



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 3, Article Number: 1A0187

ENGINEERING SCIENCES

Received: December 2010

Accepted: July 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Erdem Üçer

Istanbul Technical University

ucerer@itu.edu.tr

Istanbul-Turkey

ÜÇ SERBESTLİK DERECELİ DUBANIN DENGESİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli bir dubanın bordadan gelen dalgalar arasındaki dengesi, değişik başlangıç koşulları için artık enerji yöntemiyle analiz edilmektedir. Dubanın denge analizleri yapılırken, üç serbestlik dereceli, yalpa, yan-sürüklenme ve dalıp çıkma hareketlerinin birbirleriyle olan etkileşimlerini göz önünde bulunduran lineer olmayan bir hidrodinamik model kullanılmaktadır. Bu modelle, dubanın devrilmesine sebep olan her bir başlangıç koşulu için dubanın enerjisi belirlenmekte ve bu enerjilerin en küçüğü artık enerji olarak seçilmektedir. Artık enerjinin artması, başlangıç koşullarının oluşturduğu güvenli bölgenin büyümesine veya başka bir deyişle dubanın devrilme olasılığının azalmasına yol açar. Artık enerji sıfır ise güvenli bir bölge yoktur. Artık enerji yöntemiyle elde edilen sonuçlardan, dubanın dengesinin başta dalga eğimi, yalpa açısı ve yalpa açısal hızı olmak üzere yan sürüklenme yer değiştirmesine ve dalıp çıkma hızına bağlı olduğu, yan sürüklenme hızına ve dalıp çıkma miktarının değişimine ise bağlılığının çok daha az olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yalpa Hareketi, Yan Sürüklenme Hareketi,
Dalıp Çıkma Hareketi, Enine Stabilite,
Artık Enerji

EXAMINATION OF STABILITY OF THREE DEGREE OF FREEDOM BARGE

ABSTRACT

In this study, the stability of box shaped barge in beam seas is analyzed for different initial conditions by the method of residual energy. While analyzing the stability of this barge, the nonlinear three degree of freedom hydrodynamic model which accounts for the interaction of roll, sway and heave motions with each other is used. By using this model, the energy of each capsizing initial condition is determined and lowest one is chosen as a residual energy. The increment of residual energy shows the enlargement of safe domain of initial conditions or in other words it causes of decrement of the capsizing probability of the barge. When the residual energy is zero, there is no safe basin. From the results obtained by the analyzes of residual energy, it is seen that the stability of box barge is precisely dependent on the wave slope, roll angle and roll angular velocity, dependent on sway displacement and heave velocity and least dependent on sway velocity and heave displacement.

Keywords: Roll Motion, Sway Motion, Heave Motion,
Transverse Stability, Residual Energy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Okyanusların ve denizlerin, kötü deniz koşullarında, rastgele, tahmin edilemeyen ve bazen de kaotik bir karakteri vardır. Ani bastıran bir fırtına güvenli bir şekilde çalışan bir geminin devrilmesine yine ani bir şekilde yol açabilir. Gemilerin devrilmesi lineer olmayan bir hadisedir. Bu sebeple, durağan haldeki bir denizdeki gemi için geliştirilmiş stabilite (denge) kuralları, gemilerin devrilme olaylarının önüne geçememektedir. Bilim adamları ve araştırmacılar gemilerin devrilmelerini azaltmak ve uluslar arası denizcilik örgütünün (IMO) uyguladığı kuralları geliştirmek için uzun yıllardır beri gerek deneysel gerekse de analitik ve sayısal yöntemler kullanarak gemilerin devrilme olaylarını incelemektedirler.

