindiği halde dalga kuvvetinin gözönüne alınmadığı görülmektedir. Dalga etkisi altındaki kazıklarda dalga kuvvetinin tayinindeki değişkenler: Dalga yüksekliği (H), su derinliği (d), dalga periyodu (T), dalga uzunluğu (L) ve kazık çapı (D)'dir. Akışkan, akışkanın özgül kütlesi (ρ) ve kinematik viskozite katsayısı (ν) ile karakterize edilir. Bu konudaki boyutsuz büyüklüklerin bazıları: Boyutsuz dalga dikliği (H/gT^2), boyutsuz su derinliği (d/gT^2), kazık çapının dalga uzunluğuna oranı (D/L) ve Reynolds sayısı ($HD/T\nu$)'dir [2].

Bu çalışma dalga kuvvetinin hesabını, iskele kazık grubuna etkiyen dalga kuvvetine dalga yüksekliğinin, dalga periyodunun, kazık çapının ve kazıklar arasındaki uzaklığın etkisini kapsamaktadır.

2. DALGA KUVVETİNİN HESABI

2.1 Kazığa Etki Eden Dalga Kuvvetinin Hesaplanması

Dalga etkisi altındaki silindirik kazıklardaki kuvvetlerin tayinindeki değişkenler Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Kazıktan kısa bir mesafe uzaklıktaki akım alanında kazığın etkisi ihmal edilmiştir. MacCamy ve Fuchs (1954) lineer dalga teorisine dayanarak teorik olarak silindirden geçen dalga problemlerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda kazık çapının dalga uzunluğuna (D/L_A) oranının küçük değerleri için kuvvetin yaklaşık olarak ivme (du/dt) ile orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Küçük kazıklarda (1) bağıntısının kullanılabilmesi için $D/L_A < 0.05$ şartının sağlanması gerekir. Bu bağıntıda belirtilen şart kazık kuvvet hesabı için nadiren de olsa sağlanmayabilir. Ancak bu şart, dolphinlerde, kesonlarda ve benzeri büyük yapılarda kuvvetler hesaplandığı zaman önemlidir.

(1) bağıntısını kullanmak için proje dalgası ile hız ve ivme alanlarının Airy dalga teorisi tarafından tanımlandığı kabul edilir. $x = 0$ iken

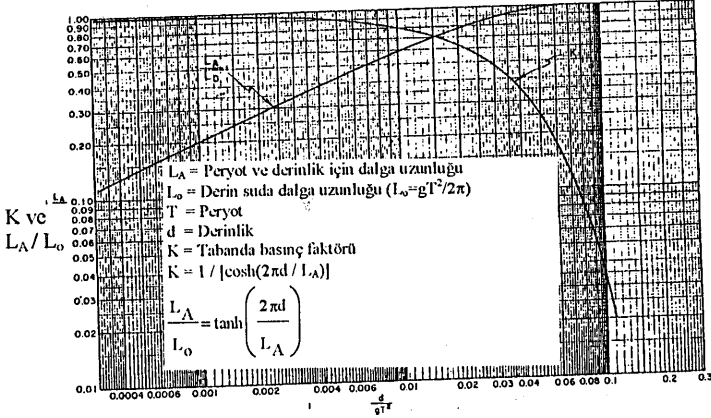
$$f_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H \left\{ \frac{\pi}{L_A} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L_A]}{\cosh[2\pi d/L_A]} \right\} \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2)$$

$$f_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 \left\{ \frac{g T^2}{4 L_A^2} \left\{ \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L_A]}{\cosh[2\pi d/L_A]} \right\}^2 \right\} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (3)$$

