

## The Effect of a New Mooring Point Location Selection on the Mooring Plan Load Distribution

### Yeni Bir Bağlama Noktası Yerleşiminin Bağlama Planı Yük Dağılımına Etkisi

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: XX Sayı: XX (20XX) XX-XX

Kerim Ziylan<sup>1,\*</sup> , Selçuk Nas<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir, Türkiye

#### ÖZET

Limanlarda bağlı gemiler operasyonları süresince sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Çevresel ve operasyonel yükler sebebiyle gemi üzerinde oluşan kuvvet ve momentler bağlama halatları ve usturmaçalarla sönmülmeye çalışılmaktadır. Bu süreçte en aktif görev alan ekipmanların başında ise bağlama halatları gelmektedir. Bağlı gemileri limandan uzaklaştıracak yöndeki kuvvet ve momentler usturmaçaları geçersiz kılarak bu sönmüleme işini bağlama halatlarına yıkmaktadır. Bu durumda halatlar üzerinde oluşacak yükün ve bu yükün dağılımının tespiti, halatların yük taşıma sınırları sebebiyle büyük bir önem kazanmaktadır. Çalışmamızda, denizcilik ekosisteminde yaygınlaşan daha büyük gemiler sebebiyle, bir bağlama limanına eklenecek yeni bir bağlama noktasının konum seçimi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Seçilen VLCC sınıfı çok büyük ham petrol gemisinin kış halatı bağlama noktası koordinatları değiştirilerek bağlama halatları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda mevcut bağlama planında çalışma kapasitesine %83,3 oranında ulaşılmış kritik bir halat yükünün, aynı çevre koşullarında %73,3 seviyesine düşebileceği veya %94,0 seviyesine çıkabileceği keşfedilmiştir. Bu çıktı yeni bir bağlama noktası yerleşiminin, bağlama planı yük dağılımında önemli bir yeri olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Gemi bağlama analizi, Liman bağlama operasyonları, Gemi bağlama yükleri dağılımı, Optimoor.

#### Article Info

Received: 28 November 2023

Revised: 30 January 2024

Accepted: 2 April 2024

\* (corresponding author)

E-mail: ziylankerim@gmail.com

**To cite this article:** Ziylan, K., Nas, S. (20XX). The Effect of a New Mooring Point Location Selection on the Mooring Plan Load Distribution, *Turkish Journal of Maritime and Marine Science* XX (XX): XX-XX. doi: 10.52998/trjmms.1396984.

## ABSTRACT

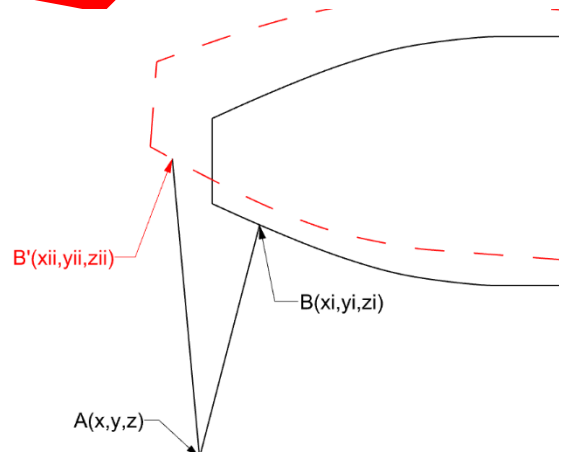
Ships moored in ports are tried to be kept stable throughout their operations. Forces and moments occurring on the ship due to environmental and operational loads are tried to be damped with mooring ropes and fenders. Mooring ropes are among the most active equipment in this process. The forces and moments that will move the moored ships away from the port render the fenders invalid and leave this damping job to the mooring ropes. In this case, determining the load that will occur on the ropes and the distribution of this load becomes of great importance due to the load carrying limits of the ropes. In this study, the research was conducted on the location selection of a new mooring point to be added to a mooring port, due to larger ships becoming more common in the maritime ecosystem. The effect on the mooring ropes of the selected VLCC class very large crude oil ship was examined by changing the stern rope mooring point coordinates. The results of the study demonstrated that a critical rope load, which reached 83.3% of its working capacity in the current mooring plan, could decrease to 73.3% or increase to 94.0% under the same environmental conditions. The output reveals that a new mooring point placement has an important position in the mooring plan load distribution.

**Keywords:** Ship mooring analysis, Port mooring operations, Ship mooring load distribution, Optimoor.

## 1. GİRİŞ

IMO (2023a) bağlama ekipmanının yeterliliğinin gemi sahibi ve tasarımcısına ait olduğunu açıkça belirtmektedir. Limanlar ise bağlama işleminin diğer ucundaki sorumlulardır. Bu sorumlulukların kontrolü için gemi bağlama analizleri yapılmakta ve halatların üzerine düşen yüklerin tespiti yapılmaya çalışılmaktadır. Gemilerin bağlamasında da kullanılan halatlar, matematik olarak tek yönlü çalışan yaylar gibi modellenenmektedir. Çekme kuvvetine reaksiyon gösterip, basma kuvvetine boşa düşükleri için tek yönlü çalışmaktadırlar. Ayrıca boyuna rijitlikleri (sertlikleri) çok az olduğu için moment de taşımamaktadırlar. Uygulanan kuvvet karşısında gösterdikleri uzama verisi bilinen halatlar nonlineer olarak değerlendirilir. Bu bilgi genelde fabrika testleri ile ürün kataloğuna işlenmektedir. Bilinmeyen halatlara Hooke's Law gereğince basit lineer yay yaklaşımı yapılabilir. İskele (İxyz) ve gemi (Gxyz) arasında bağlı bir halatın başlangıç durumundaki koordinatları iskelede A(x,y,z) ve gemi üzerinde B(x<sub>0</sub>,y<sub>0</sub>,z<sub>0</sub>) şeklinde olsun (Şekil 1). Bu durumdaki halatın matematiksel olarak anlamlı başlıca özellikleri Young Modülü (E), halat kesit alanı (A) ve halat boyudur (L<sub>0</sub>). Bir F kuvveti neticesinde geminin dönme ve/veya öteleme ile mevcut pozisyonu değişecektir. Böylece halatın gemi üzerinde bağlı olduğu B(x<sub>i</sub>,

y<sub>i</sub>, z<sub>i</sub>) noktası u<sub>xyz</sub> kadar yer değiştirip B'(x<sub>ii</sub>, y<sub>ii</sub>, z<sub>ii</sub>) noktasına taşınır. L<sub>0</sub> halat uzunluğu ise L<sub>1</sub> formuna ulaşacaktır. Lineer olarak basitleştirilmiş bir yaklaşımda kuvvet altında uzayan bir halatın, kesit alanı (A) ve Young Modülünün (E) sabit kaldığı kabul edilir.



Şekil 1. Gemi-İskele arası bağlı halat temsili

Bu durumda halatın sahip olduğu büyüklüklerin değişip değişmediği kontrol edilmelidir. Bu süreci Hooke yasasına göre lineer bir yay gibi modellersek,

$$-F \vec{u} = (E.A)/L * \Delta u \vec{u} \quad (1)$$

denkliği elde edilir. Bu denklikte (E.A)/L olarak geçen kısım "k" olarak yazılır ve herhangi bir

ekipmanın yay sabiti olarak anılır.  $\Delta u \rightarrow$  ise x, y, z eksenlerindeki uzamadır. Böylece gemiye bağlı tüm ekipmanın karakteristikleri birlikte değerlendirilerek, gemiye/limana özel bağlama sistemi planları ve analizleri yapılmaktadır. DDS 582-1 kodlu Amerikan Donanması'na ait 1987 tarihli çalışma, bağlama sistemlerine dair hesaplamalar konusunda genel yaklaşıma dair derli bir tablo sunmaktadır.

Natarajan ve Ganapathy (1995) limana bağlı gemilerin bağlama analizleri üzerine yaptıkları çalışma ile "Ship Moor" isimli bir analiz programı geliştirmişlerdir. Çalışmanın detayları bağlama analizi konusunda DDS582-1 (1987) ile sunulan yöntemin detaylandırmak için kullanılabilir.

Lee vd., (2021) dünya çapında bağlama operasyonlarının güvenle yürütülebilmesi için bağlama problemlerinin çözülmesi gerektiğini aktarmaktadırlar. Bağlama halatlarının gerilme, sürtünme, burkulma yorgunluğu ve sıcaklık etkisiyle deforme oluşuna dair simülasyonlar ile incelemelerde bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda daha etkin bağlama yöntemleri tavsiyeleri geliştirmiş, limanların hem verimliliğine hem de güvenliğine pozitif katkıda bulunmuşlardır.

