



## Liman Manevralarında Gerekli Römorkör Kuvveti ve Römorkör Sayısının Tespiti Üzerine Bir Araştırma

Yusuf ZORBA<sup>1</sup>, Selçuk NAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi, [yusuf.zorba@deu.edu.tr](mailto:yusuf.zorba@deu.edu.tr); [snas@deu.edu.tr](mailto:snas@deu.edu.tr)

### Öz

Artan gemi büyüklüğü ve gemi trafiğinin, limanlardaki manevra emniyeti açısından römorkör kuvvetlerine etkisini belirterek römorkör kuvvetlerinin, kullanılacak römorkör sayılarının ve emniyetli manevraların tespiti çalışmanın temel amacıdır. Römorkör kuvvetinin tespitine yönelik literatürdeki formüllerle uluslararası standartlar tespit edilmiş ve seçilmiş gemiler üzerinde belirlenmiş çevre koşullarının oluşturacağı dirençler hesap yöntemiyle bulunmuştur. İkinci aşamada ise bulunan değerler gemi manevra simülasyon yazılımında belirtilen çevresel koşullar altında test edilerek değerler karşılaştırılmıştır. Son olarak gerekli römorkör kuvvetinin en az kaç adet römorkör ile karşılanabileceği üzerinde durulmuştur. Seçilmiş olan gemi tiplerinin çalışacağı varsayılan bölgelerdeki en yüksek çevre koşullarının gemi üzerinde oluşturacağı direnç kuvvetleri ile manevralarda kullanılması gereken römorkör kuvvetleri sırasıyla %99, %83 ve %99 oranında benzerlik göstermiştir. Bunun yanı sıra kullanılması gereken en az römorkör adedi olarak literatürde belirtilen standartlara uygun olarak her biri en az 50 tonluk çekme gücüne sahip 4 adet römorkör kullanılmasının gerektiği görülmüştür. Simülasyon desteği ile gelmesi beklenen gemiler gelmeden planlanma, manevra alanlarını ve sınırlarını belirleme ve en önemlisi en yüksek çevresel koşullar altında gemiler için gerekli römorkör kuvvetinin tespiti yapılabilmektedir. Bundan daha da önemlisi gerekli römorkör kuvvetinin kaç adet römorkör ile sağlanabileceğinin tespiti için de simülasyon sistemleri son derece önemli karar destek yazılımı olarak görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Römorkör, RBP, Simülasyon, Çevresel Faktörler.

### A Study on Determination of Required Tug Force and Tug Quantity in Port Maneuvers

#### Abstract

The main objective of the study is to investigate the use of simulators for the determination of tug forces, the number of tugs and safe maneuvering principals specifying the increasing size of ships and ship traffic impact on the tug forces in terms of maneuvering safety at ports. Formulas and international standards for the determination of required tug forces researched and resistance forces calculated with the helps of these formulas generated

by the identified environmental conditions on selected ships. In the second stage, values were compared and tested in the ship maneuvering simulation software under specified environmental conditions. Finally study focused to quantity of tugs for the required tug force. The calculation results of highest effects and forces of environmental factors on the selected ship type and the required tug forces obtained by the simulator program respectively 99%, 83% and 99% were similar. Additionally, the method of use of tugs and their positions, numbers are also important and these are can be determined by using the simulation programs effectively and safely. Besides, quantity of tugs found 4 and each are at least 50 tons for providing the required tug force according the standarts specified in the literature. In this study, have been reached that planning of arrival operation of ships, determining of the maneuver area and limits, precautions of possible accidents, effects of natural conditions in port area to the ships can properly done with using the simulation software. However, simulation systems were seen as highly important decision support software to the determination of quantity of tug for the required tug force.

**Keywords:** Tugs, Tug Boat, RBP, Simulation, Environment Factors.

## 1. Giriş

Küreselleşme ile artan ticaret tüm taşımacılık modlarında hızlı bir değişim ve gelişimi beraberinde getirmiştir. Deniz ulaştırmasında da bu hızlı değişim ve gelişmelere limanlardaki ekonomik faaliyetlerde, yük miktarlarındaki hızlı akışta, liman sürelerindeki kısaltmalarda, operasyon hızlarında, gemilerin artan büyüklüklerinde tanık olmaktadır. Bu hız etkisiyle ayrıca gemi büyüklükleri sürekli arttırılmakta, limanlardaki yük elleçleme donanımları geliştirilmekte, mevcut tesislere eklemeler yapılmakta veya yeni -büyük- gemiler için yeni limanlar oluşturulmaktadır. Tüm bu değişim ve gelişim süreci içerisinde “emniyet” göz ardı edilmemesi gereken en önemli husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Liman ve terminallerde gemilerin manevraları da “karadaki” hıza uymaya çalışmakta, artan ticaret, rekabet ve ticari baskılar nedeniyle manevralar “emniyet sınırlarında” gerçekleştirilmektedir. Özellikle doğal liman olarak kurulmuş ve genişleme imkânı olmayan/az olan limanlar ile manevra alanı kısıtlı limanlarda devasa boyuttaki konteyner ve araba gemileri gibi gemilerin manevra emniyeti ancak gelişmiş kabiliyetlere sahip, yüksek çekme kuvvetindeki römorkörlerle gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda bir manevra yardımcısı olarak bu etkili

römorkörlerden, geçmişteki rollerinden daha fazla görev beklenmektedir. Örneğin manevra emniyetini zorlayan çevresel koşulların ticari baskılar sebebiyle sınırlarda kabul edilmesi ve bu sınırlarda dahi römorkörlerin etkin görev yapmalarının istenmesi gösterilebilir. Bir diğer örnek, römorkörler geçmişte Kaptan ve Kılavuz Kaptanların en önemli “yardımcısı” rolünde iken, bugün “vazgeçilmez yardımcı” haline dönüşmüşlerdir.

Liman ve römorkör teşkilatları da bu artan “hıza” cevap verebilmek amacıyla yeni römorkör yatırımlarına girişmektedirler. Özellikle konteyner gemi tonajlarında ve trafiğinde meydana gelen hızlı artış ile römorkör inşaat teknolojisinde ve sevk sistemlerinde meydana gelen değişimler sayesinde neredeyse tüm limanlarda 60-70 tonluk römorkörleri görmek doğal karşılanır, hatta beklenir olmuştur. Hensen [1], bir eğilim/moda haline dönüşen römorkör kuvvetindeki artış ile 100-120 ton çekme kuvvetine sahip römorkörlerin bile konuşulur hale geldiğini belirtmektedir. Çevreye duyarlılığın artmasına bağlı olarak oluşabilecek zararların minimize edilmesi ve olası zararların önlenmesi için römorkör ücretlerinin de tartışmasız şekilde ödenmesinin önemi ayrıca belirtilmelidir. Limandan limana farklılık gösterecek ve ilgili limanın çevre koşullarının gerektirdiği kuvvette römorkör kullanmak elbette

gereklidir ancak, gerekli römorkör kuvvetinin tespiti, hangi ölçütlerin öne çıktığı, liman yönetimleri ve ilgili idarelerin hangi esaslar çerçevesinde kararlar alması gerektiği bu noktada önem kazanmaktadır.

## 2. Römorkörlerden Beklentiler

Normal koşullarda bir geminin kendi imkânları ile yanaşma ve kalkış manevraları yapabilmesi ve bu manevraları da mümkün olduğunca emniyetli şekilde gerçekleştirmesi beklenir. Gemilerin manevra karakteristiklerine ve manevra kabiliyetlerine ilişkin farklı kuruluşlarca konulmuş standartlar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları IMO A601, IMO A751, ITTC 1975, SNAME 1989, Norse Standard, Japan RR, ISO, ITTC 2002 [2] olarak belirtilebilir. Gemilerin manevra kabiliyetine ilişkin IMO: “iyi manevra yapabilmeli” ifadesini yeterli görmekte ve bununla IMO ölçütlerinin yerine getirilmiş olmasını kastetmektedir. Ayrıca IMO “Gemi Manevraları için Standartlar” sirkülerinde gemi manevralarının rüzgâr, dalga ve akıntı gibi faktörlerden etkilenebildiğini ve rotada kalabilme yeteneği, durdurma mesafesi veya özellikle rüzgâr etkisi sebebiyle manevralarının etkilenebileceğini de belirtmektedir [3]. Yine IMO A751’de geminin emniyetli manevrasına ilişkin kısıtlı açıklamalar bulunmaktadır. Aşağıdaki gibi son derece önemli operasyonel gereklilikler ise cevaplanma ihtiyacıdadır [4]:

- Sığ sularda yeterli manevra kabiliyeti
- Liman manevraları için maksimum rüzgâr kuvveti
- Düşük hızlarda manevra yeteneği
- Rüzgârda dümen dinleme ve görece yüksek hızlardaki dalgalar, 180 derece dönebilme yeteneği ve dalga etkisinde dönüş
- Kısıtlı (sınırlı) dümen açısı
- Düz bir doğrultuda gidebilme kabiliyeti
- Düşük hızlarda manevra.

Yukarıda sıralanan operasyonlarda gemi kuvvetlerinin yetersiz kalması halinde römorkörlerin kullanımı söz konusudur. Bununla birlikte hangi

kuvvette römorkör(ler) kullanılacağı, kaç adet kullanılması gerektiği gibi hususlar standartlar dışında tutularak “iyi denizcilik” uygulamaları ile belirlenmektedir. Römorkörlerden beklenenler emniyet açısından değerlendirildiğinde yukarıdakilerden biraz daha farklı unsurlar da göz önüne alınmalıdır.

Römorkörlerden beklenen, makine arızaları dahi olsa manevradan yoksun kalmış gemilerin -özellikle de petrol tankerlerinin-, normal operasyonlara en düşük olası etki ile hızlı ve emniyetli şekilde dâhil olmak ve hazır bulunmaktır [5]. O halde römorkörlerden beklenenler sınırlı olmamakla birlikte aşağıdaki hususları da içermelidir [6];

- Yanaşma ve kalkış manevralarında römorkör kuvveti rüzgâr, akıntı ve/veya dalga koşullarında gerekli kuvveti sağlamaya yeterli olmalı,
- Kısıtlı bir alanda gemiyi döndürebilecek kuvvet ve kabiliyette olmalı,
- Yanaşma alanına/rıhtıma doğru hareket halindeki bir gemiyi yavaşlatabilecek hatta durdurabilecek yeterli kuvvete sahip olmalı,
- Bağlı haldeki bir gaz veya petrol tankerine “stand-by” (emre hazır) hizmet verebilmeli,
- Yangın, deniz kirliliğini önleme gibi acil durumlarda kullanılabilmesi, gemide makine, pervane, dümen vb. donanımlar arıza yaptığında oluşan acil durumlarda da doğrudan hizmet verebilmelidir.