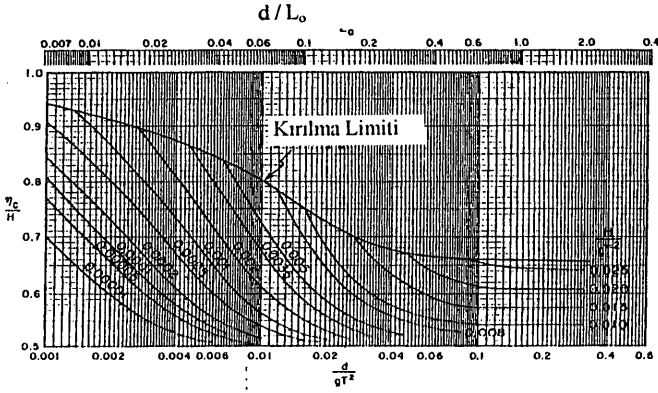
(2) ve (3) bağıntılarında iki kuvvetin zamanla ve kazığın z eksenindeki yükseklik ile değiştiği görülmektedir

Atalet ve sürüklenme kuvvetinin hesabını daha çabuk hesap yapmak için Şekil 2.2'deki K eğrisi kullanılabilir. Tabandaki kuvvetin yüzeydeki kuvvete oranı atalet kuvveti için K^2 'ya, sürüklenme kuvveti için K^2 'ye eşittir.

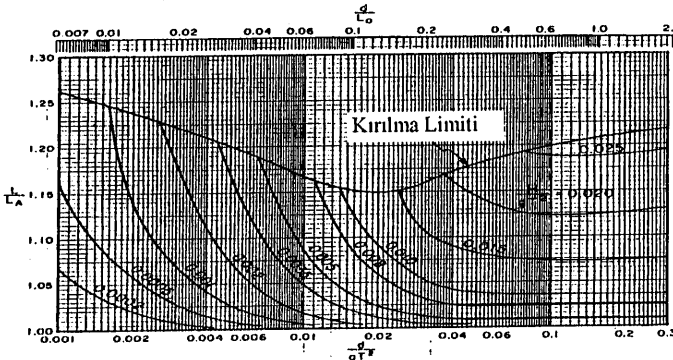
Lineer olmayan teorilerde dalga uzunluğu ve durgun su seviyesi üstündeki dalga kreti yüksekliği, dalganın dikliğine ve dalga yüksekliği-su derinliği oranına bağlıdır. Dalga uzunluğu ve kret yüksekliğinin η_c sakin su seviyesi üstündeki (veya altındaki) su kotuna etkisi Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 2.2 d/gT^2 değerlerine karşı gelen rölatif dalga uzunluğu ve basınç faktörü



Şekil 2.3 Dalga yüksekliği için durgun su seviyesi üzerindeki kret oranının değişimi



Şekil 2.4 Sonlu genlikli etkiler için dalga uzunluğunu düzeltme faktörü

Kazıkta toplam yatay kuvvetler (1) bağıntısının integrasyonu ile elde edilir:

$$F = \int_d^{\eta} f_i dz + \int_d^{\eta} f_D dz = F_i + F_D \quad (4)$$

Genellikle aşağıdaki şekilde ifade edilirler:

$$F_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i \quad (5)$$

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D \quad (6)$$

Burada C_D ve C_M 'nin sabit ve K_i , K_D 'nin boyutsuz olduğu varsayılmıştır.

$$F_{im} = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_{im} \quad (7)$$

$$F_{Dm} = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_{Dm} \quad (8)$$

K_{im} , K_{Dm} değerleri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'dan bulunmuştur. (7) ve (8) bağıntılarından, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 kullanılarak kuvvetlerin maksimum değerleri bulunabilir.