Valet vd., (2013) İsviçre'de bir halat kopma kazası sonucunda bir çocuğun başından yaralanması şeklinde gerçekleşen kazayı incelemişlerdir. Rüzgar hızında gerçekleşen kısa süreli hız artışı (wind gust) sebebiyle gerçekleşen kazada, kopan halatın daha önceden deformasyonu olup olmadığı, bir ihmal durumu olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda yeni koşuldaki bir halatın kopabileceği, hatta daha kalın bir halat kullanılsa bile daha fazla gerilip kopacağı için daha büyük sorunlar oluşturabileceği bulunmuştur.

Lee vd., (2015) donanma gemilerinin okyanus dalgaları altındaki halat yüklerini düşürmek üzere öneriler geliştirmiş ve hata analizi gerçekleştirmişlerdir. Dalga etkilerini de dahil ederek gemi hareketlerini incelemiş ve özellikle dalga kaynaklı sürüklenme kuvvetinin bağlama sisteminin başarısızlığındaki başlıca sebebi olduğunu aktarmışlardır. Çalışmalarında inceledikleri örnek durumlar neticesinde bazen bağlama sisteminin yetersiz olduğunu, bazen de çevresel koşulların tasarlanan çevre koşulu

sınırlarını aştığını tespit etmişlerdir.

Dalga gibi çevre koşullarının bağlama sistemine etkisi incelenirken hava koşullarının dikkate alınması faydalı olacaktır. Turna vd., (2022) buz tutan deniz suyunun gemi gövdesi üzerinde oluşturduğu direnç artışını ve kar sebebiyle gemi güvertesinde oluşan yüklerle ilgili yaptıkları çalışmada önemli tespitlerde bulunmuşlardır. Özellikle deniz üzerinde oluşan buz kalınlığının geminin draftını doğrudan etkilemesi, bağlama sistemlerinin doğası gereği önemlidir.

Abdelwahab vd., (2024) bir limanda gerçekleştirilen mendirek genişletme ve rıhtımda gerçekleştirilen değişiklikleri incelemişlerdir. Çalışmada dalga şiddeti ve bağlama sistemi öngerilme kuvvetlerini değerlendirmek için fiziksel bir model geliştirerek araştırmalar yapılmıştır. Limanın yeni durumuna dair elde edilen veriler, limana özel güvenlik tedbirleri için kullanılmak üzere sunulmuştur.

Saad vd., (2021) bağlama halatlarında gerçekleşen kopmaları, makine öğrenme ve yapay sınır ağları yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Makine öğrenme yöntemi olarak Çok Katmanlı Algılayıcı ( Multilayer Perceptron – MLP) ve Uzun Kısa-Süreli Bellek (Long Short-Term Memory) kullanmış ve iki yöntemi karşılaştırmışlardır. İki yönteminde halat kopmalarının tahmin etmede başarılı olmasına karşın, LSTM daha başarılı bulunmuştur.

Hassani vd., (2018) pozisyon bağlama (position mooring-PM) yönteminde halat sensörlerinde ölçüm olmadığı durumlar için halat kopmalarını tespit edebilmek adına Dinamik Hipotez Testi (Dynamic Hypothesis Testing) yöntemini kullanmışlardır. Bir halattaki kopma diğer halatlar üzerinde ekstra yük oluşturacağına değinerek, kopmaların hızlı tespitinin öneminden bahsetmişlerdir. Böylece iticilerin gerekli tedbiri alabilmesine vurgu yapılmıştır. Geliştirdikleri hipotez; önce tüm halatların sağlam olduğu, sonra farklı halatların kopuk olduğu senaryolar dinamik olarak pozisyon bağlama sisteminin hesaplamasına dahil edilmesi şeklindedir.

Jaiswal ve Ruskin (2019) klasik halat kopma tespit sistemlerinin yetersizliklerinden bahsederek geliştirdikleri derin makine öğrenme yöntemi ile halatların neredeyse gerçek zamanlı kopmasını %99 tutarlılıkla tespit edebildiklerini aktarmışlardır.

Bağlama halatlarının kopması ve kazalara yol açması, sadece gemi-liman ilişkisi içerisinde değil denizciliğin birçok alanında üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir.

Chung *vd.*, (2020) derin sinir ağları (DNN) yöntemi ile TLP (tension leg platform) tipi bir platform üzerinde hasar görmüş bağlama halatlarının tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucu yöntemin başarılı olduğunu ve olası kaza/hasar senaryolarının erken tespiti için kullanılabilir durumda olduğunu belirtmişlerdir. Zhang *vd.*, (2024) yüzer rüzgar türbinlerinin su altı bağlama halatlarının büyük fırtına halindeki kopma analizini yapısal olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda seçilen türbin modelinin bağlama sisteminin, fırtınada oluşan yüksek dalgalara ve yüksek hızlı rüzgarlara rağmen dayanımını koruyabileceğini bulmuşlardır.

Huang ve Pan (2010) bir tek noktalı bağlama halatının (SPM) uzun dönemde yorulma karakteristiklerini incelediği çalışmalarında 38mm çapındaki bir polyester bağlama halatı için değişim periyodunu 6,55 yıl olarak bulmuşlardır. Aynı koşullarda halatın çapının 50mm olması durumunda kullanım ömrünün 23,81 yıla uzayacağını ve servis ömürleri süresince yorulmaya bağlı kopma ihtimalinin ise sırasıyla 0,49 ve 0,29 olduğunu tespit etmişlerdir.

Bağlama halatlarındaki kopmalar gemilerde olduğu kadar kafeshi balık yetiştiriciliği gibi bağlama halatlarının kullanıldığı farklı konularda da ortaya çıkmaktadır (Cheng *vd.*, 2021).

Veloso-Gomes *vd.*, (2005) Portekiz'deki Leixões limanında bulunan üç adet bağlama rıhtımlarını incelemiş ve A kodlu rıhtımın özellikle kış ve sonbahar aylarında hava koşulları nedeniyle 35-118 gün arası çalışmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmada A kodlu rıhtıma bağlanmış bir VLCC (very large crude carrier) tipi geminin bağlama çalışması detaylı olarak işlenmiştir.

Barros ve Mazzilli (2018) limana bağlı bir gemi için simetrik bir bağlama analizi çalışması yapmışlardır. Farklı yaklaşımlardaki statik ve dinamik analizleri inceleyerek karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda rıhtıma özel olmayan bazı çözümler geliştirmişlerdir.

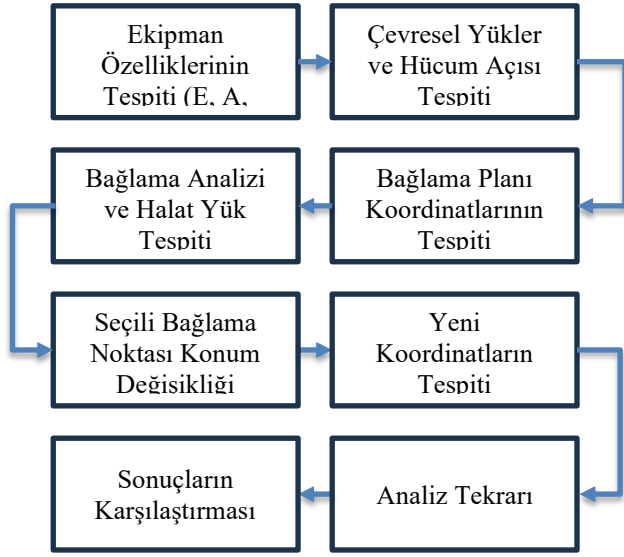
Bu çalışma ile gemi bağlama noktası yer seçiminin, bağlama sistemi yük dağılımına etkisi ortaya çıkarılmış olacaktır. Literatürde kullanılan

