



## Karışık Denizlerde Gemilerin Dalga Eğilme Momenti Hesabı

Ertekin BAYRAKTARKATAL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Türkiye  
bayrak@itu.edu.tr; ORCID ID: [orcid.org/0000-0002-7592-9995](https://orcid.org/0000-0002-7592-9995)

### Öz

*Bu makalede tipik bir dökme yük gemisi için değişik deniz durumlarında karşılaşılabilecek dalga eğilme momentleri hesaplanmakta ve IACS tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmaktadır. Dalga eğilme momentlerinin hesabında öncelikle düzenli dalgalar içindeki dalga eğilme momentleri dilim teorisine dayalı bir yazılım ile hesaplanmaktadır. Bu teorinin lineer olmasından kaynaklanan sarkma/çökme düzeltmeleri için yarı-ampirik yöntemler kullanılmaktadır. Düzenli dalgalarda hesaplanan dalga eğilme momenti transfer fonksiyonları lineer süperpozisyon prensibi çerçevesinde uygun dalga spektrumları ile birleştirilerek kısa süreli karışık deniz durumlarındaki dalga eğilme momenti değerleri hesaplanmaktadır. Uzun süreli dalga eğilme momentleri için geminin seyir yapacağı deniz sahasına ilişkin dalga istatistiklerinden yararlanılmakta ve geminin ömrü boyunca karşılaşması beklenen en yüksek dalga eğilme momenti değeri belirlenmektedir. Bu şekilde hesaplanan dalga eğilme momenti değerleri IACS tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Boyuna Mukavemet, Klas Kuruluşları, Dalga Eğilme Momenti.

## Calculation of Ship Wave Bending Moment in Irregular Seas

### Abstract

*In this article, wave bending moments which can be encountered in different wave conditions are calculated for a typical bulk carrier and compared with the values recommended by IACS. First, wave bending moments in regular waves are calculated by software based on strip theory. Semi-empirical methods are used for hog / sag correction due to the linearity of this theory. Wave bending moment transfer functions calculated at regular waves are combined with appropriate wave spectra in the context of linear superposition principle to calculate wave bending moment values in short term sea conditions. For long-term wave bending moments, the wave statistics for the sea area in which the ship will operate are utilized and the highest wave bending moment value expected to meet the ship's life is determined. The wave bending moment values calculated in this way are compared with the values recommended by IACS.*

**Keywords:** Longitudinal Strength, Classification Societies, Wave Bending Moment.

## 1. Giriş

Gemi dizaynında en temel aşamalardan biri geminin yapısını oluşturacak elemanların tip ve boyutlarının belirlenmesidir. Bu işlem sırasında dizayner bir yandan geminin güvenliğini birinci dereceden dikkate alırken diğer taraftan geminin en ekonomik şekilde inşa edilebilmesi ve misyonunu en verimli şekilde yerine getirmesi hususlarını da göz önünde bulunduracaktır [1].

Gemi yapısal dizayn özelliklerinin yeterince güvenli ve olabildiğince verimli şekilde belirlenebilmesi için temel veri geminin öngörülen ömrü süresince karşılaşılabilecek yapısal yüklerin önceden bilinmesidir. Gemilerin büyük çoğunluğu için temel dizayn yükü geminin boyuna eğilme momentidir. Geleneksel olarak sakin su ve dalga eğilme momentinin toplamı olarak ifade edilen bu değer pek çok gemi tipi için geminin yapısal güvenliğini belirlemede esas unsur olarak değerlendirilmektedir.

Dalgaların neden olduğu etkiler arasında düşey ve yatay eğilme momentleri, burulma momenti, kesme kuvvetleri, hidrodinamik basınç yükleri ve baş dövünmesi sayılabilir. Normal ticari gemiler için bu yükler arasında en önemlisi düşey eğilme momentidir. Ancak konteyner gemileri gibi geniş güverte açıklıklarına sahip gemiler ve çok tekneli gemiler için burulma momenti de kritik öneme sahip olacaktır.

Yapısal dizaynı mevcut bir geminin sakin sudaki eğilme momentini hesaplamak rutin bir işlem olmakla birlikte geminin ömrü boyunca karşılaşılabilecek değişik deniz koşullarında ortaya çıkacak dalga eğilme momentlerini belirlemede karşılaşılan zorluklar nedeniyle dizayner çoğu zaman klas kuruluşları tarafından önerilen ampirik formülleri esas almaktadır. Bu formüller gemi ana boyutları, blok katsayısı ve gemi hızı gibi temel dizayn parametrelerine bağlı olup geminin form ve ağırlık dağılımı özellikleri ile çalışma koşulları dikkate alınmamaktadır.