Gemilerin devrilme olaylarının incelenmesinde kullanılan ölçekli model deneyi çalışmalarına, Wright ve Marshfield [1], Grochowalski [2] ve Cotton ve Spyrou [3]'ün çalışmaları örnek olarak verilebilir. Bu ölçekli model deneyi çalışmaları ile gemilerin hangi koşullar altında devrilebileceği ortaya konulmuş, dalga tepesinin ve güverteye su çullanmasının gemilerin stabilitesi üzerindeki azaltıcı etkileri gösterilmiştir.

Gemilerin devrilme olayının incelenmesinde kullanılan başlıca analitik yöntemlere ise dinamik sistemlerin stabilitelerinin incelenmesinde sıklıkla kullanılan Melnikov ve Lyapunov Direkt yöntemleri örnek olarak verilebilir. Melnikov yöntemi, Falzarano [4], Hsieh, Troesch ve Shaw [5] ve Jiang [6] tarafından bordadan gelen hem karışık hem de düzenli dalgalarda gemilerin devrilme kriterlerinin çıkarılmasında kullanılmıştır. Lyapunov direkt yöntemi ise, gemilerin stabilitelerinin incelenmesinde ilk olarak Odabaşı [7], Ozkan [8] ve Caldeira-Sariava [9] tarafından kullanılmıştır.

Sayısal yöntemler, analitik ve deneysel yöntemlerin yanında gemilerin stabilitelerinin incelenmesinde kullanılacak bir diğer yoldur. Sayısal güvenli bölge kavramı bu yöntemlerden en sık kullanılanıdır. Kötü deniz şartlarındaki bir geminin devrilmesi lineer olmayan bir hadisedir (nonlinear phenomenon). Lineer olmayan olaylar ve hareketler, başlangıç koşullarının değişimine aşırı derecede bağımlıdır. Başlangıç koşullarında meydana gelebilecek en küçük bir değişiklik stabil olan bir hareketi stabil olmayan bir hale getirilebilir (Üçer ve Helvacıoğlu [10]). Bundan dolayı, binlerce başlangıç koşulunun hareketin stabilitesi üzerindeki etkisini tek bir grafikte gösterilmesini sağlayan ve ilk defa Thompson [11] tarafından öne sürülen güvenli bölge yöntemini kullanmak daha mantıklı olacaktır. Soliman ve Thompson [11], Rainey ve Thompson [12], Odabaşı ve Üçer [13], Long, Lee ve Kim [15]'in çalışmaları güvenli bölge kavramını gemilerin stabilitesinin incelenmesinde kullanan çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada, Chen [16], Lee [17] ve McCue [18] tarafından da kullanılan üç serbestlik dereceli yalpa (roll), sway (yan sürüklenme) ve heave (dalıp çıkma) hareketlerinin birbirleriyle etkileşimini ve güverteye su çullanmasının hidrostatik etkisini de hesaba katan lineer olmayan bir model kullanılarak dikdörtgen kesitli bir dubanın stabilitesi artık enerji yöntemi ile incelenecektir. Dubanın artık enerjisi, dubanın devrilmesine sebep olan başlangıç koşullarının sahip olduğu enerjilerin en küçüğü seçilerek belirlenmektedir. Artık enerji ne kadar büyük olursa dubanın güvenle çalışabildiği bölge o kadar büyük olmaktadır. Artık enerji sıfır ise güvenli bir bölge mevcut değildir ve dubanın devrilme olasılığı yüzde yüzdür.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, gemilerin enine stabilitesinin modellenmesinde hangi parametrelerin göz önünde bulundurulması gerektiği lineer olmayan üç serbestlik dereceli güverteye su çullanmasının hidrostatik etkisini de hesaba katan Chen [16] tarafından geliştirilmiş matematiksel model ile artık enerji hesabı yapılarak ortaya konulmuştur.

3. MATEMATİK MODEL (MATHEMATICAL MODEL)

Dalgalar arasında, rijid olarak kabul edilen bir gemi altı serbestlik derecesine sahiptir ama bu altı hareketi dalgaların geliş açısına bağlı olarak aynı büyüklükte yapmayabilir. Hem buna dayanarak hem de hidrodinamik kuvvetleri belirlemenin zorluğuna bağlı olarak genelde araştırmacılar modelleme yaparken sadece iki yada üç hareketin birbiriyle etkileşimini hesaba katarlar.

Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli bir dubanın devrilme davranışı, efektif yer çekim sahası (effective gravitational field) ve uzun dalga yaklaşımına (long wave assumption) dayalı, yan sürüklenme (sway), dalıp-çıkma (heave) ve yalpa (roll) hareketlerini göz önünde bulunduran lineer olmayan (nonlinear) hidrodinamik model kullanılarak belirlenir. Bu model ilk defa Chen [16] tarafından geliştirilmiş olup güverteye su çullanmasından doğan hidrostatik etkileri de hesaba katmaktadır. Efektif yer çekim sahası aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$g_e(t) = g - \omega^2 \zeta \cos(\omega t + \varepsilon) \quad (1)$$

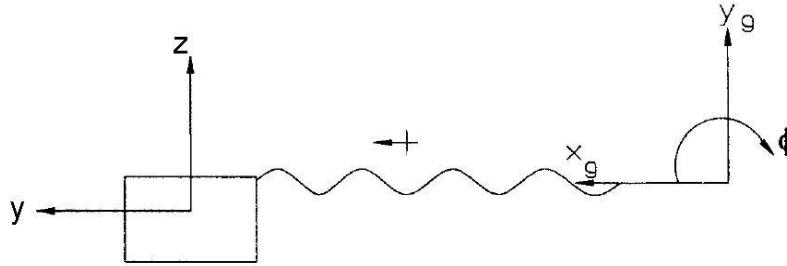
burada g yer çekimi ivmesi, ω dalga frekansı, ζ dalga genliği ve ε faz farkıdır.

Dalganın zamana bağlı yükselip alçalması (wave elevation) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\eta(x, t) = \zeta \cos(kx - \omega t + \varepsilon) \quad (2)$$

burada k dalga sayısı, ω dalga frekansı ve ζ dalga genliğidir.

Şekil 1'de, 0.3048m genişliğe (B), 0.1825m draфта (T), ve 0.0112m friboarda (f) sahip 0.66m boyunda dikdörtgen prizma şeklindeki bir dubanın hareket denklemlerini ifade eden bir matematiksel model oluşturulurken kullanılan koordinat sistemi gösterilmektedir.



Şekil 1. Koordinat sistemi [18]
(Figure 1. Coordinate system [18])

Bu dubanın hareket denklemleri denklem (3)'de gösterilmektedir [18].

$$\begin{bmatrix} m + a_{22} & 0 & a_{24} \\ 0 & m + a_{33} & 0 \\ a_{42} & 0 & I_{cg} + a_{44} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{y}_g \\ \dot{z}_g \\ \dot{\phi} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} b_{22} & 0 & b_{24} \\ 0 & b_{33} & 0 \\ b_{42} & 0 & b_1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{y}_g \\ \dot{z}_g \\ \dot{\phi} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho g e_2 \nabla + f_2^D \\ \rho g e_3 \nabla - mg + f_3^D \\ \rho g e_4 GZ + f_4^D \end{pmatrix} \quad (3)$$

burada

a_{ij}, b_{ij} : ek kütle ve sönüm katsayıları

f_j^D : dalga difraksiyon kuvvetleri

b_1 ve b_2 : lineer ve lineer olmayan yalpa sönüm katsayıları SHIPMO [19] programı kullanarak belirlenmektedir

g_{ei} : efektif yerçekiminin zamana bağlı yan sürüklenme (sway), dalıp çıkma (heave) ve yalpa (roll) bileşenleri

y_g : ağırlık merkezinin yanal sürüklenme konumu (sway position of center of gravity)

z_g : ağırlık merkezinin dalıp çıkma konumu (heave position of center of gravity)

