

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ SEYİR VERİLERİ KULLANILARAK GÜÇ
MARJİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Yekta ÖKSÜZ**

**Anabilim Dalı: Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği
Programı: Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Mustafa İnel

EYLÜL 2008

**GEMİ SEYİR VERİLERİ KULLANILARAK GÜÇ
MARJİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEL LİSANS TEZİ
Müh. Mehmet Yekta ÖKSÜZ
508051009**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ekim 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Eylül 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Mustafa İNSEL
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Metin TAYLAN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. İsmail H. HELVACIOĞLU (İ.T.Ü.)**

EYLÜL 2008

ÖNSÖZ

Üniversite öğrenimim boyunca benden yardımlarını, bilgilerini ve deneyimlerini esirgemeyen başta değerli hocam Doç. Dr. Mustafa İNSEL olmak üzere Prof. Dr. Ömer GÖREN ve Yrd. Doç. Dr. Şebnem Helvacıoğlu'na teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca her zaman beni destekleyen, bugünlere gelebilmemi sağlayan aileme de sonsuz şükranlarımı sunarım, hayatta sıradan biri olmamı engelledikleri ve bana hep daha ileriye hedeflettikleri için.

Eylül 2008

Mehmet Yekta ÖKSÜZ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. GEMİ DİRENCİNE GİRİŞ	6
2.1 Rüzgarın güç artışına etkisi	8
2.2 Pürüzlülük ve Güç Artışı:	11
2.3 Dalgalarla Güç Artışı	19
2.4 Denizli Havada (Dalga ve Rüzgar) Güç Artışı	21
2.5 Denizli Havada (Dalga ve Rüzgar) Güç Artışı	21
2.5.1 Sabit hızda güç artışı	26
2.5.2 Sabit gemi gücünde hız kaybı	28
3. GEMİ SEYİR VERİ BAZI	30
4. ANALİZ	34
4.1 Dökme Yük Gemisi Analizi	36
4.2 Konteyner Gemileri Analizi	40
5. SONUÇLAR	42
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	46
EKLER	47

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Bofor Skalası	10
Tablo 2.2 : Statik ve dinamik daldırma sonucunda kaplamalar üzerinde oluşan pürüzlülük oranları	13
Tablo 2.3 : Değişik Bofor Değerlerine karşılık gelen Aertssen Sayıları	23
Tablo 2.4 : Blok Katsayısının etkisi.....	25
Tablo 3.1 : Toplanan veri örneği	31
Tablo 3.2 : Toplanan veri örneği (Konteyner).....	33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Blendermann'ın kuvvet katsayılarının ϵ 'ye göre belli bir gemi tipindeki grafikli çalışması.....	11
Şekil 2.2	: Mikro boyutlu canlıların gemi yüzeyinde oluşturduğu pürüzlülük örnekleri	12
Şekil 2.3	: Dalgalarda direnç artışı.....	19
Şekil 2.4	: Dalgalarda güç artışının gemi boyu ve blok katsayısı ile değişimi.....	20
Şekil 2.5	: Dalga geliş açısına göre güç artışı değişimi.....	27
Şekil 3.1	: Seyir tecrübelerinden elde edilen hız güç grafiği.....	31
Şekil 3.2	: Analizlerde kullanılan dökme yük gemisi	32
Şekil 4.1	: Bir hava koşulu ve bir gemi tipi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği	34
Şekil 4.2	: Duhalow yüklü koşul için hava durumunun gemi hızına olan etkisi	36
Şekil 4.3	: Duhalow balast koşul için hava durumunun gemi hızına olan etkisi	37
Şekil 4.4	: Tüm seri için balast koşulunda hava durumunun gemi hızına etkisini gösteren grafikler.....	37
Şekil 4.5	: Tüm seri için yüklü koşulunda hava durumunun gemi hızına etkisini gösteren grafikler.....	38
Şekil 4.6	: Dökme yük gemisi yüklü koşulda seyir verileri ile Kwon metodunun karşılaştırması.....	38
Şekil 4.7	: Dökme yük gemisi balast koşulda seyir verileri ile Kwon metodunun karşılaştırması.....	39
Şekil 4.8	: Konteyner gemisi için deniz şiddetine bağlı olarak hız grafiği.....	40
Şekil 4.9	: 6 gemiden oluşan konteyner serisi seyir verileri ile Kwon Metodunun karşılaştırması.....	41
Şekil 4.10	: Tüm konteyner serileri için teker teker oluşturulmuş hava durumunun gemi hızına etkisini gösteren grafikler.....	42
Şekil A.1	: Duhalow Yüklü için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 2 için).....	45
Şekil A.2	: Duhalow Balast için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 2 için).....	45
Şekil A.3	: Duhalow Yüklü için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 3 için).....	46
Şekil A.4	: Duhalow Balast için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 3 için).....	46
Şekil A.5	: Duhalow Yüklü için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 4 için).....	47
Şekil A.6	: Duhalow Balast için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 4 için).....	47
Şekil A.7	: Duhalow Yüklü için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 5 için).....	48

Şekil A.8	: Duhalow Balast için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 5 için).....	48
Şekil A.9	: Duhalow Yüklü için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 6 için).....	49
Şekil A.10	: Duhalow Balast için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 6 için).....	49
Şekil A.11	: Duhalow Yüklü için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 7 için).....	50
Şekil A.12	: Duhalow Balast için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 7 için).....	50
Şekil B.1	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 0.....	51
Şekil B.2	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 1.....	51
Şekil B.3	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 2.....	52
Şekil B.4	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 3.....	52
Şekil B.5	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 4.....	53
Şekil B.6	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 5.....	53
Şekil B.7	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 6.....	54
Şekil B.8	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 7.....	54
Şekil B.9	: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 8.....	55

GEMİ SEYİR VERİLERİ KULLANILARAK GÜÇ MARJİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada gemi dizayn marjinlerinin en önemli ikisi olan pürüzlülük ve deniz/ hava şartları incelenmiştir. Bu marjinlerin en önemli farklılıkları pürüzlülük marjinin havuzlamalar arasında gittikçe artan bir etki göstermesi, diğer yandan hava/ deniz marjininin ise yüksek frekanslı değişken olarak gözlemlenmesidir. Pürüzlülük ve deniz/hava şartlarını incelemek amacıyla, aynı tipteki beş kardeş gemiden oluşan gemi filosu kullanılmıştır. Bu filo üzerinde yapılan analizler sonucunda deniz şartlarının hıza olan etkisi grafiksel olarak ortaya konulmuştur. Analiz kısmında pürüzlülük etkisinin ve deniz hava etkisinin gemi hızında yarattığı değişim ortaya konularak çalışma tamamlanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma ile beş kardeş gemiden oluşan filo için hız değişimleri pürüzlülük ve deniz/ hava etkilerine göre tanımlanması sağlanmıştır.

ANALYSING POWER MAGRIN BY USING SHIP VOYAGE DATA

SUMMARY

In this study, the margins of ship design are analysed. There are two main margins which are very affective on ship design roughness factor and wind/ wave factor. The main difference occurs between this two important factors in the time of the drydocks periods. Roughness factor shows a ascending trend while drydocking. On the other hand, wind/ wave factor acts as an high frequency variable. In this study, in order to monitoring the effects of roughness and wind/ wave factors on ship performance, five sister vessels are used. At the end of the analyse, environmental effects of the sea is defined in terms of speed of the ship. In addition, a speed – sea conditions graph is constructed. Finally, at the end of the analyse part, the effects of the roughness and wind/ wave factors are defined as an orign of the change of the ship speed. In conclusion, the study is completed for five sister vessels to show the effects of the rougness and wind/ wave factors on ship performance.

1. GİRİŞ

Gemiler yüz yıllardır insanoğlunun en gözde aracı olmuştur. Bu gerek yük taşımacılığı gerekse savunma için geçerlidir. Dünya üzerinde başka hiçbir araç gemi ile bir seferde taşınabilecek yükü taşıyamaz. Gemiler yükün yanı sıra insan ve araç taşımacılığında da kullanılır. Savunma olarak ise bakıldığında hem su üstü hem de su altında başarıyla görevlerini yerine getirmektedirler. Bugünkü uçak gemileri, tek başlarına neredeyse bir ülkeyi işgal edebilecek kapasitelerdedirler.

Günümüz ekonomisinde her aracın olduğu gibi gemilerinde bir maliyeti vardır. Bu maliyet, ilk yatırım maliyeti ve bakım-gider maliyeti olarak ikiye ayrılabilir. İlk yatırım maliyeti geminin türüne ve alıcının isteğine göre değişiklik göstermektedir. Bakım-gider maliyeti ise geminin aktif kullanımı süresince sorunsuz ve istenilen düzeyde çalışmasını sağlamak amaçlı olan giderlerdir. Günümüz ekonomisi ve gelişen teknolojinin etkisi ile artık daha verimli gemiler tasarlanmaktadır. Daha az enerji harcayarak daha uzun mesafeler kat edebilen gemiler inşa edilmektedir. Bu gemilerin tasarım aşamasında bazı model deneyleri yapılarak oluşacak dirençler hesaplanır. Bunun üzerine geminin seyri sırasında karşılaşacağı hava koşulları ve çevresel etkileri öngören bir güç marjini eklenmektedir. Güç marjininin seçimi ise geminin maliyetini etkileyen önemli bir unsurdur. Fazla eklenmesi sonucunda alıcıya yüksek bir ilk yatırım maliyeti getirmektedir. Bakım-gider maliyetlerinin bazılarının yıllık hatta beş yıllık ara ile olmasından dolayı bunu düzgün bir şekilde işletmeye yansıtılması için gemilerin günlük işletim maliyetleri çıkartılmaktadır. Günlük işletim maliyeti gemi adamları masrafı, işletme giderleri, geminin sigortası, havuzlama, yakıt giderleri gibi birçok alt kalemden oluşmaktadır.

Geminin günlük işletme maliyetlerini etkileyen birçok teknik durum mevcuttur. Bu durumların dikkatli bir şekilde takip edilip zamanında yapılacak müdahaleler sayesinde günlük işletme maliyeti düşük seviyelerde tutulabilir. Geminin gövdesi, pervanesi ve diğer donanımları uygun koşullar altında çalıştırıldığı zaman geminin yakıt sarfiyatı da düşük seviyelerde tutulmuş olup, geminin günlük işletim maliyetlerinde önemli ölçüde azalma görülmektedir.

Tüm bu etmenlerin geminin ömrü boyunca en iyi şekilde sağlanabilmesi temel gereksinim olmakla birlikte geminin performansını ortaya koyabilmek için yapılması gerekenler bununla sınırlı değildir. Bu çalışmalara ek olarak asıl yapılması gereken işlem, geminin yaşam süreci boyunca karşılaştığı koşulların ve bakım sürecinin kayıt altında tutulması olarak ifade edilebilir.

Geminin performansına etki eden dalga, rüzgâr ve gövde pürüzlülüğü ile ilgili basit eşitlikler kullanılarak güç artışı değerlerinin saptanması ve ortaya konması mümkündür. Ancak bu kullanılan basit formüllerin ortaya çıkışı sırasında bazı ihmaller yapılmaktadır. Bu ihmaller sonucu ise formüllerin içinde bir hata katsayısı oluşmaktadır. Gemilerde güç artışı, geminin denizde geçirdiği süreç ile birlikte havuzlama sürecini de içine alan periyotta simüle edilerek hesaplanmaktadır. Tüm bu hesaplamalar sayesinde gövde yüzeyinin kullanım sürecindeki değişimi kayıt edilir ve maruz kaldığı dış etkenler karşısında gösterdiği performans takip edilerek karşılaştırma ve optimizasyon yapma olanağı sağlanmış olur. Basit eşitlikler ile geminin genel performansı ortaya konmakla birlikte gerçekleşen durumu tam olarak ortaya koyabilmek için bazı düzeltme faktörlerinin de modellemeye dâhil edilmesi şarttır.

Geminin servis performansı göz önüne alındığında özellikle gövde ve pervanenin pürüzsüz olmasının büyük önem taşıdığı yapılan çalışmalarla saptanmıştır. Pervane ve gövde yüzeyinin pürüzsüz ve temiz olması harcanan yakıt miktarını da etkileyen bir durumdur. Gemi yüzeyindeki pürüzlülük arttıkça paralel olarak geminin harcadığı yakıt miktarı da artış göstermektedir. Dolayısıyla, gemide pürüzlülük kaynaklı güç artışı servis performansını etkileyen çok önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, performansın ortaya konulması sırasında yapılması gereken öncelikli iş, pürüzlülüğün zamanla değişiminin takip edilmesi ve performansa etkisinin ortaya konulabilmesi için gerekli modelin çıkarılması yönünde olmalıdır.

Pürüzlülük faktörünün yanı sıra geminin seyri sırasında karşılaştığı diğer olumsuz koşullar da performansı etkilemektedir. Yapım sırasında yapılan kabullere karşılık geminin yaşam ömrü sırasında gerçekleşen şartlar çoğu zaman ideal değerlerden oldukça farklıdır.

Prensipte seyir tecrübesi ile geminin servisi sırasında ölçülen performans verileri benzerlik göstermektedir. Buna rağmen bu iki kavram arasında bazı temel farklılıklar da vardır. Bu temel farklılıkların başlıca nedenleri,

- Gemi adamları (uzman olmayan çalışanlar)
- Kullanılan ekipmanlar
- Optimal olmayan hava şartları (rüzgâr, dalga vs.)
- Yükleme esnasında maruz kalınan koşullar (draft ve trim)

Tüm bu etkenleri ele alırken izlenmesi gereken yolun mutlaka basit ama aynı zamanda sağlam temellere dayanır bir şekilde oluşturulması gerekmektedir. Veri toplama süreci için karmaşık, pahalı ya da kesinliği henüz netlik kazanmamış metotların seçilmesinden kaçınılmalıdır. Kullanımından kaçınılması gereken veri toplama enstrümanlarına bir örnek olarak torsion metre gösterilebilir. Gemi performansı ölçümlerinde, hız ve güç artışı koşullarının saptanmasında kullanılabilecek uygun ekipmanların bir listesi ITTC (International Towing Tank Conference) (2002) tarafından yayınlanmıştır. Torsion metre, standart bir ölçü aleti olmadığı için kullanımı ITTC Uzman Komitesi tarafından yayınlanan listeye göre uygun olmayan bir alettir ITTC (2002). Bu listede yer alan aletler, günlük kullanıma göre ayarlanmış olduğundan bu durum verilerin beklenen doğruluk payını sınırlayan bir etki yaratmakla birlikte genel olarak sonuçta çok büyük bir değişikliğe neden olmayacağından kullanıma uygun olarak kabul edilmiştir.

Servis performansının hesaplanmasında gerçekleştirilmesi hedeflenen temel amaç, aynı geminin değişik rotalardaki durumu kıyaslamak ile aynı rotadaki değişik gemilerin durumunu kıyaslamak olarak ifade edilebilir. Bu amacı gerçekleştirmek için geminin belirli bir hızda ve belirli bir yükleme kondisyonu sağlaması gerekmektedir. Öyle ki, sağlanması gereken bu kondisyon, bütün yükleme işleminin rüzgarsız, dalgasız ve trim olmayan durumda yapılması anlamına gelmektedir.

Servis performansının hesaplanması prosedürü, bazı kısıtlar dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Servis performansı analiz edilirken ilk aşamada performansa ilişkin verilerin toplanması işlemi gerçekleştirilir. Bu anlamda toplanan ham veri, standart bir forma getirilerek üzerinde gerekli düzeltmeler yapılmak üzere veri bankasında toplanır. Seyir süresince toplanmış ham veri,

- Hız,
- Yükleme şartları,
- Rüzgar ve
- Dalga ile ilgili düzeltme faktörleri dikkate alınarak yeniden değerlendirilir.

Temelde gemi performansının hesaplanmasında direnç baz alınmaktadır, çünkü ancak direncin sisteme tanımlanması halinde düzeltmeler rasyonel hale gelmektedir. Buna rağmen direncin performans ölçümü prosedürüne dahil edilmesi, direncin direk ölçülebilir bir parametre olmaması nedeniyle oldukça güçtür. Ölçülemeyen bu parametreyi, ölçülebilir bileşenler ile ifade edebilmek için, elde edilebilir verilerden yararlanmak gereği ortaya çıkmıştır. Bu anlamda, kat edilen mesafe, kullanılan yakıt miktarı ve harcanan güç gibi ölçülebilir parametreler ile direnç yani güç artışı değerini ifade etme yoluna gitmek performansı ortaya koyabilmek adına izlenmesi gereken en uygun yol olacaktır.

Genel olarak performans ölçümünde kullanılacak çevresel bazda veri toplama işlemleri günde sadece bir defa gerçekleştirilir. Buna karşın, yakıt tüketimine dayalı veri toplama çalışmaları tüm seyir süresince kayıt altına alınmaktadır. Buradan da görüleceği üzere çevresel etkenler ile yakıt ile ilgili faktörlerin veri toplama süreçleri birbirinden farklı aralıklar ile izlenmektedir.

Burada ayrıntılı olarak açıklanmış olan veri toplama sürecinde tüm aşamaları ile sıralanmış performans belirleme prosesi bu hali ile gövde, pervane ve makine kısımlarının performanslarını farklı farklı tanımlayabilmeye olanak vermemektedir. Bu anlamda bazı farklılaştırma yöntemleri uygulanması gerekmektedir.