Römorkörlerden beklenen bu hususların reaksiyon süresi, manevra kabiliyeti, çekme kuvveti, sualtı yapısı, dengesi, yedekleme donanımları, yedek/manevra halatlarının köprüstünden kontrolü, manevra alanı, uzunluğu, yapısal dayanıklılığı, manevra görüş alanı, köprüüstü tasarımı ve ergonomisi, uygun usturmaçalar ile çevrenmesi gibi römorkörlerin fiziksel özellikleri ile yerine getirilmesi gerekmektedir [1]. Yukarıda belirtilen unsurlardan çekme kuvveti British Standarts BS 6349-4: 1994’te belirtildiği üzere gemi veya römorkör makine arızası,

yedekleme veya bağlama halatlarının kopması, akıntı veya rüzgâr etkenlerinin ani değişimi ve insan faktörü olarak belirlenmiş kazaların [7] önlenmesi için de önemlidir.

Teknik-seyir hizmet bileşenlerinden olan römorkör hizmetleri açısından da römorkörlerin tipi, sayısı ve çekme kuvvetleri belirlenirken elbette yatırım maliyetleri ve ekonomiklik ön plandadır. Bununla birlikte liman römorkörlerinin seçimine etki eden ve aşağıda sıralanmış olan faktörleri de göz önüne almak kaçınılmaz bir zorunluluktur [1];

- Liman yaklaşım imkânları; açık deniz, nehir, kanal, lok/köprü, jettler, liman sahası, şamandıralar, bağlama imkânları vb. özellikleri;
- Çevresel faktörler; soluşan, dalga, rüzgâr, akıntı, buz, sis
- Gemilerin türleri ve büyüklükleri; kuru yük gemileri, konteyner gemileri, RoRo, Araba gemileri, tankerler/VLCC, gaz tankerleri, feribotlar, yolcu gemileri
- Römorkörlerin manevradaki kullanım şekli / yöntemi; Uzun halat çekme, itme/çekme, gemi bordasında yedekleme, eskort hizmetleri
- Mevcut römorkörler ve tipleri; Konvansiyonel tek/çift pervaneli, Traktör tip römorkörler, ASD, vb.
- Mevcut römorkör ve kılavuz kaptanların tecrübeleri; Römorkör tipi tecrübesi, römorkör hizmeti (bağlama yöntemi) tecrübesi
- Römorkörlerin emniyeti; tipi, liman mevzuatı ve yönetmelikler, klas gereklilikleri, çevresel faktörler
- Finansal faktörler; Bütçe, römorkör fiyatları, işletme maliyetleri vb.

Römorkörlerin tercihi konusu ise elbette limanlar için son derece önem arz eden ve finansal açıdan önemli yatırım kararlarından bir tanesidir. Yukarıda da ayrıca belirtilmiş olan hangi koşullarda ne kadar “çekme kuvvetine” ihtiyaç olduğu ise çoğunlukla belirtilmemiştir. Oysa yukarıda belirtilen beklentiler ve seçimlerini etkileyen unsurlar açısından kuvvetlerin

büyüklüğü ve römorkör sayısının belirlenmesi son derece önemlidir.

### 3. Gerekli Römorkör Kuvvetinin Tespiti

Deniz araçları ve gemiler geçiş yapan, demirleyen, bağlama operasyonundaki gemilerden, farklı şekil ve uzunluklara sahip bank etkilerinden, basen alanlarından, rıhtım ve iskelelerden, tahliye halindeki yük birimlerinden kaynaklanan kuvvetlere karşı manevra yapmak durumundadırlar [8]. Şu halde gerekli römorkör kuvvetinin tespitinde, limanı kullanacak/kullanması beklenen en büyük geminin liman bölgesinde (girişi ve liman sahası) karşılaşacağı en yüksek rüzgâr, dalga ve/veya akıntı etkisinin gemi ana makinesi, baş iter gibi ek donanımları kullanılmayacağı varsayılarak hesaplamalar yapılması gereklidir. Dolayısıyla limanlarda kullanılacak römorkör kuvvetinin tespitinde iki temel koşul ortaya çıkmaktadır. Birincisi, geminin manevra yapacağı alanda meydana gelebilecek en yüksek rüzgâr, akıntı, dalga gibi meteorolojik koşullar ile bu faktörlerin gemi üzerindeki etkisini belirleyecek bölgedeki derinlikler, kanallar, durdurma mesafeleri, manevra sahası kısıtlamaları gibi manevra alanına özgü faktörlerin oluşturduğu çevresel koşullardır. İkincisi ise, limanı kullanması beklenen en büyük gemilerin tipi, su çekimi, rüzgâr alanı, su altı alanı gibi daha çok gemiye bağlı fiziksel özelliklerdir.

Çevresel unsurların belirlenmesinde önemli referanslardan biri OCIMF (Oil Companies International Marine Forum)’dir. OCIMF, “Bağlama Donanımları/Ekipmanları Rehberinde” (MEG) gemilerdeki bağlama donanımlarının hangi koşullar altında değerlendirilmesi gerektiğini ve geminin karşılaşacağı dirençler açısından hangi faktörlerin önemli olacağını belirtmiştir. Buna göre bağlı bir gemiye etki edecek direnç kaynakları; rüzgâr, akıntı, gel-git, geçen gemilerin etkisi, dalga/solugan, buz ve draft, trim veya bayılmadan oluşan değişimlerdir [9].

### 3.1. Çevresel Faktörlerin Hesaplanması

Literatürde gemi üzerindeki kuvvetlerin tespitine yönelik çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Yine pek çok çalışmanın rüzgâr etkisine odaklandığını da belirtmek gerekir. Bununla birlikte önemli dirençlerden bir diğeri de dalga direncidir. Geminin doğal çevresi durgunluktan oldukça uzaktır ve bu durumu bozan en temel faktör dalgadır. Dalganın formu ise suyun derinliği, akıntılar ve yerel coğrafi özelliklere bağlıdır [10]. Bu doğrultuda rüzgâr etkilerinin yanı sıra dalganın etkisi de hesaplanma ihtiyacındadır.

Rüzgâr ve hava direncinin etkileri gemi teknesinin su üstünde kalan kısmında aerodinamik kuvvetler ve momentler açısından doğrudan etkilidir. Yanı sıra rüzgâr dalgaları gibi bazı ikincil etkilerde mevcuttur ancak bunlar ayrıca hesaplanmakta ve liman alanları gibi feç mesafesinin sınırlandırıldığı alanlarda daha az etki göstermektedirler [11].

Rüzgârın etkisi özellikle kurvaziyerler ve ferry tip gemilerdeki gibi devasa üstyapılara sahip gemilerde daha da önem kazanmaktadır ve kuvvetli rüzgârlar bu tip gemilerin rüzgâr üstüne dönüşlerini engelleyebilmektedir [10].

Rüzgârın gemi üzerindeki etkileri konusunda yapılmış olan çalışmalara örnek olarak; Isherwood (1972)[12], Blendermann (1995), T.I. Fossen (1994) gösterilebilir. Ayrıca Isherwood (1972) rüzgâr kuvvetinin hesaplanmasına yönelik olarak ticaret gemileri için rüzgâr katsayılarının tespiti, 150.000-500.000 dwt arasındaki VLCC'ler (Very Large Crude Carriers) için OCIMF (Oil Companies International Forum) tarafından rüzgâr dirençlerinin ve katsayılarının hesabı (1977), yine OCIMF tarafından büyük tankerler ve ortalama büyüklükteki gemiler için rüzgâr direnci hesaplamaları, bağlı gemiler ve yüzen yapılar için ise De Kat ve Wichers (1991) ile devasa büyüklükteki yüzer yapılar için de Kitamura vd. (1997) tarafından yapılan çalışmalar bulunmaktadır [13].

Pek çok gemi için dinamik rüzgâr kuvveti hesabı en temel haliyle  $q_a = \frac{1}{2} \rho_a V_a^2$  formülü ile bulunmaktadır [14].

Rüzgâr akımının doğal yapısı ihmal edilirse, aerodinamik kuvvetlerden doğrusal (boyuna) kuvvet  $X_A$ , bordasal sürüklenme  $Y_A$  ve aerodinamik saptırma momenti  $N_A$  standart bir gövde için sabit bir eksen üzerinde şu şekilde hesaplanabilir:

$$X_A = C_{XA} \frac{\rho V_A^2}{2} A_T, Y_A = C_{YA} \frac{\rho V_A^2}{2} A_L, N_A = C_{NA} \frac{\rho V_A^2}{2} A_L LOA$$

$C_{XA}$ ,  $C_{YA}$ ,  $C_{NA}$  aerodinamik kuvvet/moment katsayılarını gösterirken;  $A_T$  ve  $A_L$  su üstünde kalan doğrusal (transverse) alanı ve bordasal alanı, LOA ise gemi tam boyunu göstermektedir [11].

Denizcilik sektöründe gerekli römorkör kuvvetinin tespitine yönelik kullanılan en yaygın kaynaklardan biri IMO MSC/Circ.1101 [15] ile tavsiye edilmiş olan ve Kaptan Henk Hensen tarafından yazılmış "Limanlarda Römorkör Kullanımı" (Tug Use in Ports) isimli eserdir [1]. Eserde, gemilerin karşılaştıkları dirençlerin hesaplanması için aşağıda formüllerin kullanılabileceği yer almaktadır (İlgili formüllerden çalışmanın amacına uygun olarak yalnızca en büyük etkiyi oluşturan bordasal yüzeylere ilişkin olanlar verilmiştir).

Rüzgâr etkisi (bordasal/yanal);

$$F_{yw} = 0,5 C_{yw} \rho V^2 A_L \text{ Newton}$$

Akıntı etkisi (bordasal/yanal);

$$F_{yc} = 0,5 C_{yc} \mu V^2 L_{BP} T \text{ Newton}$$

Dalga etkisi (bordasal/yanal);

$$F_{Wave} = 0,35 \phi g L \delta_a^2 \text{ Newton}$$

veya geminin draftına bağlı olarak derinlik azalması etkisi nedeniyle dalga etkisi;

$$F_{Wave} = 112 L H_s^2 \text{ kgf}$$

Hensen tarafından aktarılan ve yukarıda verilen formüllerde son derece önemli olan ve dikkatle kullanılması gereken katsayılar bulunmaktadır. Şayet model gemi rüzgâr tüneli testlerine alınmamış ve katsayılar elde edilmemişse, bu alanda kullanılan

standartlardan en az bir tanesi kullanılarak römorkör kuvvetinin tespit edilmesi gerekmektedir [16]. Bu standartlara örnek olarak British Standarts BS 6349-1, Spanish Standarts ROM (Maritime Works Recommendations) 0.2~90, Japon OCDI Standartları (The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan), OCIMF'in büyük tankerlerin emniyetli bağlamaları hakkındaki standartları, SIGTTO'nun gaz tankerleri için oluşturdukları standartlar gösterilebilir. Standartlarda yer alan formüller birbirine çok benzer olmakla birlikte az da olsa farklı değerlere ulaşmak söz konusudur. Farklılıkların nedeni ise kullanılan katsayıların her bir standart için farklı bilimsel yöntemlerle elde edilmiş olmasıdır. Rüzgâr direncinin hesaplanmasına yönelik deniz araçları için standart formül;

$$P_w = C_w \times (A_w \times \sin^2 \varphi + B_w \times \cos^2 \varphi) \times \gamma_w \times \frac{V_w^2}{2g}$$

iken, Spanish Standart ROM 0.2~90 da;

$$R_v = \frac{\rho}{2g} \times C_v \times V_w^2 \times (A_t \times \cos^2 \varphi + A_l \times \sin^2 \varphi)$$

olarak kullanılmaktadır. British Standards BS 6349-1'de ise;

$$F_{T_{wind}} = (C_{T_{wforward}} + C_{T_{w aft}}) \times \rho \times A_L \times \frac{V_w^2}{10000}$$

şeklindedir.