ϕ : yalpa açısı

∇ : dubanın su altında kalan kısmının hacmi

GZ : Sakin sudaki dubanın doğrultma moment kolu

m : dubanın ağırlığı

ρ : suyun yoğunluğu

I_{cg} : Dubanın atalet momenti

4. ARTIK ENERJİ YÖNTEMİ İLE DUBANIN DENGESİNİN İNCELENMESİ (EXAMINATION OF THE STABILITY OF BARGE BY RESIDUAL ENERGY METHOD)

Dubanın dengesinin (stabilitesinin) incelenmesine artık enerji yöntemiyle hesaplamaya başlamadan önce, yalpa açısı ve yalpa açısal hızı başlangıç koşullarının oluşturduğu bir bölge tanımlanmalıdır. Bu bölge aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$A_\phi : \{ (\phi, \dot{\phi}) : -\phi_m \leq \phi \leq \phi_m, -\dot{\phi}_m \leq \dot{\phi} \leq \dot{\phi}_m \}$$

burada A_ϕ bölgesi 23×37 başlangıç koşulundan ibarettir. ϕ_m , en büyük başlangıç yalpa açısını göstermekte olup 11° olarak kabul edilir. $\dot{\phi}_m$, en büyük başlangıç yalpa açısal hızı olup 18 derece/saniye'dir.

Bu başlangıç koşulları için, denklem (3)'de gösterilen hareket denklemlerinden oluşan diferansiyel denklem sistemi, Runge Kutta Fehlberg yöntemiyle, devrilme kriterlerini (dubanın stabilitenin kaybolduğu açı $\phi_v = 11.4^\circ$, $y_{g_max} = 3\lambda$ ve $z_{g_max} = 1.1 \times f$) geçene yada simülasyon zamanının sonuna kadar integre edilir.

Simülasyon zamanı (20 dalga periyodu) tamamlanmadan devrilme kriterleri sağlanıyorsa (ϕ , ϕ_v 'yi veya y_g y_{g_max} 'ı veya z_g z_{g_max} 'ı aşıyor ise), incelenen yalpa açısı ve yalpa açısal hızı başlangıç koşulu çifti, güvenli olmayan yada devrilme başlangıç koşulu çifti olarak adlandırılır. Eğer tüm simülasyon boyunca devrilme kriterleri sağlanmıyor ise yalpa açısı ve yalpa açısal hızından oluşan başlangıç koşulu çifti güvenli başlangıç koşulu çifti olarak adlandırılır.

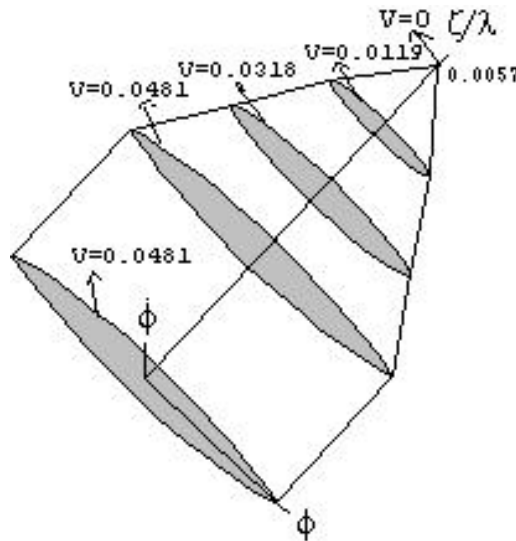
Devrilmeye sebep olan yalpa açısı ve yalpa açısal hızı başlangıç koşulu çiftinin her birinin enerjisi, denklem (4)'de gösterilen ifade yardımıyla hesaplanabilir.

$$\frac{\dot{\phi}_i^2}{2} + \frac{\Delta \phi_i}{I} \int_0^{\phi_i} GZ(\phi) d\phi = V_i \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

burada ϕ başlangıç yalpa açısı, $\dot{\phi}$ başlangıç yalpa açısal hızı ve V enerji değeridir.