simetrik bağlama planının ve simetrik olmayan bağlama planı yerleşimlerinin halat yükleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Bunun için mevcut simetrik bir bağlama planı oluşturulmuş ve bir nokta üzerinde araştırmalar yapılarak asimetrik yerleşiminin etkileri hesaplanmış ve çalışmada sunulmuştur. Senaryoya özel farklı yerleşimlerin araştırılması sonucunda çalışma kapasitesine %83,3 oranında ulaşmış kritik bir halat yükünün, aynı çevre koşullarında %73,3 yük seviyesine düşebileceği veya %94,0 seviyesine çıkabileceği keşfedilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Son yıllarda, üretilen yeni ve daha büyük gemilerin kullanımının artması ile limanların bağlama şemalarında da buna uygun değişikliklere gidildiği izlenmektedir. Özellikle EEE sınıfı konteyner gemileri (ULCV-Ultra Large Container Vessel) ve VLCC (Very Large Crude Carrier) sınıfı tanker gemileri, fiziki ölçekte daha geniş bağlama sistemi alanlarına ihtiyaç duymaktadır. Sektördeki bazı mevcut limanların da bu ihtiyacı mevcut bağlama rıhtımlarına yeni bağlama noktaları (yüzer veya sabit iskele babaları) ekleyerek aşmaya çalıştığı gözlenmiştir. Çalışma bu motivasyonla, mevcut bir bağlama sisteminde sadece gemi kığına en uzak (kıç halatının bağlandığı) kıyı bağlama noktasının konumunun önemini araştırmayı amaç edinmiştir. Mevcut bir limana yanaşan büyük bir gemi senaryosunda, yeni eklenecek bağlantı noktasının gemi baş ya da kıç uçlarından biri tarafında olması gerekecektir. Çalışmada örnek geminin baştan yanaştığı kabulü ile kıç halatı (F babası) üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın iş akış şeması Şekil 2 ile temsil edilmiştir.

Gemilerin bağlanması için kullanılan bağlama halatlarının üzerine düşen yüke dayanamayıp kopması da sektörde zaman zaman karşılaşılan kazalardandır. Yapılan bir araştırmada, her 100 tanker terminali bağlama operasyonunda yaklaşık 5 halat kopması yaralanması tehlikesinin olduğu tespit edilmiştir (Kuzu *vd.*, 2018). Bu sebeple halatlara düşen yükün detaylı olarak tespiti de önem kazanmaktadır.



Şekil 2. Çalışma hesapları iş akış şeması

Çevre koşulları, bağlama sistemleri üzerinde 1970lerden bugüne aktif olarak çalışma yapıp tavsiye ve sınırlandırıcı kaynaklar üreten The Oil Companies International Marine Forum (OCIMF, 2023) yayını Mooring Equipment Guidelines IV (OCIMF, 2018) uyarınca belirlenmiştir. Akıntı hızı gemi baş/kıç yönündeki analizler için 3knot, başa/kıça 10° açı için 2 knot, gemi bordosu dikine yönlü (90°) analizler için 0,75knot olarak önerilmiştir. Akıntı ve rüzgâr hücum açısı 30° olarak hakim rüzgâr yönü şeklinde kabul edilmiştir. Bu yüzden akıntı hızının 1knot olarak seçilmesi uygun bulunmuştur. Tüm bu yönlerde 60knot rüzgâr hızı tavsiye edilmiştir.

Bu çalışmada, Optimoor gemi bağlama analiz programı kullanılarak, bir limana eklenmesi planlanan yeni bir bağlama noktasının yer seçimi ve bağlama sistemine etkilerinin analizi yapılmaya çalışılmıştır.

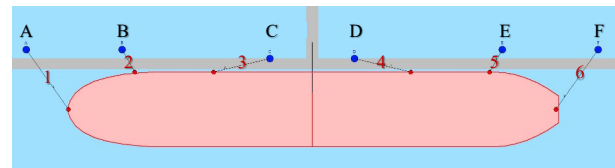
Program geçerliliğini, özellikle tanker sınıfı gemilerin emniyetli bağlanması için uzun yıllardır çalışmalar yapan OCIMF (2018) örnek vakalarıyla kanıtlamış (Flory ve Ractliffe, 1994; Flory vd., 1998, Wang ve Noh, 2022) ve literatürde bağlama analizinde kullanılan bir yazılımdır. Matakis (2010), Optimoor'da kullanılmak üzere donanma bağlama tasarım kılavuzlarını uyarladığı bir çalışma yapmıştır. Li vd., (2013), Optimoor yardımıyla kendi güç kaynağı bulunmayan gemilerin güvenli bir şekilde bağlanması için tayfun önleme bağlama

sistemini araştırmışlardır. Kudela vd., (2016), 300.000 dwt'lik bir petrol tankerinin demirleme hareketlerini analiz etmiş ve Optimoor'un sağladığı verilerle bir deniz petrol terminali bağlama sistemi tasarlamışlardır. Lee vd., (2019), yazılım yardımıyla gemiden gemiye bağlama simülasyonunu analiz etmiştir. Sreedevi ve Nallayarasu (2023), bağlı gemilerde, etraftan geçen gemi etkilerini araştırmak için Optimoor'u kullandığı görülmüştür.

Tablo 1. Model Gemi Başlıca Özellikleri

Özellikler	Birim	Büyükük
Gemi Tipi	-	VLCC
Gemi Boyu	m	330
Gemi Eni	m	50
Gemi Draftı	m	16
Gemi Derinliği	m	24
Rüzgâr Hızı	knot	60
Akıntı Hızı	knot	1
Rüzgâr ve Akıntı Yönü (Rihtim Ekseni)	°	30
Deplasman	t	184800
Gemi Boyuna Rüzgâr Alanı (A <sub>L</sub> )	m <sup>2</sup>	3799
Gemi Enine Rüzgâr Alanı (A <sub>T</sub> )	m <sup>2</sup>	1150
Hesaplanan EN (Equipment Number) (IMO,2023a)	-	5924,3

Yarı-statik ve dinamik bağlama analizi yöntemleri için modülleri ayrı modülleri bulunmaktadır. Yarı-statik yaklaşım rüzgâr ve akıntı değişkenlerini, dinamik yaklaşım ise literatürdeki farklı dalga teorilerine dayanmaktadır. Çevresel yüklerin hesabı yapıldıktan sonra ise gemi üzerindeki halatların yük dağılımı programın kendi geliştirdiği yöntem ile hesaplanmaktadır. Çalışma için program bünyesindeki gemi çeşitleri içerisinde bir VLCC modeli seçilmiş ve başlıca özellikleri Tablo 1 ile verilmiştir.



Şekil 3. Model Gemi Bağlama Planı – Optimoor

Belirtilen akıntı ve rüzgar hızı gibi bağlama sistemi analizinde kullanılan çevresel etkenler OCIMF (2018) tarafından belirlenmektedir. Bu koşullar geminin herhangi bir yönünden gelen 60knot hızındaki rüzgara eşlik eden, baş-kıç ekseninde 3knot diğer yönlerde azalan bir akıntı hızı şeklinde belirlenmiştir. Çalışma da akıntı hızı değeri düşürülmemiş 3knot olarak ele alınmıştır. Gemiye etkiyen çevresel yüklerin hesabı konusunda literatürde model deneyleri ile elde edilen veri setlerinin kullanılması yaygındır (Aage, 1971; Blendermann, 1994; Isherwood, 1972; OCIMF, 2018)

Gemi bağlama sistemi, liman yapısındaki iskele babaları ve gemi üzerindeki karşılıkları olan loçalar olarak tasarlanmıştır (Şekil 3) Bağlantı noktaları simetrik olarak yerleştirilmiş (OCIMF, 2018) ve bir baş halatı (A-1), bir baş açmaz halatı (B-2), bir baş spring (C-3), bir kıç spring (D-4), bir kıç açmaz halatı (E-5), bir kıç halatı (F-6) ile gemiye bağlanmıştır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO, 2023b) açmaz halatını (breast line) gemi bordasının dikine bağlanarak, geminin limandan uzaklaşmasını engellemeye çalışan halat olarak tanımlamaktadır. Spring halatı ise, neredeyse gemiye paralel olarak bağlanan ve geminin baş kıç yönündeki hareketini kısıtlamaya çalışan halat olarak, baş kıç halatı ise boyuna ve enine eksenin arasında yer alarak her iki yöndeki hareketi bağlı bulunduğu açı doğrultusunda engellemeye çalışan halat olarak tanımlanmaktadır.