Yukarıda verilmiş olan standartlar gemilerin karşılaşması muhtemel rüzgâr, dalga ve akıntı dirençleri için hesaplamaları göstermektedir. Ancak bu hesaplamalar dışında örneğin rüzgârın sağanak yapması durumunda ne oranda bir direnç artışının söz konusu olacağı hakkında ilave bir açıklama bulunmamaktadır.

### 3.2. Gemiye Bağlı Fiziksel Özellikler

Yukarıda da belirtildiği üzere römorkör kuvvetlerinin belirlenmesinde hem çevresel faktörlerin hem de gemiye bağlı özelliklerin göz önüne alınması gerekmektedir. Burada söz konusu olan gemi büyüklüğü kavramı rüzgâr alanı açısından gemi tipine, draft değeri açısından da yüklü olup olmamasına

bağlı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Rüzgâr alanının değişkenliği nedeni ile gemi tipi, rüzgâr ve sualtı alanının hesaplanabilmesi için gemi boyutlarının, trim durumunun ve ayrıca sudan kaynaklı direncin hesaplanabilmesi için de su çekimi ve omurga altı derinlik değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şu halde kabaca 120 m boya sahip 5 metre su çekimindeki bir dökme yük gemisi ile 360 metre boya sahip 15 metre su çekimindeki bir konteyner gemisinin karşılaşacağı bordasal rüzgâr, dalga ve akıntı etkisine karşı kullanılacak römorkör kuvvetleri arasında büyük farklılıklar olacağı açıktır.

### 3.3. Gerekli Römorkör Kuvvetinin Belirlenmesi İçin Temel Kriterler

Gemilerin karşılaştığı dirençlerin hesaplanması ile bulunan değerler doğrudan gerekli römorkör kuvveti olarak alınması yeterli olmayacaktır. Örneğin emniyet faktörleri son derece yüksek olan gaz tankerlerinin manevralarına ilişkin hazırlanmış SIGTTO (The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators Ltd) raporunda, izin verilen en yüksek operasyon limitlerinde, tankerin ana makinesinin çalışmıyor olacağı kabul edilerek yeterli römorkör desteğinin daima hazır bulunması zorunludur ifadesi bulunmaktadır [17]. Dolayısıyla belirlenmiş çevresel koşulların limit değerinde geminin şayet kendi ekipmanlarından kaynaklı acil durumlar nedeniyle tehlikeye sürüklenmesi söz konusu olmayacak şekilde römorkör kuvvetinin hazır bulunması gerekecektir.

Yukarıda belirtildiği üzere "toplam gerekli çekme kuvveti" ( $B_p$ ) çevresel koşullarının etkileri de göz önüne alınarak aşağıdaki genel formüle göre hesaplanmaktadır [3];

$$B_p = S_f \times [(F_{wind}) \times F_g] + F_{wave} + F_{current}$$

Thoresen'e göre [6] ilaveten, "operasyon emniyet faktörü" ( $S_o$ ) daima 1,2 ile 1,5 değerleri arasında olmak zorundadır. Bu değer baş iter donanımları dâhil olmak üzere toplam kullanılabilir römorkör kuvveti kapasitesinin ( $T_c$ ), yavaşma ve

kalkış manevralarının tüm aşamalarını içerecek şekilde çevresel faktörler hesap edilerek bulunacak “toplam römorkör çekme kuvvetine” (Bp) bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$So \geq \frac{Tc}{Bp} \geq (1,2 : 1,5)$$

Yukarıdaki formülde belirtilmiş diğer kritik faktör olan “emniyet faktörü” (S<sub>e</sub>) ise “römorkör çekme kuvveti faktörü” olarak tanımlanmış ve hava koşullarına bağlı olarak 1,2 ile 1,5 arasında bir değer alacak şekilde belirlenmektedir. Ayrıca genellikle 20% ile 50% arasında bir değer de genel emniyet payı olarak kullanılmaktadır. Bu değer, karşılaşılabilecek muhtemel hava koşulları karşısında mevcut “römorkör çekme kuvvetindeki” azalmayı, yedek halatı boyunun mesafesi, römorkörün itme veya çekme kuvveti, swell -soluğan- durumu ve akıntı hızı, dalga etkisi gibi faktörlere bağlı olarak değiştirilebilir olduğu da belirtilmelidir. Bir diğer önemli hususta, bahsedilen tüm değerlendirmelerin bölgede egemen hava koşullarının manevra yapılabilir en yüksek değerinin, gemi üzerindeki en yüksek etkisi altında hesaplanarak bulunması gerektiğidir [6].

Yukarıda belirtilen emniyet faktörü kullanımına açıklama olması açısından hava sıcaklığı ve rüzgâr ilişkisinin aşağıdaki durumları gösterilebilir [18];

- Hava sıcaklığına bağlı olarak soğuk havalarda rüzgârın yoğunluk nedeniyle gemi üzerinde daha etkili olması,
- Havadaki nem oranına bağlı olarak rüzgâr etkisinin sıcak ve nemlilik oranıyla azalması,
- Rüzgârın hızı 20 knot’tan 30 knot’a çıktığında (50% arttığında) rüzgâr etkisinin 125% artış göstermesi.

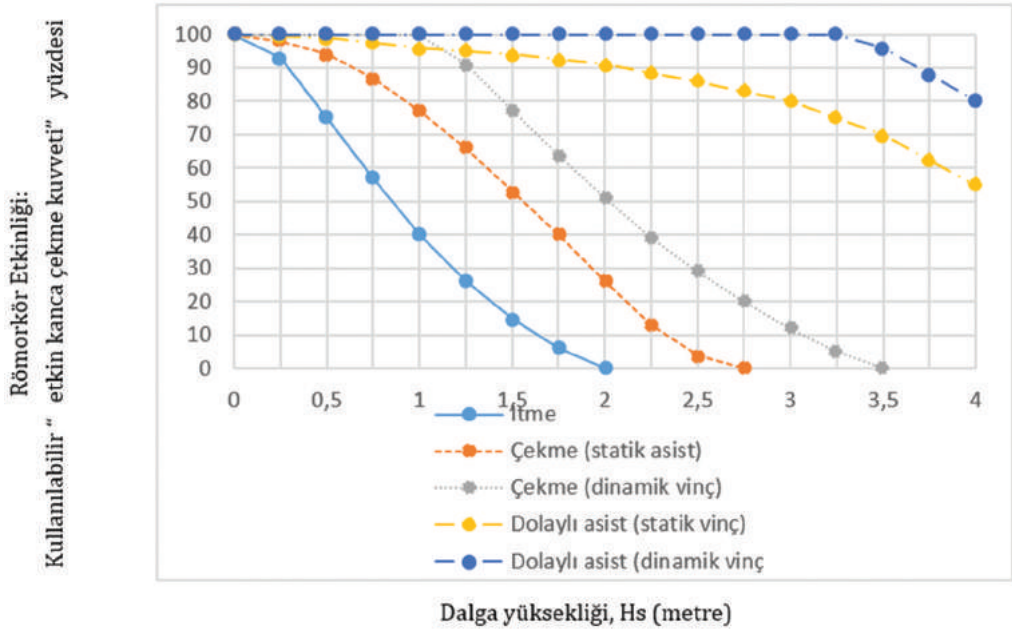
Yukarıda açıklanmaya çalışılan emniyet faktörü değerlendirmelerine ilave olarak römorkör tipine bağlı “römorkör etkinlik kuvveti”, bölgedeki dalga boyunun (ve/veya solugan dalga boyunun) artmasına bağlı olarak da azalma gösterecektir. Dolayısıyla gerekli römorkör kuvveti belirlenirken en

yüksek rüzgâr hızı, dalga ve/veya akıntı güçlerinin limanı kullanan en büyük gemi üzerindeki etkileri gemi üzerindeki manevra yardımcıları ve donanımları düşünülmeden hesaplanmak durumundadır.

Römorkör kuvvetinin hesabında dikkate alınması gereken bir diğer husus ise yine yukarıda belirtildiği üzere liman sahasıdır. Özellikle manevraya aktif katılacak römorkör sayısı ve kuvvetleri açısından liman alanındaki kanallar, liman alanına giriş genişliği (mendirek ağzı), döndürme alanı, emniyetli manevra alanı son derece önem arz etmektedir. Yetersiz alan, römorkör sayısını azaltırken her bir römorkör kuvvetinin de artırılmasını gerektirecektir. Liman sahasındaki su derinliği ve gemi draftı ilişkisi ise bir başka önemli husustur. Derinlik göreceli olarak yüksek olsa da, günümüzün yüksek draftlı gemileri açısından hem akıntının gemi üzerindeki etkisi açısından, hem de geminin karşılaşılabilecek dirençlerin üstesinden gelebilme ihtiyacı römorkör güçlerinin de artmasına neden olacaktır.

Şekil 1’de 6-12 sn periyodundaki dalga etkisi altında römorkör etkinliğindeki azalma, römorkörde kullanılan vinç sistemi bazında ayrı ayrı gösterilmektedir. 1,5 metre dalga yüksekliğinde çalışan römorkörün çekme kuvveti dinamik vinç üzerinde yaklaşık 15%, statik vinç üzerinde 45% azalma göstermektedir. Dalga koşullarının römorkör üzerindeki olumsuz etkileri ise aşağıdaki gibi sıralanmaktadır. [6];

- Dalga nedeniyle pozisyonunu ve açısını koruyamadığından beklenen gücü aktaramaması,
- Dalganın gemi ve römorkör üzerindeki farklı etkisi nedeniyle römorkörün gemiden göreceli bir hareketi ve bu göreceli hareketin uzun dalga periyotlarında daha büyük, kısa dalga periyotlarında ise daha küçük olması,
- Römorkör kuvvetinin bir kısmının geminin yanal hız değeri ile birlikte göreceli olarak pozisyonda kalabilmesi için harcanması.



Şekil 1. Dalga Etkisi Altında (6-12 sn periyotlu) Römorkör Etkinliği

Kaynak: Thoresen (2010)[6]

Yukarıda belirtilen temel değerlendirmeler kullanılarak bir gemi için ihtiyaç duyulacak römorkör kuvvetinin tespiti mümkün hale gelmektedir.