Devrilmeye sebep olan yalpa açısı ve yalpa açısal hızı başlangıç koşulu çiftlerinin enerjilerinin en düşüğü dubanın artık enerji değerini gösterir.

Şekil 2'den görülebileceği gibi, dalga genliğinin boyuna oranının (ζ/λ) artması, dubanın artık enerjisinin azalmasına bu da yalpa açısı ve yalpa açısal hızı faz uzayındaki dubanın güvenli bölgesinin daralmasına başka bir deyişle devrilme olasılığının artmasına yol açar. Artık enerji sıfır ise, dubanın güvenle çalışabileceği bir başlangıç koşulu bölgesi yalpa açısı-yalpa açısal hızı faz uzayında mevcut değildir. Belli bir dalga genliğinden sonra artık enerjinin sıfıra eşit olduğu Şekil 2'den de görülebilir.

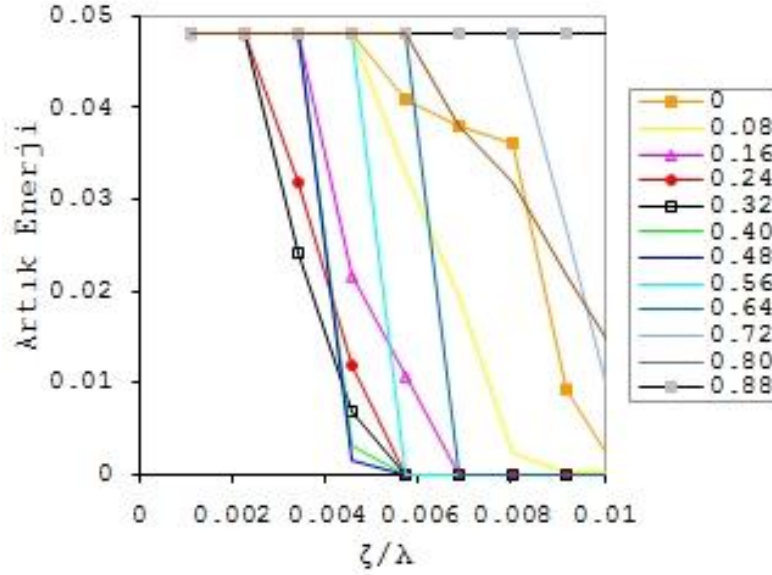


Şekil 2. Güvenli bölgelerin büyüklüğünün ζ/λ oranına bağlı değişimi
(Figure 2. Variation of safe basins due to ζ/λ ratio)

Şekil 3-6'da, dalga frekansının dubanın doğal frekansının üç katı olduğu durum için, sırasıyla başlangıç yan sürüklenme yer değiştirmesi (x_g), yan sürüklenme hızı (\dot{x}_g), dalıp çıkma yer değiştirmesi (y_g) ve dalıp çıkma hızındaki (\dot{y}_g) değişimlerin, dubanın dengesi üzerindeki etkileri, dubanın artık enerjisinin dalga genliğinin boyuna oranına (ζ/λ) bağlı değişimi ile gösterilmektedir. İncelenen parametrenin, dubanın dengesi üzerindeki etkisini net olarak gösterebilmek için incelenen parametreye haricindeki parametreler sabit tutulmaktadır. Örneğin, Şekil 3'de, yan sürüklenme yer değiştirmesinin etkisi gösterilirken, yan sürüklenme hızı, dalıp çıkma hızı ve yer değiştirmesi sabit tutulmaktadır.