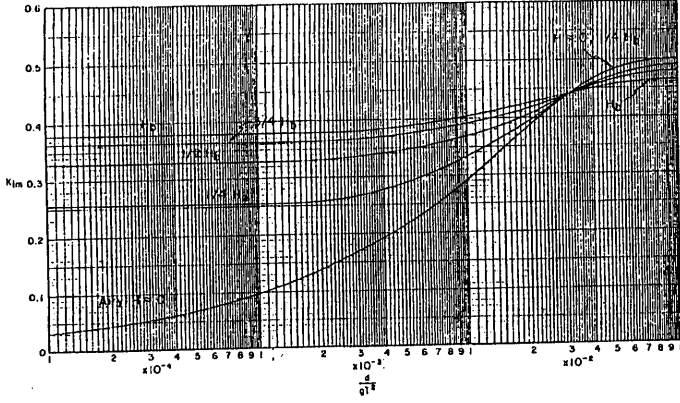
$$W = \frac{C_M D}{C_D H} \quad (9)$$

Maksimum toplam kuvveti hesaplayabilmek için (9) bağıntısından faydalanılarak Dean (1965a) tarafından hazırlanan Şekil 2.7'den Şekil 2.10'a kadar olan grafikler kullanılır.

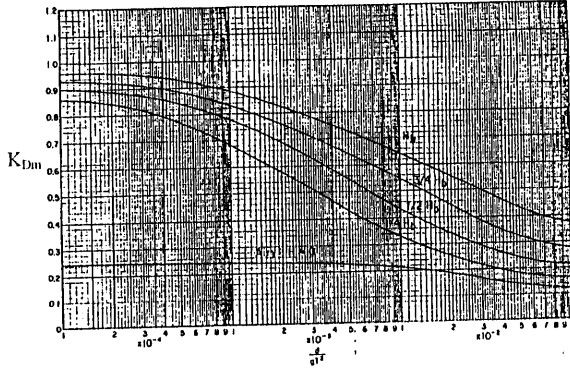
Maksimum kuvvet aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F_m = \phi_m w C_D H^2 D \quad (10)$$

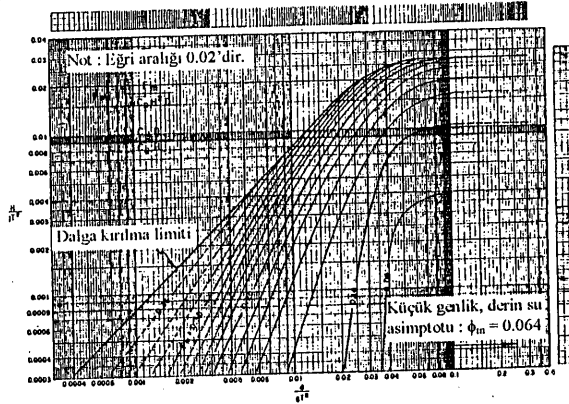
Burada ϕ_m şekillerden okunan bir katsayıdır.



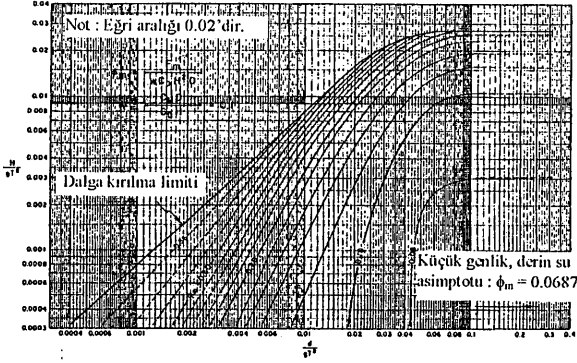
Şekil 2.5 d / gT^2 ve rölatif derinliğe karşı gelen K_{im} değerleri



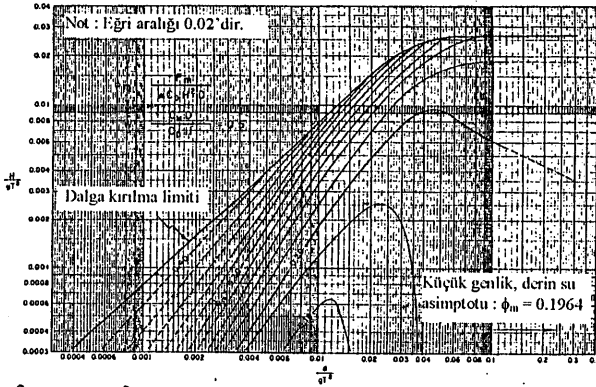
Şekil 2.6 d / gT^2 ve rölatif derinliğe karşı gelen K_{Dm} değerleri