### 3.4. Römorkör Sayısının Belirlenmesinde Kriterler

Yukarıda limanı kullanması beklenen en büyük geminin, liman sahası için belirlenmiş limit çevre koşullarında liman sahası özellikleri dikkate alınarak toplam gerekli römorkör kuvvetinin nasıl tespit edileceği açıklanmıştır.

Alışıl gelmiş gemi büyüklükleri açısından toplam gerekli römorkör kuvveti hesaplandığında bir ya da iki römorkör ile karşılanabilecek büyüklükler söz konusudur. Ancak gelişen deniz ticareti ve artan ticaret hacmi günümüz gemilerinin de büyümesine neden olmakta, tıpkı limanların ve liman ekipmanlarının gelişmesinde rol oynadığı gibi römorkörlerin daha kuvvetli ve daha etkin olmalarında da rol almaktadır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler bazen iki ya da üç römorkörle bile karşılanabilmekten uzak

kalmaktadır. Dolayısıyla elde edilen toplam römorkör kuvvetinin mümkün olan en az sayıda römorkör ile sağlanması hususunda bazı kriterlerin değerlendirilmesi söz konusudur.

Yanaşma ve ayrılma manevraları için toplam römorkör sayısının belirlenmesi sırasında göz önünde tutulması tavsiye edilen hususlar şunlardır [6];

- Gemide var olsa bile baş iter(ler) değerlendirmeye alınmamalı,
- Gemi üzerindeki etkin çevresel kuvvetler rüzgâr ( $F_{wind}$ ), dalga ( $F_{wave}$ ) ve akıntı ( $F_{current}$ ) kuvvetleri olup, rüzgârın "gust" yani ani sağanak durumu ( $F_g$ ) için en az 1,2 katsayı faktörü uygulanmalı,
- Genel olarak rüzgâr ve akıntının gemi üzerindeki etkisine karşı koyabilmek ve geminin tutulabilmesi (to hold) amacıyla hesapla elde edilen kuvvetin yaklaşık %30 fazlası kullanılmalıdır.

Belirtilen bu kriterler aslında toplam römorkör kuvvetini arttıran bir unsur gibi görülebilir. Ancak uygulama söz konusu olduğunda toplam römorkör kuvvetinin mümkün olduğunca birbirine eşit



kuvvetlerdeki römorkörler ile sağlanması gereklidir. Bu husus özellikle geminin orta hattından başa ve kıça doğru konumlanacak römorkörlerin eşit kuvvette olması açısından önem kazanmaktadır.

Römorkör sayılarının belirlenmesindeki diğer hususlar ise uygulamaya yönelik olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin kullanılan halatın dayanma / kopma gücü, römorkör vincinin özelliği, gemide bulunan babaların kopma kuvvetleri gibi hususlar bu çerçevede ele alınmak durumundadır. Böylece yukarıda sıralanan unsurlarla birlikte hesaplanan hem toplam kuvvetin gemi baş ve kıç hattına eşit dağılması hem de bağlantı ekipmanlarının kopma/ dayanma kuvvetleri römorkör sayılarının belirlenmesinde değerlendirilmelidir.

#### 4. Simülasyon Deneyleri

Gerekli römorkör kuvvetine bağlı olarak römorkör sayısının belirlenebilmesi için hesaplamalar yoluyla bulunmuş olan gerekli römorkör kuvvetinin simülasyon ortamında test edilmesi römorkörlerinin yeterliliği, yetkinliği ve maliyetleri göz önüne alındığında son derece önemli hale gelmektedir. Aşağıda simülasyon deneylerinin gerçekleştirildiği tesis, simülasyon yazılımı ve deneylerin planlanmasına ilişkin detaylı açıklamalara yer verilmiştir.

##### 4.1. Simülasyon Yazılımı ve Tesis

Simülasyon deneyleri için kullanılan tesis Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesindeki DEÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından desteklenen 2013. KB.FE.001 numaralı "Liman Modelleme Simülatörü"dür.

Simülasyon deneylerinin gerçekleştirildiği simülasyon yazılımı ise Transas Marine International AB, İsveç tarafından üretilmiş olup DNV (Det Norske Veritas) tarafından 2012 Aralık ayında NTPro 5000 olarak STCW sözleşmesi I/12 sayılı yönetmeliğe uygun A Sınıfı Simülatör olarak sertifikalandırılmıştır. A Sınıfı

simülatörler seyir planları ve gemi mevkiinin tespiti, ECDIS, AIS, SSAS, Radar ve ARPA ile diğer yardımcı ekipmanlar kullanılarak emniyetli seyir vardiyasının sürdürülmesi, acil durumlara müdahale, denizde tehlike çağrularına cevap verme, arama/kurtarma operasyonlarının koordine edilmesi, bütün koşul ve şartlarda gemi manevrası ve elleçlenmesi, makine sistem ve servisleri ile pervane sistem kontrolünün köprüüstünden operasyonu, buz seyri ve balıkçılık operasyonlarını gerçekleştirebilme kabiliyetine sahiptir. NTPro 5000 Köprüüstü Simülatörü, tam olarak kontrol edilmiş ve gerçekçiliğe uyarlanmış gemi modelleri ile çalışmaktadır. Dolayısıyla yanaşma manevralarında, yedekleme operasyonlarında, halat operasyonlarında ve diğer liman sahası operasyonlarında geminin hareketleri gerçekçi ve matematiksel verilerle desteklenerek elde edilmektedir. Ayrıca simülatör üreticisi tarafından sağlanan alan geliştirme yazılımı sayesinde de istenen bölge gerekli verilerle işlenerek sisteme aktarılabilen ve üretilmiş olan alanda da yukarıda belirtilen gemi ile ilgili diğer işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

##### 4.2. Simülasyon Deneylerinin Planlanması

Simülasyon deneyleri gerekli römorkör kuvvetini sağlayacak şekilde römorkör sayısının tespit edilmesine yönelik olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla aşağıda maddeler halinde verilen çalışma aşamaları simülasyon deneyleri öncesinde planlanarak uygulanmıştır.

- Simülasyonda kullanılacak model gemilerin tespiti,
- Model gemilerin fiziksel özelliklerinin hesaplar için elde edilmesi,
- Model olarak seçilen gemilerin çalışması muhtemel liman alanlarının belirlenmesi,
- Belirlenen liman alanlarında hâkim olan rüzgâr, akıntı ve rüzgâr verilerinin elde edilmesi,
- Belirlenen liman alanlarının derinlik, kanal genişliği vb. coğrafi verilerinin

- elde edilmesi ve simülasyon sistemine aktarılması,
- Model olarak seçilen gemiler için hesaplamalar yoluyla gerekli römorkör kuvvetinin tespit edilerek simülasyon sisteminde kullanılacak römorkör kuvvetinin belirlenmesi,
  - Simülasyon deneylerinin uygulanması ve ilk olarak hesabi yolla bulunan toplam römorkör kuvvetinin simülasyonda test edilmesi,
  - Deneyler sonucunda kullanılan römorkör sayılarının belirlenmesi.

Burada ayrıca belirtilmesi gereken bir husus da bir geminin yedeğe alınarak çekilmesi için gerekli kuvvet hesabı göz ardı edilmiştir. Yedeklenen geminin üzerindeki yolun da hesaplara katılması ihtiyacı bulunduğundan bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Yukarıda verilmiş olan planlama aşamaları doğrultusunda gerçekleştirilen testler ve deneysel çalışmalar sonucunda da aşağıda sıralanmış olan kazanımların elde edilmesinin mümkün olabileceği değerlendirilmiştir:

- Hesap edilen dirençlerin model gemi üzerindeki etkilerinin doğruluğunun test edilerek sınanması ve doğrulanması,
- Römorkör kuvvetlerinin belirlenen çevre koşulları altında gemiyi

“abramaya” (kontrol etmeye) yeterli olup olmadığının gözlemlenmesi,

- Römorkör kuvvetlerine ve limanın manevra sahasına bağlı olarak kaç adet römorkör kullanılması gerektiğine karar verilemeye yardımcı olması.

### 4.3. Modeller

Modellerin belirlenmesinde özellikle son yıllarda Türk limanlarında görülmeye başlanan ve büyüklük açısından kendi türleri arasında dahi farklı özelliklere sahip gemiler tercih edilmiştir. Aşağıda Tablo 1’de özellikleri belirtilmiş olan 2 farklı gemi modeli bu amaçla kullanılmıştır. Bu modellerden birincisi konteyner gemisi (Model 1) diğeri ise Q-Max sınıfı LNG (Model 2) gemisidir. LNG (Model 2) gemisi için ayrıca hem yüklü hem de balastlı durum temel alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Dolayısıyla yüklü ve boş gemilerin gerekli römorkör kuvvetlerinin de nasıl değişkenlik gösterebileceği de araştırılmıştır.

Üçüncü Model ise (Model T) çalışmalarda kullanılan römorkörlere aittir. Kullanılan römorkörler Z-Drive tipte, iki adet 1250 kW makine gücü olan, 48 ton kanca çekme kuvvetinde 39,3 m boy ve 9,8 m genişliğe sahip römorkörlerdir.

**Tablo 1.** Model Gemiler ve Özellikleri

	Model 1	Model 2	Model T
Gemi Tipi	Konteyner Gemisi	LNG (Q-Max)	Römorkör
Tam Boy (m)	334	345	39,3
Genişlik (m)	42,0	55	9,8
Draft (m)	14,5	12 : (9,6)*	3,2
Deplasman (t)	135.759	171.292 : (141.990)*	549
Rüzgâr yüzü alanı (m <sup>2</sup> )	10.020	8200 : (9300)*	-
Sualtı alanı (m <sup>2</sup> )	4.640,0	3984 : (3187)*	-
Derinlik / Draft oranı	1,1	1,2	-

\* Yüklü ve balastlı durumlardaki değerlerdir.

#### 4.4. Simülasyon DeneYlerinde Temel Kriterler

Seçilen gemi modellerinin farklı liman sahalarında ve farklı çevre koşulları altında çalışacağı kabul edilerek Model 1 (konteyner) gemi için İskenderun Körfezi Model 2 (LNG) için ise Aliğa bölgesi temel alınmıştır ve ilgili bölgelerin doğa koşullarına uygun çevre faktörleri belirlenmiştir. Her iki bölge için de 20 knot rüzgâr şiddeti, 0,2 knot akıntı ve 1,5 m dalga yüksekliği değerleri kullanılması uygun bulunmuştur. Ayrıca ilgili bölgelerdeki derinlikler kullanılarak gemi draftlarına uygun derinlik değerleri alınmış ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Dalga yüksekliği belirlenirken de römorkörlerin etkin çalışma üst sınırı olarak gösterilen 1,5 metre sınırı kullanılmıştır.