Oysa lineer dilim teorisi ile aşırı olmayan deniz durumlarındaki dalga eğilme momenti transfer fonksiyonlarını güvenilir bir şekilde belirlemek mümkündür. Lineer spektrum teknikleri kullanılarak herhangi bir kısa süreli deniz durumunda karşılaşılabilecek istatistiksel dalga eğilme momentlerini hesaplamak mümkün olmaktadır [2]. Bu yaklaşımın özellikle konvansiyonel olmayan gemilerde uygulandığı görülmektedir. Örneğin Paik ve diğerleri [3] 90,000 dwt çift cidarlı bir tanker için lineer spektrum tekniklerini kullanarak değişik olasılık düzeylerindeki dalga eğilme momenti değerlerini hesaplamışlardır. Bu amaçla gemi 20 eşit aralıklı istasyona bölünmüş ve bu kesitler için hidrodinamik katsayılar Frank Close-Fit [4] yöntemi ile hesaplanmıştır. Dilim teorisi kullanılarak değişik yüklemelerdeki dalga eğilme momentleri hesaplanmış ve balast durumunda 20 yıllık gemi ömrüne karşılık gelen 10-8 olasılık düzeyi için hesaplanan dalga eğilme momenti değerinin DnV [5] tarafından önerilen maksimum dalga eğilme momentini aştığı gösterilmiştir.

Diğer bir tipik uygulamada [6] boy/genişlik oranı Klas kurallarının uygulanabilmesi için aşırı düşük olan bir ürün tankeri için dalga eğilme momentinin dizayn değeri lineer dilim teorisi ile hesaplanmış ve bulunan değer IACS UR S11 [7] tarafından verilen değer ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu hesaplanan dalga eğilme momenti değerinin IACS UR S11 tarafından verilen değerden yaklaşık % 20 daha fazla olduğu gösterilmiştir.

Geminin karşılaşılabilecek dalgalar ile ilgili deniz sahasına ait uzun vadeli dalga istatistiklerinin de mevcut olması durumunda uzun vadeli istatistiksel dalga eğilme momentlerinin hesaplanması da mümkündür. Kullanılan teorinin lineer olması nedeniyle yüksek deniz şiddetlerinde nonlineer etkiler için düzeltme yapılması zorunlu olup literatürde bu amaçla kullanılan değişik yarı ampirik yöntemler mevcuttur [8, 9].

Bu makalede tipik bir dökme yük gemisi için değişik deniz durumlarında karşılaşılabilecek dalga eğilme momentleri hesaplanmakta ve geminin ömrü boyunca karşılaşması beklenen en yüksek dalga eğilme momenti değerleri Klas Kuruluşları tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmaktadır. Dalgalı bir denizde gemiye etkiyen toplam eğilme momenti aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$M_T = M_S + M_W$$

Sakin su eğilme momenti ( $M_S$ ) geminin sakin suda sarkma veya çökme durumunda en kötü yükleme koşulunda ortaya çıkabilecek moment değeri olup basit kiriş teorisinden hareketle ağırlık ve sephiye dağılımları arasındaki fark ile temsil edilen yük eğrisinin çift integrasyonu ile hesaplanabilir.

Klas kuruluşları ve IACS, ( $M_W$ ) dalga eğilme momentini hesaplayabilmek üzere ampirik formüller önermektedir [7, 10, 11, 12]. Bu formüller yazım farklılığı gösterse de aynı değerleri vermektedirler. Örneğin Türk Loydu'nun (TL) verdiği bağıntılar aşağıda verilmiştir.

Bu bağıntılarda verilen değişkenler Türk Loydu kurallarından [10] kolaylıkla elde edilebilir.

$$M_W = 0,19 \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B \cdot C_W \cdot C_L \cdot C_M \quad (\text{kNm}) \text{ sarkma durumu (+)}$$

$$M_W = -0,11 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot C_W \cdot C_L \cdot C_M \quad (\text{kNm}) \text{ çökme durumu (-)}$$

Klas kuruluşları tarafından önerilen ampirik yöntemler yerine kullanılacak daha gerçekçi bir yöntem geminin matematiksel olarak tanımlanmış bir deniz sahasındaki eğilme momenti değerlerini hesaplamak ve istatistiksel yöntemler kullanarak belli kritik sınır değerleri aşılması olasılığını belirlemek olacaktır. Bu tür bir yöntemi uygulayabilmek için aşağıdaki aşamaların gerçekleştirilmesi gerekecektir:

- 1) Değişik yönlerden gelen farklı yükseklik ve periyoda sahip dalgalardan oluşan bir deniz sahasının dalga spektrum teknikleri kullanılarak matematiksel olarak temsil edilmesi,
- 2) Karışık denizleri oluşturduğu kabul edilen düzenli dalga bileşenleri içindeki geminin eğilme momenti transfer fonksiyonlarının sayısal olarak belirlenmesi
- 3) Lineer süperpozisyon prensibi çerçevesinde düzenli dalgalardaki eğilme momenti transfer fonksiyonlarını kullanarak karışık denizlerdeki kısa süreli deniz durumları için istatistiki eğilme momenti değerlerinin hesaplanması
- 4) Geminin hayatı boyunca karşılaşması olası en büyük eğilme momentlerini hesaplamak üzere öncelikle geminin çalışacağı denizlerde karşılaşılması beklenen deniz durumlarını karakterize eden dalga özellikleri ve deniz durumlarının karşılaşılma olasılığı bilinmelidir. Bu istatistiki verinin mevcut olması halinde uzun süreli deniz durumları için belli bir olasılıkla karşılaşılması en yüksek dalga eğilme momenti hesaplanabilecektir.