ASCE (2014) bağlama analizlerinde başlangıç aşamasında sistemi basite indirgemek amacıyla açmaz ve baş kıç halatlarının açılarını gemiye dik kabul ederek gemi enine yöndeki kuvvetleri ve etkilerini dengeleyen bir yaklaşımda bulunmaktadır. Spring halatları ise gemi boyuna uzanan eksende kabul ederek basit bir sistem modelleyerek denge durumunu şu şekilde özetlemektedir:

$$\sum F_x = F_X - T_X = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_y = F_Y - T_YF - T_YA = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_{xy} = M_{XY} + T_YF L_F - T_YA L_A = 0 \quad (4)$$

$F_X$ : Mastoride oluşan, gemi boyuna eksendeki kuvvet,  
 $T_X$ : Spring halatlarının reaksiyon kuvveti,  
 $F_Y$ : Mastoride oluşan, borda dikine eksende oluşan kuvvet,  
 $T_YF$ : Baş açmaz halatının reaksiyon kuvveti,  
 $T_YA$ : Kıç açmaz halatının reaksiyon kuvveti,  
 $M_{XY}$ : Mastoride oluşan moment,  
 $L_F$ : Baş açmaz halatının mastoriden uzaklığı,  
 $L_A$ : Kıç açmaz halatının mastoriden uzaklığı.

Burada  $F_X$ ,  $F_Y$  ve  $M_{XY}$  değişkenleri, rüzgar, akıntı gibi çevresel koşulların gemi üzerinde oluşturduğu yüklerdir.  $T_i$  ise halatlarda oluşması beklenen gerilmelerdir. ASCE (2014) bu basitleştirmede çevresel yüklerin bilinen, halat gerilmelerinin ise bilinmeyen olduğunu ve üç bilinen, üç bilinmeyen olduğu için bu denklem sisteminin (1-2-3) çözülebilecek bir durumda olduğunu belirtmiştir. Halatların daha gerçekçi bir şekilde temsil edildiği ve açısal değerleri dikkate alındığı bir denklem kümesi yazılmaya çalışıldığında ise Denklem 5-6-7 oluşacaktır.

$$\sum F_x = F_x + \sum_{q=1}^q (k_q X - P_q) \sin a_q + \sum_{m=1}^m k_m (Y + L_m \sin \theta) \cos a_m = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_y = F_y + \sum_{m=1}^m k_m (Y + L_m \sin \theta_m) \sin a_m + \sum_{q=1}^q k_q X \cos a_q - \sum_{n=1}^n k_n (Y + L_n \sin \theta) = 0 \quad (6)$$

$$\sum M = M_{xy} + \sum_{m=1}^m k_m (Y + L_m \sin \theta_m) L_m \sin a_m + \sum_{q=1}^q k_q L_q \cos \theta_q \cos a_q - \sum_{n=1}^n R_n (Y + L_n \sin \theta) L_n = 0 \quad (7)$$

m: Açmaz halatlarının sayısı,

n: Usturmaça sayısı,

q: Spring halatları sayısı,

$T_m$  : m açmaz halatının reaksiyon kuvveti,

$L_m$  : m açmazının enine merkezden uzaklığı,

$R_n$  : n usturmaçasının reaksiyon kuvveti,

$L_n$  : n usturmaçasının enine merkezden uzaklığı,

$k_m$  : m açmaz, baş/kıç halatının yay sabiti,

$k_n$  : n usturmaçasının yay sabiti,

$k_q$  : q spring halatının yay sabiti,

$a_m$  : m açmazının boyuna merkez ile yaptığı enine açığı,

$a_n$  : n usturmaçasının boyuna merkez ile yaptığı enine açı,

X : Yan öteleme (surge)

Y : İleri-geri öteleme (sway)

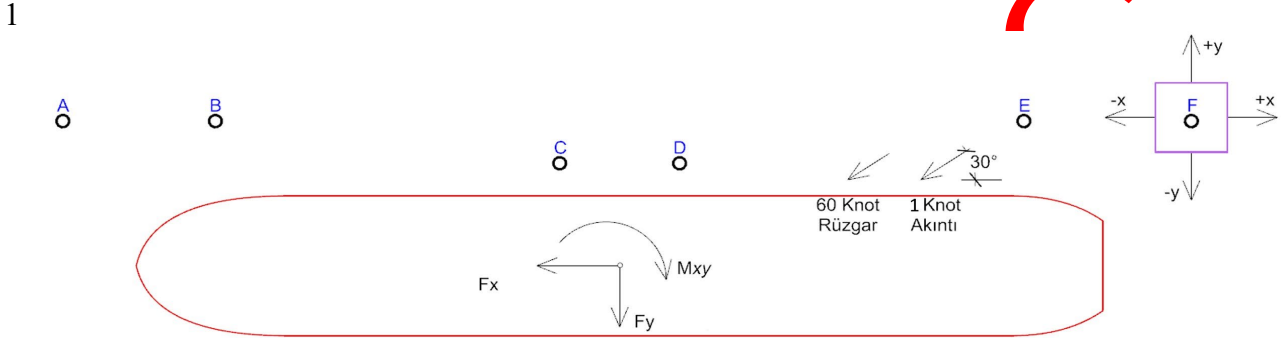
$\theta$  : Savrulma (yaw) açısı.

Mevcut denklem sistemi statik olarak belirsiz bir durumdadır ve bu kez üç tane denklem olmasına rağmen “m+n+q” adet bilinmeyen vardır (ASCE,

2014). Bu denklem sisteminin çözümü ise elle mümkün olmayıp, özel olarak geliştirilen yazılımlar veya bazı Excel dokümanları ile çözüm aranabilmektedir. Burada gemiye bağlanması planlanan halat sayısının tespiti ise ayrı bir problem doğurmaktadır. Çalışma konusu da olan tankerler için, gemiye bağlanması ön görülen toplam açmaz ve baş/kıç halatları sayısı “n”, Denklem 8 (IMO, 2023b) ile verilmiştir. Buna ek olarak EN > 5000 için dört adet spring eklenmesi tavsiye edilmiştir.

$$n = 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot AL + 4 \quad (8)$$

Denklem 8 sonucunda, seçilen gemi modeli için her babaya iki tane olmak üzere on iki adet halat bağlanmasının daha uygun olacağı öngörülmesine rağmen, daha rahat inceleme yapılabilmesi adına halat sayısı altı adet olarak tutulmuştur. Değerlerin gerçekliğini yitirmemesi adına halatların minimum kırılma yükünü (Minimum Breaking Load – MBL) iki katına çıkartılacak şekilde müdahale edilmiştir.



Şekil 4. Gemiye Uygulanan Kuvvetler, eksenler ve Liman Bağlantı Noktaları

IMO (2023b) tarafından MBL hesabı Denklem 9 ile verilmiştir.

$$MBL = 0,1 \cdot A_L + 350 \quad (9)$$

Gemiye ait değerler yerine konulduğunda sonucun 730kN (74,5t) olarak çıktığı görülmektedir. Optimoor programı üzerinde çeşitli halat tipleri ve çapları için seçim yapılabilmektedir. Gemi için hesaplanan MBL değerine uygun 77tondur MBL değerini veren ise 33mm çapındaki çelik halattır. OCIMF (2018) uyarınca “halat tasarım kopma yükü” (LDBF-Line Design Breaking Force) %100-105 MBL şeklinde olmalıdır. Bu sebeple 82t LDBF değerine sahip 34mm çapında çelik halat seçilmiş, daha sonra altı halat ile aynı kabiliyette yükün taşınabilmesi için 50mm çapında, LDBF 168t olan çelik halatın kullanımı analizin amacı doğrultusunda uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada, gemi kıç halatının bağlı olduğu “F” bağlantı noktasının yatay eksenindeki dört yönde ve bu yönlerin diyagonallerinde hareket ettirilmesiyle (Şekil 4), limanlarda bağlama noktası konum seçimi ve bağlama halatları üzerindeki etkileri incelenmektedir. Gemi boyuna/enine ekseninde negatif ve pozitif yönlerde ikişer metrelik adımlarla yer

değişimleri yapılmıştır. Böylece “F” bağlantı noktası boyuna ve enine ekseninde -10m ile +10m arasında yirmi adet noktada ve diyagonallerindeki yirmi noktada yeniden konumlandırılarak toplam kırk noktada bağlama analizi yapılmış ve her seferinde sistem üzerindeki yükler değerlendirmeye alınmıştır. Rüzgâr ve akıntı yönü tüm analizlerde sabit tutulmuş ve Şekil 4 içinde gösterilmiştir. Bağlama şeması kurulurken OCIMF (2018) sınırlandırmalarına uyulmuş ve halat uzunluklarına dikkat edilmiştir.