Gerekli römorkör kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan formüllerin tercihinde varsa toplam römorkör kuvveti tespitinde kullanılan standartlar kullanılması, standartların bulunmadığı durumlar için de en yakın düşük sonuçlar veren formüllerin seçimi esastır. Bu doğrultuda konteyner gemisi için genel rüzgâr kuvvetinin tespitindeki formüller (rüzgâr, dalga ve akıntı), LNG gemisi için ise SIGTTO tarafından belirlenmiş olan formüller kullanılmıştır. Çalışmanın amacında formüller arasında bir farklılık veya değerlerin analizi olmadığından her bir geminin değerleri ayrı olarak ele alınmıştır. Aşağıda seçilen modellere ait

ve hesaplamalar yoluyla bulunan gerekli römorkör kuvvetlerine Tablo olarak yer verilmiştir.

Model 1 (Konteyner) için rüzgâr, dalga ve akıntının gemi üzerinde oluşturacağı toplam direnç kuvveti 108,91 ton'dur. %25'lik ( $S_f$ ) emniyet faktörünü içeren toplam 136,1375 tonluk hesapla bulunan en büyük çekme kuvveti, kullanılacak römorkörler ve acil durumlar söz konusu olduğunda 1,2 - 1,5 arasında ilave operasyonel emniyet faktörü ( $S_o$ ) ile geliştirilmesi gerekmektedir. Tablo 2'de görüleceği üzere, emniyet faktörü ve operasyonel faktör ilave edilmiş römorkör kuvveti 163,365 ton olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3'te ise yüklü durumdaki Model 2 (Q-Max) için 127,448 ton ve emniyet kriteri ile birlikte 191,172 ton olarak hesaplanmış değerler gösterilmiştir. Rüzgâr direncine ilave edilen operasyon emniyet faktörü ( $S_o$ ) 1,2 olarak kabul edildiğinde de operasyon için gerekli römorkör kuvveti ( $T_r$ ) 229,410 ton olmaktadır.

Model 2 (Q-Max) geminin özellikle ayrılma manevralarında boş durumda olacağı düşünülerek balastlı kondisyondaki değeri araştırılmış ve işlem bu kez boş gemi için tekrarlanarak 133,540 ton bulunmuştur. Bu değere %50 emniyet faktörü ve %20 operasyon emniyet faktörü de ilave edildiğinde operasyon için gerekli römorkör kuvvetinin ( $T_r$ ) değeri Tablo 4'te görüleceği üzere 240,373 ton olarak hesap edilmiştir.

**Tablo 2.** Model 1 (135,759 Disp. Konteyner Gemisi) için Gerekli Römorkör Kuvveti (20 knot Rüzgâr, 0,2 knot Akıntı ve 1,5 m Dalga Yüksekliği)

$S_f$	$F_{wind}$	$F_{wave}$	$F_{current}$	$S_o$	$B_p$ [[ $(F_{wi} + F_{wa} + F_c) * S_f * S_o$ ]]
1,25	40,65	59,35	8,91	1,20	163,365

**Tablo 3.** Model 2 (Q-Max Tip Yüklü -171,292 Disp.- LNG Gemisi) için Gerekli Römorkör Kuvveti (10,3 m/s Rüzgâr, 0,1 m/s Akıntı ve 1,5 m Dalga Yüksekliği)

$S_f$	$F_{wind}$	$F_{gust}$	$F_{wave}$	$F_{current}$	$S_o$	$B_p$ [[ $(F_{wi} * F_g) + F_{wa} + F_c$ ]] * $S_f$ ]]
1,5	60,42	1,2	49,97	4,974	1,20	229,4064

**Tablo 4.** Model 2 (Q-Max Tip Balastlı -141,990 Disp.- LNG Gemisi) için Gerekli Römorkör Kuvveti (10,3 m/s Rüzgâr, 0,1 m/s Akıntı ve 1,5 m Dalga Yüksekliği)

$S_f$	$F_{wind}$	$F_{gust}$	$F_{wave}$	$F_{current}$	$S_0$	$\frac{B_p}{[(F_{wi} * F_g) + F_{wa} + F_c] * S_d}$
1,5	68,4587	1,2	49,97	1,42	1,20	240,373

Simülasyon çalışmalarında gerekli kuvvetin en az sayıdaki römorkör ile karşılanması için tespit edilmesinden sonra simülasyon deneylerine geçilmiştir. Bu aşamada literatürde belirtildiği üzere ayrıca aşağıdaki hususlar da göz önüne alınmıştır [6];

- Simülasyon deneylerinde kullanılan etkin römorkör kuvveti aşılmamalıdır. Örneğin geminin askıda tutulabilmesi için (holding state) toplam mevcut römorkör kuvvetinin 75%'i, yani dört römorkörden üçü kullanılmalıdır.
- Belirlenmiş sınırlar ve emniyet mesafeleri dikkate alınarak geminin manevra kabiliyeti elde edilmelidir.
- En yüksek deniz/solugan dalga konumundaki etkin yedekleme yeteneği değerlendirilmelidir.

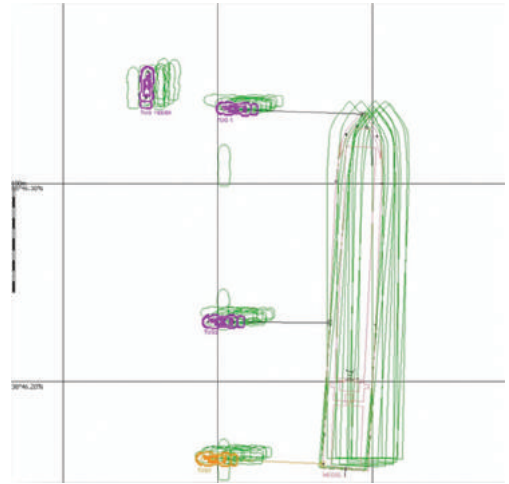
## 5. Simülasyon Deneyleri ve Bulgular

Yukarıda açıklanan aşamalardan sonra simülasyon deneylerine geçilmiş ve deneyler de hesapla bulunan toplam direnç kuvvetlerine eş römorkörler kullanarak belirtilen çevre koşullarında gemiyi abramaya/tutmaya yetip yetmeyeceği test edilmiştir. Burada tekrar belirtmek gerekir ki römorkör modeli seçilirken günümüz gemilerindeki babaların kopma/dayanma kuvvetleri göz önüne alınarak 50 ton sınırını aşmayacak bir model üzerinde durulmuştur. Simülasyon deneylerinde römorkörler bağlamaları yapılırken de mümkün olduğunca gemi bordasından ve gemi merkez hattından başa / kıça eşit mesafelerde konumlandırılmaya özen gösterilmiştir.

### 5.1. Simülasyon Deneyi #1 (Model 1 - Konteyner)

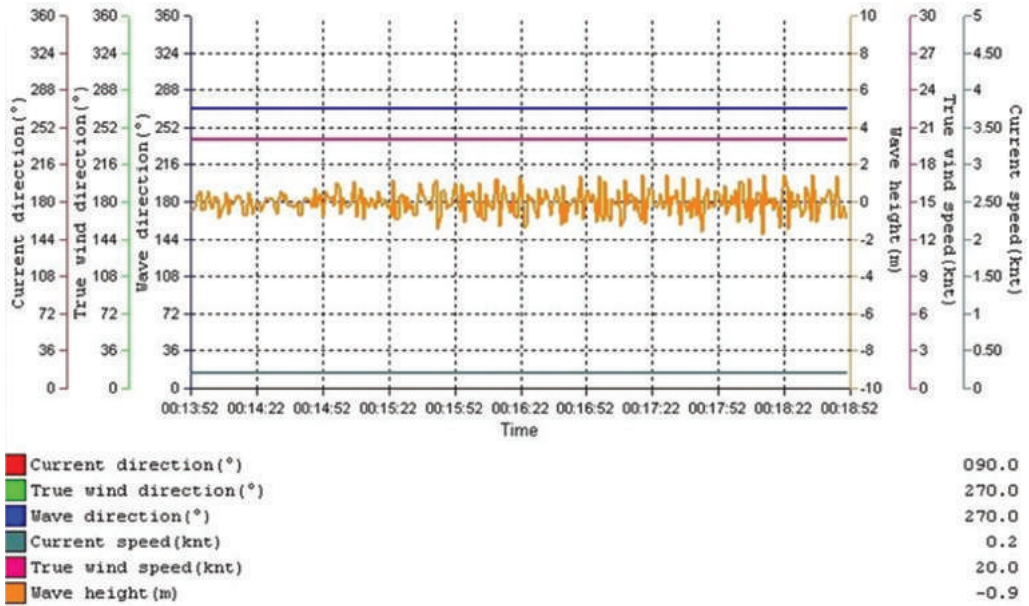
Model 1 gemi için hesapla bulunan römorkör kuvveti ihtiyacı 108,91 tondur. Simülasyon çalışmasında da beklenen, gemi

üzerinde oluşan direnç değerlerinin 108,91 ton değerinde veya yakınında çıkmasıdır. Bu doğrultuda simülasyonda, Şekil 2'de görüldüğü gibi, her biri 48 tonluk Z-Drive tip römorkörlerden 3 tanesi sırasıyla baş omuzluk, vasat ve kıç omuzluklardan tek halat üzerinde çekme pozisyonunda konumlandırılmıştır.

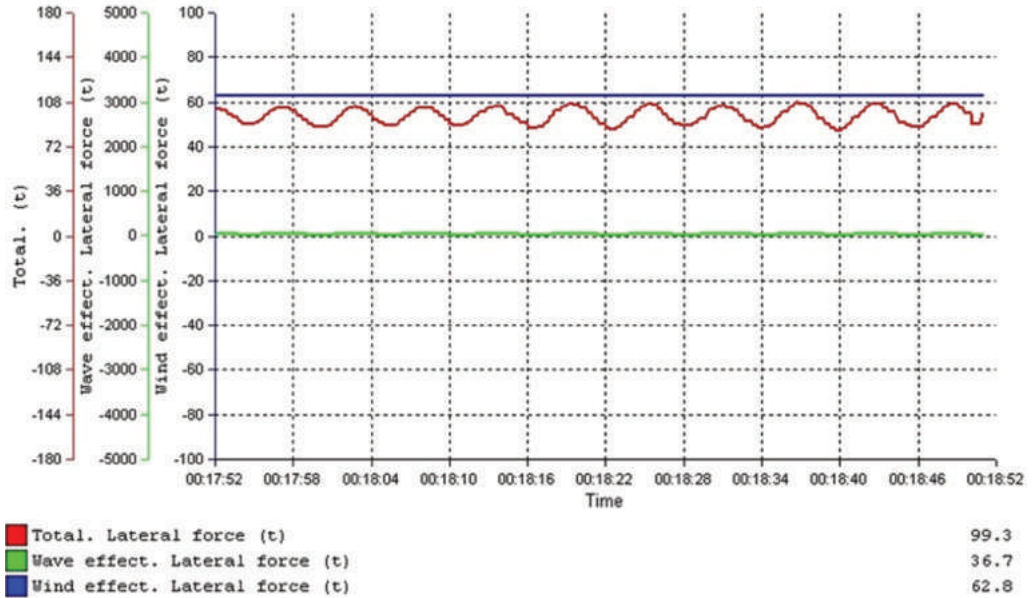
**Şekil 2.** Model Gemi 1 - Simülasyon Deneyi #1

Gemiler ile römorkörler arasında her biri 100 metre uzunluğunda halat kullanılarak gerçekleştirilen deney çalışmasında römorkörlere güç verilmeden önce çevresel koşulların gemi üzerinde etki sağlanması beklenmiş ardından römorkörlere yukarıda belirtilen oranlarda güç verilerek durum gözlemlenmiştir. Şekil 3'te gemiye uygulanan çevresel kuvvetlere ilişkin değerler gösterilmiştir.