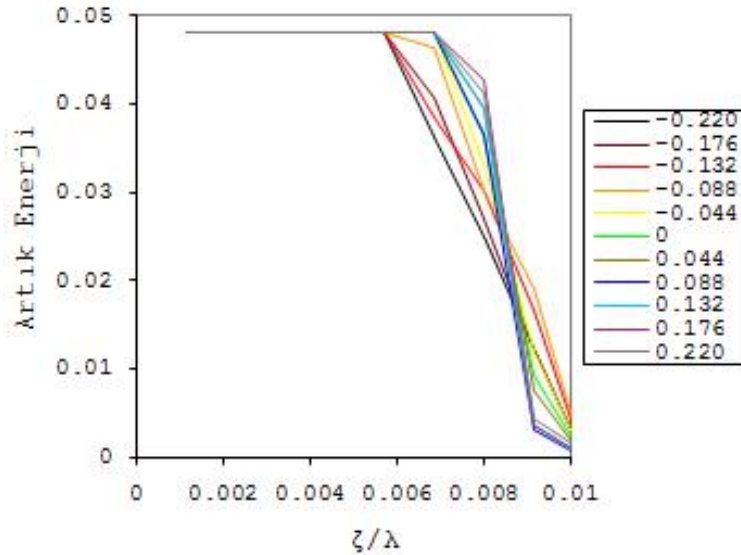
Şekil 3'den görülebileceği gibi, başlangıç yan sürüklenme yer değiştirmesinin dalga boyuna oranının (x_g/λ), dalga genliğinin boyuna oranı (ζ/λ) 0.003'den küçük olduğu zaman, dubanın dengesi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. (x_g/λ) oranı 0.16 ile 0.56 arasında olduğu ve (ζ/λ) oranı 0.003'den biraz fazla olduğu zaman ise artık enerji sıfır değerini almaktadır. (x_g/λ) oranı 0.8 ile 0.9 arasında olduğu zaman ise dubanın artık enerjisi (ζ/λ) oranı 0.012 olana dek sabit kalmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara dayanarak, başlangıç yan

sürüklenme yer değiştirmesinin değişiminin dubanın stabilitesi üzerinde son derece etkili olduğu söylenebilir.



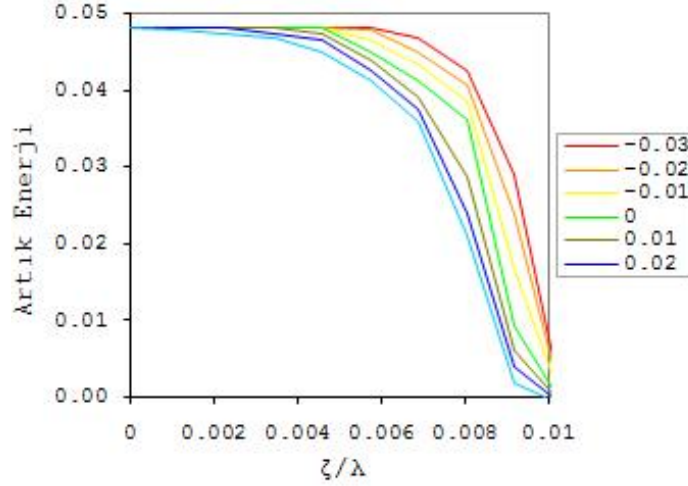
Şekil 3. Değişik (x_g/λ) oranları için artık enerjinin (ζ/λ) oranına bağlı değişimi
(Figure 3. Variation of residual energy due to the ratio (ζ/λ) for different (x_g/λ) ratios)

Şekil 4'den görülebileceği gibi, dalga genliğinin boyuna oranı (ζ/λ) 0.006'dan küçükken, yan sürüklenme hızının (\dot{x}_g) dubanın doğal frekansı (ω_0) ile genişliğinin (B) çarpımına oranının dubanın stabilitesi üzerinde bir etkisi yoktur. Yan sürüklenme hızının değişiminin dubanın stabilitesi üzerindeki etkisi ancak (ζ/λ) oranı 0.006'dan büyükken az da olsa gözlemlenmeye başlar.