### 3. BULGULAR

Belirlenen çevre koşulları ve simetrik bağlama şeması altında referans değerlerin oluşturulduğu bağlama analizi verileri ve sonuçları Tablo 2 ile verilmiştir. Babaların orijin noktasına mesafelerinin verildiği ikinci satır verileri, bağlama noktalarının birbirine olan mesafelerinin hesabında kullanıldığında spring halatlarının arası 60m, açmazlar ile baş ve kıç halatları arası 68er metre olarak karşımıza çıkmaktadır. F bağlantı noktasının farklı yönlerdeki ±10metrelik hareketi sonucu E noktasıyla arasında yeterli mesafe kalmaktadır.

**Tablo 2.** Bağlama Sistemi Özellikleri

Özellik	Bağlama Halatları					
	1	2	3	4	5	6
Bağlama Halatı No.	1	2	3	4	5	6
Bağlı Olduğu İskele Babası	A	B	C	D	E	F
Baba-Orijin Mesafe (x-ekseni) (m)	-203	-135	-30	30	135	203
Baba-Orijin Mesafe (y-ekseni) (m)	15	15	9	9	15	15
Toplam Halat Uzunluğu (m)	50	17,6	41	41	17,6	50
Halat Çapı (mm) (Steel Wire)	50	50	50	50	50	50
Gerilim (t)	13,7	58,2	13,4	7,3	128,7	58,3
Halatın Dayanımı (%)	%7,4	%35,1	%4,9	%8,3	83,3%	%31,6

Tablo 2 incelendiğinde halatların ayrı ayrı güvenli yük dayanımları yüzdesel olarak görülebilmektedir. Özellikle E babasına bağlı 5 numaralı halatın %83,3 oranındaki yük değeri ile güvenli çalışma sınırına çok yakın olduğu gözlenmektedir. Tablo 2 verileri referans değerler olarak kabul edilerek X, Y ve diyagonal

eksenindeki yer değişimlerine ait bağlama analizi sonuçları ve oluşan yük farkları (t) ilerleyen sayfalardaki tablolarda ve şekillerde gösterilmiştir. Tablo satır başlarında halatlar için kullanılan renkler, şekillerdeki renklendirmelerle aynı tutulmuştur.

**Tablo 3.** Gemi Boyuna Ekseninde ( $\Delta X$ ) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

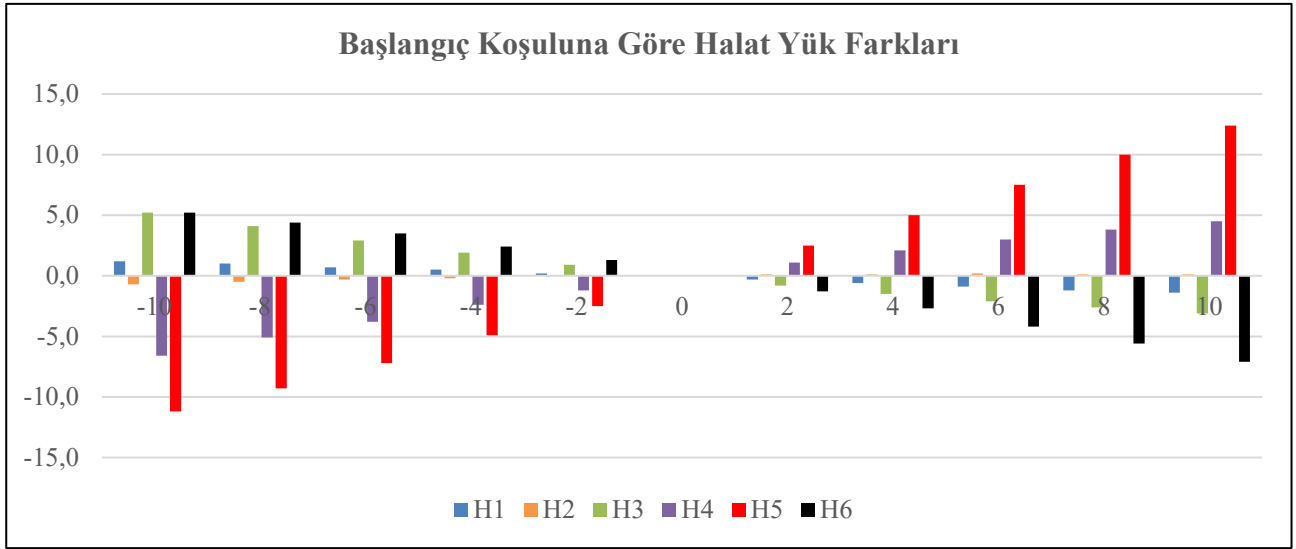
X eksenli yer değişikliği ( $\Delta X$ ) (m)	H1	H2	H3	H4	H5	H6
	<b>Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)</b>					
-10	8,2	34,6	8,0	4,3	76,6	34,7
-8	8,0	34,8	7,3	5,2	77,7	34,2
-6	7,9	34,9	6,6	6,0	79,0	33,7
-4	7,7	34,9	6,0	6,8	80,4	33,0
-2	7,6	35,1	5,4	7,6	81,8	32,4
0	7,4	35,1	4,9	8,3	83,3	31,6
2	7,3	35,1	4,4	8,9	84,8	30,8
4	7,1	35,1	4,0	9,5	86,3	30,0
6	6,9	35,2	3,6	10,1	87,7	29,1
8	6,7	35,1	3,3	10,5	89,2	28,3
10	6,6	35,1	3,0	11,0	90,7	27,4

F bağlama noktasının gemi boyuna eksenindeki ( $\pm X$  yönündeki) hareketi ve bağlama analizi sonucu, halatların çalışma sınırına (168t) oranlanarak yüzdesel olarak Tablo 3 ile verilmiştir. Halatlarda meydana gelen yük değişimleri ton biriminde Şekil 5 ile ayrı olarak verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde 5 numaralı halata binen yükün 10t arttığı görülebilmektedir. Bu artış halat yükünün %83,3 değerinden %90,7 çalışma sınırı değerine çıktığını göstermektedir. Negatif yönlü hareket incelendiğinde ise 5

numaralı halatın yük durumunun %76,6 oranında daha bir güvenli çalışma bölgesine indiği görülebilmektedir. Diğer halatlarda kritik bir durum gözlenmemiş olup her bir halattaki toplam yük değişimleri şu şekildedir;

- 1 numaralı halat: 2,6t
- 2 numaralı halat: 0,8t
- 3 numaralı halat: 8,3t
- 4 numaralı halat: 11,1t
- 5 numaralı halat: 23,6t
- 6 numaralı halat: 12,3t





Şekil 5. “F” Noktasının gemi boyuna eksenindeki yer değişikliği ( $\Delta X = \pm 10m$ ) ve halatlarda oluşan yük farkları(t)

F bağlama noktasının gemi enine eksenindeki ( $\pm Y$  yönündeki) hareketi ve bağlama analizi sonucu, halatların çalışma sınırına oranlanarak yüzdesel olarak Tablo 4 ile verilmiştir. X eksenindeki harekete kıyasla Y eksenindeki hareketlerin etkisinin daha az olduğu tespit edilmiştir.

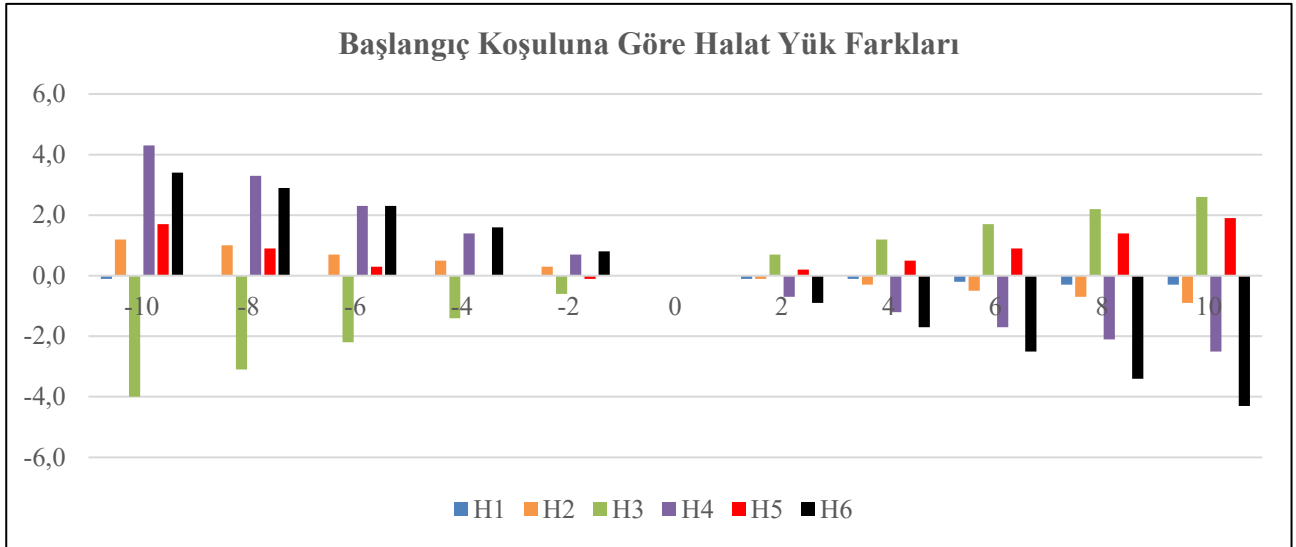
Tablo 4. Gemi Enine Ekseninde ( $\Delta Y$ ) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