Model 1 için gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında; Şekil 4'te de görüldüğü üzere gemi üzerinde oluşan toplam direnç değeri en yüksek 109 ve en düşük 90 ton arasında değerler alırken, Şekil 5'te aynı çevre koşulları altında çalışan römorkörlerin uyguladığı toplam 100,8 tonluk kuvvet grafiği yer almaktadır.



Şekil 3. Model Gemi 1 - Simülasyon Deneyi #1 Çevre Faktörleri

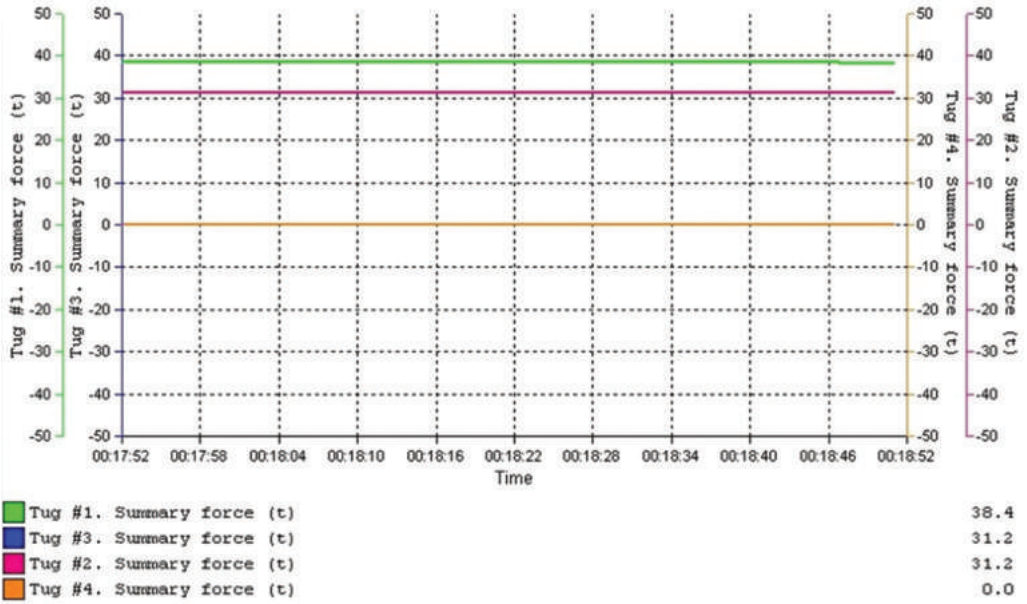


Şekil 4. Model Gemi 1 - Simülasyon Deneyi #1 Çevre Faktörleri ve Toplam Bordasal Kuvvetler

Simülasyon deneyinin başlatılmasından yaklaşık 15 dakika sonra çevre faktörleri etkisi altında kalarak hareket etmekte olan geminin "tutma" pozisyonunda (to hold) durdurulması mümkün olmuştur.

Dördüncü römorkör ise yukarıda da

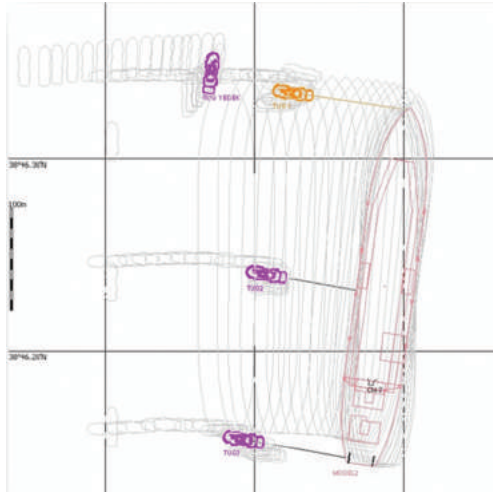
açıklandığı üzere yedek olarak tutulmuş ve römorkörler son durumda sırasıyla %80 (38,4 ton), %65 (31,2 ton) ve %65 (31,2 ton) değerlerinde kuvvet uygular duruma ulaşmışlardır.



Şekil 5. Model Gemi 1 - Simülasyon Deneyi #1 Uygulanan Römorkör Kuvvetleri Grafiği

## 5.2. Simülasyon Deneyi #2 (Model 2 - Q-Max Yüklü)

Model 2 olarak belirlenmiş yüklü kondisyondaki geminin formüller yardımıyla ihtiyaç duyduğu römorkör kuvveti 20% operasyonel emniyet payı ilave edilmiş haliyle 127,448 ton olarak bulunmuştur.



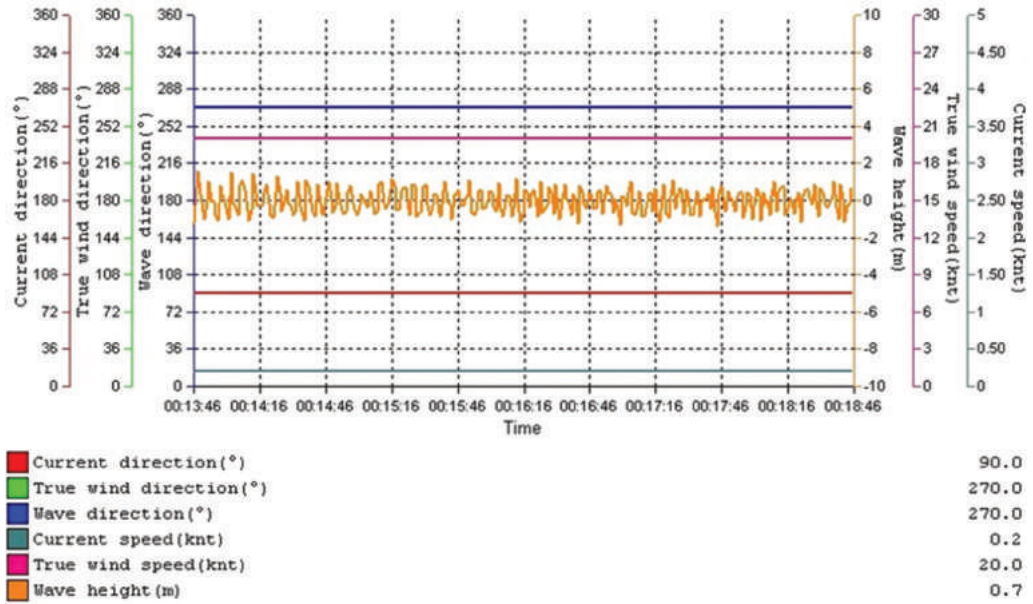
Şekil 6. Model Gemi 2 (Yüklü) - Simülasyon Deneyi #2

Simülasyon çalışmasında yine her biri 48 tonluk Z-Drive tip römorkörler Şekil 6'da görüleceği üzere geminin baş, vasat ve kıç bağlama noktalarından tek halat yardımıyla çekme pozisyonuna alınmıştır.

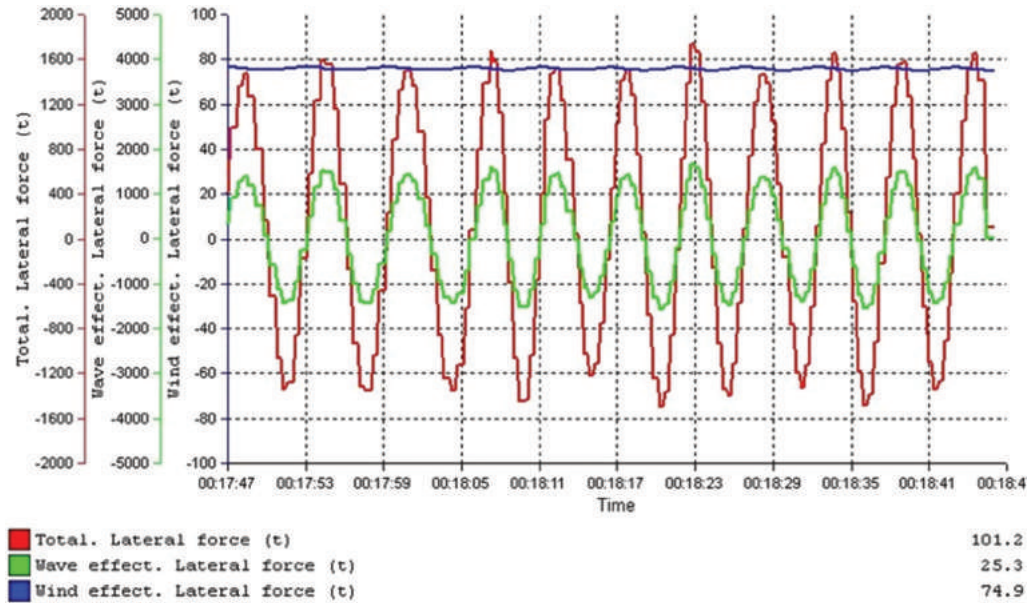
Simülasyonun başlaması ile Şekil 7'de grafik olarak da gösterilen çevre koşullarının etkisine giren gemi harekete başlamıştır.

Başlangıçta, çevre koşulları etkisiyle ortaya çıkan ve hareketine devam etmesine izin verilen gemiye, daha sonra tutma amacıyla önce %60 römorkör kuvveti uygulanmış, yeterli gelmediği görüldüğünden değerler gemi hareketinin sönümlenmesi ve durdurulmasına kadar yükseltilmiştir. Şekil 9'da artırılan römorkör kuvvetlerinin değerleri görülmekte olup römorkörlerin sırasıyla 80% (38,4 ton), 70% (33,6 ton) ve 70% (33,6 ton) kuvvet uyguladıkları anda geminin tutma pozisyonuna alındığı tespit edilmiştir.