Şekil 4. Değişik $\dot{x}_g/(\omega_0 B)$ oranları için artık enerjinin (ζ/λ) oranına bağlı değişimi
(Figure 4. Variation of residual energy due to (ζ/λ) ratio for different $\dot{x}_g/(\omega_0 B)$ ratios)

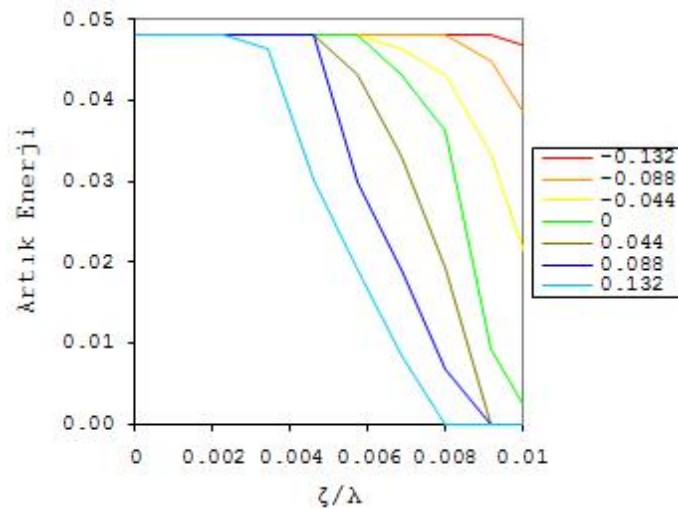
Şekil 5’de, başlangıç dalıp çıkma yer değiştirme miktarının dubanın genişliğine oranının (y_g/B), dubanın stabilitesi üzerindeki etkisi, artık enerjinin dalga genliğinin boyuna oranına (ζ/λ) bağlı değişimi ile gösterilmektedir. Bu şekilden, dalga genliğinin boyuna oranı 0.004’den büyük olduğu zaman dalıp çıkma yer değiştirmesinin dubanın stabilitesi üzerinde etkisi olduğu görülür.



Şekil 5. Değişik (y_g/B) oranları için artık enerjinin (ζ/λ) oranına bağlı değişimi

(Figure 5. Variation of residual energy due to (ζ/λ) ratio for different (y_g/B) ratio)

Şekil 6’da, dubanın stabilitesi üzerine dalıp çıkma hızının (\dot{y}_g) dubanın genişliği (B) ile doğal frekansının (ω_0) çarpımının oranının etkisi, dubanın artık enerjisinin dalga genliğinin boyuna oranı ile gösterilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi, belli bir dalga genliği boyuna oranından (ζ/λ) sonra dalıp çıkma hızının değişiminin dubanın stabilitesi üzerindeki etkisi yadsınamayacak kadar fazladır.



Şekil 6. Değişik $\dot{y}_g/(\omega_0 B)$ oranları için artık enerjinin (ζ/λ) oranına bağlı değişimi

(Figure 6. Variation of residual energy due to (ζ/λ) ratio for different $\dot{y}_g/(\omega_0 B)$ ratio)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmanın amacı, güverteye su çullanmasının hidrostatik etkilerini de hesaba katan lineer olmayan üç serbestlik dereceli bir matematiksel model kullanarak artık enerji yöntemiyle dubanın dengesinin incelenip, hangi parametrelerin dubanın dengesi üzerinde etkili olduğunun gösterilmesidir. Elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Dubanın dengesi, başta dalga genliğinin boyuna oranına, yalpa açısına ve yalpa açısız hızına bağlı olmak üzere, yan sürüklenme yer değiştirmesine ve dalıp çıkma hızına da büyük bir oranda bağlıdır.
- Belirli bir dalga genliğinden sonra duba kesinlikle devrilmektedir.
- Yan sürüklenme hızının ve dalıp çıkma miktarının değişiminin ise dubanın dengesi üzerindeki etkisi çok azdır. Bu etki de ancak belli bir dalga genliğinden sonra gözlemlenmektedir.