Y eksenli yer değişikliği ( $\Delta Y$ ) (m)	H1	H2	H3	H4	H5	H6
	<b>Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)</b>					
-10	7,4	35,8	2,5	10,8	84,3	33,6
-8	7,4	35,7	3,0	10,2	83,8	33,3
-6	7,4	35,5	3,6	9,6	83,5	33,0
-4	7,4	35,4	4,0	9,1	83,3	32,6
-2	7,4	35,2	4,5	8,7	83,2	32,1
0	7,4	35,1	4,9	8,3	83,3	31,6
2	7,4	35,0	5,3	7,9	83,4	31,1
4	7,4	34,9	5,6	7,6	83,6	30,6
6	7,3	34,8	5,9	7,3	83,8	30,1
8	7,3	34,6	6,2	7,0	84,1	29,6
10	7,3	34,5	6,4	6,8	84,4	29,0

F bağlama noktasının gemi boyuna eksenindeki ( $\pm Y$  yönündeki) hareketi ve bağlama analizi sonucu, Tablo 4 ile verilmiştir. Halatlarda meydana gelen yük değişimleri ton biriminde Şekil 6 ile ayrı olarak verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde en büyük değişikliğin 3, 4 ve 6 numaralı halatlarda gerçekleştiği görülebilmektedir. Halatlarda kritik bir durum

gözlenmemiş olup her bir halattaki toplam yük değişimleri şu şekildedir;

- 1 numaralı halat: 0,4t
- 2 numaralı halat: 2,1t
- 3 numaralı halat: 6,6t
- 4 numaralı halat: 6,9t
- 5 numaralı halat: 3,6t
- 6 numaralı halat: 7,7t



**Şekil 6.** “F” Noktasının gemi enine eksenindeki yer değişikliği ( $\Delta Y = +10m$ ) ve halatlarda oluşan yük farkları(t)

F bağlama noktasının baş iskele – kıç sancak yönündeki ( $225^\circ - 45^\circ$  diyagonal) hareketi ve bağlama analizi sonucu Tablo 5 ile verilmiştir. Bu hareket trigonometrik üçüncü bölgeden

birinci bölgeye doğrudur. Yani hareket esnasında hem X hem Y eksenindeki hareket  $-10m$  ile başlayıp  $+10m$  yönünde olduğu için Şekil 7 de eksen isimleri önceki şekillerle aynı tutulmuştur.

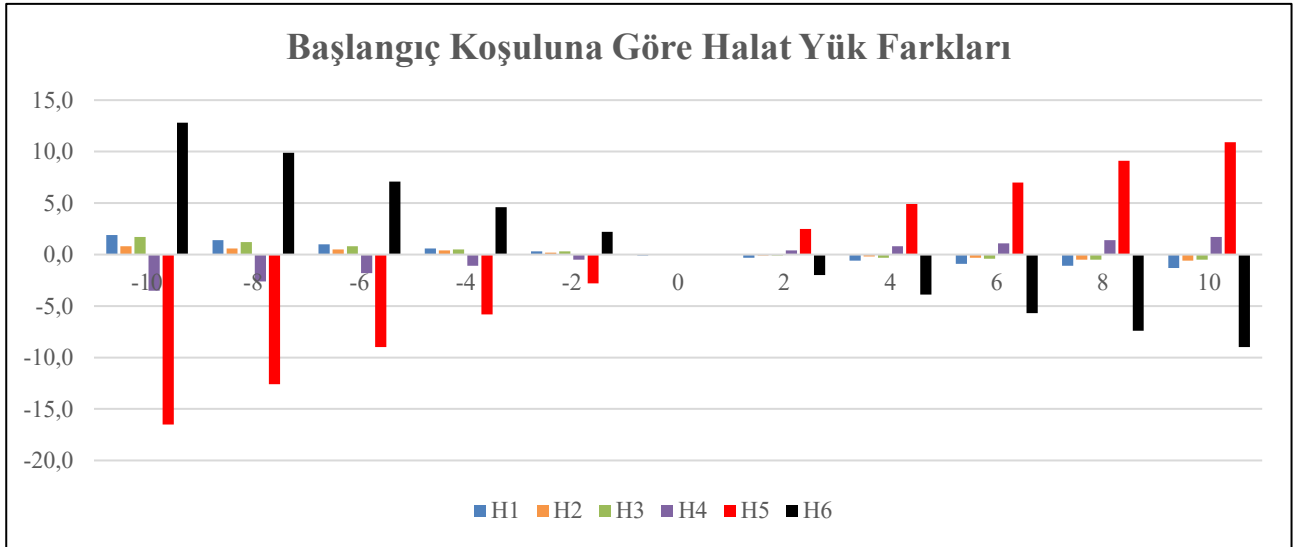
**Tablo 5.** Baş İskele – Kıç Sancak Yönü ( $225^\circ - 45^\circ$  diyagonal) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

Baş İskele – Kıç Sancak Yönü		H1	H2	H3	H4	H5	H6
$\Delta X$	$\Delta Y$	Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)					
-10	-10	8,6	35,5	5,9	6,2	73,5	39,2
-8	-8	8,3	35,4	5,6	6,7	75,8	37,5
-6	-6	8,0	35,4	5,4	7,2	77,9	35,8
-4	-4	7,8	35,3	5,2	7,6	79,8	34,3
-2	-2	7,6	35,2	5,1	8,0	81,6	32,9
0	0	7,4	35,1	4,9	8,3	83,3	31,6
2	2	7,3	35,0	4,8	8,5	84,8	30,4
4	4	7,1	34,9	4,7	8,8	86,2	29,3
6	6	6,9	34,9	4,6	8,9	87,4	28,2
8	8	6,8	34,8	4,6	9,1	88,7	27,2
10	10	6,7	34,7	4,6	9,3	89,8	26,3

Bu hareket esnasında en büyük yük değişikliği beşinci ve altıncı halatta gözlenmiştir. Beşinci halatın kritik durumu yeniden değerlendirildiğinde, negatif yönlü hareket, halatın çalışma yükünü %73,5 seviyesine düşürmüştür, pozitif yönlü diyagonal hareket ise %89,8 değerine ulaşmasına sebep olmuştur. En büyük yük değişimleri 5 ve 6 numaralı halatlarda

olup, halatlardaki toplam yük değişimleri ise şu şekildedir;

- 1 numaralı halat: 3,2t
- 2 numaralı halat: 1,4t
- 3 numaralı halat: 2,2t
- 4 numaralı halat: 5,2t
- 5 numaralı halat: 27,4t
- 6 numaralı halat: 21,8t



Şekil 7. “F” Noktasının Baş İskele – Kıç Sancak diyagonalindeki hareketi ve halatlarda oluşan yük farkları(t)

Diğer bir diyagonal ise geminin kıç iskele - baş sancak (315° - 135°) yönünde uzanmaktadır. F babasının bu diyagonal üzerindeki yine ikişer metrelik adımlarla yaptığı hareket Tablo 6 üzerinde verilmiştir. Bu hareket ise trigonometrik dördüncü bölgeden ikinci bölgeye

doğrudur. Yani X eksenini pozitif, Y eksenini negatif değer almaktadır. Bu sebeple Şekil 8 için yatay eksen ismi değiştirilmiş ve Tablo 6ya Şekil 8 da kullanılmak üzere “Eksen İsmi” sütunu eklenmiştir.