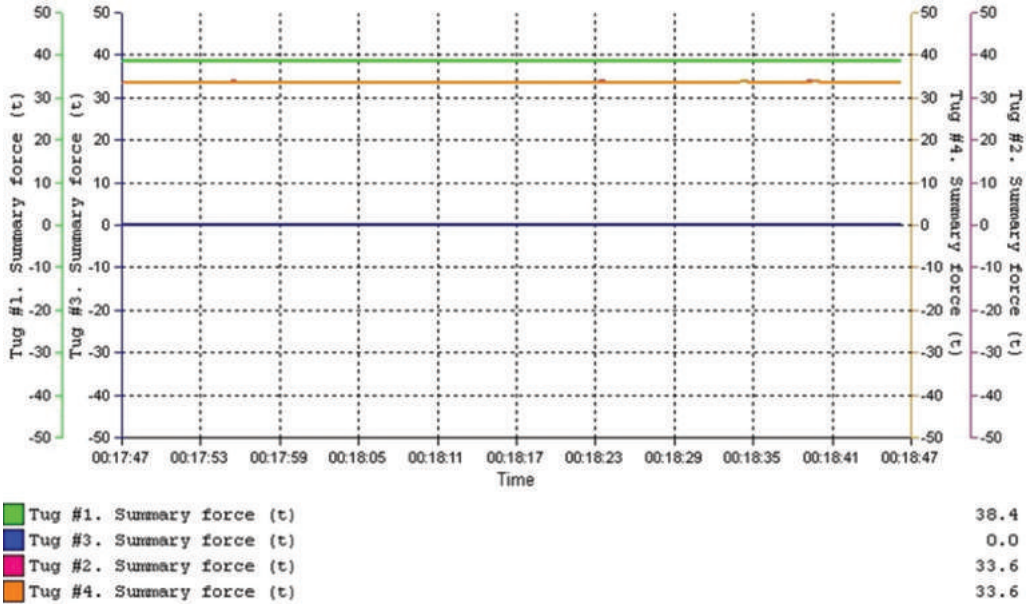
Römorkörlerin gemi üzerinde oluşan çevre faktörlerin etkisini yenebilmek üzere toplam uyguladıkları kuvvet 105,6 ton olarak bulunmuştur.



Şekil 7. Model Gemi 2 (Yüklü) - Simülasyon Deneyi #2 Çevre Faktörleri



Şekil 8. Model Gemi 2 (Yüklü) - Simülasyon Deneyi #2 Çevre Faktörleri ve Toplam Bordsal Kuvvetler



Şekil 9. Model Gemi 2 (Yüklü) - Simülasyon Deneyi #2 Uygulanan Römorkör Kuvvetleri Grafiği

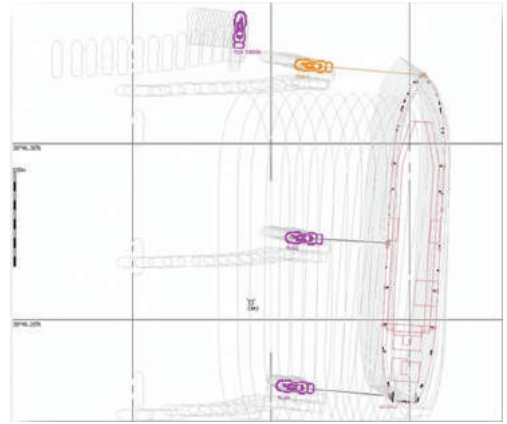
### 5.3. Simülasyon Deneyi #3 (Model 2 - Q-Max Balastlı)

Model 2 LNG Q-Max tip balastlı kondisyondaki geminin hesapla elde edilen römorkör kuvvetinin 20% operasyonel emniyet payı ilave edilmiş halde 133,54 ton römorkör kuvvetine ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Bu değere karşılık gelen kuvvet kullanıldığında da geminin çevre koşullarının etkisine karşı tutulabilmesi (hold) gerekmektedir.

Simülasyon deneyi çalışmasında, diğer deney çalışmalarında da olduğu gibi her biri 48 tonluk Z-Drive tip römorkörler Şekil 10'da da görüleceği gibi geminin baş, vasat ve kıç noktalarından tek halat bağlı olarak çekme pozisyonuna alınmış ve simülasyon başlatılmıştır.

Şekil 11'de model gemi 2'nin balastlı kondisyonda iken karşılaşması düşünülen çevre koşulları grafik halinde gösterilmektedir.

Şekil 12'de gösterilmiş olan çevre faktörlerinin gemi üzerinde oluşturduğu kuvvetler ve toplam bordasal kuvvetler etkisi altındaki geminin hareket kazanması beklenmiş ve hareketin hızlanma imvesi görülünceye kadar sürdürülmüştür.



Şekil 10. Model Gemi 2 (Balastlı) - Simülasyon Deneyi #3

Formüller kullanılarak elde edilen toplam gerekli römorkör kuvvetinin elde edilebilmesi maksadıyla aynı geminin yüklü durumdaki kondisyonunu tutmaya yeten ve bir önceki simülasyon deneyinde elde edilen römorkör güçleri uygulanmış (38,4 ton, 33,6 ton ve 33,6 ton) ancak bu kuvvetlerin gemiyi tutmaya yeterli gelmediği görülmüştür.

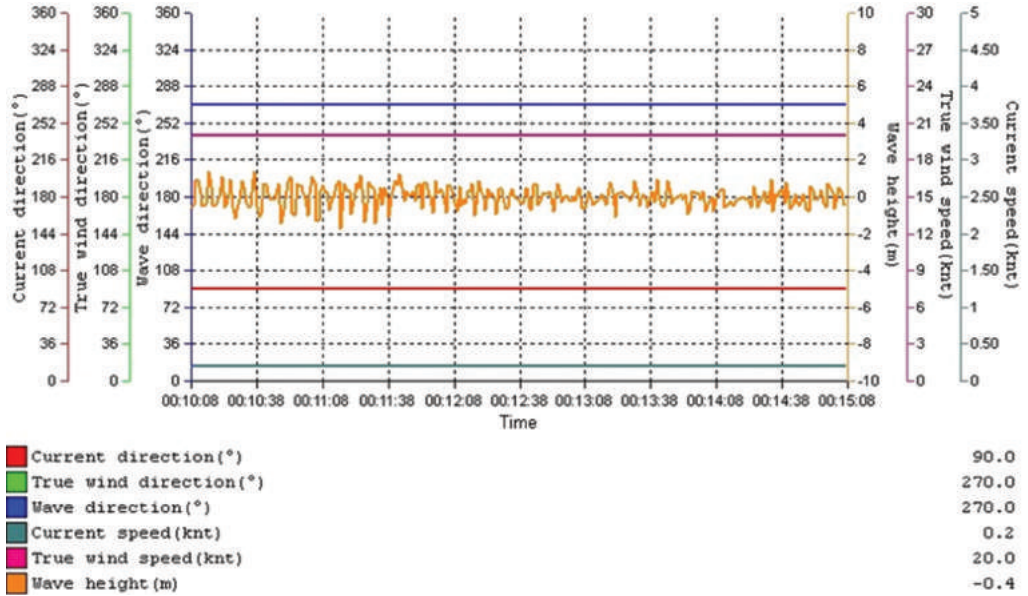
Daha sonra Şekil 13'te gösterildiği gibi, kontrollü olarak römorkörlerin her



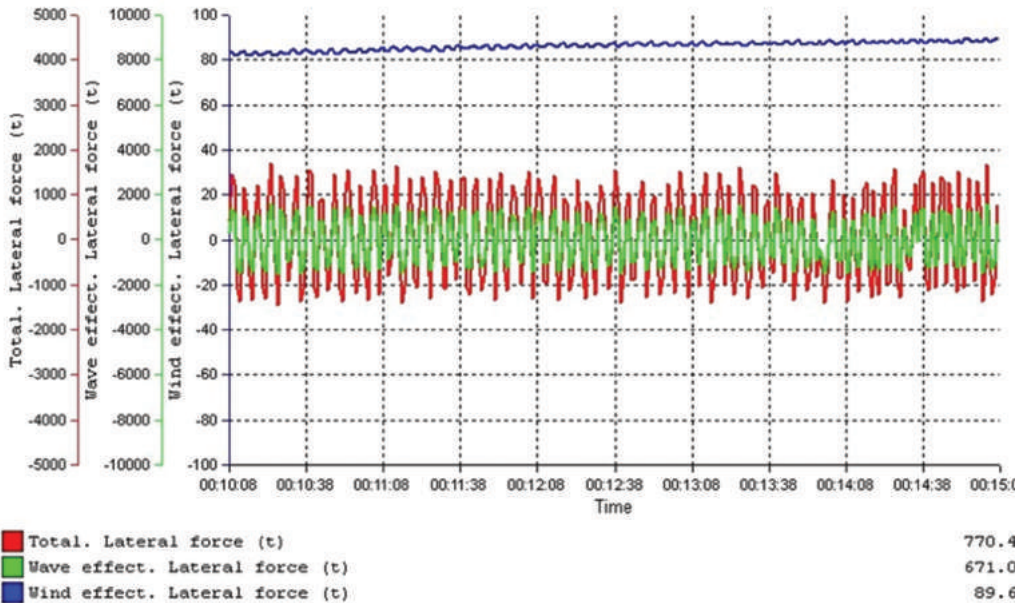
birinin kuvveti artırılarak sırasıyla 100% (48 ton), 90% (43,2 ton) ve 85% (40,8 ton) değerlerine getirilmiştir.

Ancak bu aşamada elde edilen toplam

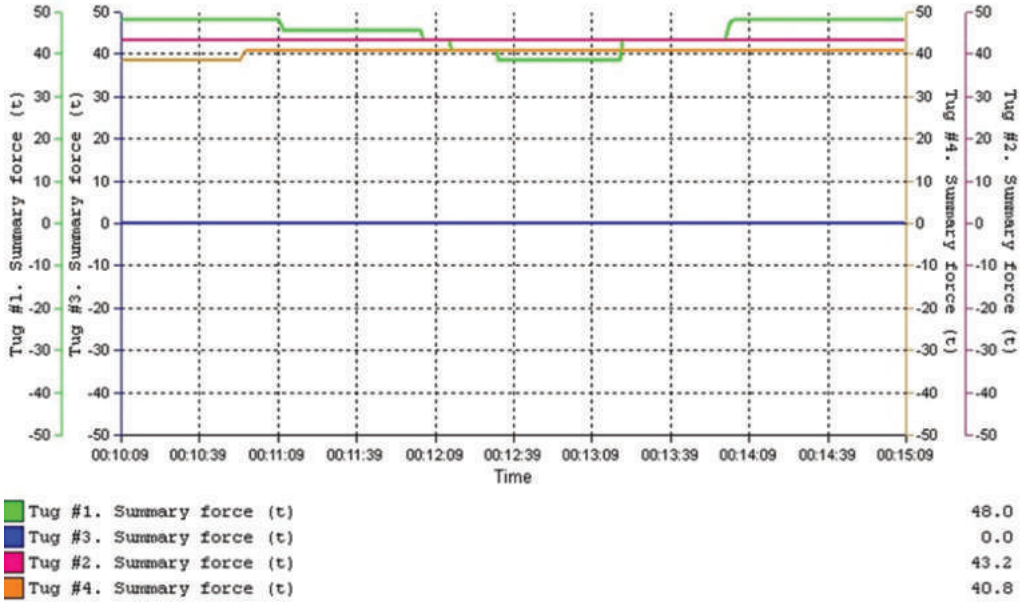
132,0 tonluk römorkör kuvvetiyle geminin çevre koşullarının oluşturduğu kuvvetlere karşı tutulabildiği görülmüştür.