## 2. Düzenli Dalgalardaki Dalga Eğilme Momenti

Dalgalı bir denizde yol alan bir geminin herhangi bir kesidine ( $j$ ) etkiyen dinamik kesme kuvveti aşağıdaki gibi atalet kuvveti ile dış kuvvetlerin farkı olarak yazılabilir:

$$V_j = I_j - R_j - E_j - D_j$$

Burada  $I$  atalet kuvvetini,  $R$  hidrostatik geri getirme kuvvetini,  $E$  dalga kuvvetini ve  $D$  geminin hareketinden kaynaklanan hidrodinamik kuvveti temsil etmektedir. Benzer şekilde gemi boyunca herhangi

bir noktadaki eğilme momenti de atalet momenti ile dış momentlerin farkı olarak hesaplanabilecektir. Gemi boyunca etkiyen düşey atalet kuvveti ve herhangi bir kesite etkiyen düşey atalet momenti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$I_V = \int_L m(\ddot{\eta}_3 - x\ddot{\eta}_5) dx$$

$$I_M = - \int_L m(x - \xi)(\ddot{\eta}_3 - x\ddot{\eta}_5) dx$$

Burada  $I_V$  düşey atalet kuvvetini,  $I_M$  gemi ağırlık merkezinden  $\xi$  uzaklıktaki bir kesite etkiyen düşey atalet momentini,  $L$  gemi boyunu,  $\ddot{\eta}_3$  dalıp çıkma hareketinden kaynaklanan düşey ivmeyi,  $\ddot{\eta}_5$  baş kışurma hareketinden kaynaklanan düşey ivmeyi temsil etmektedir. Hidrostatik geri getirme kuvveti ve momenti gemi su hattı alanı formuna bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$R_V = -\rho g \int_L b(\eta_3 - x\eta_5) dx$$

$$R_M = \rho g \int_L b(x - \xi)(\eta_3 - x\eta_5) dx$$

Burada  $b$  su hattı genişliğini temsil etmektedir. Dalga kuvvetleri Froude-Krylov ve Difraksiyon bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilmekte ve dilim teorisi yaklaşımı ile hesaplanmaktadır. Geminin hareketinden kaynaklanan hidrodinamik kuvvet ise eksü ve sönüm katsayılarından yararlanılarak hesaplanmakta ve iki boyutlu eksü ve sönüm katsayıları Frank Close-Fit yöntemine göre hesaplanmaktadır. Dalga kuvvetleri ve hidrodinamik kuvvetlerin hesabı ile ilgili detaylar [13] nolu kaynakta bulunmaktadır.

### 3. Kısa Süreli Deniz Durumu için Dalga Eğilme Momenti Hesabı

Kısa süreli (yaklaşık 3 saate kadar) deniz durumlarında dalga eğilme momentinin hesabında bu deniz durumlarında karakteristik dalga yüksekliği ve dalga periyodunun sabit kaldığı ve deniz durumunun istatistikî özelliklerini belirleyen bir dalga spektrumunun mevcut olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda lineer süperpozisyon prensibine göre geminin dalga eğilme momenti spektrumu aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir:

$$S_R(\omega_e, H_S, T_Z) = |RAO(\omega_e)|^2 \cdot S_\zeta(\omega_e, H_S, T_Z)$$

burada  $RAO(\omega_e)$  ilgili dalga karşılaşma frekansındaki ( $\omega_e$ ) dalga eğilme momenti transfer fonksiyonunu,  $S_\zeta(\omega_e, H_S, T_Z)$  ise karakteristik dalga yüksekliği  $H_S$  ve dalga periyodu  $T_Z$  için tanımlanan dalga spektrumunu temsil etmektedir. Geminin dalgalarla karşılaşma frekansı gemi hızı,  $V$ , ve dalga yönüne,  $\mu$ , ve dalga frekansına,  $\omega$  bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir.

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 V}{g} \cos \mu$$

Bu durumda verilen bir deniz durumunda eğilme momenti için varyans değeri,

$$m_0(\omega_e, H_S, T_Z) = \int_0^\infty S_R(\omega_e, H_S, T_Z) d\omega_e$$

şeklinde hesaplanabilecektir. Bu durum tüm dalgaların aynı hakim yönden gelmeleri halini yansıtmaktadır. Oysa dalgaların hakim yön çevresinde yayılmış olması daha gerçekçi bir durumdur. Bu durumu yansıtabilmek üzere aşağıdaki şekilde bir dalga yayılma fonksiyonu,  $f_S(\beta)$ , tanımlanmalıdır.