Genel olarak bakıldığında geminin pervane ve gövdesi için belirli temel koşullar arasında yüksek değerli bir korelasyon söz konusuysa makine performansı için daha hassas ve dikkatli bir kayıt işlemi gerekliliği söz konusudur. Sonuç olarak, servis performansını en iyi şekilde ifade edebilmek, tüm bu hesaplamaları dikkate almak koşulu ile mümkün olacaktır.

Hesaplamalarda izlenmesi gereken prosedür adımları, geminin karşılaştığı dirence bağlıdır. Geminin maruz kaldığı bu güç artışının başlıca kaynağı zamanla gemi yüzeyinde oluşan pürüzlülüktür. Bir anlamda, performans ölçümü ve hesaplaması yapılırken geminin zamanla pürüzlü bir yüzeye sahip olmasının karşılığında değişen

performansı ortaya konulmaktadır. Seyir boyunca geçen zaman sürecinde gövde üzerinde meydana gelen biyolojik pürüzlülük ile birlikte pervane yüzeyinde de bazı pürüzlülükler gözlemlenmektedir. Gerek pervane gerekse gövde üzerindeki bu değişim ayrı ayrı ya da bir arada ele alındığında güç artışına neden olan pürüzlülük faktörünü oluşturur.

Gemi performansının geminin seyri süresince en iyi şekilde analiz edilmesi ve etken parametrelerin en doğru şekilde ifade edilmesi sayesinde bakım sırasında karşılaşılan maliyetleri karşılaştırabilme imkanı elde edilmiş olur. Performans analizi, maliyetin, bakım süresinin, geminin karşılaştığı dış etkenlerin gemiye olan etkisinin saptanmasının ve yakıt harcamasının ne düzeyde olduğunu ortaya koyabilen bir hesaplama olduğundan gemi için çok önemli bir çalışmadır.

Çalışmanın doğruluğunu ve kesinliğini sağlayabilmek ve yapılan modeli standart olarak kullanabilmek amacıyla mutlaka basit ve kullanışlı metotların seçilmesi komplike ve karmaşık işlemlerden uzak durulması temel şartı sağlanmalıdır. Aksi halde komplike modellerde karşılaşılabilecek yanlışlıkların çözülmesi için daha fazla zaman ve maliyet gereksinimi söz konusu olacaktır. Bu nedenle, Uzman Komisyonlar tarafından uygunluğu test edilmiş ekipmanların kullanılması daha doğru olacaktır.

Bu anlamda sonuç olarak, sistem için en uygun metot seçilerek en kullanışlı biçimde çevresel faktörler (rüzgar, dalga vs.) ve gemi yüzeyindeki pürüzlülük etkisi dikkate alınarak geminin hızı, yakıt tüketimi ve yükleme süreci gemi performans analiz prosedürüne dahil edilerek seyir boyu yapılan ölçümler çerçevesinde hesaplamalar tamamlanmalıdır [1].

2. GEMİ DİRENCİNE GİRİŞ

Gemi üzerindeki direnç kuvveti pek çok bileşenden oluşur ve detaylı bir değerlendirme yapabilmek için bu bileşenlerin ayrı ayrı incelenmesi gereklidir. Direnç konusunun temelini kavrayabilmek için de bu bileşenlerin tanınması şarttır. Diğer taraftan toplam direnç kuvvetinin nasıl bileşenlerine ayrılacağı konusunda farklı yaklaşımlar mevcuttur. Genel olarak direnç bileşenlerini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

Sürtünme direnci; teknenin ıslak yüzeyi üzerinde, hareket yönündeki teğetsel gerilmelerin toplamıdır.

Artık direnç; tekne gövdesi üzerindeki toplam direnç ile sürtünme direnci arasındaki farktır.

Viskoz direnç; viskoz etkilerin tükettiği enerjinin sebep olduğu direnç bileşenidir.

Basınç direnci; teknenin gövdesi üzerinde, hareket yönündeki normal (yüzeye dik) gerilmelerin toplamıdır.

Viskoz basınç direnci; viskozite ve türbülansın dolayısıyla oluşan normal gerilme bileşenlerinin toplamından meydana gelen direnç bileşenidir. Bunun değeri, tekne tamamen suya batmış olmadıkça doğrudan ölçülemez. Tamamen batmış durumda ise "Viskoz Basınç Direnci" "Basınç Direnci"ne eşit olur.

Dalga direnci; geminin su yüzeyindeki hareketi sırasında yarattığı yerçekimi dalgalarını oluşturmak için harcanan enerjinin sebep olduğu direnç bileşenidir.

Dalga kırılma direnci; gemi baş dalgasının kırılmasıyla ilişkili direnç bileşenidir.

Serpinti direnci; baş tarafta serpinti oluştuğunda bunun için harcanan enerjiyle ilişkili direnç bileşenidir.

Takıntı direnci; şaft, şaft braketleri, dümen, sintine omurgaları, salmalar gibi gövdenin su altı kesimine bağlanan ilavelerin sebep olduğu dirençtir. Hiçbir takıntı olmadan sadece tekne gövdesi üzerine etki eden dirence "çıplak tekne direnci" denir.

Pürüzlülük direnci; tekne yüzeyinin, pas boya, yosun vs.gibi akışı bozucu etkiler yoluyla sebep olduğu enerji kaybıdır.

Rota tutma direnci; geminin çeşitli sebeplerle rotasında gidebilmek için devamlı dümen düzeltmesi yapmasını gerektiren durumlarda oluşan dirençtir.

Hava direnci; gemi gövdesinin su üstünde kalan bölümünün üst yapı, direkler ve diğer eklenti ve yapıların üzerinde geminin hareketi sebebiyle oluşan hava akışının sebep olduğu direnç kuvvetidir.

Ek dirençler; geminin dalgalar arasında yol alırken yaptığı salınımlar nedeniyle oluşan dirençler, geminin rota üzerindeki hücum açısının sebep olduğu etkiler, rüzgarın su üstünde kalan bölüm üzerinde sebep olduğu etkiler vs.dir. Ayrıca kanal ve sığ su geçişlerinde de toplam direnç üzerinde değişiklikler meydana gelir.

Çıplak gövde üzerindeki toplam direnci iki temel yaklaşımla ifade edebiliriz:

$$" R_{\text{toplam}} = R_{\text{sürtünme}} + R_{\text{artık}} " \quad (2.1)$$

veya

$$" R_{\text{toplam}} = R_{\text{viskoz}} + R_{\text{dalga}} " \quad (2.2)$$

Viskoz direnç için hesaplama formülü;

" $R_v = 0.5 \times \rho \times U^2 \times S \times C_v$ " dir. Burada ρ ; su yoğunluğu, U; geminin hızı, S; ıslak yüzey alanı ve C_v ; viskoz direnç katsayısıdır. C_v 'yi hesaplamak kolay olmamakla birlikte yapılan havuz testlerine dayalı istatistiksel çalışmalar sonucunda kullanılmaya başlanan bazı ampirik formüller geliştirilmiştir. Bunlardan birine göre;

" $C_v = (1+k) \times C_f$ " şeklinde ifade edilebilir. Burada, viskoz direnç katsayısı - C_v -, sürtünme direnci katsayısı C_f cinsinden ifade edilmiştir. Ünlü ITTC (International Towing Tank Conference) 1957 formülüne göre;

" $C_f = 0.075/(\log_{10} Re - 2)^2$ " şeklinde hesaplanabilir. Burada Re ; Reynolds sayısı'dır ve

k ise aşığıdaki formülle hesaplanabilir:

" $k = 0.0097(i_{giriş} + i_{çıkış})$ " formülü kullanılabilir. Burada, $i_{giriş}$; su hattında derece cinsinden giriş açısının yarısı ve $i_{çıkış}$; su hattında derece cinsinden çıkış açısı'nın yarısıdır [2].

2.1 Rüzgarın güç artışına etkisi

Daha önceki bölümlerde de ifade edildiğı üzere, geminin performansı değişik çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Bu etkilerin ölçülebilir hale getirilmesi sayesinde veri toplanması ve ham veriden bilgi elde edilebilmesi mümkün olacaktır. Dalga, rüzgar ve pürüzlülük miktarlarındaki değişkenlik hiç kuşkusuz gemi performansını etkileyen başlıca faktörlerdendir. Yapılan hesaplamalar öncelikle basit düzeyde kabuller ile gerçekleştirilir; daha sonra düzeltme faktörleri olarak bu etkenler sisteme ilave edilir. Rüzgar faktörünün sisteme dahil edilmesi, dalga ve pürüzlülük etmenlerine göre daha kolaydır. Gerek rüzgarın ölçülebilirliğinin kolay olması gerekse diğer faktörlere göre daha az değişkenlik göstermesi nedeniyle bu değer daha doğru ve uygun şekilde sistemlerde ifade edilebilmektedir.

Yukarıda da belirtildiğı üzere gemi performansına etki eden dış kaynaklı faktörlerden "rüzgar etkisi" spesifik olarak sisteme dahil edilebilir ve ölçülebilir bir değerdir. Her türlü rüzgâr kaynaklı etkiyi sistemde ifade edebilmek için Reynolds Sayısı kullanılmaktadır. Geminin seyri sırasında ölçümler yapılarak elde edilen veriden rölatif bir değere ulaşmak mümkündür. Reynolds eşitliği kullanılarak küçük bir modelleme yapılarak sistem ifade edilmiş olur. Eğer gemi sürekli olarak deniz üzerinde keskin bir sınır oluşturuyor ise ciddi bir skala etkisi beklenmemektedir. Rüzgâr gücü ve rüzgâr etkisi tüm bu nedenlerden ötürü, genellikle boyutsuz formda ifade edilmektedir. Rüzgâr bileşenini ifade etmek için seçilen tek bağımlı etmen rüzgârın geliş açısı olarak kabul edilir. Rüzgârın geliş açısı da isteğe bağılı olarak geminin boyutlarına ve rüzgar hızına göre transfer edilebilir [3].

Geminin modellenmesi sırasında seyre çıktığı sürede karşılaşacağı rüzgar kuvvetini önceden tespit etmek de mümkündür. Bu çalışma için yapılması gereken modellemeye kaynak oluşturabilmek amacıyla bir rüzgâr tüneli oluşturulması gerekmektedir. Göreceli olarak durgun kabul edilen hava şartlarında geminin hareketini ve maruz kalacağı kuvvetleri izleyebilmek amacıyla düzgün düşük

türbülanslı bir alan yaratılarak veri toplanması söz konusu olabilir. Bu sistemden elde edilen rüzgâr gradienti de gemi performansına etki edecek rüzgâr faktörü olarak kabul edilebilir.

Yapılan tüm çalışmalar bir yaklaşım olmakla birlikte hiç kuşkusuz geminin gerçek seyri sırasında karşılaşacağı hava koşullarını birebir olarak karşılamayacak olup simülasyondan ibarettir. Model ile elde edilen akımın ve toplanan verinin gerçekleşen akım ve ölçümler ile kesin olarak örtüşmeyeceği de bir gerçektir. Türbülans ve ortalama hız terimleri birbirlerinden çok farklıdır. Ortalama hız değişkenlik göstermezken türbülans sürekli bir değişkenlik söz konusudur. Ancak, özellikle kuvvet ve moment ölçümlerinin yapılması sırasında elde edilen değerlerde türbülans kaynaklı değişimlerin oldukça az olduğu ve ihmal edilebileceği gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu tip değişkenler keskin sınıra maruz kalan yüzeylerin olduğu sistemler dışında genel olarak ihmal edilmektedir [3].

Gemi performansına etki eden rüzgarın ölçülmesi konusunda yapılacak işlemlerin prosedürünü incelediğimizde ilk olarak yapılması gereken işlem, Bofor Skalasını (bkz. Tablo 2.1) incelemek olmalıdır.

Bu bulunan hız sayesinde etkidiği basınç;

$$q = \frac{\rho}{2} u_a^2 \quad (2.4)$$

formülü kullanılarak bulunur. ρ havanın yoğunludur. Bulunan basınç değeri geminin boyuna kesit alanı A_L ve rüzgar kuvvet katsayısı C_X , C_Y - ki bunlar geminin koordinatlarına göre olmaktadır- yardımı ile gemiye etkiyen kuvvetler

$$X = C_X \cdot q \cdot A_L, \quad Y = C_Y \cdot q \cdot A_L \quad (2.5)$$

ifadeleri kullanılarak bulunur. Eğer rüzgar gemiye önceden etkir ise

$$X = C_{X_{AF}} \cdot q \cdot A_F \quad (2.6)$$

Tablo 2.1: Bofor Skalası [4]

BOFOR	HIZ [knot] [km/h]		TANIMI	BELİRTİLER
0	1 den az	<1.8	Limanlık Sakin	Calm Deniz ayna gibi düz.
1	1 - 3	<5.5	Esinti	Light air Yüzey Balıkpulu görünümünde. Köpük yok.
2	4 - 6	<11	Hafif rüzgâr	Light Kısa ve küçük dalgalar. Çatlak yok.
3	7 - 10	<18	Tatlı rüzgâr	Gentle Breeze Dalgalar büyür tepeleri çatlar. Uçlarda hafif kırılmalar belirir.
4	11 - 16	<29	Mutedil Rüzgâr	Moderate Breeze Dalgalar uzunlaşır, beyaz köpükler görülmeye başlar.
5	17 - 21	<38	Firişka rüzgâr	Fresh Breeze Orta büyüklükte dalgalar, boyları uzun ve serpintili
6	22 - 27	<49	Kuvvetli rüzgâr	Strong Breeze Büyük dalgalar oluşur, köpüklü dalga başları daha geniştir.
7	28 - 33	<60	Mutedil fırtına	Near Gale Dalgalar biri biri üzerine yığılır. Çatlayan dalgaların köpükleri uçuşmaya başlar.
8	34 - 40	<72	Fırtına	Gale Uzun ve yüksek orta dalgalar oluşur. Çatlaklar öne doğru kırılır. Köpükler uçuşur.
9	41 - 47	<86	Kuvvetli fırtına	Strong Gale Dalgalar yükselir, yuvarlanmaya başlar. Serpintiler görüşü azaltır.
10	48 - 55	<100	Ağır fırtına	Storm Pek yüksek dalgalar, dalga tepeleri devrilecek gibi uzun ve kesif köpük sahaları oluşur. Deniz yüzü beyaz görülür. Görüş kabiliyeti çok azdır.
11	56 - 66	<120	Pek ağır fırtına	Violent Storm Çok yüksek dalgalar olur. Küçük gemiler dalgaların arasında bazen görülmez. Deniz yüzü beyaz köpüklerle kaplıdır. Görüş çok bozuktur.
12	66 dan fazla	>120	Kasırga	Hurricane Hava köpük ve serpinti ile dolu. Deniz bembeyaz, görüş tamamen kaybolmuştur.

İfadesi kullanır. Buradaki A_F geminin enine kesit alanı, CX_{AF} ise 30° den etki eden CX değeri olarak alınır. Rüzgar kuvvet katsayıları rüzgarın etki açısı ile gemi yönü arasındaki ε 'ye göre değişmektedir. Bu konuya örnek olarak aşağıdaki Blendermann'ın kuvvet katsayılarının ε 'ye göre belli bir gemi tipindeki grafikli çalışması mevcuttur (Şekil 2.1) [3].