Artık enerji yöntemi, gemilerin veya dubaların devrilmesi gibi lineer olmayan ve bu sebepten ötürü başlangıç koşullarına son derece bağlı olayların incelenmesinde kullanılabilir ideal bir yöntemdir. Bu yöntemle, her türlü lineer olmayan sistemin stabilitesi incelenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Wright, J.H.G. and Marshfield, W.B, (1980). Ship roll response and capsize behavior in beam seas. Transactions of RINA, Volume:122, pp:129-149.
2. Grochowalski, S., (1989). Investigation into the Physics of Ship Capsizing by Combined Captive and Free running Model Tests. Transactions of Society of Naval Architects and Marine Engineers, Volume: 97, pp:169-212.
3. Cotton, B. and Spyrou, K.J., (2001). An experimental study of nonlinear behavior in roll and capsize. International Shipbuilding Progress, Volume:48, Number: 1, pp:5-18.
4. Falzarano, J.M., (1999). Predicting complicated dynamics leading to vessel capsize. PhD Thesis. University of Michigan, Ann Arbor.
5. Hsieh, S.R. et al. (1994). A nonlinear probabilistic method for predicting vessel capsizing in random beam seas. Proceedings of Royal Society London, Volume: A446, pp:1-17.
6. Jiang, C. et al. (1996). Highly nonlinear rolling motion of biased ships in random beam seas. Journal of Ship Research, Volume: 40, Number: 2, pp:125-135.
7. Odabasi, A.Y., (1978). Conceptual understanding of the stability theory of ships", Schiffstechnik, Volume:25, pp:1-18.
8. Ozkan, I.R., (1981). Total (practical) Stability of ships. Ocean Engineering, Volume:8, pp:551-598.
9. Caldeira, S.F., (1986). The boundedness of solutions of a Leinard Equation arising in the theory of ship rolling", IMA Journal of Applied Mathematics, Volume:36, pp:126-139.
10. Thompson, J.M.T., (1989). Loss of engineering integrity due to the erosion of absolute and transient basin boundaries. Proceedings of IUTAM Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, pp:313-320.
11. Soliman, M.S. and Thompson J.M.T., (1991). Transient and steady state analysis of capsize phenomena. Applied Ocean Research, Volume:13, Number:2, pp:82-92.

12. Rainey, R.C.T. and Thompson J.M.T., (1991). The transient capsize diagram—a new method of quantifying stability analysis. *Journal of Ship Research*, Volume:35, Number:1, pp:58-92.
13. Uçer, E. and Odabasi, A.Y., (2008). Significance of roll damping on weather criteria. *Trans. RINA International Journal of Maritime Engineering*, Volume:150, Number:A1, pp:1-8.
14. Üçer, E. and Helvacioğlu, I.H., (2008). Methods of safe basins and integrity curves for the non-linear systems. *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir*, ss:489-500, 15-17 Ekim 2008.
15. Long, Z.Z., Lee, S.K. and Kim, J.Y., (2010). Estimation of survival probability for a ship in beam seas using the safe basin. *Ocean Engineering*, Volume:37, pp:418-424.
16. Chen, S.L., (1999). Modeling, dynamics and control of large amplitude motions of vessels in beam seas. PhD Thesis. University of Michigan, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Ann Arbor, MI.
17. Lee, Y.W., (2001). Nonlinear ship motion models to predict capsize in regular beam seas. PhD Thesis. University of Michigan, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Ann Arbor, MI.
18. McCue, L., (2004). Chaotic vessel motions and capsize in beam seas. PhD Thesis. University of Michigan, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Ann Arbor, MI.
19. Beck, R.F. and Troesch, A.W., (1990). Students documentation and users manual for the computer program SHIPMO. BM., Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan, Ann Arbor.