$$\sum_{\beta_0-90^\circ}^{\beta_0+90^\circ} f_S(\beta) = 1$$

Burada  $\beta$  hakim dalga yönünü temsil etmektedir. Böylece kısa süreli karışık bir deniz durumunda dalga eğilme momenti için varyans değeri

$$m_0(\omega_e, H_S, T_Z) = \int_0^{\infty} \sum_{\beta_0-90^\circ}^{\beta_0+90^\circ} f_S(\beta) S_R(\omega_e, H_S, T_Z) d\omega_e$$

olarak hesaplanabilecektir. Kısa süreli deniz durumunda dalga genliklerinin dağılımının bir Rayleigh dağılımı özelliklerine sahip olduğu kabulü ile eğilme momenti için tanımlanmış bir  $x$  değerinin aşılması olasılığı aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$P(M_W > X) = \exp\left(-\frac{X^2}{2m_0}\right)$$

Burada varyansı temsil etmektedir. Kısa süreli bir deniz durumu için karşılaşılması olası en yüksek eğilme momenti değeri aşağıdaki formüle göre belirlenebilecektir;

$$X = \sqrt{2m_0 h N}$$

Burada  $N$  kısa süreli deniz durumunda karşılaşılması beklenen dalga sayısını temsil etmektedir. Tipik olarak 3 saat kabul edilebilen bir kısa süreli deniz durumu için  $N$  1000 alınabilir. Lineer teori tarafından belirlenemeyen sarkma ve çökme durumundaki dalga eğilme momentlerini hesaplayabilmek üzere IACS UR S11 tarafından önerilen aşağıdaki yaklaşımdan hareket edilebilir.

$$\frac{M_{COKME}}{M_{SARKMA}} = \frac{C_B + 0.7}{1.73C_B} = R$$

Diğer taraftan lineer teoriye göre belirlenen dalga eğilme momenti sarkma ve çökme durumlarının ortalaması olacaktır.

$$M_L = \frac{M_{COKME} + M_{SARKMA}}{2}$$

Bu durumda lineer teoriye göre hesaplanmış dalga eğilme momenti kullanılarak sarkma ve çökme eğilme momentleri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$M_{SARKMA} = \frac{2M_L}{1+R} = \frac{3.46C_B M_L}{2.73C_B + 0.7} \quad \text{ve}$$

$$M_{COKME} = \frac{2RM_L}{1+R} = \frac{2(C_B + 0.7)M_L}{2.73C_B + 0.7}$$

Özellikle narin gemiler için Guedes Soares [9] aşağıdaki nonlineer düzeltmeyi önermektedir.

$$\frac{M_{COKME}}{M_L} = 1.74 - 0.93C_B \quad \frac{M_{SARKMA}}{M_L} = 0.26 + 0.93C_B$$

#### 4. Uzun Süreli Deniz Durumu için Dalga Eğilme Momenti Hesabı

Uzun süreli dalga eğilme momenti hesabında en önemli veri geminin çalışacağı denizlere ait uzun süreli dalga istatistikleridir. Uzun süreli dalga eğilme momenti hesabında farklı kabuller yapılması zorunlu olduğundan farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu hesabı standartlaştırmak üzere IACS tavsiye niteliğinde bir istatistiki prosedür önermiştir. Dizayn eğilme momentinin karşılaşılma olasılığının  $10^{-8}$  olması gerektiği esasına dayalı bu prosedür aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- 1) Dalga yüksekliği olasılıkları için Global Wave Statistics (GWS) tarafından tanımlandığı şekliyle [14] Kuzey Atlantik'te 8, 9, 15 ve 16 numaralı bölgelere ait dalga dağılım diyagramları kullanılacaktır.
- 2) Gemi hızı sıfır alınacaktır.
- 3) Dalga spektrumu olarak iki parametrelili ITTC spektrumu tavsiye edilmektedir.
- 4) Dalga yayılma fonksiyonu olarak kullanılacaktır.
- 5) Tüm dalga yönlerinin karşılaşılma olasılığı eşit kabul edilecektir.
- 6) Uygun nonlineer düzeltmeler uygulanacaktır.

Geminin seyir yapacağı deniz sahalarına ait uzun vadeli dalga istatistiklerinin bilinmesi durumunda, öncelikle

karşılaşılması olası her bir deniz durumu için, kısa vadeli maksimum dalga eğilme momentleri hesaplanacak ve bu değerler ile her bir deniz durumunun karşılaşıma olasılığı kullanılarak uzun vadeli deniz durumları için belli maksimum dalga eğilme momenti değerlerinin aşılma olasılığı belirlenebilecektir.

$$P_u(M_w > X) = \int_0^{\infty} P_k(M_w > X) \times f$$

Uzun vadeli dalga eğilme momenti değeri uzun vade tanımına bağlı olarak değişecektir. Bu hesaplamalarda yirmi senelik gemi ömrüne karşılık gelen  $10^{-8}$  olasılık değeri esas alınmaktadır.