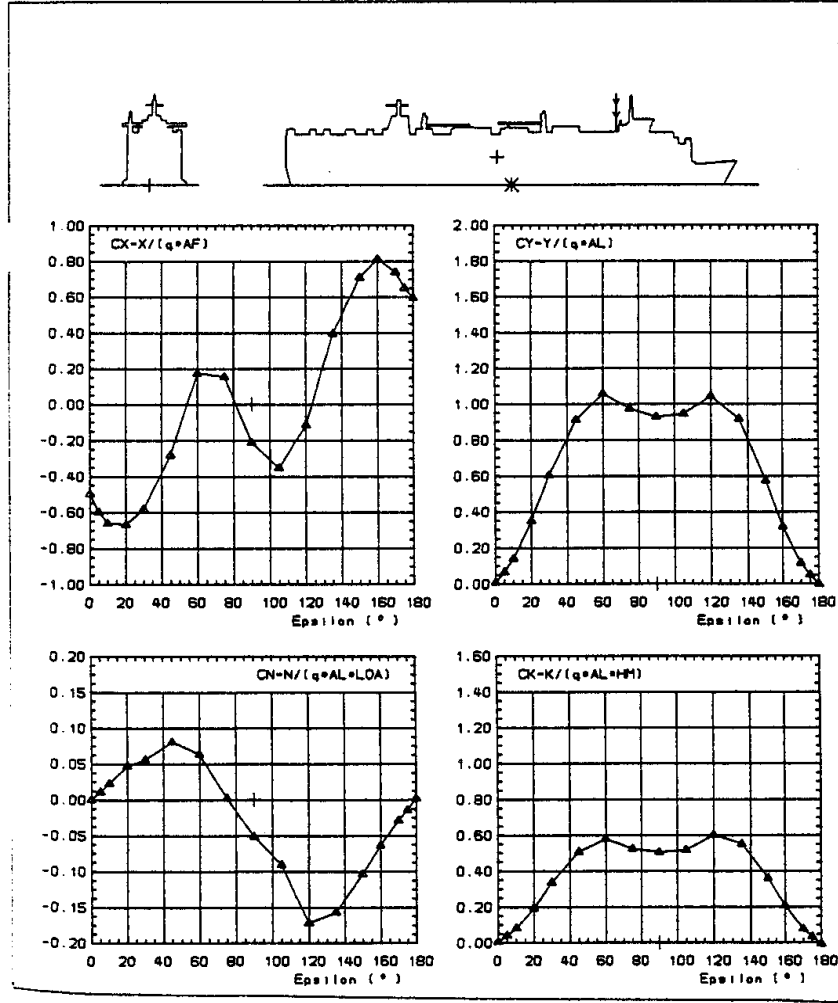


Fig. 1.1: Car carrier; $L_{pp} = 179,55$ m; $L_{oa} = 190,65$ m; $B = 22,95$ m; $T = 9,90$ m; $AL = 4256,54$ m²; $AF = 653,98$ m²; SL rel. to main section = $-6,20$ m; SH rel. to above water-line = $11,93$ m

Şekil 2.1 : Blendermann'ın kuvvet katsayılarının ϵ 'ye göre belli bir gemi tipindeki grafikli çalışması [3]

2.2 Pürüzlülük ve Güç Artışı:

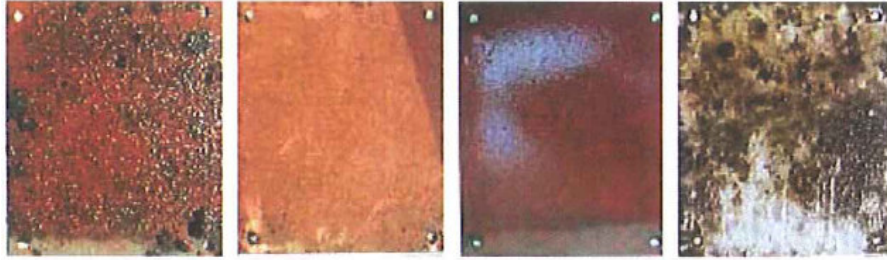
Gemilerin performansına etki eden pürüzlülük faktörünü hesaplamalara dahil edebilmek için pürüzlülük parametrelerinin ölçülebilmesi ve bu anlamda elde edilen parametrelerin de ilgili pürüzlülük fonksiyonlarında kullanılması gerekmektedir.

Pürüzlülüğün performansa etkisini ölçebilmek için gemi üzerinde seyir süresince zamanla oluşan ve direnç oluşmasına neden olan çamuru andıran yapışkan yapının üzerinde durulması gerekmektedir. Bu yapının oluşması ve oluşum süreci de birçok etmene bağlıdır. Gelişen teknoloji çerçevesinde geminin dış yapısında bu oluşumu azaltacak nitelikte kaplama metotları da geliştirilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde

temel olarak, gemilerde pürüzlülüğe neden olan faktörler, pürüzlülük oluşumu sonrasında bu durumun performansa etkileri açıklanacaktır. Bu anlamda performansa olan etkilerini rasyonel olarak ifade etmek adına pürüzlülük parametreleri ve formüllerinden bahsedilerek nasıl modellendiği ve sisteme dahil edildiği konusunda ayrıntılı bilgi verilecektir [5].

Pürüzlülük, gerek geminin dış yüzeyinde meydana getirdiği olumsuz koşullar gerekse gemi performansına yaptığı etki nedeniyle istenmeyen bir durumdur. Bu durumu ortadan kaldırmak da sisteme ek bir maliyet getirmektedir. Bu anlamda pürüzlülük oluşumunu, oluşum süresini ve etkileyen parametreleri ortaya koyabilmek maliyet açısından da oldukça büyük önem arz etmektedir.

Gemi performansına etkisi olan ve gemide güç artışına neden olan pürüzlülük faktörünün oluşumuna baktığımızda, mikro büyüklükteki canlıların kommün şeklinde gemi yüzeyine yerleşerek burada kompozit bir tabaka oluşturduğu gözlemlenmiştir (bkz. Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Mikro boyutlu canlıların gemi yüzeyinde oluşturduğu pürüzlülük örnekleri [6]

Deniz suyunun özelliğine göre bu oluşuma neden olan bakteriler çeşitlilik göstermektedir. Bakteri kültürü ve bu kültürlerin karakterizasyonunu ortaya koyabilmek için de çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Swain aynı bakteri kültürüne maruz kalan ve aynı çevresel faktörlerin etkisi altında bırakılan dört değişik kaplama ile kaplanmış yüzey modeli üzerinde pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilerek değişik kaplamaların üzerinde oluşabilecek pürüzlülük miktarları kaydetmiştir. Bu çalışma ile Swain pürüzlülüğün oluşumunu azaltabilmek için kaplama türünün de önemli olduğunu ortaya koymaya çalışılmıştır [7]. Çalışması 60 günlük statik daldırma ile 15 günlük dinamik daldırma işlemlerinden oluşmaktadır. Seçilen dört tip kaplama; Sn-SPC, CU-SPC, Cu-Abl ve FR kaplamaları olarak ifade

edilmiştir. Belirlenen süreler içinde kaplamalar üzerinde oluşan pürüzlülük oranları aşağıdaki tabloda görüldüğü şekilde kaydedilmiştir (bkz. Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Statik ve dinamik daldırma sonucunda kaplamalar üzerinde oluşan pürüzlülük oranları [6]

Daldırma	Kaplama Tipi							
	Sn-SPC		Cu-SPC		Cu-Abl		FR	
	Statik	Dinamik	Statik	Dinamik	Statik	Dinamik	Statik	Dinamik
Pürüzlülük* %	80	77	95	15	95	15	97	50
Çamur %	78	75	95	15	95	15	95	50
Barnacle %	< 2	<2	0	0	0	0	0	0
Tubeworm %	0	0	0	0	0	0	< 2	0

* Pürüzlülük = Çamur + Barnacle + Tubeworm

Tabloda görüldüğü üzere, kaplama tipinin pürüzlülük oluşumuna dolayısı ile de geminin performansı ve operasyonel maliyetleri üzerinde etkisi bulunmaktadır. Diğerlerinden farklı olarak Sn-SPC tip kaplamanın üzerinde yaklaşık %2 oranında barnacle oluşumu gözlenmiştir. Başka bir farklılık da FR kaplamada meydana gelen %2'lik tubeworm oluşumu olmuştur. Yapılan analizde Cu-SPC ve Cu-Abl sistemlerinin birbirlerine benzer pürüzlülük özellikleri gösterdiği de yapılan başka bir saptamadır. Bu dört sistem kendi içinde değerlendirildiğinde ise statik ve dinamik süreçlerde en az pürüzlülük artışı Sn-SPC tip kaplama yüzeyinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir [6].

Bu çalışmadan da görüleceği üzere, pürüzlülük oluşumu çeşitli faktörlere bağlıdır. Aynı çevresel faktörlerin yer aldığı bir sistemde bile değişik kaplamalar kullanılması değişik pürüzlülük değerlerine neden olacaktır. Bu anlamda kullanılan kaplama malzemesi ve maruz kalınacak çevresel etkiler bir arada değerlendirilerek minimum maliyet getirecek en uygun kaplama sisteminin seçilmesi gerekmektedir. Pürüzlülük oranının azaltılması geminin performansını, hızını ve kullanılacak yakıt miktarını etkileyeceği için diğer yandan da bakım ve işletme maliyetlerine direk olarak etkisi olduğu için çok iyi analiz edilmelidir. Bu nedenle pürüzlülüğe neden olan faktörlerin

yanı sıra bu faktörlerin ölçülebilir şekilde parametreler ile gemi performans hesaplarına mutlaka dahil edilmesi gerekmektedir.

Genel olarak literatürde pürüzlülük nedenleri, çamur tabakası, deniz kabukları ve otsu bitkiler olarak gösterilir. Geminin bu etkenleri maruz kalma durumu sadece geminin gövdesinde gerçekleşmez; geminin su ile temasta olan yüzeylerinde özellikle de pervanenin keskin bölümlerinde oldukça fazla miktarda pürüzlülük oluşumu görülmesi muhtemeldir. Geminin operasyon maliyetlerini, hızını, güç değişimini ve performans değerlerini etkileyen en önemli pürüzlülük de pervane yüzeyinde oluşan kısmın da dahil olduğu pürüzlülük oluşumudur. Zamanla bu oluşum geminin daha çok yakıt sarfiyatı yapmasına neden olmaktadır.

Geminin performans hesaplamalarında pürüzlülük faktörünü hesaplayabilmek ve ilgili parametreleri saptayarak ölçüm metodu geliştirebilmek amacıyla Townsin tarafından bazı denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde saptanan parametrenin adı $R_t(50)$ olarak ifade edilir. $R_t(50)$, yapılan maksimum pik ile en alt tabaka arasında olan mesafedir ve 50 mm olarak ölçülmüştür. Hesaplanan bu parametre tamamiyle rastlantısal değerlerden yola çıkılarak hesaplanmış olduğu için bu değer ortalama olarak kabul edilmelidir. Rastlantısal pürüzlülük yükseklik dağılımı için bu nedenle ortalama bir değer kullanılması gerekmektedir [5].

Hesaplamalara bir prosedür getiren diğer bir araştırmacı da gemi gövdelerinde yaptığı bilimsel çalışmalar ile Townsin'dir. Townsin'in standart gemi pürüzlülük ölçüm metoduna göre, Gövde Pürüzlülük Ölçer (Hull Roughness Analyser) adında bir ölçü aleti kullanılması gerekmektedir. Bu metodolojinin kullanılabilmesi için öncelikle değişik alternatifler için bir korelasyon değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Korelasyon katsayısı belirlenerek değişik sistemler için kullanılmaya olanak tanıyan bu alet pürüzlülük ölçümleri için hazır hale getirilmiş olur.

Korelasyon, hız dağılımına karşın yüzeyden olan uzaklığa göre çıkarılan bir eşitlikten ibarettir. Bu eşitlikte u , hız dağılımını; y ise yüzeyden olan uzaklığı ifade eden parametrelerdir. Bu parametrelerden yola çıkılarak logaritmik kurallara göre aşağıdaki basit eşitliği yazmak mümkün olacaktır:

$$u / u_t = (1 / K) \ln (y u_t / v) + B_o \quad (2.7)$$

K değeri bir sabittir ve literatürde Von Karman sabiti olarak ifade edilmektedir. Eşitlikte bulunan diğer sabit terim ise B_0 dir. B_0 değeri düzgün duvar akışları için kullanılan bir sabittir. Eşitlikteki u_τ değeri sürtünme hızını ifade eder. Sürtünme hızını bulabilmek için duvar kırılma basıncı (τ_0) ve akışkan yoğunluğu (ρ) cinsinden ifade edilen bir eşitlik kullanılır. Bu eşitlik:

$$u_\tau = (\tau_0 / \rho)^{0.5} \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir. Bu basit model özellikle sınır tabakaları için düzgün yüzeylerde yapılabilecek çeşitli ölçümlere uygundur ve kullanılmaktadır. Ancak sınır tabakalarda pürüzlülük durumlarında bu eşitliğin kullanılması pek uygun olmaz. Bu gibi durumlarda logaritmik kurallarla oluşturulmuş bu denkleme pürüzlülük faktörü olarak adlandırılan ($-\Delta u / u_\tau$) değer ile eşitliği tamamlamak uygun olacaktır.

Yukarıda yapılan hesaplama metodunu ele aldığımızda, detaylı bir araştırma yapılması gerekliliği durumunda mutlaka pürüzlülük fonksiyonu hesaplanmalı ve buna ek olarak da istatistik araştırmalar da yapılmalıdır. Yapılan istatistiksel araştırma ile hesaplanan pürüzlülük fonksiyonu arasındaki korelasyon değeri de mutlaka saptanmalıdır. Bu iki değer arasındaki korelasyon sayısı 1990 yılında Townsin ve Dey tarafından “h” ile ifade edilmiştir. Bu değer, spektral momentlere bağlı bir eşitlik ile belirlenmektedir. Kullanılan eşitlik;

$$h = (\alpha * m_0 * m_2)^{0.5} \quad (2.9)$$

olarak literatürde yer almıştır. Burada spektral momentler m_0 ve m_2 pürüzlülük dağılımı üzerinden tamamen rastlantısal olarak alınmış ilk iki spektral momenti, α değeri ise bant yükseklik parametresini ifade eder. Bu rastlantısal pürüzlülüğün istatistiksel modeli okyanus dalgalarının dalga yüksekliğinin spektral sunumuna benzerlik göstermektedir.

Daha ileri düzeyde yapılan çalışmalar sonucunda $R_t(50)$ değerinin 230 μm den az olduğu koşullarda $h = R_t(50)$ kabulünün yapılabileceği saptanmıştır. Bu kabul ile birlikte daha basit bir formülasyon ile ortalama gövde pürüzlülüğü (Average Hull Roughness, AHR) hesaplanması olanağı elde edilmiştir. Bu anlamda yapılan kabul sonucunda pürüzlülük kaynaklı ek direnç oluşumunu AHR cinsinden ifade eden denklem aşağıdaki gibidir:

$$1000 \Delta C_F = 44 [(AHR / L)^{1/3} - 10 R_n^{-1/3}] + 0.125 \quad (2.10)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan ek direnç katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\Delta C_F = \Delta R / 0.5 \rho S V^2 \quad (2.11)$$

Bu eşitliklerde kullanılan, ΔR ifadesi ek sürtünme kaynaklı direnci ve ρ değeri de akışkan yoğunluğunu ifade etmektedir. Kullanılan diğer semboller,

L = Geminin uzunluğu

R_n = Geminin Reynolds Sayısı

V = Hız

S = Geminin batmış olan alanı

Pürüzlülük kavramının oluşumunu, oluşuma neden olan etmenleri ve pürüzlülük oluşuktan sonra bu durumun gemi performansına etkisinin belirlenmesi için yapılması gereken hesaplamaları açıklandıktan sonra bu etkinin ne tür maliyetlere neden olduğu kısmına da değinmek gerekmektedir. Bu anlamda da pürüzlülük faktörünü incelemek ve maliyet açısından da pürüzlülük kavramını ifade etmek oldukça önemlidir [5].

Gemilerde pürüzlülüğü önleyebilmek için çok iyi kaplama teknikleri kullanılması mümkün olmakla birlikte bu çalışma yatırım maliyetlerini arttırabilecektir. Öyle ki, bu oluşuma karşı kullanılacak teknolojilerin sistemde çıkacak diğer sorunların neden olacağı maliyetlerin üzerine çıkmaması gerekmektedir. Gemi yüzeyinde kaplama teknikleri ile ilgili tedbir alınmaması halinde operasyon ve bakım maliyetleri artacaktır. Geminin performansında düşüş söz konusu olmakla birlikte istenen hız değerinin yakalanabilmesi için ekstra yakıt tüketimi nedeniyle yakıt kullanım maliyetlerinde de artış yaşanacaktır. Gemi yüzeyinde oluşan istenmeyen tabakanın temizlenmesi için de hem ek maliyet gereksinimi söz konusu olacak hem de bu tabakanın temizlenebilmesi için geminin bakıma alınması gerekecektir. Bu da geminin bir süre kullanılamayacağı manasına gelmektedir. Gemi sahipleri için, geminin bakım maliyeti ve bu bakım süresinin uzunluğu ekonomik açıdan oldukça önemli parametrelerdir. Bu parametreleri göz önüne alarak pürüzlülük etkeninin oluşumunu engelleyici önlemlerin önceden alınması büyük bir kazanç sağlayacaktır.

Bu anlamda geminin seyre hazır hale getirilmesi sürecinde pürüzlülük faktörünün önemle dikkate alınması şarttır [5].

Pürüzlülük faktörü için birçok çalışma yapıp sonuçlar değerlendirilmektedir. Dizayn sırasında hesaplanan sonuçların doğruluğu yapılan model deneyleri ile karşılaştırılmaktadır. Bir sonraki aşamada ise model deneyi ile elde edilen veriler gerçek geminin hızları ile karşılaştırılır. Sırf gemi üzerine sürülen boya yüzünden tasarlanan gövdede % 2'lik bir direnç kaybı oluşmaktadır. Savaş gemilerindeki seyir hızları ile normal bir yük gemisinin hızı arasındaki fark çok fazladır. Görülmüştür ki 15 deniz mili seyir sırasındaki yüksek gövde kirliliği yüzünden toplam dirençte %80'lik bir artış olurken 30 deniz milinde iken bu etki %50 ye kadar gerilemektedir. Bunun nedeni ise gemilerin hızları artıkça sürtünme direncinin toplan dirence olan etkisinin azalmasıdır.[7]

IMO (Uluslar arası Denizcilik Örgütü)'nun 2001 yılda aldığı karar sonucunda tributyltin (TBT) içeren boyaların kullanımı 2008 yılından itibaren yasaklanmıştır. Bu da boya üreticilerini daha çevreye duyarlı olmaya ve gemi gövdelerindeki pürüzlülüğü azaltacak yeni boya türlerini geliştirmeye zorlamıştır [8]. Bunun sonucunda SPC ve silikon bazlı boyalar ortaya çıkmıştır. İlk yatırım maliyeti bakımından bakıldığında SPC tip boyalar daha ucuzdur. Ancak birçok gemi operatörü silikon boyanın uygulamasına bakılıp iki havuzlama süresin göz önünde bulundurulduğunda sağladığı yatık tasarrufu ile SPC tip boyalara göre daha ekonomik bir çözüm olduğunu söylemektedirler. Silikon bazlı boyaların en büyük avantajı gemi yüzeyinin pürüzlülüğünü azaltmasıdır. Bu tip boyalar, normal tip boyalara göre sürüldükten sonra daha pürüzsüz bir yüz oluşturur ve gemi belli bir seyir hızına geldikten sonra gövdeye yapışmış deniz canlıları boyaya iyi tutunamadıklarından dolayı gövdeden ayrılıp gitmektedirler. Bunların sonucunda da gemi aynı hıza daha az güç harcayarak ulaşmakta olup daha az yakıt tüketmektedir. Bu yakıt tüketiminin azlığı, geminin çevreye attığı Zaralı gaz salınımı oranının düşürmektedir. Böylece gemiler çevreye daha dost olmaktadır.