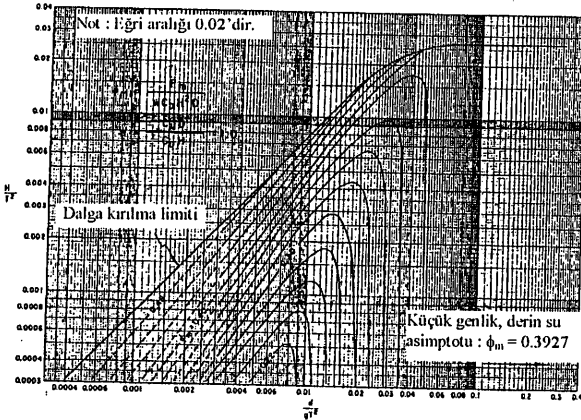
Şekil 2.7 H / gT^2 ve d / gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 0.05$)



Şekil 2.8 H/gT^2 ve d/gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 0.1$)



Şekil 2.9 H/gT^2 ve d/gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 0.5$)



Şekil 2.10 H/gT^2 ve d/gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 1.0$)

2.2 C_D ve C_M Hidrodinamik Katsayılarının Hesabı

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kritik altı : } Re < 1.10^5 \text{ burada } C_D \text{ sabittir } (\approx 1.2) \\ \text{Geçiş : } 1.105 < Re < 4.10^5 \text{ burada } C_D \text{ değişkendir.} \\ \text{Kritik üstü : } Re > 4.10^5 \text{ burada } C_D \text{ sabittir } (\approx 0.6 - 0.7) \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l} R_e < 2.5 \times 10^5 \quad \Rightarrow C_M = 2.0 \\ 2.5 \times 10^5 < R_e < 5 \times 10^5 \quad \Rightarrow C_M = 2.5 - \frac{R_e}{5 \times 10^5} \\ R_e > 5 \times 10^5 \quad \Rightarrow C_M = 1.5 \end{array} \right\} \quad (12)$$

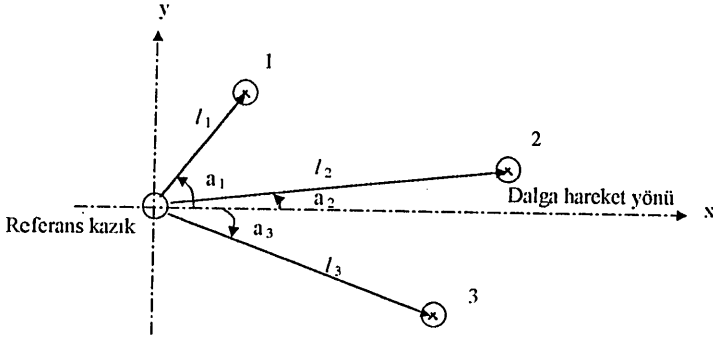
(11) ve (12) bağıntılarından görüldüğü gibi C_D ve C_M katsayıları R_e sayısına bağlı olarak değişen katsayıdır.

2.3 Düşey Silindirik Kazık Gruplarında Kuvvetlerin Hesabı

Yapıyı oluşturan kazık gruplarında maksimum yatay kuvveti bulmak için Bölüm 2.1'de sunulan yaklaşım genelleştirilebilir. Şekil 2.1'de dalga etkisindeki kazık grupları görülmektedir. Eğer $x=0$ 'daki referans kazığı seçilmiş ise gruptaki her bir kazığın x koordinatı

$$x_n = l_n \cos \alpha_n \quad (13)$$

ile bulunur. n indisi, belirli bir kazığı ifade eder, l_n ve α_n Şekil 2.11'de açıklanmıştır. Eğer komşu iki kazık arasındaki mesafe yeterince büyük ise tek bir kazıktaki kuvvetler, diğer kazıklardan etkilenmeyecektir.