## 5. Uygulama

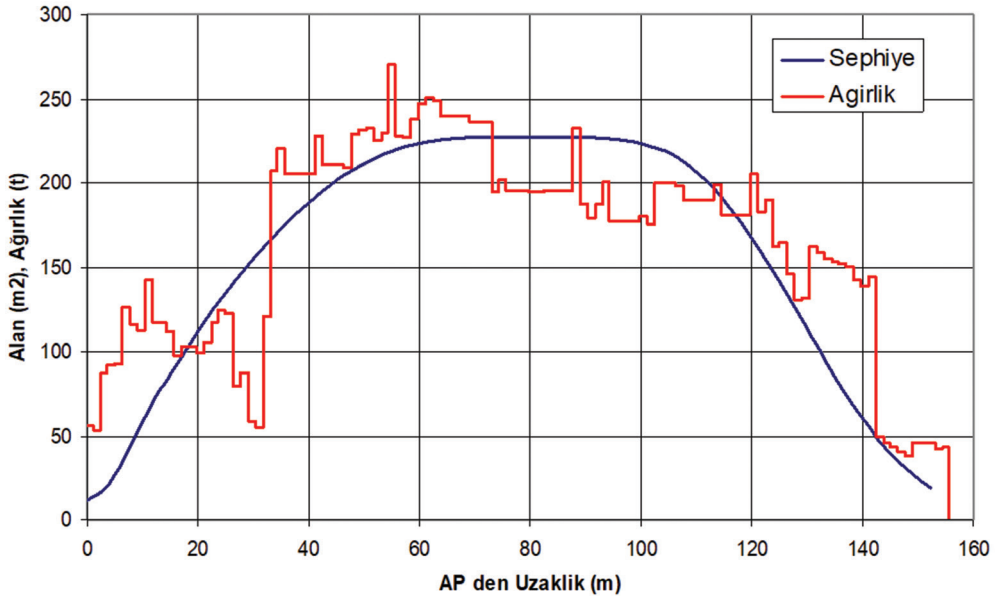
Yukarıda açıklanan prosedürlerin bir uygulaması olarak aşağıdaki tabloda genel özellikleri verilen bir dökme yük gemisi ele alınmıştır. Geminin ağırlık ve sephiye dağılımları Şekil 1'de görülmektedir. Bu dağılımlardan hareket edilerek elde edilen yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti dağılımları ise Şekil 2'de sunulmaktadır.

**Tablo 1. Dökme Yük Gemisi Genel Özellikleri**

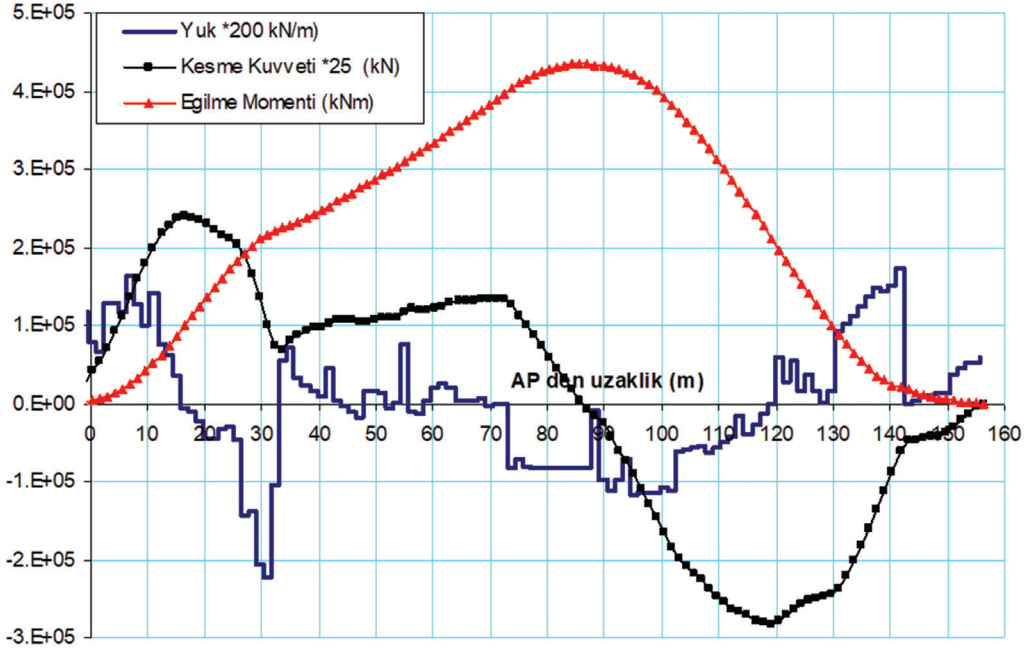
Dikeyler arası boy	$L_{BP}$	152.4 m
Genişlik	B	23.05 m
Su çekimi	T	10.079 m
Derinlik	D	13.4 m
Deplasman	$\Delta$	24900 t
Blok katsayısı	$C_B$	0.686
Orta kesit katsayısı	$C_M$	0.976

Karışık dalgalar içindeki bir gemiye etkiyen dalga eğilme momentini hesaplamada ilk aşama geminin düzenli dalgalardaki dalga eğilme momenti transfer fonksiyonlarını hesaplamaktır. Bu transfer fonksiyonları ilgili geminin karşılaşması olası tüm dalga frekansları için hesaplanmalıdır. Şekil 3 ve 4'te ele alınan dökme yük gemisine ait sıfır hızda hesaplanmış düzenli dalgalar içindeki kesme kuvveti ve eğilme momenti transfer fonksiyonları sunulmaktadır.