Yüz yıllardan beri insanoğlunun deniz suyu ile temasta bulunan yüzeylerde deniz canlıların oluşumuna karşı bitmeyen bir savaşı vardır. Zaman içinde gemilerin üretim şekilleri ve üretilen maddeler değişmiştir. Ancak deniz canlılarının gemi yüzeyi üzerinde oluşumları her zaman problem oluşturmıştır. Oluşturdukları direnç yüzünden verim kayıpları gerçekleşmiştir. Yirminci yüz yılın sonlarına doğru

geliştirilmiş olan TBT SPC tip boyalar sayesinde bu sorundan büyük ölçülerde kurtulunulmuştur. Ancak IMO'nun kararı sonrasında bu boyaların kullanımı tamamen yasaklanmıştır. Bunlardan TBT, çözünürlüğünün deniz canlıları üzerindeki etkisinden dolayı yasaklanmıştır. TBT hücreler tarafından kolayca alınabilmekte ve böylece fotosentez oluşumunu engelleyip canlının hayatını sonlandırmaktadır. Bu da boya üreticilerini TBT'nin yerini alabilecek yeni maddeler arayışına itmiştir [9].

Maliyet açısından önemli olan korozyondan korunmanın çeşitli yolları vardır. Çalışmanın önceki bölümlerinde belirtildiği üzere kaplama malzemesi bu anlamda çok önemlidir, ancak kaplamanın yanı sıra dikkat edilmesi gereken başka konular da söz konusudur. Geminin dış kaplamasını korumak amacıyla gemiler boyanır ancak geminin boyama tekniği de kullanılan boya kadar önemli bir parametredir. Gemi yüzeyi boyanmadan önce mutlaka iyi temizlenmeli ve boyanacak yüzey kuru tutulmalıdır. Boyamanın yanı sıra gemi yüzeyi hazırlanırken kullanılan malzemenin pürüzsüz olması çok önemlidir. Yüzeydeki pürüzlülük, oksit katodik olduğu için gemi yüzeyinde korozyon oluşumuna olanak sağlayacaktır. Bu pürüzlülüğü ortadan kaldırmak için boşlukların kum, asit ya da alev ile işleme tabi tutulması gerekmektedir. Diğer yandan bu işlemler kullanılacak çeliği atmosfere maruz kalacak şekilde bir süre dışarıda bekletme ile de sağlanabilmektedir. Ancak çeliğin kullanılabilir hale gelmesi için gerekecek süre kaybı çoğu zaman tercih edilmeyen bir yöntemdir. Gemilerin yapımı için gereken süreyi uzatacak bu metot çoğu zaman kullanılmamaktadır [10].

Pürüzlülük için önlem alınırken daha çok kaplama malzemesinin seçimi aşaması dikkate alınmaktadır. Bu anlamda kaplama malzemeleri çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Demirli maden ve alaşımları, saf karbon içeriği – yumuşak çelik, düşük alaşım çelikleri, krom demir alaşımları, paslanmaz çelik ve dökme demir başlıca kaplama tipleri olarak sıralanabilir [10].

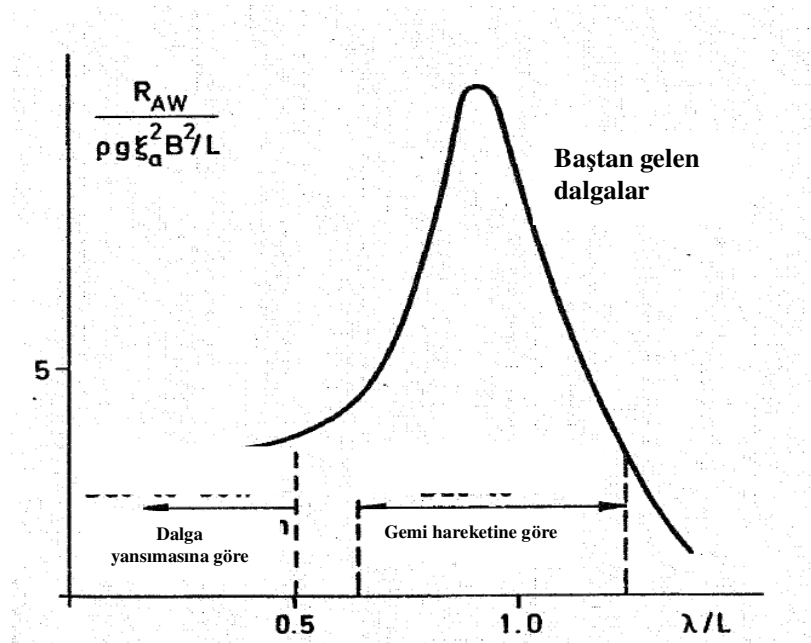
Sonuç olarak, kaplamanın cinsi ve çevresel faktörler geminin tüm yüzeylerinde pürüzlülük faktörünün meydana gelmesine neden olurlar. Pürüzlülük faktörü zamana bağlı olarak etkinliğini artırır ve bu artış gemiyi çeşitli yönlerden olumsuz etkiler. Geminin performansı düşer ve sabit bir hızı yakalayabilmek için daha fazla yakıt tüketimi gereksinimi ortaya çıkar. Geminin bu tip maliyetlerinin yanı sıra bakım maliyetleri ve bakım süresi de pürüzlülük faktöründen etkilenir. Bakım süresinin

uzaması, geminin çalışabileceği süreyi kısıtlayan bir durum olduğu için istenmeyen bir durumdur [10].

2.3 Dalgalarla Güç Artışı

Dalgalarda güç artışı kavramının hesaplamalara katılması diğer faktörlerin hesaplama katılmasından çok daha karmaşık bir durum arz etmektedir. Bu karmaşıklık dalgalarda güç artışının nedeninin hem dalga direncinin artışından hem de sevk veriminin düşüşünden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bahsedilen her iki bileşeninde gelen dalga boyu, açısı gibi çeşitli dalga karakteristikleri ve gemi hareketlerinden etkilenmesi de söz konusudur.

Baştan gelen dalgalarda direnç artışı, gemi ile karşılaşan dalgaların dalga boyuna göre değişim göstermekte, kısa dalgalarda (dalga boyu / gemi boyu < 0.5) baş formu nedeniyle dalgaların yansımından kaynaklanmaktadır. Dalga boyu arttığında gemi hareketleri artmakta, özellikle gemi boyuna eşit dalga boyuna erişildiğinde gemi hareketleri maksimum değerine ulaşmakta ve gemiye en yüksek düşey hareketi yaptırmaktadır. Gemi formu nedeniyle düşey hareketler dalga yaratılmasına sebep olarak, Şekil 2.3’de görüldüğü gibi dalga direncinin hızla artışına sebep olabilmektedir.



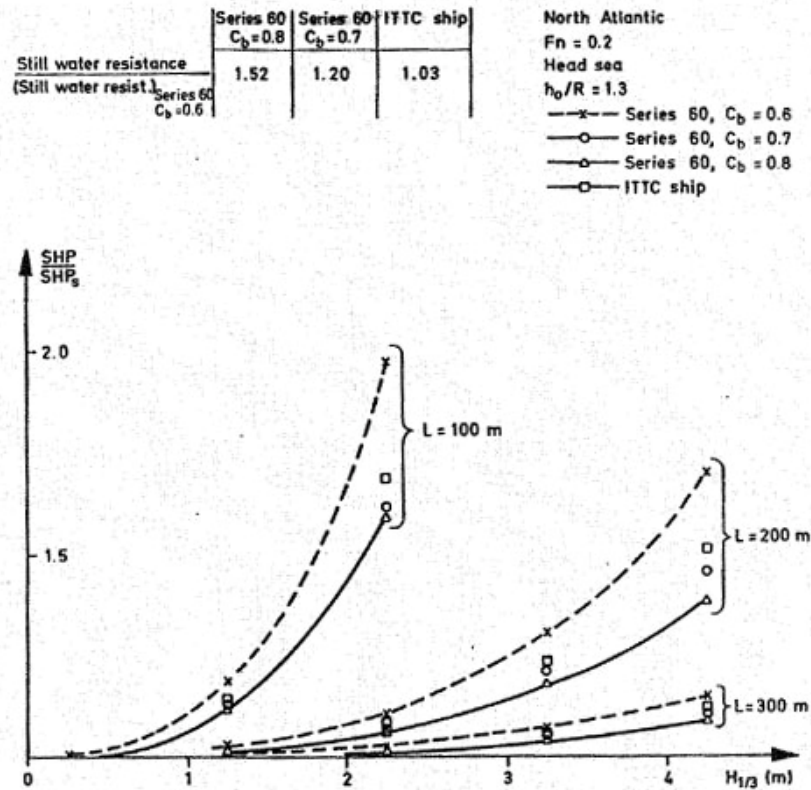
Şekil 2.3 : Dalgalarda direnç artışı [11]

Küçük dalga boyunda baştan gelen dalgalarda direnç artışı baş su hattı altına, gemi genişliğine bağlı, gemi boyu ve draftından bağımsızdır. Froude sayısı bu dalga boyunda dalga direncinde önemli etkiye sahip, ve dalga yüksekliğine en önemli etkiye haizdir. Yüksek dalga boylarında dalga direnci gemi düşey hareketin karesi ile orantılıdır:

$$R_{AW} \propto \frac{\rho g}{2} \oint_{WL} \zeta^2 \bar{n} dS \quad (2.12)$$

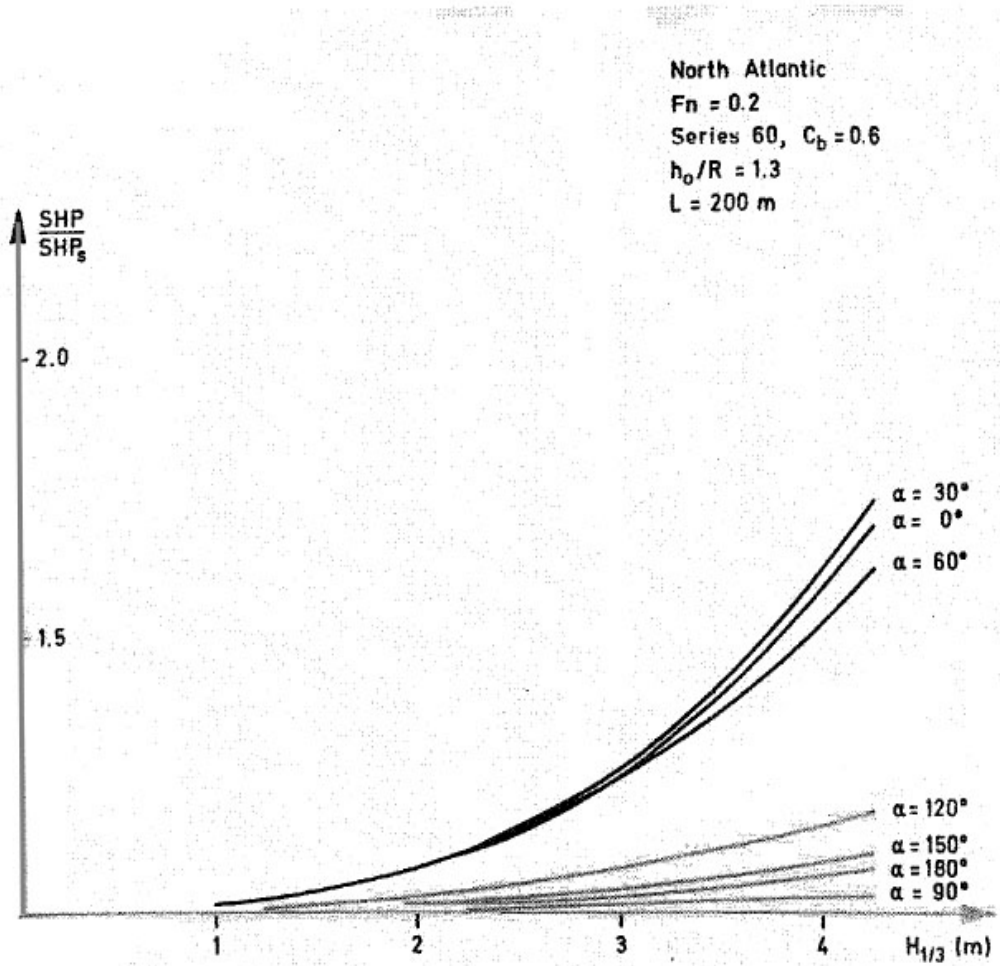
Gemi hareketlerinin gemi güç ihtiyacına diğer bir etkisi sevk verimini değiştirmesidir. Özellikle baş-kıç vurma hareketi sevk veriminin değişmesinde etkili olur. Pervanenin su dışına çıkması gibi ekstrem hareketler bir kenara bırakılırsa, gemi hareketleri hem itme katsayısı (t) hem de iz katsayısı (w) değerleri düşer. Bu durum tekne veriminin düşmesine ve pervane veriminin artmasına sebep olur.

Dalgalarda direnç artışı genel olarak ele alındığında gemi boyu veya deplasmanı ile sembolize edilen gemi büyüklüğü ile değişir.



Şekil 2.4 : Dalgalarda güç artışının gemi boyu ve blok katsayısı ile değişimi [11]

Dalga geliş açısı baş dışında oluştuğunda güç artışı büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Şekil 2.4’ de görüldüğü gibi baştan gelen dalgalarda direnci 1.7 kat artan gemi, kıç veya kıç omuzluktan gelen dalgalarda ihmal edilebilir bir direnç artışı göstermektedir.



Şekil 2.5 : Dalga geliş açısına göre güç artışı değişimi [11]

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi dalgalarda güç artışı hesabı gemi özellikleri dışında dalga özelliklerinin (geliş açısı, yükseklik ve periyot) bilinmesini gerektirmekte ve karmaşık bir hesap metodu içermektedir.

2.4 Denizli Havada (Dalga ve Rüzgar) Güç Artışı

Karmaşık olması nedeniyle dalgalarda güç artışı hesabı pratik şartlarda yapılamamakta, denizli havalarda güç artışı dalga ve rüzgarın birleştirilmesi ile gemi seyir verilerinden gelen pratik metotlarla gerçekleştirilmektedir. Hava koşulları sebebi ile gemideki hız kaybının hesaplanmasının birçok nedeni vardır. Bunlar;

- Seyir tecrübensin analizi
- Geminin güç marjininin doğruya yakın hesaplanması
- Geminin çalışma süresi boyunca optimum bir servis hızında gitmesi ve böylece ekonomik yakıt tüketiminin sağlanması
- İşletme sırasında yapılacak anlaşmalarda daha doğru performans bilgisi verebilmenin sağlanabilmesi olarak sıralanabilir.

Bir geminin performans analizini yapmak bize o geminin optimum hızını bulmamızı dolayısı ile de yakıt tasarrufunun sağlanmasını ve geminin karlılığını ve daha güvenli çalışma ortamını ulaşmamızı sağlamaktadır. Böyle bir analizi yaparken ise en önemli girdi geminin kötü hava koşulları altındaki performans tahminidir [12].

Daha önce de bahsedildiği üzere rüzgar kaynaklı güç artışının hesaplamalara dahil edilmesi konusunda büyük sorunlar ile karşılaşılmamakla birlikte başka bir çevresel faktör olarak tanımlanmış olan dalga kaynaklı güç artışı faktörünü hesaplamak oldukça güçtür. Bu kompleks hesaplamaların ve detaylı çalışmanın bilgisayar tabanlı metodlar ile çözülmesi daha uygun olmaktadır. Bu anlamda bilgisayar programları geliştirilmiş ve geçmişten günümüze bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Hazırlanan bilgisayar programlarını geliştirebilmek için araştırmacılar halen çalışmalarına devam etmektedirler.

Mevcut durumda, yapılan çalışmaların ve hazırlanan programların temeline inmek gerekirse, çalışmaların “Aertssen Formülü” olarak ifade edilen formüle dayandırıldığı görülmektedir. Aertssen Formülü aşağıdaki Eşitlik (2.13) ile ifade edilmiştir [12].