Şekil 2.11 Yapısal olarak birleştirilmiş bir kazık grubunda dalga kuvvetlerinin hesabıyla ilgili kavramlar

Bölüm 2.1'de tek düşey kazıktaki kuvvet değişimi zamanın bir fonksiyonudur. Faz açısı,

$$\theta = \frac{2\pi x}{L_A} - \frac{2\pi t}{T} \quad (14)$$

dır. Burada, L_A , dalga uzunluğunu ifade eder.

$x = x_r$ durumunda referans kazığın yerinin seçimi ile proje dalga kretine bağlı toplam kuvvet aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$F_{\text{toplam}} = \sum_{n=0}^{N-1} F(x_r + x_n) \quad (15)$$

Burada, N , gruptaki toplam kazık sayısı, x_r dalga kreti ile ilgili referans kazığın yerleşimini gösterir.

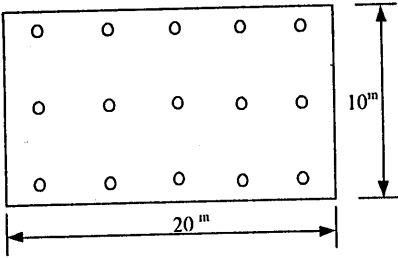
Daha sonra kazık grubuna gelen toplam dalga kuvvetinin hesabında izlenen işlem sırası sayısal uygulamada verilmiştir.

3. SAYISAL UYGULAMA

3.1 Dalga Yüksekliğinin Değişmesi Hali

Dalga periyodu (T), kazık çapı (D), su derinliği (d) ve kazıklar arası mesafe (L) sabit tutulup dalga yüksekliğinin değişik değerleri için kazık grubuna etki eden dalga kuvvetleri hesaplanmıştır.

Kazık grubuna etki eden dalga kuvvetlerini hesaplarken aşağıda boyutları verilen ano gözönüne alınmıştır (Şekil 3.1).



Gemi Tipi : Yolcu Gemisi (1000 GT)
İskele Boyutu : 120 / 10 (6 Anodan oluşuyor)

Şekil 3.1 Ano boyutları

Verilenler : T = 8 s., H = 3 m., d = 15 m., D = 0.50 ve L = 4.00 m. (Kazıklar arası mesafe)

İstenen : Kazık grubuna etki eden toplam dalga kuvveti

İlk olarak H = 3.0 m ve T_s = 8 s olduğunda boyutsuz dalga dikliği ve boyutsuz su derinliği aşağıdaki gibi bulunur:

$$H / gT^2 = 0.005 \quad \text{ve} \quad d / gT^2 = 0.0239$$

Bu boyutsuz d / gT² büyüklüğüne karşı gelen (L_A / L₀) oranı Şekil 2.2'den elde edilir.

$$d / gT^2 = 0.0239 \Rightarrow L_A / L_0 = 0.82$$

Elde edilen bu orana göre Airy dalga uzunluğu aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$L_A = 0.82 \frac{gT^2}{2\pi} = 0.82 \frac{9.81 \cdot 8^2}{2\pi} = 81.94 \text{ m} \approx 82.00 \text{ m}$$

Daha sonra kazık çapının dalga uzunluğuna oranı hesaplanır.

$D / L_A = 0.60 / 81.52 = 0.00736 < 0.05$ şartını sağladığından (1) bağıntısı kullanılabilir.

$$u_{\max} = \frac{\pi H \left(\frac{L_o}{L_A} \right)}{T} = \frac{\pi \times 3 \left(\frac{1}{0.82} \right)}{8} = 1.437 \text{ m/s.} \quad Re = \frac{u_{\max} D}{\nu} = \frac{1.437 \times 0.50}{9.29 \times 10^{-7}} = 7.73 \times 10^5$$

(11) bağıntısından $Re = 7.73 \times 10^5 \Rightarrow C_D = 0.7$

(12) bağıntısından $Re > 5 \times 10^5$ için $C_M = 1.5$ alınır.