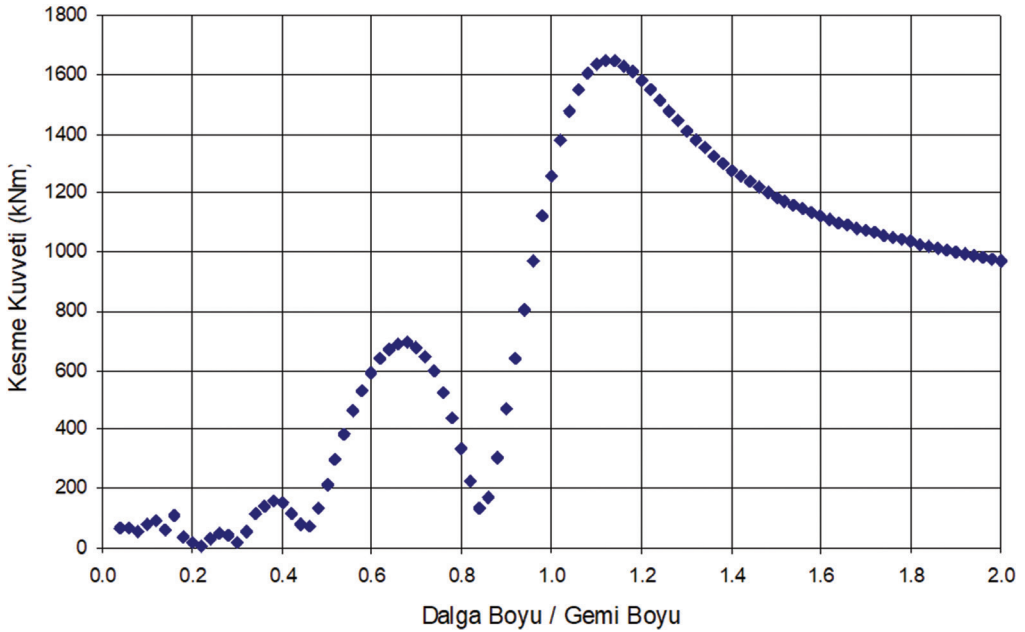
Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılarak değişik dalga yükseklikleri için hesaplanan kısa süreli maksimum dalga eğilme momenti değerleri Şekil 5'te