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100\% = \frac{m}{L_{PP}} + n \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte yer alan m ve n değerleri Bofor Sayısına göre değişkenlik göstermektedirler, ancak kesinlikle gemi tipine, kondisyonuna ve tokluğuna bağlı sayılar değildirler. Aertssen Sayıları olarak adlandırılmaktadırlar. Değişik Bofor Sayılarına göre değişik m ve n değerleri de aşağıda yer alan Tablo 2.3’de ifade edilmiştir.

Tablo 2.3: Değişik Bofor Değerlerine karşılık gelen Aertssen Sayıları [12]

	Baştan Gelen Dalgalar		Baş Omuzluktan Gelen Dalgalar		Bordadan Gelen Dalgalar		Kıçtan Gelen Dalgalar	
BN	m	n	m	n	m	n	M	n
5	900	2	700	2	350	1	100	0
6	1300	6	1000	5	500	3	200	1
7	2100	11	1400	8	700	5	400	2
8	3600	18	2300	12	1000	7	700	3

Yukarıda 4 değişik deniz türü ifadesi kullanılmıştır. Bu ifadeleri ayrıntılı olarak açıklamak gerekirse;

Baştan gelen dalgalar (Head Sea): Eğilimin 30°'ye kadar olduğu durumları ifade eden terimdir.

Baş omuzluktan gelen dalgalar (Bow Sea): Eğilimin 30° ile 60° olması durumunda kullanılan teknik ifadedir.

Bordadan gelen dalgalar (Beam Sea): 60° ile 150° değerleri arasında oluşan eğilim durumu için kullanılan kavramdır

Kıçtan gelen dalgalar (Following Sea): Bu ifade ise 150° ile 180° arasındaki durumlar için verilen isimdir.

Aertssen formülünde sadece geminin boyuna ve Aertssen sayılarına bağlı kalınmaktadır. Bu nedenle Bofor sayısından yola çıkılarak bu hesaplamalar yapılması için Townsin, yüklü tankerleri için yüklü tankerlerdeki deplasmanı kullanarak “head weather” için basit bir formül geliştirmiştir. Ancak tahmin edilebileceği üzere, hava koşullarının zorlu olduğu durumlarda yapılan bu basit hesaplamanın geçerliliğini yitirme durumu söz konusudur.

Kwon bir çalışma geliştirerek denizli hava dolayısı ile hız kaybını gemi blok katsayısını, hızı, deplasmanı, Bofor şiddetini ve yönünü içererek şekilde kullanarak, geminin servisi sırasında maruz kaldığı kötü hava koşullarından dolayı oluşan hız kaybını hızın yüzdesi olarak hesaplayan aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir.

$$\alpha \mu \frac{\Delta V}{V}(100\%) \quad (2.14)$$

Burada

α : Geminin blok katsayısından gelen faktör

μ : Dalga/rüzgar geliş açısından gelen faktör

$\frac{\Delta V}{V}(100\%)$: Baştan gelen dalgalarda yüzde hız kaybı olarak ifade edilir.

Baştan gelen dalgalar için olan formül üç ayrı koşul için türetilmiştir. Bunlar;

- Normal servis koşulu altındaki konteynır gemileri
- Yüklü servis koşulu altındaki tankerler
- Balast servis koşulu altındaki tanker

Birazdan aşağıda belirtilecek olan formüllerin uygulama alanları tankerler için deplasmanı 100.000 m³ den büyük ve konteynırlar için deplasmanı 20.000m³den büyük gemilerdir [12].

Yüklü tankerler için;

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0.5BN + \frac{BN^{2.5}}{2.7V^{2/3}} \quad (2.15)$$

Balast durumdaki tankerler için

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0.7BN + \frac{BN^{2.5}}{2.7V^{2/3}} \quad (2.16)$$

Konteynırlar için;

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0.7BN + \frac{BN^{2.5}}{2.2V^{2/3}} \quad (2.17)$$

Bu formüllerde geçen BN bofor numarası ve ∇ sembolü ise geminin batan hacmini tanımlamaktadır. Her iki ifadenin birimi m³dür.

Kwon tarafından yine bu eşitlikler üzerinde yapılan derin çalışmalar sonucunda, baştan gelen dalgalarda hız kaybı blok katsayısı için düzeltme yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Kwon tarafından baştan gelen dalgalarda hız kaybı blok katsayısı için aşağıdaki şekilde düzeltmeler tanımlanmıştır.

Tablo 2.4: Blok Katsayısının etkisi [11]

CB	Koşul	α
0.55	Normal	$1.7 - 1.4 F_N - 7.4 F_N^2$
0.60	Normal	$2.2 - 2.5 F_N - 9.7 F_N^2$
0.65	Normal	$2.6 - 3.7 F_N - 11.6 F_N^2$
0.70	Normal	$3.1 - 5.3 F_N - 12.4 F_N^2$
0.75	Yüklü veya normal	$2.4 - 10.6 F_N - 9.5 F_N^2$
0.80	Yüklü veya normal	$2.6 - 13.1 F_N - 15.1 F_N^2$
0.85	Yüklü veya normal	$3.1 - 18.7 F_N + 28 F_N^2$
0.75	Balast	$2.6 - 12.5 F_N - 13.5 F_N^2$
0.80	Balast	$3.0 - 16.3 F_N - 21.6 F_N^2$
0.85	Balast	$3.4 - 20.9 F_N + 31.8 F_N^2$

Bu bağlamda rüzgarın etkidiği yönüne formüle bir katsayı olarak eklenmektedir [12].

$$\mu = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \quad (2.18)$$

Bu katsayının türetilmesinde daha önceden bahsedilen Prof. Aertssen'in formülü kullanılmıştır. Her ne kadar her yön için oran azda olsa gemi boyuna bağlı olsa da asıl olarak Bofor sayınsa göre değişkenlik göstermektedir. Bu yön faktörü μ aşağıda görüldüğü gibi tanımlanıp ifade edilebilir [12].

$$2 \mu_{\text{bow}} = 1.7 - 0.03 (BS - 4)^2 \quad \dots\dots 30^\circ - 60^\circ \quad (2.19)$$

$$2 \mu_{\text{beam}} = 0.9 - 0.06 (BS - 6)^2 \quad \dots\dots 60^\circ - 150^\circ \quad (2.20)$$

$$2 \mu_{\text{following}} = 0.4 - 0.03 (BS - 8)^2 \quad \dots\dots 150^\circ - 180^\circ \quad (2.21)$$

Yukarıdaki bahsedilen hesaplamalar göz önünde bulundurulduğunda optimum servis güç marjininin ilk ve son dizayn aşamasının hesaplanması sürecinde artık daha ağır basan ve daha rasyonel bir metodun kullanılması gerekmektedir. Seyir performansının simülasyonu için en gerekli ve geri kalan kaynak gemi adamları tarafından uygulanabilecek basit ve doğru bir şekilde hava koşullarının etkisinin tahmin edilebileceği bir metottur. Bu konu üzerindeki mevcut metotların doğruluğu üzerinde ITTC'nin Denizcilik ve Performans Komitesi devamlı olarak raporlar sunup konuyu tartışmaktadır [12].

Her ne kadar bu konu üzerinde birçok çalışma yapılmakta olsa da Bofor 7 seviyesi ve üstünde geminin pervanesinin tamamının su içinde olmamasından dolayı istemli olarak gemide hız kesme olayı gerçekleşecektir. Tabi ki de bu geminin büyüklüğüne ve geminin yüklülük durumuna bağlı olarak değişecektir. Bu sebepten dolayı her ne kadar birçok hesaplama yapılsa da Bofor 6 seviyesinin üstündeki durumların doğruluğu ve gerçekleşme olasılığı tartışılacaktır. Ancak dünya üzerinde birçok gemi seyir rotası üzerinde Bofor 6 şiddetinde düzenli olmasa da bu hava koşulunun gerçekleştiği bilinmektedir [13].

2.5 Hız Kaybı - Direnç Artışı – Güç İhtiyacı İlişkisi

Geminin seyir koşulunda kirlenme/ pürüzlülük veya dalga/rüzgar koşulları altında direnç artışının ölçülmesi ancak çok özel şartlar ile hazırlanmış seyirler ile mümkündür. Seyir tecrübelerinde genelde sadece gemi hızı ölçülmekte, bazı seyir tecrübelerinde ise gemi şaftından pervaneye aktarılan şaft gücü ölçülebilmektedir.

Normal seyir şartları altında ise gemi direncinin veya gücünün ölçülmesi söz konusu değildir. Bu nedenle gemi güç marjınlarının gemi seyir verilerinden elde edilebilmesi için gemi hızı – gemi direnci – gemi gücü arasında ilişkiye ihtiyaç vardır. Bu ilişki pratikte iki ayrı şekilde incelenebilir:

- Sabit gemi hızında güç artışı
- Sabit güç altında hız kaybı

2.5.1 Sabit Hızda Güç Artışı

Geminin sabit bir hızla hareketinde pürüzlülük, kirlenme, dalga, rüzgar, akıntı gibi çeşitli nedenler ile oluşabilecek direnç artışı durumunda sabit hızı devam ettirebilmek için gemi gücünde bir artışa ihtiyaç duyulacaktır. Gemi eğer seyirdeki süreleri tutturmak istiyor ise sabit piçli pervanelerde pervane devrini arttırarak, değişken piçli pervanelerde ise pervane piçini arttırarak hızı sabit tutabilir. Her iki durumda da şaft üzerinden aktarılan güçte artış gereklidir. Bu durumda güç artışı:

$$\frac{\Delta P}{P_o} = \frac{(1 + \frac{\Delta R}{R_o})}{(1 + \frac{\Delta \eta_o}{(\eta_o)_o})} - 1 \quad (2.22)$$

Burada

V_o : Geminin orijinal hızı

R_o : Geminin V_o hızındaki direnci

$(\eta_o)_o$: Geminin V_o hızındaki pervane açık su verimi

P_o : Geminin V_o hızındaki gücü

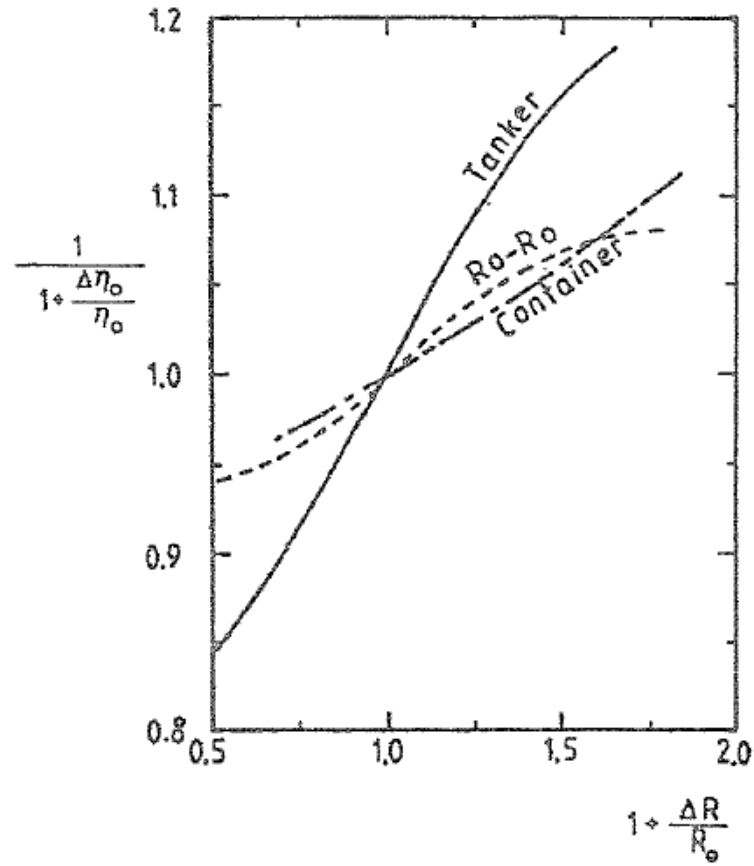
ΔR : Pürüzlülük/kirlenme/rüzgar/dalga/akıntı nedeniyle direnç artışı

ΔP : Direnç artışından doğan güç artışı

$\Delta\eta_o$: Pervane açık su veriminde direnç artışından doğan verim değişikliği

Sevk verimindeki değişim gemi pervanesinin açık su pervane diyagramı kullanılarak incelenebilir.

Şekil 2.6'da direnç artışının pervane sevk verimine etkisi verilmiştir [13].



Şekil 2.5 : Dalga geliş açısına göre güç artışı değişimi [11]

2.5.2 Sabit Gemi Gücünde Hız Kaybı

Eğer gemi yakıt sarfiyatını sabit tutup, seyir süresinin artmasını kabul ediyor ise şaftta iletilen güç sabit tutulup, gemi hızının düşmesine sebebiyet verilebilir. Gemi seyir hızı civarında direncin gemi hızının n . kuvveti ile orantılı olması ve gemi gücünün $n+1$. kuvveti ile orantılı olması kabul edilebilir:

$$R \approx V^n \quad (2.23)$$

ve gemi gücü

$$P_0 = kV_0^{n+1} \quad (2.24)$$

Eğer gemi direnç artışı olur ise gemi gücü

$$P_1 = P_0 + \Delta P = P_0 \left(1 + \frac{\Delta P}{P_0}\right) \quad (2.25)$$

Eğer $\frac{\Delta P}{P_0}$ değeri denklem 2.22'den hesaplanabilir ise

$$P_1 = \left(1 + \frac{\Delta P}{P_0}\right) kV_0^{n+1} \quad (2.26)$$

olarak ifade edilebilir. Eğer sabit güç ile seyir ediliyor ise güç artışından önceki hız V_0 ise ve direnç artışından sonraki hız V_1 olarak ifade edilir ise

$$P_0 = kV_0^{n+1} = \left(1 + \frac{\Delta P}{P_0}\right) kV_1^{n+1} \quad (2.27)$$

veya

$$\frac{V_1}{V_0} = \left(1 + \frac{\Delta P}{P_0}\right)^{-\frac{1}{n+1}} \quad (2.28)$$

$\frac{\Delta P}{P_0}$ değeri 1'e göre küçük olduğu için binomial teoremi kullanılarak

$$\frac{V_1}{V_0} = 1 - \frac{1}{n+1} \frac{\Delta P}{P_0} \quad (2.29)$$

veya hız kaybı güç artışı cinsinden ifade edilmek istenir ise

$$\frac{V_0 - V_1}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{1}{n+1} \frac{\Delta P}{P_0} \quad (2.30)$$

n için tipik değerler referans 13’de verilmiştir. Bu referansa göre değişik n değerleri aşağıda yer aldığı gibidir:

Yüklü tankerler için	n= 1.91
Balast durumunda tankerler için	n=2.40
Konteyner gemileri için	n=2.16

3. GEMİ SEYİR VERİ BAZI

Gemiler için güç marjinleri dizayn edilen her bir gemi için pürüzlülük, kirlenme, seyir sırasında beklenen rüzgar, dalga ve akıntı koşulları kullanılarak saptanabilir. Ancak gerçek seyir koşullarından bu marjinlerin saptanması kullanılan metotlar ile karşılaştırılması gereksinimi de vardır. Bu amaçla bu çalışmada dökme yük gemileri ve konteyner gemileri için seyir sırasında elde edilen verilerden faydalanarak gemi kirlenme ve deniz koşulları (dalga ve rüzgar) marjin hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Gemi sayir verileri için bir şirketin gemi seyir veri bazından yararlanılmıştır. Gemi kayıtları günde bir defa kayıt edilmekte olup, gün ortası kayıtlar kullanılmaktadır. Hız verisi yapılan seyrin mesafesinin seyir süresine bölümü sonucu olarak bulunmaktadır. Hız dışında ana makinenin rpm (bir dakikadaki dönme sayısı), günlük yakıt tüketimi, çıkış ve varış limanı gibi bilgilerini içermektedir (Tablo 3.1). İlk olarak bakılacak veri bazı, beş adet kardeş gemiye aittir. Dökme yük taşıyan Cape size boyutunda olan bu gemilerin blok katsayısı yaklaşık 0.84 civarındadır.

Loa : 266 m

Lbp : 256 m

B : 40,5 m

D : 21,2 m

T : 14,5 m

DWT : 115000 m

Gemiler 1990 yılında inşa edilmesine karşın veri bazındaki bilgiler 2000 yılından 2008 yılının ilk aylarına kadar mevcuttur. Bu zaman dilimi içinde gemiler en az bir kere havuza girip çıkmıştır. Kirlenme etkisinin değerlendirilebilmesi için, her havuzlama sonrası geminin yüzeyinin raspalanarak boyandığı ve ilk seyrini yaptığı zamanki hali aldığı varsayılmıştır. Geminin seyir tecrübesine ait veriler aşağıda (bkz. Şekil 3.1) görülmektedir. Dökme yük gemileri için hem yüklü hem de balast koşulu ayrı ayrı ele alınmıştır. Seyir veri bazında yük miktarı verilmediği için analizde sadece yüklü/balast değerlendirilmesi yapılmış, ara yükler dikkate alınamamıştır.