Airy teorisine göre boyutsuz su derinliğine karşı gelen K_{im} ve K_{Dm} değerleri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'daki grafiklerden yararlanılarak elde edilir.

$d / gT^2 = 0.0239$ için (Airy Teorisi) $K_{im} = 0.412$ $K_{Dm} = 0.180$

(8) ve (9) bağıntılarından sürükleme kuvveti ve atalet kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F_{im} = 1.5 \times (102.5) \times 9.81 \times \frac{\pi \times (0.50)^2}{4} \times (3) \times (0.412) = 0.366 \text{ ton}$$

$$F_{Dm} = 0.7 \times 0.5 \times (102.5) \times (9.81) \times (0.50) \times (3)^2 \times (0.180) = 0.285 \text{ ton}$$

Maksimum toplam kuvveti hesaplayabilmek için (9) bağıntısından

$$W = \frac{C_M D}{C_D H} = 0.357$$

bulunur. Buradan boyutsuz dalga dikliği ve boyutsuz su derinliğine karşı gelen ϕ_m değerleri Şekil 2.7'den Şekil 2.10'a kadar olan grafiklerden yararlanılarak elde edilir.

$$d/gT^2 = 0,0239 \text{ ve } H/gT^2 = 0.005 \text{ için } W = 0.1 \text{ için } \phi_m = 0.13$$

$$W = 0.5 \text{ için } \phi_m = 0.19$$

olup $W = 0.357$ için $\phi_m = 0.17$ değeri enterpolasyonla bulunmuştur. (10) bağıntısından sonlu genlik teorisine göre maksimum kuvvet $[F_m] = 0.538$ t bulunur.

Airy teorisine göre maksimum kuvveti bulmak için önce aşağıdaki ifadelerden F_i , F_D kuvvetleri hesaplanır [2]:

$$F_i = F_{im} \sin\theta \quad (16)$$

$$F_D = F_{Dm} \cos\theta |\cos\theta| \quad (17)$$

Maksimum kuvveti buluncaya kadar 0° 'ya $0 < \theta < \pi$ arasında farklı değerler verilerek aşağıdaki Tablo 3.1 oluşturulur.

Tablo 3.1 θ 'nın farklı değerlerine karşı gelen toplam kuvvet

θ	X	F_i	F_d	$F=F_i+F_d$	$F=F_d-F_i$
0	0.00000	0.00000	0.28500	0.28500	0.28500
20	4.55556	0.12518	0.25166	0.37684	0.12648
40	9.11111	0.23526	0.16724	0.40251	-0.06802
60	13.66667	0.31697	0.07125	0.38822	-0.24572
80	18.22222	0.36044	0.00859	0.36903	-0.35185
100	22.77778	0.36044	-0.00859	0.35185	-0.36903
120	27.33333	0.31697	-0.07125	0.24572	-0.38822
140	31.88889	0.23526	-0.16724	0.06802	-0.40251
160	36.44444	0.12518	-0.25166	-0.12648	-0.37684
180	41.00000	0.00000	-0.28500	-0.28500	-0.28500

⇒ $[F_m] = 0.402$ Ton
(Airy Teorisini)

Tablo 3.1'den $\theta = 40^\circ$ olduğunda Airy teorisine göre maksimum kuvvet $[F_m]_{\text{Airy}} = 0.402$ t bulunur. Buna karşı gelen atalet kuvveti $F_i = 0.235$ t ve sürüklenme kuvveti $F_D = 0.167$ t'dur.