Şekil 11. Model Gemi 2 (Balastlı) - Simülasyon Deneyi #3 Çevre Faktörleri



Şekil 12. Model Gemi 2 (Balastlı) - Simülasyon Deneyi #3 Çevre Faktörleri ve Toplam Bordasal Kuvvetler



Şekil 13. Model Gemi 2 (Balastlı) - Simülasyon Deneyi #3 Uygulanan Römorkör Kuvvetleri Grafiği

## 6. Simülasyon Deneyleri Bulguları

Manevra simülasyonları sonrasında elde edilen bulgular aşağıda özetle sıralanmıştır;

- Model 1 için hesapla bulunan 108,91 ton değerine karşılık simülasyon deneyinde geminin karşılaştığı toplam bordasal direnç değeri en yüksek 109 ton olmuştur.
- Model 1 için çevre kuvvetlerine karşı gemiye uygulanan toplam römorkör kuvveti 100,8 ton olarak bulunmuştur. Geminin çevresel kuvvetlere karşı pruva açısının değişmemesi amacıyla baş ve kıç römorkörlere farklı kuvvetlerin değişmeli olarak uygulanması söz konusu olduysa da elde edilen römorkör kuvvetinin çok değişmediği de gözlemlenmiştir.
- Model 2 yüklü kondisyonu için gerçekleştirilen simülasyon deneyinde gemiye uygulanan toplam römorkör çekme kuvveti 105,6 tondur. OCIMF/SIGTTO tarafından yayımlanmış formüller kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalarda bulunan değer ise 127,448 ton'dur.
- Model 2 balastlı kondisyonu için gerçekleştirilen deneyde ise toplam 132,0 tonluk kuvvet kullanılmıştır.

Formüllerden elde edilen sonuç ise 133,54 ton olarak bulunmuştur.

- En düşük değer için toplamda 100 ton üstüne çıkan ihtiyacın her biri 48 ton olan en az 3 römorkör ile sağlanabildiği görülmüştür.
- Römorkörlerin bağlama sıralamaları dikkate alındığında her üç model içinde baş taraftan bağlı olan römorkörlerin görece diğerlerinden daha fazla kuvvet uyguladığı görülmüştür.

## 7. Sonuçlar ve Tartışma

Gelişmekte olan ticaret ve dolayısıyla liman operasyonları faaliyetlerinde artan yüksek hız manevraların üst sınırlarda yapılmasını zorlamakta, buna karşılık yavaşlama ve ayrılma manevralarında can, mal ve çevrenin korunması da günümüz emniyet anlayışında yüksek manevra kabiliyetine ve kuvvetlere sahip römorkörlerle yapılmasını gerektirmektedir. Ancak ilk yatırım maliyetleri yüksek olan römorkörlerin özellikle büyük gemiler söz konusu olduğunda kaç tane olması gerektiği bir sorun olarak görülmektedir.

Bu doğrultuda çalışmada öncelikle römorkör gereksinim nedenleri sıralanarak römorkörlerden beklenen hizmetler

üzerinde durulmuştur. Daha sonra römorkör seçimine etki eden faktörler sıralanarak “etkin römorkör kuvveti” tespitine yönelik farklı standartlara ve formüllerine yer verilmiştir. Ardından gerekli römorkör kuvveti ihtiyacı teorik yaklaşımla tespit edilmiş ve simülator ortamında da test edilmiştir. Bu sayede hem hesaplama işlemleri ve ortaya konulan yaklaşımların hem de gerekli römorkör kuvveti tespitinde simülatorün etkililiği ortaya konmuştur.

Simülator kullanımı ise gerekli kuvvetin kaç adet römorkör ile sağlanabileceğinin tespit edilmesi açısından son derece önemli olarak değerlendirilmektedir. Römorkör kuvvetlerinin birbirinden çok farklı değerlerde olması halinde aynı değerlendirmenin yapıp yapılamayacağı ise başka bir çalışmanın konusudur (4 adet 40 tonluk römorkör yerine 3 adet 45 ton ilaveten 25 ton veya 2 adet 50 ton ilaveten 2 adet 30 ton gibi). Bu çalışmada römorkör kuvvetlerinin birbirine eşit veya yakın olacağı varsayımından hareket edilmiştir.

Toplam direnç kuvvetlerine karşı geminin tutulması (hold) amacıyla başa baş römorkör gücü deneylerle gözlemlenebilmiştir. Deneylerde elde edilen büyüklüklerin mümkün olan en az sayıda römorkör ile sağlanması amaçlandığından ve ayrıca gemi orta noktasına göre eşit güçlerin uygulanması gerektiğinden deneylerde kullanılan Model gemiler için römorkörlerin en az 50 ton olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca günümüz yedek/çeki halatlarının dayanma ve kopma kuvvetleri oldukça yüksektir. Buna karşılık gemilerdeki babaların ve ekipmanların kopma/dayanma kuvvetleri ise genellikle 45 - 50 tondur. Dolayısıyla kullanılan römorkörler en az 50 ton civarında olacak şekilde planlanarak uygulanmıştır. Dolayısıyla her iki gemi içinde denge durumu 3 adet 48 tonluk römorkör ile sağlanmıştır. Ancak operasyon gereklilikleri değerlendirildiğinde emniyet ve uluslararası standartlar açısından en az 4 adet römorkör kullanılması gerektiği görülmüştür.

Bu çalışmalar sonucunda, gerekli

römorkör kuvvetleri tespit edilerek simülasyon deneyleri ile römorkör sayı ve manevra limitlerinin belirlenmesi son derece rahat ve güvenilir şekilde yapılabilir görünmektedir. Dolayısıyla yeni liman, terminal, iskele vb. yapıları kullanacak olan modern ve büyük gemilerin limana gelmesinden önce manevra açısından her türlü hazırlığın yapılması da son derece kolay hale gelmektedir.

Gelecek çalışmalarda hareketli gemilerin durdurulmasına yönelik römorkör kuvvetlerinin tespiti çalışmaları yapılması, özellikle dar kanal, boğaz gibi trafiğin yoğun ve tehlikeler içerdiği bölgelerde dış etkenler de dikkate alınarak çalışmaların yapılması, farklı kuvvetlere sahip römorkörlerin bir arada kullanılarak gerekli ihtiyacın karşılanmasının araştırılması faydalı olacaktır.

### Kısaltmalar

$F_{y_w}$	: Yanal (bordasal) rüzgâr direnci
$C_{y_w}$	: Yanal rüzgâr kuvveti katsayısı
$\rho$	: Havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )
$V$	: Rüzgâr hızı ( $\text{m/sn}$ )
$A_L$	: Boyuna (yanal) rüzgâr alanı
$F_{y_c}$	: Yanal (bordasal) akıntı direnci
$C_{y_c}$	: Yanal akıntı kuvveti katsayısı
$\mu$	: Su yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )
$V$	: Akıntının hızı ( $\text{m/sn}$ )
$L_{BP}$	: Dikmeler arası boy (metre)
$T$	: Draft
$F_{Wave}$	: Dalga direnci
$\varphi$	: Deniz suyu yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )
$L$	: Su hattı uzunluğu (metre)
$\delta_a$	: Dalga genliği=0,5. Dalga yüksekliği ( $H_s$ )
$P_w$	: Rüzgâr kuvveti (kN)
$C_w$	: Rüzgâr katsayısı
$A_w$	: Gemi suüstü bordasal (yanal) alanı ( $\text{m}^2$ )
$\varphi$	: Rüzgâr yönünün gemi merkez hattı ile açısı
$B_w$	: Gemi su üstü dikey alanı ( $\text{m}^2$ )
$\gamma_w$	: Havanın özgül ağırlığı ( $0,01225 \text{ kN/m}^3$ ; $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )
$V_w$	: Rüzgâr hızı ( $\text{m/sn}$ )
$g$	: Yerçekimi ivmesi ( $9,81 \text{ m/sn}^2$ )

**Kaynakça**

- [1] Hensen, H. (2003). *Tug Use in Port A Practical Guide – 2nd Edition*, London, The Nautical Institute Publications.
- [2] ITTC (2002). *International Towing Tank Conference Recommended Procedures: Full Scale Measurements Manoeuvrability Full Scale Manoeuvring Trials Procedures*, 7.5-04-02-01: 1-18.
- [3] IMO (2002). *MSC/Circ. 1053, Explanatory Notes to the Standards for Ship Manoeuvrability*, Ref. T4/3.01, London.
- [4] Quadvlieg, F.H.H.A. and Coevorden, P. V. (2003). *Manoeuvring criteria: More than IMO A751 requirements alone!*, International Marine Simulator Forum, International Conference on Marine Simulation and Ship Manoeuvrability (MARSIM' 03), Kanazawa, Japan 25 - 28 August, ISBN: 978-1-62276-667-3, II: 291.
- [5] Allan, R.G. and Molyneux, D. (2004). *Escort tug design alternatives and a comparison of their hydrodynamic performance*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Conference Proceedings 112: 191 – 205.
- [6] Thoresen, C. A. (2010). *Port Designer's Handbook*, 2nd Ed., London: Thomas Telford Ltd.
- [7] BSI (1994). *British Standards BS 6349-4*, BSI 07-2000, First Edition, London.
- [8] Sutulo, S., Soares, C. G., Otzen, J. F. (2012). *Validation of potential-flow estimation of interaction forces acting upon ship hulls in parallel motion*. *Journal of Ship Research*, 56(3): 129-145, <http://dx.doi.org/10.5957/JOSR.56.3.100031>.
- [9] OCIMF (2008). *Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition (MEG3)*, London: Oil Companies International Marine Forum.
- [10] Tupper, E. C. (2004). *Introduction to Naval Architecture*, 4th Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann Press, MA, ISBN 0 7506 6554 8, 2004.
- [11] Wnek, A.D., Paço, A., Zhou, X.Q., Sutulo, S., Soares, C. G. (2015). *Experimental study of aerodynamic loads on an LNG carrier and floating platform*, *Applied Ocean Research*, 51: 309-319.
- [12] Isherwood, R.M. (1972). *Wind resistance of merchant ships*. *Trans. Roy. Inst. Naval Architects* 114(327): 38.
- [13] Fossen, T.I. (2011). *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*, UK: John Wiley & Sons, West Sussex.
- [14] Larsson, L. and Raven, H.C. (2010). *The Principles of Naval Architecture Series: Ship Resistance and Flow*, Ed. J. Randolph Paulling, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, ISBN 978-0-939773-76-3, USA.
- [15] IMO (2003). *MSC/Circ.1101 Ship / Port Interface: Availability of tug assistance*. London.
- [16] Hensen, H. (2012). *Using experience to assess required tug power*. Erişim Tarihi 05 Eylül 2015, [http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical\\_papers/PT26-03.pdf](http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical_papers/PT26-03.pdf),
- [17] SIGTTO (2007). *Prediction of Wind Loads on Large Liquefied Gas Carriers*, Hyperion Books.
- [18] Bayle, N. (2010). *Wind Effects in a Harbor Environment*, Unpublished Ship Handling Course Notes, France: Marseilles.