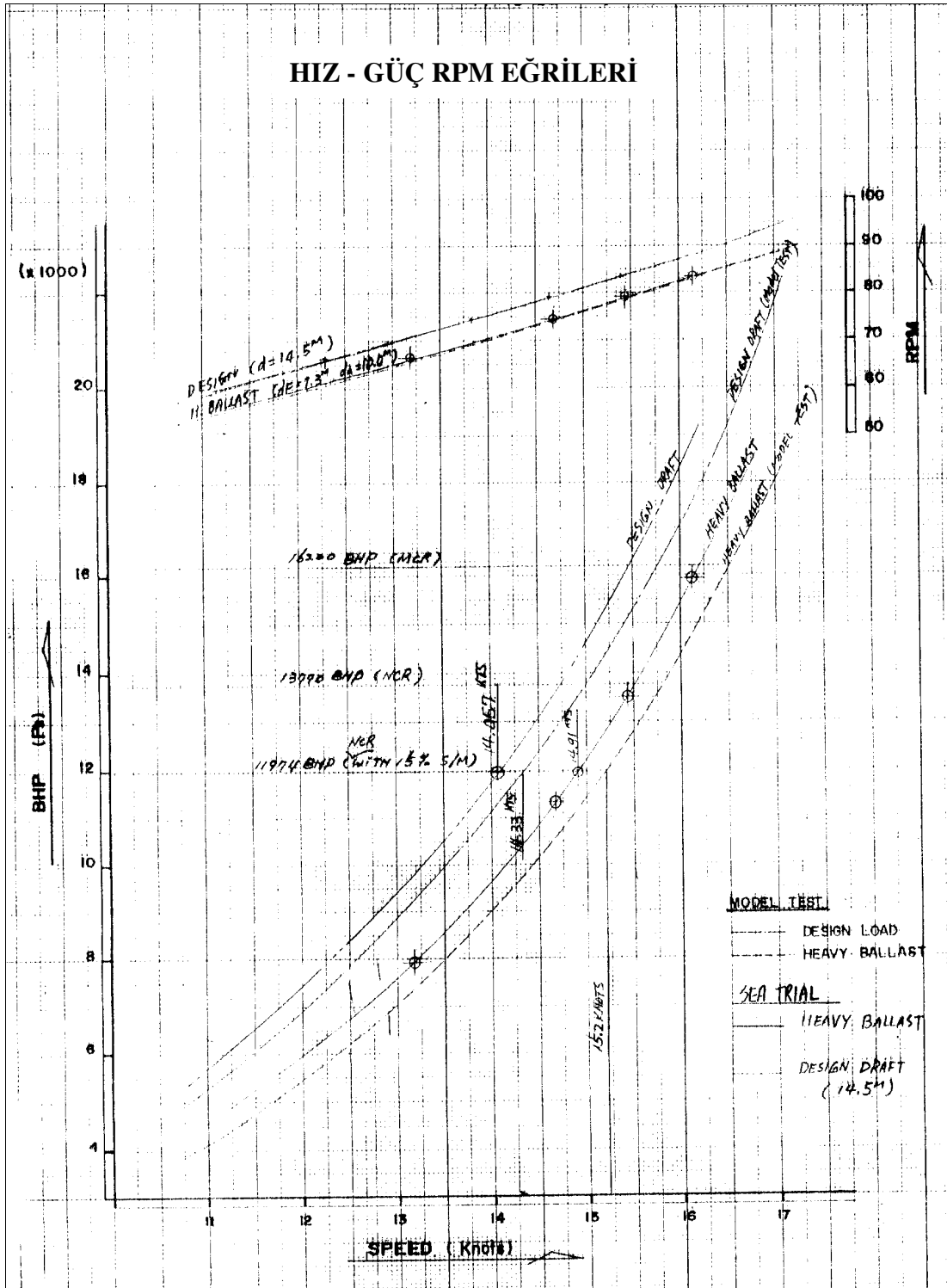
İkinci olarak ise gemi büyüklüğünün güç artışı/hız kaybına etkisinin görülebilmesi için beş değişik boyutta konteyner gemisi için analiz gerçekleştirilmiştir. Bu gemilerin özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir. Konteyner gemilerin yük değişimi miktarının bilinmesi oldukça zordur. Bu nedenle tüm analizlerde yüklü balast ayırımı yapılamamıştır.

Seyir veri bazında yer alan rüzgar ve dalga yönleri uyum göstermemiş, bu nedenle rüzgar ve dalga için baştan gelen, kıçtan gelen veya herhangi bir açıdan gelen ayırımını görmek mümkün olamamıştır.

Tablo 3.1: Toplanan veri örneği

Gün	Hız	RPM	HFO (mt)	MDO (mt)	Steam Hours	Mesafe (miles)	Wx/Bf	Ballast Or Laden	Next Port
28/12/2000	12.7	63.5	28.90	0.0	24.0	305.0	3	L	PUERTO BOLIVAR
29/12/2000	13.1	64.4	31.80	0.2	25.0	327.0	3	L	PUERTO BOLIVAR
30/12/2000	12.4	63.9	29.90	0.2	24.0	297.0	4	L	PUERTO BOLIVAR
31/12/2000	13.0	64.0	29.20	0.2	25.0	325.0	4	L	PUERTO BOLIVAR
01/01/2001	12.9	64.7	28.50	0.0	24.0	310.0	5	L	PUERTO BOLIVAR
01/01/2001 (A)		0.0			3.8	45.0		L	
Ortalama	12.82	64.10	29.17	0.12					
06/01/2001	14.0	75.6	45.50	0.0	24.0	335.0	4		IJMUIDEN
07/01/2001	13.5	75.5	44.30	0.0	23.0	311.0	4		IJMUIDEN
08/01/2001	13.6	75.6	45.50	0.0	24.0	327.0	4		IJMUIDEN
09/01/2001	13.0	74.6	43.70	0.0	23.0	299.0	4		IJMUIDEN
10/01/2001	13.1	75.0	45.30	0.2	24.0	315.0	5		IJMUIDEN
11/01/2001	13.9	75.5	44.40	0.2	23.0	320.0	6		IJMUIDEN
12/01/2001	13.1	74.5	45.40	0.2	24.0	314.0	5		IJMUIDEN
13/01/2001	12.9	74.7	43.50	0.2	23.0	297.0	5		IJMUIDEN
14/01/2001	12.8	75.0	45.80	0.2	24.0	307.0	4		IJMUIDEN
15/01/2001	13.3	75.3	43.90	0.0	23.0	305.0	5		IJMUIDEN
16/01/2001	12.4	74.4	43.40	0.2	24.0	297.0	5		IJMUIDEN
17/01/2001	13.0	74.9	43.80	0.0	23.0	300.0	5		IJMUIDEN
18/01/2001	13.4	74.3	45.80	0.2	24.0	321.0	3		IJMUIDEN
18/01/2001 (A)		0.0			3.3	45.0			
Ortalama	13.23	54.16	45.51	0.08					

HIZ - GÜÇ RPM EĞRİLERİ



Şekil 3.1: Seyir tecrübelerinden elde edilen hız güç grafiği



Şekil 3.2: Analizlerde kullanılan dökme yük gemisi

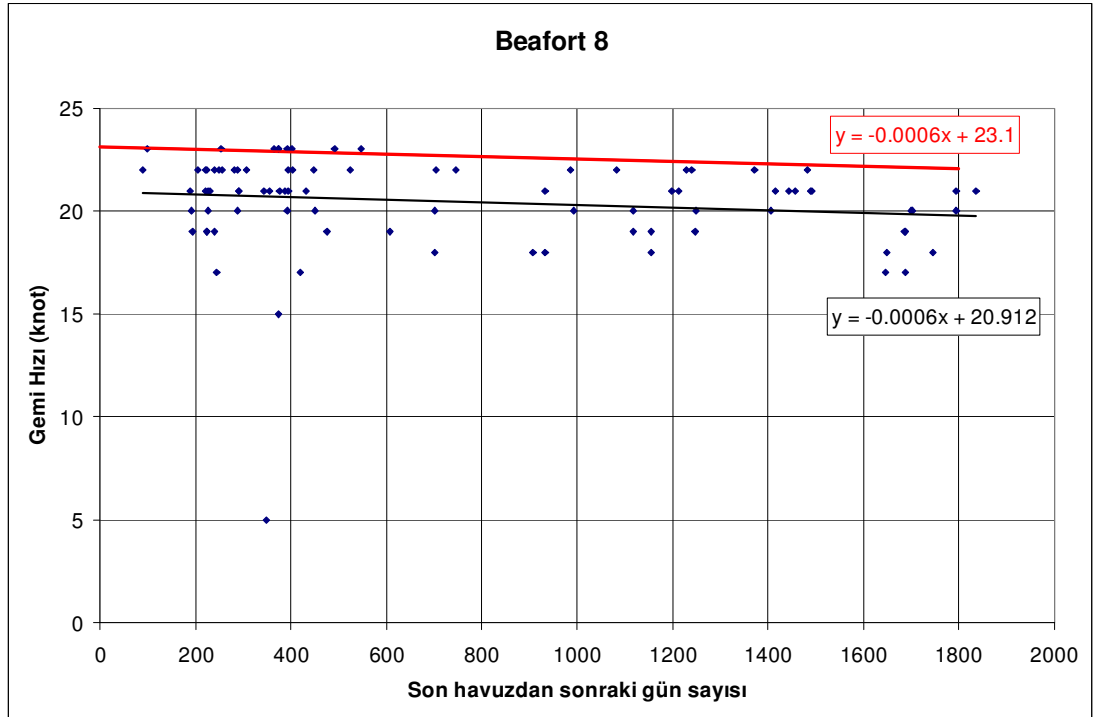
Tablo 3.2: Toplanan veri örneği (Konteyner)

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5
Serideki gemi sayısı	3	3	6	3	3
Tam boy- L_{OA} (m)	274.67	275.1	241.5	259	253.28
Dikmeler arası boy- L_{BP} (m)	263	263	244.8	244	236.3
Genişlik- B (m)	40	37.1	32.25	32.2	32.2
Draft – T (m)	14.2	13.62	12.6	12.02	11.52
Derinlik – D (m)	24.2	21.7	19.3	14.53	21.2
Deplasman - Δ (ton)	91413	83154	67271	65112	55261
Blok katsayısı – CB	0.635	0.641	0.693	0.707	0.646
Deadweight – Dw (ton)	68363	61153	39941	40268	43213
TEU Kapasitesi	5711	4651	4253	4031	3066

4. ANALİZ

Toplanan verilerin analizi iki ayrı amaç taşımaktadır. Öncelikle denizde geçen süre ile kirlenmenin gemi hızına ve gemi güç gereksinimine etkisi ve ikincil olarak denizli havalarda dalga ve rüzgar etkisi ile hız kaybı veya güç artışının belirlenmesi için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde gemi hızında önemli etkisi olan akıntı verileri elde edilemediği için akıntı etkileri ihmal edilmiştir.

Analizlerin ilk aşamasında her gemi için ve serideki tüm gemilerin toplamı olan her gemi tipi için, sabit deniz şiddetinde denizdeki gün sayısına gemi hızı grafiklerinin çizilmesidir. Örnek olarak verilen Şekil 4.1’de altı gemiden oluşan bir konteyner gemi seri için Bofor 8 şiddetinde denizdeki gün sayısına karşılık gelen gemi hızı grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.1: Bir hava koşulu ve bir gemi tipi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği

Bu analiz dökme yük gemilerinde yüklü ve balast durumu olarak iki ayrı yükleme koşulunda, konteyner gemileri içinse tek yükleme koşulu altında gerçekleştirilmiştir. Analizlerde edilen bütün seyirler sıranda gemilerin tam balast veya tam yüklü deplasman ve draftta seyir yaptığı kabul edilmiştir.

Kirlenme etkisinin dikkate alınması için son havuzlamadan sonra geçen gün sayısı dikkate alınmıştır. Bu durumda geminin yüzeyinin her havuzlama sonrasında ilk haline döndüğü kabulü yapılmıştır. Yani zaman içinde geminin yüzeyinde oluşan ekstra pürüzlülüğüm havuzlama sırasında ortadan kaldırıldığı kabul edilmiştir. Eldeki verilerin havuzlamadan ne kadar süre sonra olduğunu baz alarak incelemeye alarak, verileri aynı zaman diliminde toplanmıştır.

Analiz edilen gemi tiplerinden olan dökme yük gemilerinin havuza alınma süreleri beş yıldır. Ancak dökme yük gemileri on beş yaşını geçtikten sonra havuzlama süreleri iki buçuk yıla inmektedir. Her havuzlamadan sonra geminin ıslak alanı temizlenip tekrar boyanmaktadır. Bu işlem sonucunda gemi yüzeyinin yeni inşa edildikten sonraki yüzle aynı kaliteye geldiği kabulü yapılmıştır.

Şekildeki verilerden bir ortalama doğru en küçük kareler metodu kullanılarak geçirilmiştir. Bu doğruya ortalama hız doğrusu adı verilir ise, doğrunun eğimi geminin kirlenme zamanı ile ne kadar hız düşümü oluştuğunu vermektedir. Diğer bir deyişle gemi denizde geçen her gün için 0.0006 knot hız kaybetmekte 100 günde (yaklaşık 3 ay) 0.06 knot hız kaybı, yılda 0.219 knot, beş yılda 1.095 knot hız kaybı ortaya çıkmaktadır.

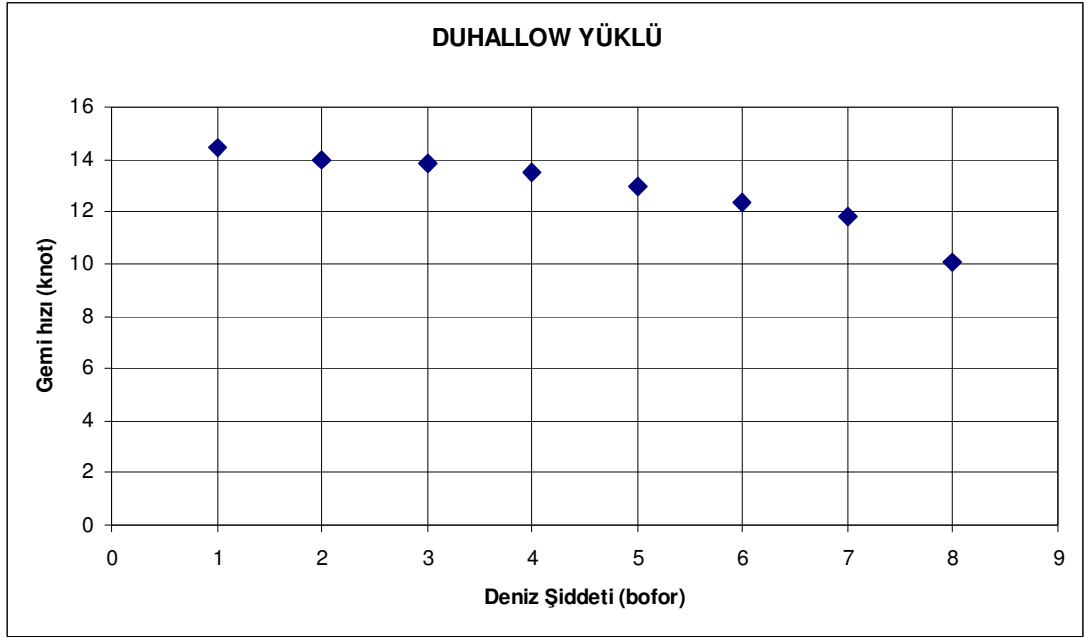
Doğru denkleminin sabit değeri 20.912 knot bu deniz şiddetinde geminin eriştiği ortalama hızı göstermektedir. Bu hız tüm yönden gelen rüzgar ve dalga koşulları dikkate alınarak elde edilmiştir. Gemi seyir fizibiliteleri ve seyir planlamaları için dikkate alınacak hız değeri de bu hız olacaktır.

Ortalama doğrunun eğim değeri kullanılarak şekildeki noktalara teğet olarak yeni bir doğru geçirilmiş, bu doğruya maksimum hız doğrusu adı verilmiştir. Maksimum hız doğrusu geminin bu deniz şiddetinde gidebileceği maksimum sürati ifade etmekte olup, bu durum genelde kıçtan gelen dalgalara tekabül etmektedir.