**Şekil 1. Sephiye ve Ağırlık Dağılımları**



Şekil 2. Yük, Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Dağılımları

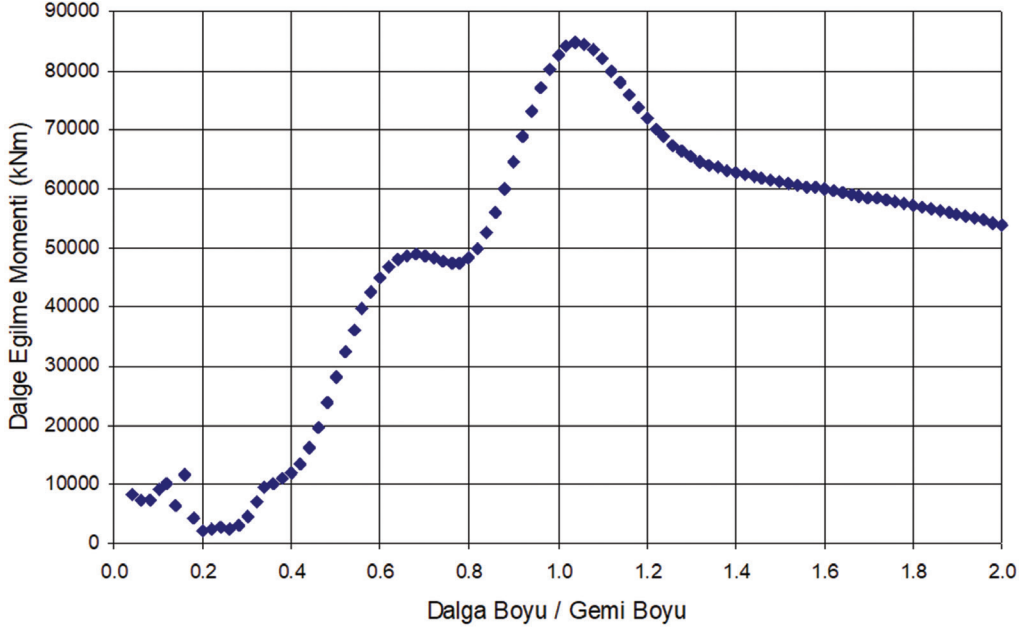


Şekil 3. Baştan Gelen Düzenli Dalgalardaki Kesme Kuvveti Transfer Fonksiyonları

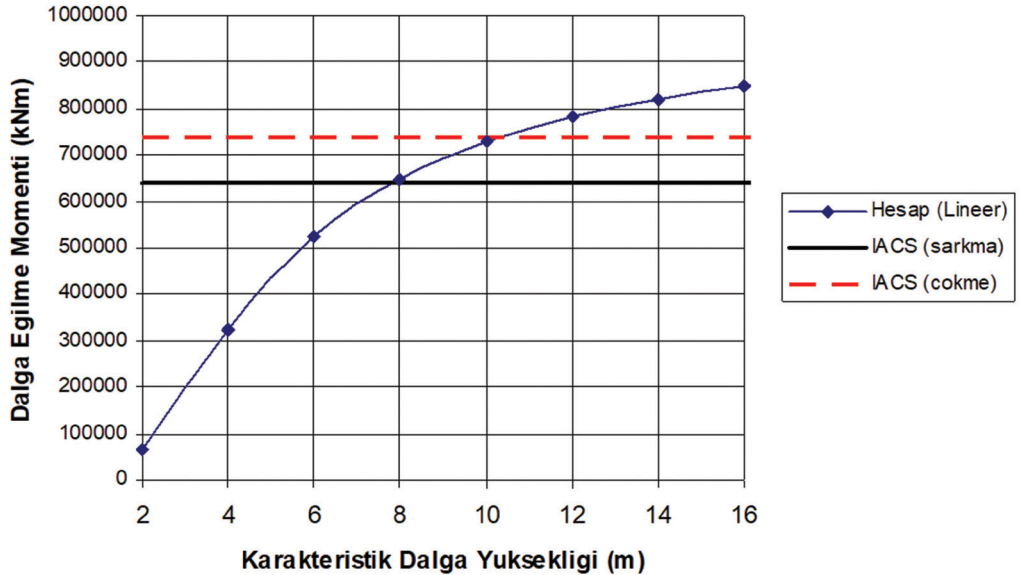


sunulmaktadır. Aynı grafikte TL kuralına göre hesaplanmış dalga eğilme momenti değerleri de görülmektedir. TL kuralına göre hesaplanmış dalga eğilme momenti değerleri lineer teoriye göre hesaplanmış

değerler ile karşılaştırıldığında sarkma durumu için yaklaşık 8 metre, çökme durumu için ise yaklaşık 10 metre karakteristik dalga yüksekliğine karşılık geldiği görülmektedir.



Şekil 4. Baştan Gelen Düzenli Dalgalardaki Eğilme Momenti Transfer Fonksiyonları



Şekil 5. Lineer Dilim Teorisine Göre Hesaplanan Kısa Süreli Maksimum Dalga Eğilme Momentlerinin IACS Kural Değerleri ile Karşılaştırması



Lineer dalga teorisine göre hesaplanmış eğilme momenti değerlerinden hareketle IACS düzeltmesine dayanarak elde edilen sarkma ve çökme dalga eğilme momenti aşağıdaki gibidir. Bu formüllere göre hesaplanmış dalga eğilme momentleri Şekil 6'da IACS kuralına göre hesaplanmış değerler ile karşılaştırılmaktadır.

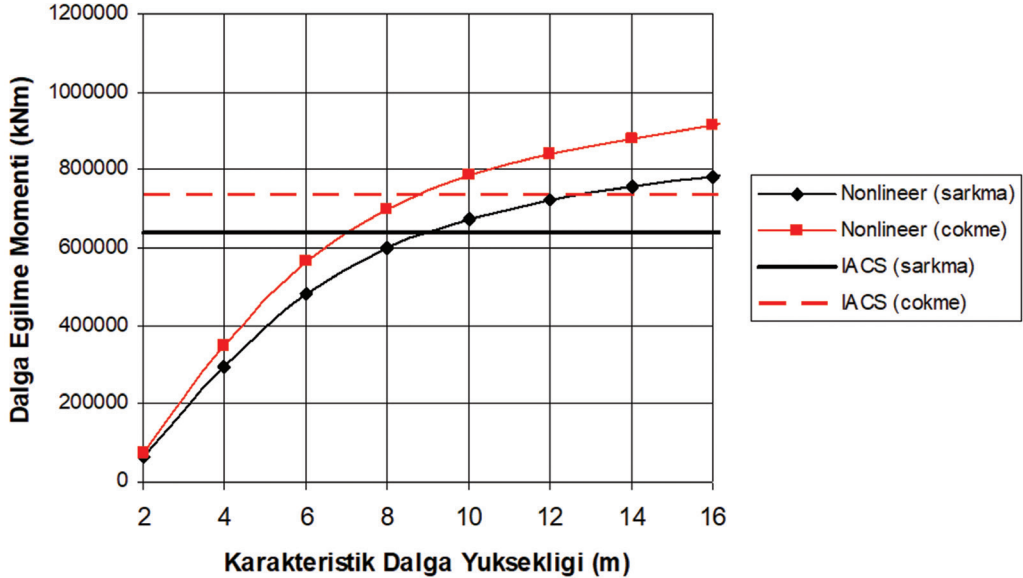
$$M_{SARKMA} = \frac{2M_L}{1+R} = \frac{3.46C_B M_L}{2.73C_B + 0.7} = 0.922M_L$$

$$M_{COKME} = \frac{2RM_L}{1+R} = \frac{2(C_B + 0.7)M_L}{2.73C_B + 0.7} = 1.077M_L$$

Uzun süreli dalga eğilme momenti hesaplamaları seçilen deniz sahasına bağlı olarak değişecektir. Örneğin Akdeniz [15] ve Kuzey Atlantik için hesaplanmış değerler aşağıda karşılaştırılmaktadır.