1

Tablo 6. Kıç İskele – Baş Sancak Yönü (315°- 135° diyagonalı) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

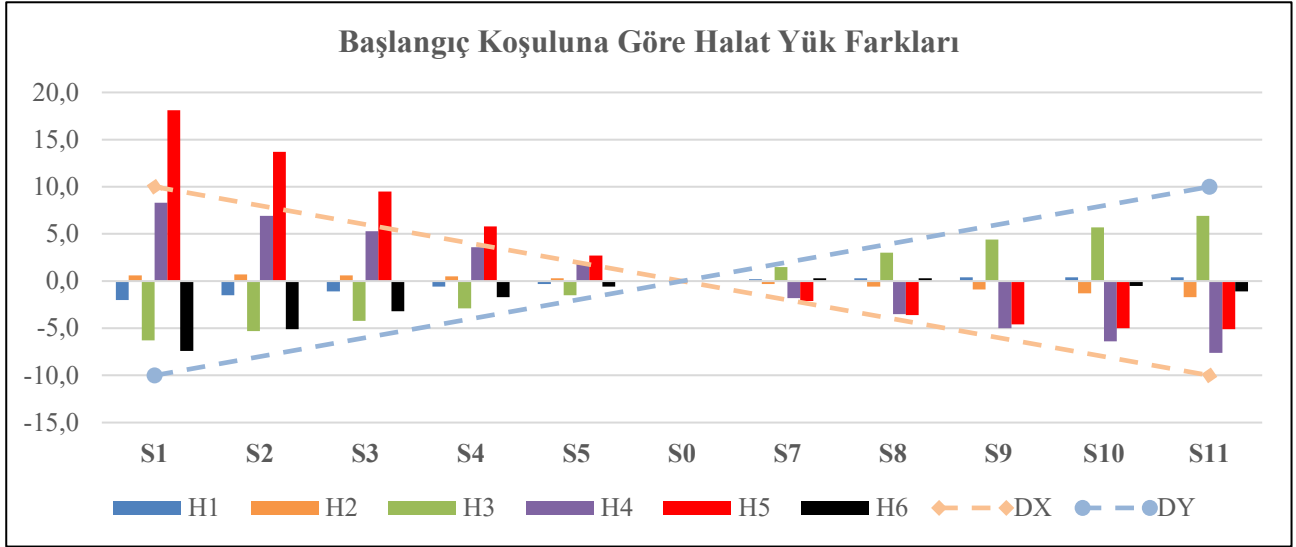
Kıç İskele – Baş Sancak Yönü			H1	H2	H3	H4	H5	H6
ΔX	ΔY	Eksen İsmi	Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)					
10	-10	S1	6,3	35,4	1,1	13,2	94,0	27,2
8	-8	S2	6,5	35,5	1,7	12,4	91,4	28,6
6	-6	S3	6,8	35,4	2,4	11,4	88,9	29,7
4	-4	S4	7,1	35,4	3,2	10,4	86,7	30,6
2	-2	S5	7,3	35,2	4,0	9,3	84,9	31,3
0	0	S0	7,4	35,1	4,9	8,3	83,3	31,6
-2	2	S6	7,6	34,9	5,8	7,2	82,0	31,8
-4	4	S7	7,6	34,7	6,7	6,2	81,1	31,8
-6	6	S8	7,7	34,5	7,5	5,3	80,5	31,6
-8	8	S9	7,7	34,3	8,3	4,5	80,3	31,3
-10	10	S10	7,7	34,0	9,0	3,8	80,2	31,0

Şekil 8 üzerinde kesikli yeşil çizgi ile hareketin X eksenindeki büyüklüğü ve mavi kesikli çizgi ile Y eksenindeki büyüklüğü takip edilebilmektedir. Bu diyagonalde en büyük değişim 4 ve 5 numaralı halatlarda gerçekleşmiştir. Tablo 6 üzerinde, 5 numaralı

halat detaylı incelenirse, çalışma sınırının %94,0 değerine ulaşıldığı görülebilmektedir. İncelenen durumlar içerisinde en yüksek çalışma sınırı bu diyagonal üzerinde tespit edilmiştir. Tüm halatlarda gerçekleşen yük değişimi ise şu şekildedir;

1 numaralı halat: 2,4t  
2 numaralı halat: 2,3t  
3 numaralı halat: 13,2t

4 numaralı halat: 15,9t  
5 numaralı halat: 23,2t  
6 numaralı halat: 8,5t



Şekil 8. “F” Noktasının Kıç İskele – Baş Sancak diyagonalindeki hareketi ve halatlarda oluşan yük farkları (t)

#### 4. SONUÇ

Gemilerde bağlama sistemleri ve yeni bir bağlama noktasının konum tespiti için bağlama analizlerini içeren çalışmamızda örnek bir VLCC tipi gemi modeli üzerine çalışılmıştır. Çalışma sonucunda mevcut bağlama planında %83,3 oranında yük kapasitesine ulaşmış bir halatın, %94,0 oranına ulaşabildiği görülmüştür. Bağlama noktası konumunun diğer eksenlerde hareket ettirilerek bu değerlerin %73,5 oranına düşürülebildiği gözlenmiştir. Ayrıca en kritik yük durumunu gemi kıçından uzak lakin gemi bordasına yakın olan diyagonal noktasında gerçekleşmesi ve bu noktanın ne en uzak ne en yakın nokta olması bağlama analizinin önemini bir kere daha kanıtlar niteliktedir.

330m tam boya sahip bir gemi için  $\pm 10$  metrelik mesafeler içerisinde yapılan analizin ışığında yeni bir bağlantı noktasının konumunun önemi ortaya çıkmaktadır. Burada küçük yer değişikliklerinin, bu kadar büyük bir gemide bile önemli değişikliklere yol açabileceği görülmüştür.

Özellikle son yıllarda daha büyük gemilerin mevcut limanlarla çalışma ihtiyacı, limanları yeni bağlama noktaları inşa etmeye

zorlamaktadır. Doğru bağlama noktası konumu seçiminin halatların yük dağılımına etkisi konusunda çalışma sonuçlarının yüksek önem arz ettiği düşünülmektedir. Halatlar üzerindeki yükün kontrollü bir şekilde dağıtımına yönelik bu tarz çalışmalar ise sürecin bir çıktısı olarak gemi bağlama operasyonlarına bağlı iş kazalarını da azaltacaktır.

#### 5. TARTIŞMA

Literatür verileri incelendiğinde, bağlama planı olarak simetrik ve aynı eksenle yerleştirilen bağlama noktaları kullanımının yaygınlığı görülmektedir. Bu durum her koşula uygun bir bağlama planı kurulabilmesini kolaylaştırmaktadır. Oysa çalışma sonuçları incelendiğinde bağlama noktasının simetrik ya da aksel olarak takip edilmeyen bir noktada yer aldığı konumda en düşük kritik halat yükünün tespit edildiği fark edilmektedir. Bu çıktı ve çalışmanın tüm çıktıları mevcut bağlama planı ve kurulu çevresel yükler altında gerçekleşmiştir. Her duruma özel benzer analizler ve çözümler üretmek güç olacaktır. Lakin limanlar gibi coğrafi olarak sabit tesislerde hakim rüzgar ve akıntılar yıl boyunca daha az değişiklik göstermektedir. Özellikle bu koşullar için

duruma özel bağlama planlarının ve bağlama ekipmanı yerleşiminin yapılması olası kazaları önleme konusunda faydalı olacaktır. Tesisler için erken tespit sistemlerine yapılacak yatırımlar ile ani değişimler tespit edilebilecektir. Ayrıca bağlama halatlarındaki yükün sürekli takibi ile kritik durumlar oluşmadan önce tespit edilebilecektir. Böylece bağlama sistemlerinde tespit edilen zorlanmaların bağlama noktaları değiştirilerek giderilebileceği, geleneksel ve sabit bağlama sistemleri yerine dinamik bağlama sistemleri üzerinde araştırmalar yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

## ESER SAHİPLİĞİ KATKI BEYANI

**Kerim Ziylan:** Kavramsallaştırma, Yöntem Bilimi, Kaynaklar, Yazım- Orijinal Taslak, Yazım-Gözden Geçirme ve düzenleme, Veri iyileştirme, Görselleştirme.

**Selçuk Nas:** Doğrulama, Şekilsel analiz, Kaynaklar, Yazım-Gözden Geçirme ve düzenleme, Veri iyileştirme, Görselleştirme, Denetleme.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar(lar) bu makalenin gerçek, olası veya algılanan çıkar çatışmasına sahip olmadığını beyan etmektedirler.