Tablo 3.2 Referans kazığa bağlı olarak hesaplanan kuvvetler

L	x	θ	F _m	FD _m	F _i	FD	F
82.00	4	17.57	0.366	0.285	0.111	0.239	0.370
82.00	8	35.12	0.366	0.285	0.211	0.191	0.401
82.00	12	52.68	0.366	0.285	0.291	0.105	0.396
82.00	16	70.24	0.366	0.285	0.344	0.033	0.377
					0.957	0.587	1.544

Tablo 3.2'deki θ 'lar (14) ifadesinden bulunmuştur. Dalga kırılma sınırında $\theta = 8^0$ olduğunda (16) ve (17) bağıntılarından atalet kuvveti ve sürüklenme kuvveti

$$F_i = 0.051 t \quad F_D = 0.279 t \quad \text{ve} \quad \text{toplam kuvvet} \quad F = 0.330 t' \text{ dur.}$$

Kazık grubuna etkiyen toplam dalga kuvveti;

$$\Sigma F = 1.544 \times 3 + 0.330 \times 3 = 5.622 t$$

ve

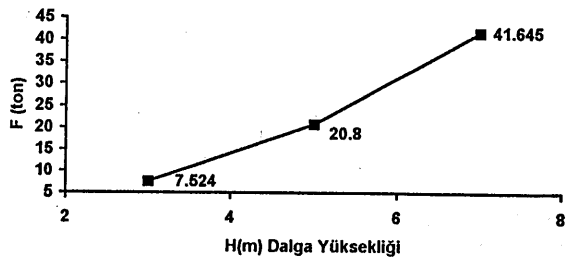
$$[F_{\text{toplam}}] = \frac{[F_m]_{\text{son.gen}}}{[F_m]_{\text{Airy}}} \Sigma F \quad (18)$$

$$[F_{\text{toplam}}] = (0.538/0.402) \times 5.622 = 7.524 t$$

bulunmuştur. Hesaplar sadece bu durum için açık olarak gösterilmiştir. Diğer çözümlerde de aynı hesap tarzı izlendiğinden hesap sonuçları sadece tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

Tablo 3.3 Dalga yüksekliğinin değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	H(m)	$[F_{\text{toplam}}](t)$
T = 8 s	3	7.524
d = 15 m	5	20.800
D = 0.50 m	7	41.645
L = 4 m		

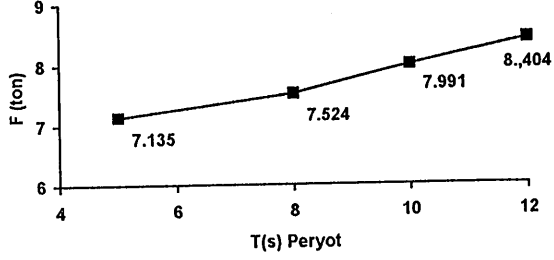


Şekil 3.1 Dalga yüksekliği ile dalga kuvvetinin değişimi

3.2 Dalga Peryodunun Değişmesi Hali:

Tablo 3.4 Dalga periyodunun değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	T(s)	$ F_{\text{toplam}} (t)$
H = 3 m	5	7.135
d = 15 m	8	7.524
D = 0.50 m	10	7.991
L = 4 m	12	8.404

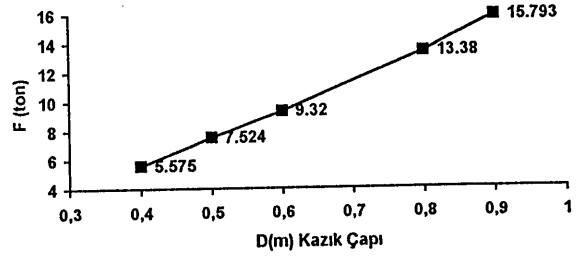


Şekil 3.2 Dalga periyodu ile dalga kuvvetinin değişimi

3.3 Kazık Çapının Değişmesi Hali:

Tablo 3.5 Kazık çapının değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	D (m)	$ F_{\text{toplam}} (t)$
H = 3 m	0.40	5.575
T = 8 s	0.50	7.524
d = 15 m	0.60	9.320
L = 4 m	0.80	13.380
	0.90	15.793