**Tablo 2.** Uzun Süreli Dalga Eğilme Momenti Değerleri

	Lineer (kNm)	Sarkma (kNm)	Çökme (kNm)
Akdeniz	851617	785191	917192
Kuzey Atlantik	1025466	945480	1104427



**Şekil 6.** Hesaplanmış Nonlineer Kısa Süreli Maksimum Dalga Eğilme Momentlerinin IACS Kural Değerleri İle Karşılaştırması

## 6. Sonuç

Bu makalede tipik bir dökme yük gemisinin değişik deniz durumlarında karşılaşılabileceği dalga eğilme momentleri hesaplanmış ve Klas Kuruluşları ve IACS tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, lineer dilim teorisi ile hesaplanan kısa vadeli maksimum dalga eğilme momenti değerleri, Klas Kuruluşları ve IACS tarafından verilen hesaplamalardaki sarkma durumu için yaklaşık 8 metre, çökme durumu için ise yaklaşık 10 metre karakteristik dalga yüksekliğine karşılık geldiği görülmüştür. Nonlineer kısa vadeli maksimum dalga eğilme momenti değerleri ise sarkma ve çökme durumlarının ikisi için de yaklaşık 9 metre karakteristik dalga yüksekliğine karşılık geldiği görülmüştür. Nonlineer

hesap dikkate alınır, Klas Kuruluşları ve IACS kurallarına göre elde edilen eğilme momenti değerleri örnek geminin yaklaşık 9 m karakteristik dalga yüksekliğine kadar güvenli olduğu, daha yüksek karakteristik dalga yüksekliklerinde ise makalede belirtilen hesaba göre daha küçük eğilme momenti değerleri verdiği görülmüştür. Ayrıca Tablo 2 dikkate alınır, Akdeniz ve Kuzey Atlantik bölgeleri için yapılan Uzun Süreli dalga eğilme momenti hesabına göre Kuzey Atlantik için yapılan hesaplamalarda Akdenize göre örnek gemi için yaklaşık olarak %20 daha büyük eğilme momenti hesaplanmıştır. Dizayn aşamasında bu hususlara dikkat edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

### Kaynaklar

- [1] Sarıöz, K. (1995). Gemi İnşaatı Ders Notları (Gemi Ön Dizaynı), İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 1995:1558.
- [2] Li M., Boulougouris E., Lazakis I. ve Theotokatos G. (2016). Analysis of the Wave-Induced Vertical Bending Moment and Comparison with the Class Imposed Design Loads for 4250 TEU Container ship, International Conference on Maritime Safety and Operations, Glasgow, UK, 13th – 14th October 2016.
- [3] Paik J. K., Kim D. H., Bong H. S., Kim M. S. ve Han S. K. (1992). Deterministic and Probabilistic Safety Evaluation for a New Double-Hull Tanker with Transverseless System, SNAME Transactions, 1992:100.
- [4] Frank W. (1967). Oscillation of Cylinders in or below the Free-Surface of Deep Fluids, NSRDC Report 2375, Naval Ship Research and Development Centre, 1967.
- [5] Fatigue Strength and Ultimate Capacity Check of Container Vessels Including the Effect of Springing and Whipping, Classification Notes, No 30.12, det Norske Veritas, July 2013.
- [6] Parunov J., Senjanovic I. ve Pavicevic M. (2004). Determination of Design Wave Bending Moments by Hydrodynamic Analysis, 16th Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding, SORTA 2004, 21-23 October 2004, Plitvice, Croatia.
- [7] IACS, (2012). Common Structural Rules for Bulk Carriers, Chapter 4, Section 3, Hull Girder Loads 2012.
- [8] Mansour A. E. ve Wasson J-P. (1995). Charts for Estimating Nonlinear Hogging and Sagging Bending Moments, Journal of Ship Research, 1995:39(3).
- [9] Guedes Soares, C. (1996). On the Definition of Rule Requirement for Wave Induced Vertical Bending Moments, Marine Structures, 1996:9.
- [10] Türk Loydu Tekne Yapım Kuralları, (2017). Kısım 1, Bölüm 6, Boyuna Mukavemet.
- [11] DNV-GL Rules and Standards, Part 3, Chapter 4, Section 4, Dynamic Hull Girder Loads, 2017.
- [12] ABS, (2012). Rules For Building And Classing, Steel Vessels, Part 3, Chapter 2, Section 1, Longitudinal Strength, Wave Loads.
- [13] Salvesen, N., Tuck, E. O. ve Faltinsen, O. (1970). Ship Motions and Sea Loads, Trans. SNAME, 1970:78.
- [14] Lee, T., W. (1995). Global Wave Statistics for Structural Design Assessments, Naval Surface Warfare Center, Research and Development Report, NSWCCD-HD-1048-01.
- [15] Özhan E., Middle East Technical University, NATO TU-Waves Project Technical Document (1994-2002).