## ETİK KURUL İZİNİ

Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

## FONLAMA DESTEĞİ


Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde enstitülerden veya kurumlardan finansal destek alınmamıştır.

## ORCID Numaraları/IDs

Kerim Ziylan

 <https://orcid.org/0000-0002-9768-6891>

Selçuk Nas

 <https://orcid.org/0000-0001-5053-4594>

## 6. KAYNAKLAR

**Aage C. (1971).** Wind Coefficients for Nine Ship Models. *Danish Technical Press* 1-14.

**Abdelwahab, H. S., Pinheiro, L., Santos, J. A., Fortes, C. J. E. M., Guedes Soares, C. (2024).** Experimental investigation of wave severity and mooring pretension on the operability of a moored tanker in a port terminal. *Ocean Engineering* 291: 116243. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116243.

**ASCE, (2014).** Mooring of Ships to Piers and Wharves (J. W. Gaythwaite (ed.)). *American Society of Civil Engineers*. doi.org/10.1061/9780784413555.

**Barros, P. W. F., Mazzilli, C. E. N. (2018).** The nonlinear dynamic behaviour in an alongside berth mooring arrangement. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 40(7). doi.org/10.1007/s40430-018-1274-6.

**Blendermann, W. (1994).** Parameter identification of wind loads on ships. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 51(3): 339-351. doi.org/10.1016/0167-6105(94)90067-1.

**Cheng, H., Lin, L., Ong, M. C., Aarsæther, K. G., Sim, J. (2021).** Effects of mooring line breakage on dynamic responses of grid moored fish farms under pure current conditions. *Ocean Engineering* 237: 109638. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109638.

**Chung, M., Kim, S., Lee, K., Shin, D. H. (2020).** Detection of damaged mooring line based on deep neural networks. *Ocean Engineering* 209: 107522. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107522.

**DDS 582-1 (1987).** Calculations for Mooring Systems. Department of the Navy Naval Sea Systems Command Washington, DC. 20362-5101.

**Flory J.F., Ractliffe A.T. (1994).** Mooring Arrangement Management by Computer. Paper No.4, Symposium on Ship Operations, *Management & Economics*, SNAME.

**Flory J.F., Banfield S. P., Ractliffe A.T. (1998).** Computer Mooring Load Analysis to Improve Port Operations and Safety, *American Society of Civil Engineers*.

**Hassani, V., Pascoal, A. M., Sørensen, A. J. (2018).** Detection of mooring line failures using Dynamic Hypothesis Testing. *Ocean Engineering* 159: 496-503. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.01.021.

**Huang, C., Pan, J. (2010).** Mooring line fatigue: A risk analysis for an SPM cage system. *Aquacultural Engineering* 42(1): 8-16. doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.09.002.

- International Maritime Organization (IMO), Clasifications Register Rules and Regulations - Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2022 - Part 3 Ship Structures (General) - Chapter 1 General - Section 7 Equipment Number (2023a).** Erişim Tarihi: 08.10.2023, [https://www.imorules.com/LRSHIP\\_PT3\\_CH1\\_7.htm#GUID-AB0D9F23-7DD0-4ED6-9A35-AF866AD3EA4D\\_LRSHIP\\_PT3\\_CH1\\_7.1.1](https://www.imorules.com/LRSHIP_PT3_CH1_7.htm#GUID-AB0D9F23-7DD0-4ED6-9A35-AF866AD3EA4D_LRSHIP_PT3_CH1_7.1.1)
- International Maritime Organization (IMO), Clasifications Register Rules and Regulations - Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2022 - Part 3 Ship Structures (General) - Chapter 1 General - Section 7 Equipment (2023b).** Erişim Tarihi: 08.10.2023, [https://www.imorules.com/LRSHIP\\_PT3\\_CH13\\_7.html#LRSHIP\\_PT3\\_CH13\\_7](https://www.imorules.com/LRSHIP_PT3_CH13_7.html#LRSHIP_PT3_CH13_7)
- Isherwood, R. M. (1972).** Wind Resistance of Merchant Ships, *The Royal Institution of Naval Architects* 115: 327-338.
- Jaiswal, V., Ruskin, A. (2019).** Mooring Line Failure Detection Using Machine Learning. In Day 1 Mon, May 06, 2019. Offshore Technology Conference. OTC. doi.org/10.4043/29511-ms.
- Kudale, A., Sohoni V., Kulkarni S. (2016).** Mooring System for Very Large Ships at Berth, *International Journal of Current Engineering and Technology* 6(4): 1363-1371.
- Kuzu A., Şenol Y., Arslan Ö. (2018).** Bağlama Operasyonları Esnasında Kopan Halat Yaralanmalarının Bulanık Hata Ağacı Yöntemi ile Analizi. *Journal of Eta Maritime Science* 6(3): 215-227. doi.org/10.5505/jems.2018.58661.
- Lee, K.-H., Han, H.-S., Park, S. (2015).** Failure analysis of naval vessel's mooring system and suggestion of reducing mooring line tension under ocean wave excitation. *Engineering Failure Analysis* 57: 296-309. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.005.
- Lee, S.-W., Lee, H.-T., Kim, D.-G., Cho, I.-S. (2019).** Identification of Impact Factors in Ship-to-Ship Mooring Through Sensitivity Analysis. *Journal of Navigation and Port Research*, 43(5): 310-319. doi.org/10.5394/KINPR.2019.43.5.310.
- Lee, S.-W., Sasa, K., Aoki, S., Yamamoto, K., Chen, C. (2021).** New evaluation of ship mooring with friction effects on mooring rope and cost-benefit estimation to improve port safety. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 13: 306-320. doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.04.002.
- Li Q., Dai R., Chen C. (2015).** Anti-typhoon Mooring System for Non-powered Vessels Based on Optimoor Software, Ninth International Conference on Frontier of Computer Science and Technology, Dalian, China, 2015, pp. 200-202, doi.org/10.1109/FCST.2015.38.
- Matakis K. E. (2010).** Development of Wind and Current Coefficients for Multiple U.S. Navy Vessel Analysis Using OPTIMOOR. *Ports 2010: Building on the Past, Respecting the Future*, 406-413. doi.org/10.1061/41098(368)42.
- Natarajan, R., Ganapathy, C. (1995).** Analysis of moorings of a berthed ship. *Marine Structures* 8(5): 481-499. doi.org/10.1016/0951-8339(95)97305-r.
- OCIMF, 2018.** Mooring Equipment Guidelines 4th Ed. Oil Companies International Forum. Witherby Seamanship International Ltd., Bermuda.
- OCIMF, 2023.** Erişim Tarihi: 14.08.2023, <https://www.ocimf.org/>
- Saad, A. M., Schopp, F., Barreira, R. A., Santos, I. H. F., Tannuri, E. A., Gomi, E. S., Costa, A. H. R. (2021).** Using Neural Network Approaches to Detect Mooring Line Failure. *IEEE Access* 9: 27678-27695. doi.org/10.1109/access.2021.3058592.
- Sreedevi R., Nallayarasu S. (2023).** Investigation on ship mooring forces including passing ship effects validated by experiments. *Ocean Engineering* 283: 115004. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115004.
- Valet, S., Piskoty, G., Michel, S., Affolter, Ch., Beer, M. (2013).** Accident caused by dynamic overloading of a ship mooring rope. *Engineering Failure Analysis* 35: 439-453. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.03.027.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Santos, P., Dias, E. Lopes, H. (2005).** Berthing Characteristics and the Behaviour of the Oil Terminal of Leixões Harbour, Portugal. *Maritime Heritage and Modern Ports*. 79. 481-492. ISSN 1743-3509. doi.org/10.2495/MH050451.
- Wang, J., Noh, J. (2022).** Calculating the Mooring Force of a Large LNG Ship based on OCIMF Mooring Equipment Guidelines. *Haeyang Hwan'gyeong Anjeon Haghoeji*, 28(4): 594-600. doi.org/10.7837/kosomes.2022.28.4.594.
- Zhang, Z., Wang, X., Zhang, X., Zhou, C., Wang, X. (2024).** Dynamic responses and mooring line failure analysis of the fully submersible platform for floating wind turbine under typhoon. *Engineering Structures* 301: 117334. doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117334.
- Turna, İ., Kara, G., Danişman, D. B., (2022).** An Empirical Study on the Effects of Sea Ice on Ship Tonnage per Centimeter and Cargo Operations. *The Marine Technology Society Journal*, 56(4), 128-139.