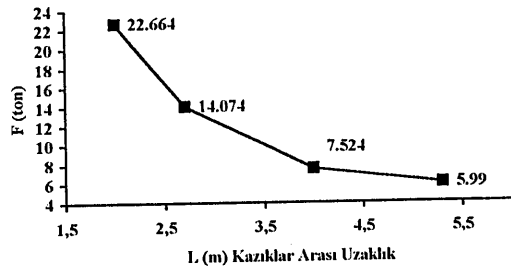
Şekil 3.3 Kazık çapı ile dalga kuvvetinin değişimi

3.4 Kazık Aralıklarının Değişmesi Hali:

Terzaghi ve Peck (1986) kazık merkezleri arasındaki uzaklığın kazık başı çapının 2.5 katı ile 4 katı arasında olmasını öngörmektedir. Alt sınır kabarma olmaması için verilmiştir [3].

Tablo 3.6 Kazıklar arası mesafenin değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	L (m)	$ F_{\text{toplam}} (t)$
H = 3 m	2.00	22.664
T = 8 s	2.70	14.074
d = 15 m	4.00	7.524
d = 0.50 m	5.30	5.990



Şekil 3.4 Kazıklar arası mesafe ile dalga kuvvetinin değişimi

4. SONUÇLAR

Çalışmada, önce dalga etkisi altındaki silindirik düşey kazıklarda dalga kuvvetinin tayinindeki değişkenler gösterilmiştir. Daha sonra bu kazıklara etkileyen dalga kuvvetinin hesap adımları anlatılırken kullanılan eğrilere ve katsayılara da yer verilmiştir. Dalga kuvvetine dalga yüksekliğinin, dalga periyodunun, kazık çapının ve kazıklar arasındaki uzaklığın etkisini araştırmak amacıyla sayısal örnekler üzerinde çalışılmıştır. Uygulamada ilk olarak diğer değişkenler sabit tutulup dalga yüksekliği değiştirilmiş ve dalga yüksekliği arttıkça kazık grubuna etkileyen dalga kuvvetinin de arttığı görülmüştür (Şekil 3.1). Bu beklenen bir sonuçtur ve kazığın birim uzunluğuna etkileyen atalet ve sürüklenme kuvvetlerini veren (2) ve (3) nolu ifadelerden de bu açıkça görülmektedir. İkinci olarak dalga periyodunun değişken olması hali ele alınmış ve dalga periyodunun dalga kuvveti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür (Şekil 3.2). Periyot arttıkça dalga boyu da artmakta ve daha büyük dalga kuvvetleri oluşmaktadır. Üçüncü olarak kazık çapının değişken olması hali incelenmiş kazık çapı büyüdükçe dalga kuvveti de artmıştır (Şekil 3.3). Bu durum da (2) ve (3) nolu ifadelerle uyumaktadır, çap arttıkça yüzey alanı dolayısıyla kuvvet de artmaktadır. Son olarak kazıklar arası uzaklığın değişken olması hali ele alınmış kazıklar arası uzaklık arttıkça dalga kuvveti azalmıştır (Şekil 3.4). Kazıklar arası uzaklık arttıkça kazık sayısı azalmakta, her bir kazığa gelen kuvvet artmaktadır. Ancak kazık grubuna etkileyen kuvvet kazık sayısına da bağlı olduğundan azalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Kapdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İTÜ Yayını, No: 1054, İstanbul, 1992, s. 112.
2. Shore Protection Manuel, Vol.2 U.S Department of the Army , Washington, 1984, 101-160.
3. Toğrol, E., Kazıklı Temeller, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, No: 1, İstanbul, 1970, s. 131.

SUMMARY

A piled pier is influenced by the dead weight formed upper structure and own weight of pile, uniform distributed load on the tablet, vehicle, cooper loading, crane load, ship berthing pressure, bollard pulling force, breaking force, wind force, earthquake force and also wave force.

In this study the wave force effecting to piles calculation was explained. The effect of the wave height, wave period, pile diameter and distance between the piles to the wave force were investigated. It was obtained that while the wave height, wave period and pile diameter increased, the wave force effecting to the vertical pile group increased and if the distance between the piles increased the wave force decreased. The results were given by the tables and graphics and discussed.