4.1 Dökme Yük Gemisi Analizi

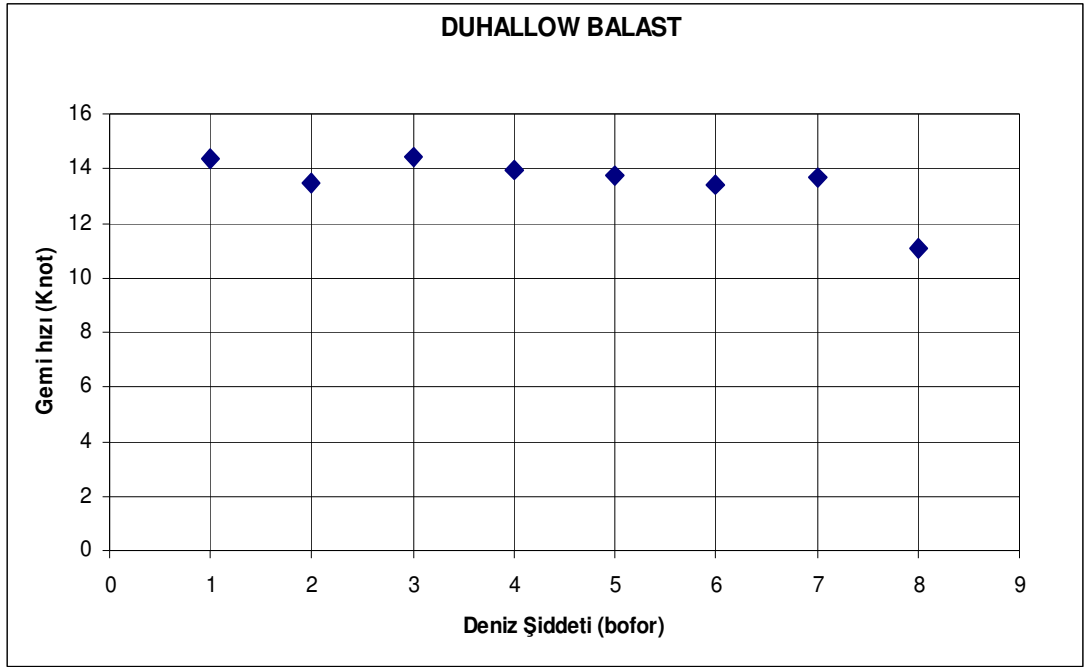
Beş gemiden oluşan dökme yük gemisi serisinin örnek olarak Duhallo gemisi için yüklü ve balast yükleme koşulu altındaki havuzdan sonra geçen gün-gemi hızı grafikleri ekler kısmında Ek A bölümünde ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bazı gemiler için düşük deniz şiddetlerinde (bofor 0 ve 1) ve yüksek deniz şiddetlerinde (bofor 8 ve yukarısı) yeterli veri bulunamadığı için en küçük kareler metodu doğru sonuçlar verememekte ve bu deniz şiddetleri için gemi ortalama hızı elde edilememiştir.

Grafiklerden her bir deniz şiddeti için en küçük kareler metodu ile elde edilen doğrunun sabiti yani sıfır eksenini kestiği değer o deniz şiddetindeki kirlenme öncesi gemi hızı olarak ele alınmış ve Şekil 4.2 ve 4.3'te verilen deniz şiddeti- gemi hızı grafikleri çizilmiştir.

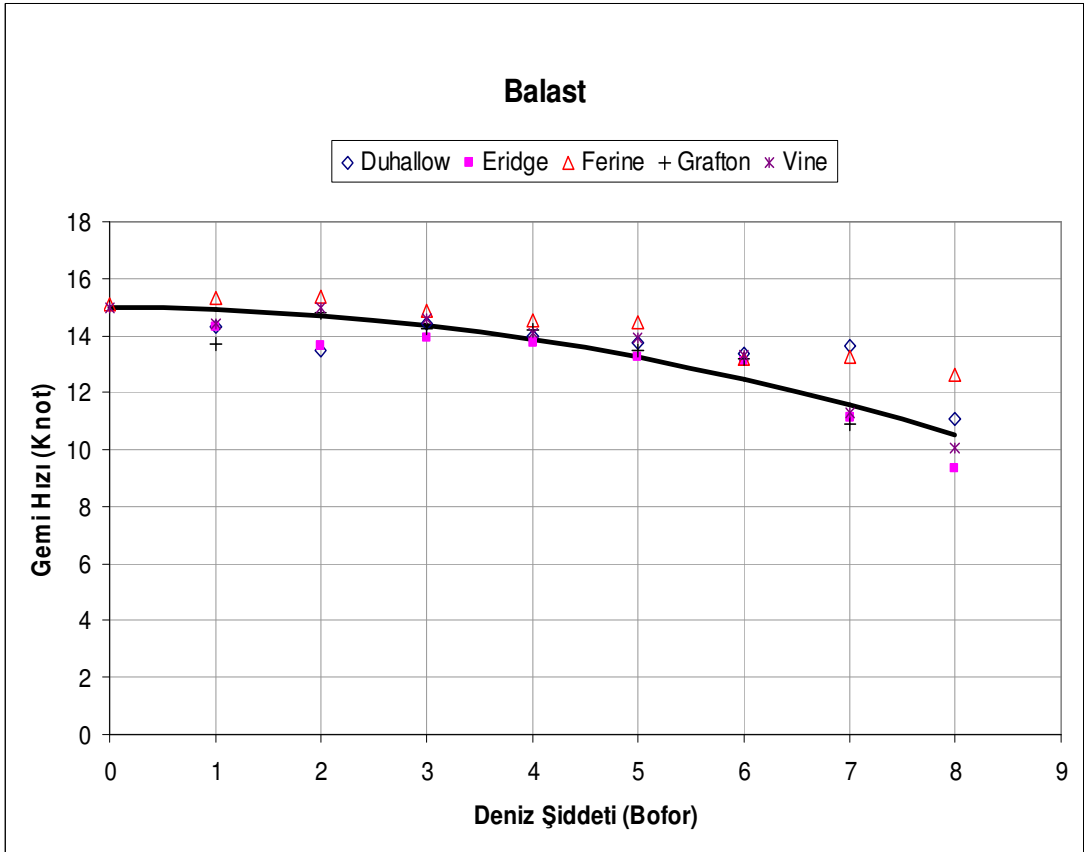


Şekil 4.2: Duhallo yüklü koşul için hava durumunun gemi hızına olan etkisi

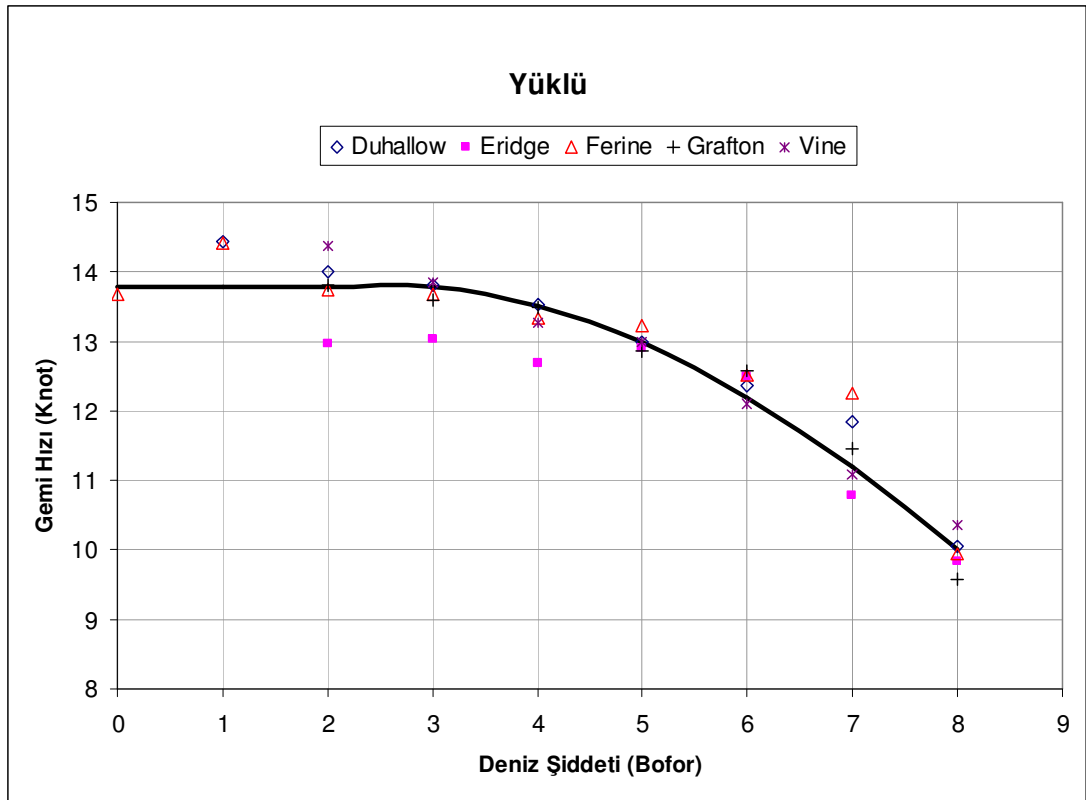
Bu grafik analizi beş gemi için gerçekleştirilerek Şekil 4.4 ve 4.5'de verilen toplu deniz şiddetinin gemi hızına etkisi grafikleri elde edilmiştir. Gemi hız düşüşü sakin su hızının yüzdesi olarak ifade edilebilir. Şekil 4.6 ve 4.7'de yüzde hız düşüşleri, Kwon'un tahmin denklemleri kullanılarak grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



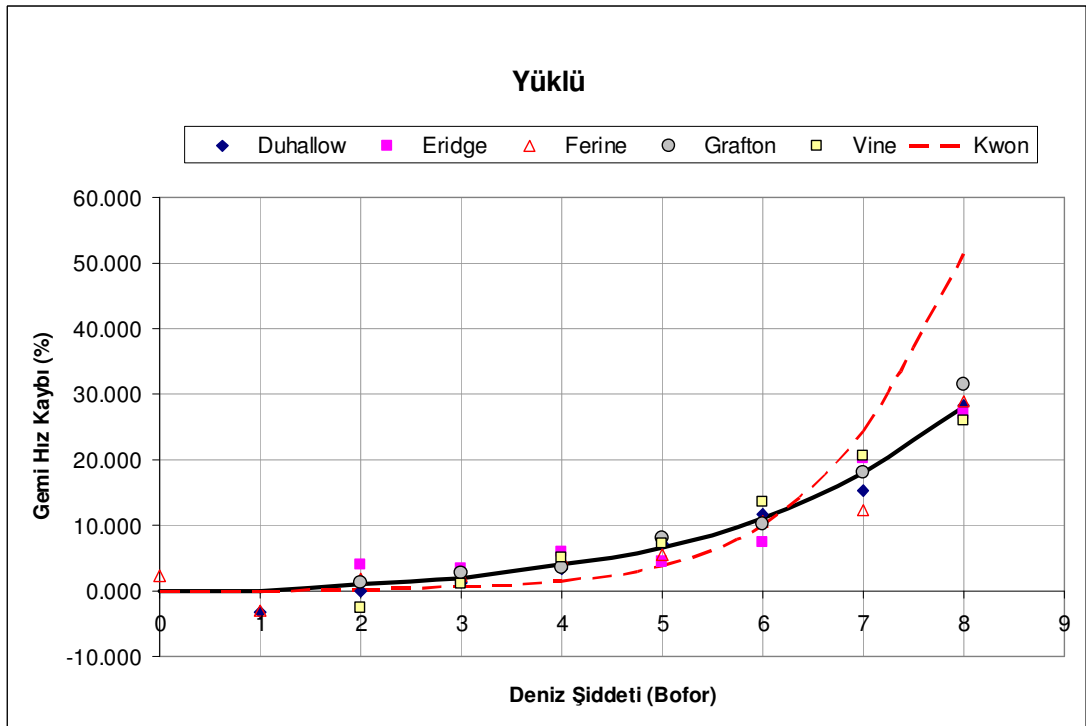
Şekil 4.3: Duhallow balast koşul için hava durumunun gemi hızına olan etkisi



Şekil 4.4: Tüm seri için balast koşulunda hava durumunun gemi hızına etkisini gösteren grafikler

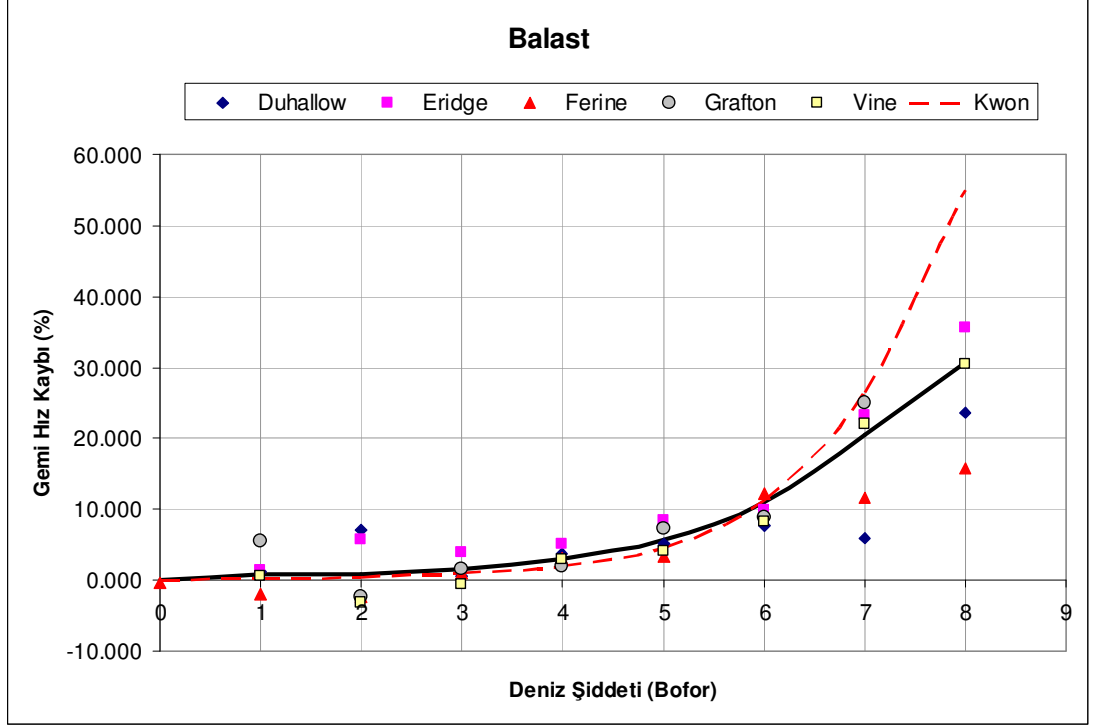


Şekil 4.5: Tüm seri için yüklü koşulda hava durumunun gemi hızına etkisini gösteren grafikler



Şekil 4.6: Dökme yük gemisi yüklü koşulda seyir verileri ile Kwon metodunun karşılaştırması

Seyir tecrübeleri analizleri deniz şiddetinin 7 değerine kadar Kwon denklemi ile oldukça benzer karakteristik göstermiş ancak deniz şiddeti 8 için daha düşük hız düşüşleri görülmüştür.



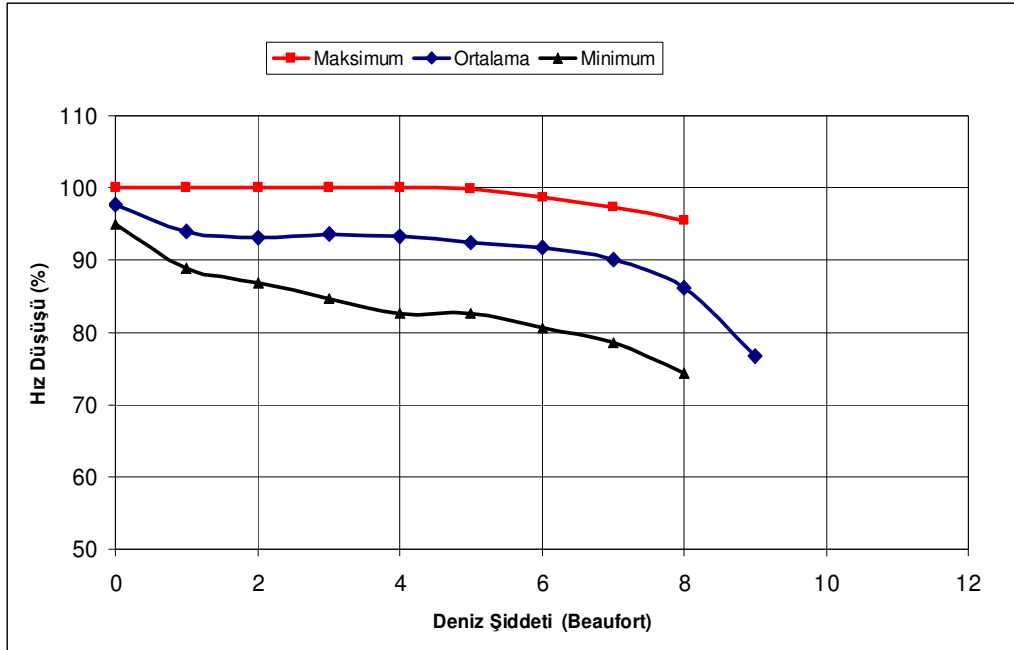
Şekil 4.7: Dökme yük gemisi balast koşulda seyir verileri ile Kwon metodunun karşılaştırması

4.2 Konteyner Gemileri Analizi

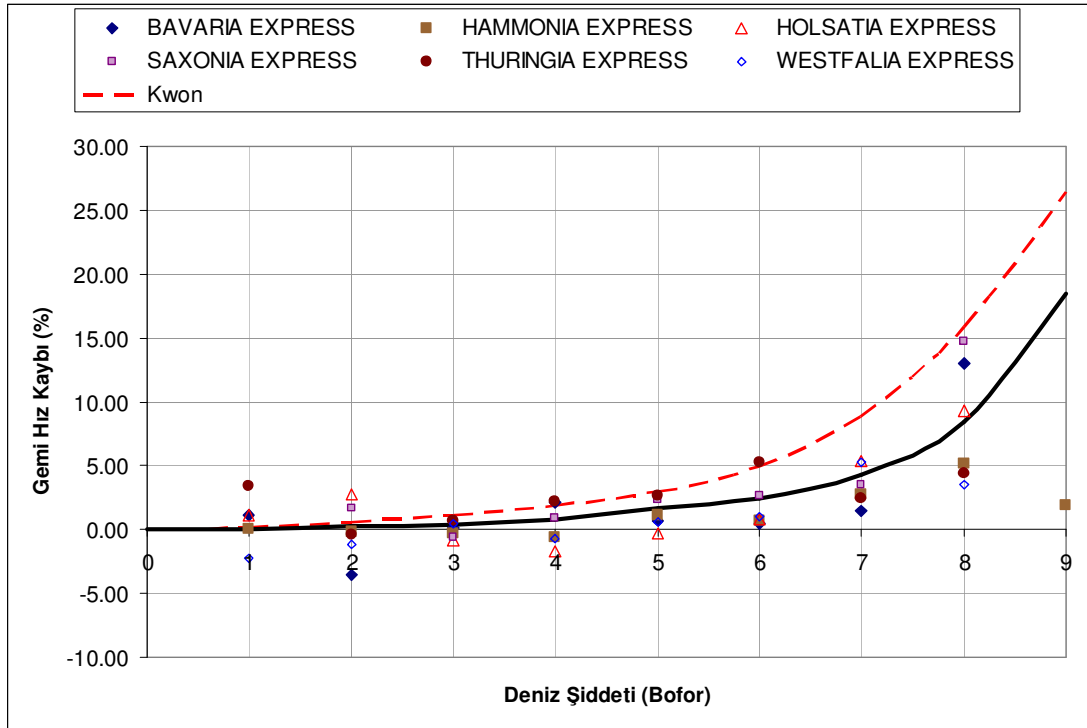
Bir sonraki aşamada ise veri bazında bulunan altı değişik konteyner gemi serisi incelenmeye alınmıştır. Konteyner gemileri yüksek süratlerde seyir yapan gemilerdir. Bu serilerden en yüksek gemi sayısına sahip olan 67.270 ton deplasmana sahip 6 gemiden oluşan serinin sonuçları burada sunulmuştur. Çalışmanın ekleri arasında yer alan EK B bölümünde değişik deniz şiddetlerinde 6 geminin toplam değerleri havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafikleri şeklinde ayrıntılı bir çalışma ile verilmiştir.

Bu seri için minimum, ortalama, maksimum hızlar Şekil 4.8’de sunulmuştur. Deniz şiddeti 8 bofor olduğunda maksimum hız (kıçtan gelen dalgalarda) sakin su hızının % 95’ine düşmesine rağmen minimum hız (baştan gelen dalgalarda) % 75’e inmektedir. Ancak seyir planlaması için pratik olarak dalgaların yönü bilinemediği için ortalama hıza bakmak gerekir. Ortalama hız 8 hava şiddetinde sakin su hızının % 87’ine inmektedir.

Şekil 4.9’da bu seri için hesaplanmış hız düşüşleri ve Kwon metodu ile hesaplanmış hız düşüşleri karşılaştırılmıştır. Seyir tecrübelerinden elde edilen verilerin fazlaca dağıldığı gözlemlenmektedir. Kwon metodu ile uyum yeterlidir.

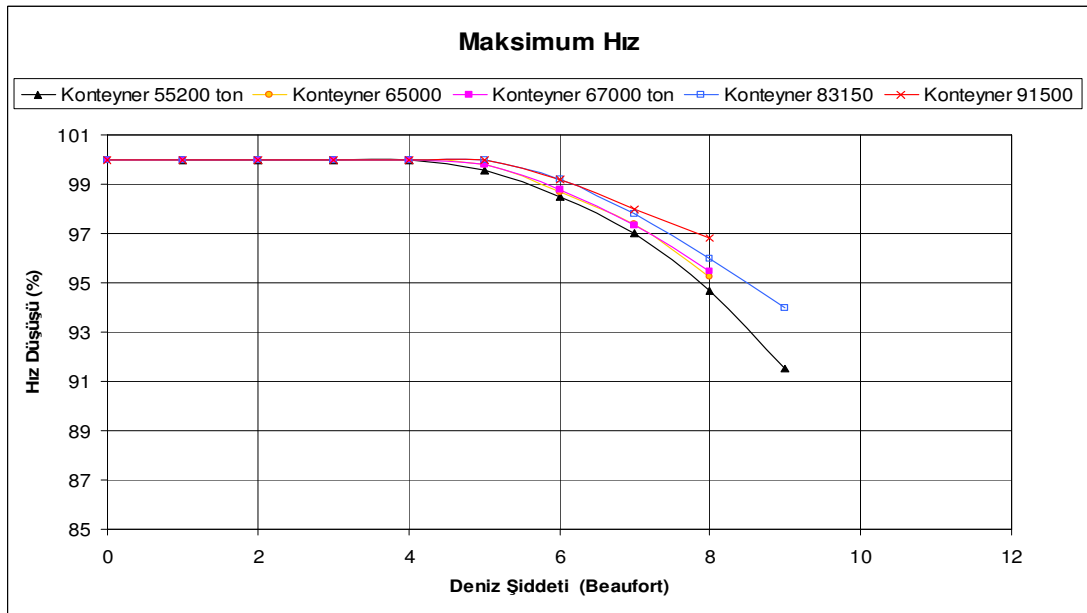


Şekil 4.8: Konteyner gemisi için deniz şiddetine bağlı olarak hız grafiği



Şekil 4.9: 6 gemiden oluşan konteyner serisi seyir verileri ile Kwon metodunun karşılaştırması

Değişik deplasmanlara sahip 5 konteyner serisi için maksimum hız değerleri Şekil 4.10'da sunulmuş olup, deplasman etkisi görülmektedir. Deplasmanın artışı geminin deniz şiddeti ile oluşan hız düşüşlerini beklediği gibi azaltmaktadır.



Şekil 4.10: Tüm konteyner serileri için teker teker oluşturulmuş hava durumunun gemi hızına etkisini gösteren grafikler

5. SONUÇLAR

Dünyada ekonomik belirsizlikler her endüstride hassas analiz metotlarının kullanılarak özellikle ekonomik fizibilitelerde hassas tahminlerin yapılmasını zorunlu kılmıştır. Günümüzde hızla artan çelik ve yakıt fiyatları gemilerin hem dizayn ve inşasında hem de işletiminde belirsizliklerin dikkate alınması ve belirsizlik gösteren hususların daha doğru hesaplanmasını zorunlu kılmıştır. Bu çerçevede çalışmalarda dizayn güç marjininin gemi tip ve özelliklerine göre belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Gemi dizayn marjinerinden en önemli ikisi olan pürüzlülük ve deniz/hava şartları marjineri bu çalışmada incelenmiştir. Bu marjinin temel farklılığı pürüzlülük marjinin havuzlamalar arasında gittikçe artan bir etki göstermesi, hava/deniz marjininin ise yüksek frekanslı değişken olarak gözlemlenmesidir.

Kullanılan aynı tipteki beş kardeş gemiden oluşan gemi filosu için yapılan analizlerde;

- Deniz şartlarının gemi hızına etkisi 4 şiddetine kadar sınırlı kalmakta, 4 şiddetinde 1 knot hız kaybı, 5 şiddetinde 1,74 knot, 6 şiddetinde 2,02 knot, 7 şiddetinde 3,2 knot ve gemi seyirlerinde kayıt edilen en yüksek bofor olan 8 şiddetinde 4 knot olarak ortaya çıkmışta olduğu saptanmıştır.
- Geminin yüklü veya balast durumunda olması hava/deniz şartlarında hız kaybına etki etmekte olup,
- Pürüzlülük etkisi havuzlama sonrasında etkisini göstermeye başlamakta, kullanılan gemi tipinde yapılan 5 yıllık havuz süresinde 2 knotluk hız düşüşüne sebep olmaktadır.

Kardeş gemilerin analizinin sonucunda pürüzlülüğün geminin seyir hızına olan etkisi açıkça görülmüştür. Gemi yüzeyinin mümkün oldukça pürüzsüz tutulması geminin seyir hızında oldukça önemli rol oynamaktadır. Günümüzün gelişen teknolojisi sayesinde gemi pürüzlülüğünün azaltmak için değişik tip boyalar ortaya çıkmaktadır. Bu değişik kullanım uygulamalarına silikon bazlı boyaların kullanılmaya başlanması

örnek olarak gösterilebilir. Yeni boyalar pürüzlülüğü iki şekilde azaltmaktadır. Bu azaltma yöntemlerinden ilki, kullanılan teknoloji sayesinde elde edilen boyanın kendi yapısı itibari ile sürüldükten sonra günümüzün geleneksel boyalarına göre daha az pürüzlülük oluşturmaları olarak ifade edilebilir. Yani bu boyaların kullanılması sayesinde daha gemi suya inmeden gemi yüzeyindeki pürüzlülükte farklılık oluşmaktadır. Gemi suya indikten sonra ise gemi ömrü boyunca gövdesine yapışan canlılar gemi yüzeyinde fazladan bir direnç oluşturarak geminin hızında azalmalara sebep olmaktadır. Yeni tip boyaların yardımı sayesinde gemi belirli bir hızı aştıktan sonra yapışan canlılar iyi tutunamadığı için gemi yüzeyinden ayrılmaktadırlar. Böylece geminin havuzlama süresince geçirdiği zamanda hız kaybı geleneksel boyalara göre daha az olmaktadır. Bu tip boyaların kullanımı yaygınlaştığında gemilerin güç marjini hesabındaki pürüzlülüğün etki daha az kabul edilip ana makine seçimi ona göre yapılabilir.

Pürüzlülüğün ve havanın geminin seyrine olan etkisi beş kardeş dökmeceiden elde edilen veriler ile ortaya konmuştur. Bu inceleme sırasında görülmüştür ki hava koşulları kötüleştikçe pürüzlülüğün etki azalmaktadır. Bu çalışmada daha önce de altı çizildiği üzere konteyner gemileri için yüklü ve balast diye bir ayırım yapılmamıştır. Çünkü gemiler her zaman yüklü dolaşmaktadırlar ve seyirleri sıranda çok fazla draft değişikliği olmamaktadır.

Bu gemilerin analizi sırasında gemilere ait üç değişik hız sunulmuştur. Altı kardeş konteyner gemisi için gemi deniz şiddeti 8 bofor da seyri sıranda minimum hızında %75lik bir hız kaybı gözlenirken maksimum hızında ise bu değişim %95 olmaktadır. Ancak gemi seyri sıranda hava koşullarının nereden etkidiğini önceden tahmin edemeyeceğinden dolayı ömrü boyunca ortalama bir etki yapacağı düşünülmektedir. Yani geminin ömrü boyunca yakalanacağı 8 bofor deniz şiddetinde ortalama %87 bir hız kaybı olacaktır. Bu gemilerde yapılan çalışma gemilerin büyüklüğünün hava koşullarından dolayı oluşan hız değişimine etkisi göstermektedir. Bofor 8 şiddetinde 55,200 tonluk bir konteyner gemisinde yüzde 5 mertebesinde bir hız kaybı söz konusu olurken 91,500 tonluk bir konteyner gemisinde ise bu fark sadece yüzde 3 tür. Bu da göstermektedir ki büyük gemilerde hava koşulunun hıza olan etkisi küçük gemilere göre daha azdır.

KAYNAKLAR

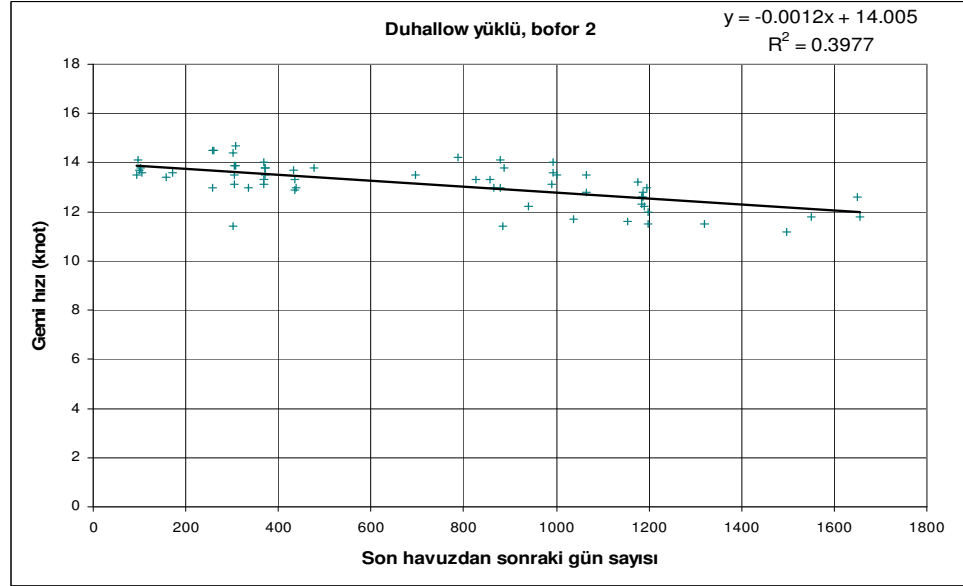
- [1] **Anderson, P., Borrod, A.E. and Blanchot, H.**, 2005. Evaluation of the Service Performance of Ships, *Marine Technology*, Vol. 42, No. 4, 177-183.
- [2] **Üsküdar Mühendislik**, 2000. http://tersane.uskudar.biz/makaleler/direnc_1.htm
- [3] **Blendermann, W.**, 1990. Manoeuring Technical Manual. Schiff & Hafen, Hamburg, Germany.
- [4] **Kambay Z.**, 2008. Bofor tablosu, <http://www.zkambay.8m.com/Bofor%20Tablosu.htm>
- [5] **Townsin, R.L.**, 2003. The ship hull fouling penalty, *The Journal of Bioadhesion and Biofilm*, 19:1, 15.
- [6] **Casse, F. And Swain, G.W.**, 2006. The development of microfouling on four commercial antifouling coatings under static and dynamic immersion, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 179-185
- [7] **Schultz, M. P.**, 2007. Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering, *The Journal of Bioadhesion and Biofilm*, 23:5, 331-341.
- [8] **Chambers, L.D., Stokes, K.R., Walsh, F.C. and Wood R.J.K.**, 2006. Modern approaches to marine antifouling coatings, *Surface and Coatings Technology*, 3642-3652.
- [9] **Almeida, E., Diamantino, T.C. and Sousa O.**, 2007. Marine paints: The particular case of antifouling paints, *Progress in Organic Coatings*, 59, 2-20.
- [10] **Yavuz T.**, 1978. Gemi teknesinin korozyonu ve korunma yolları, *İstanbul: Deniz Harp Okulu Basımevi*
- [11] **Faltinsen, O. M. and Minsas, K.J.**, 1986. Added resistance in waves, 8,1-24

- [12] **Townsin, R.L. and Kwon, Y.J.**, 1982. Approximate Formulae for the speed loss due to added resistance in wind and waves, *Tran RINA*.
- [13] **Kwon, Y.J.**, 2008. Speed loss due to added resistance in wind and waves, *The Naval Architect*, March, 14-16

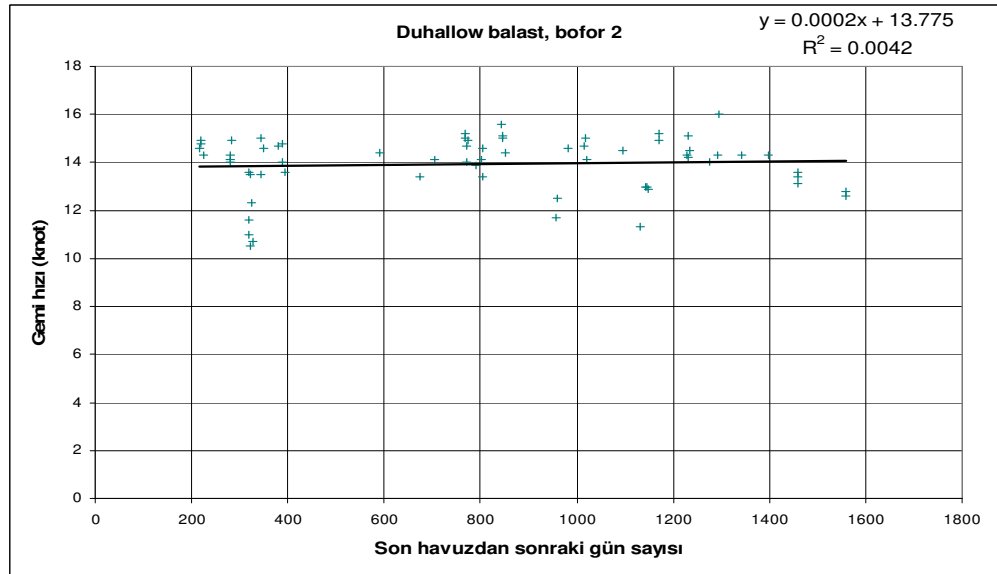
ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Yekta Öksüz, Eylül 1982 doğumlu olup 2000 yılında girdiği İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun olmuştur. 2006 Haziran ayı itibari ile Zodiac Maritime Agencies adlı denizcilik firmasında çalışmaktadır.

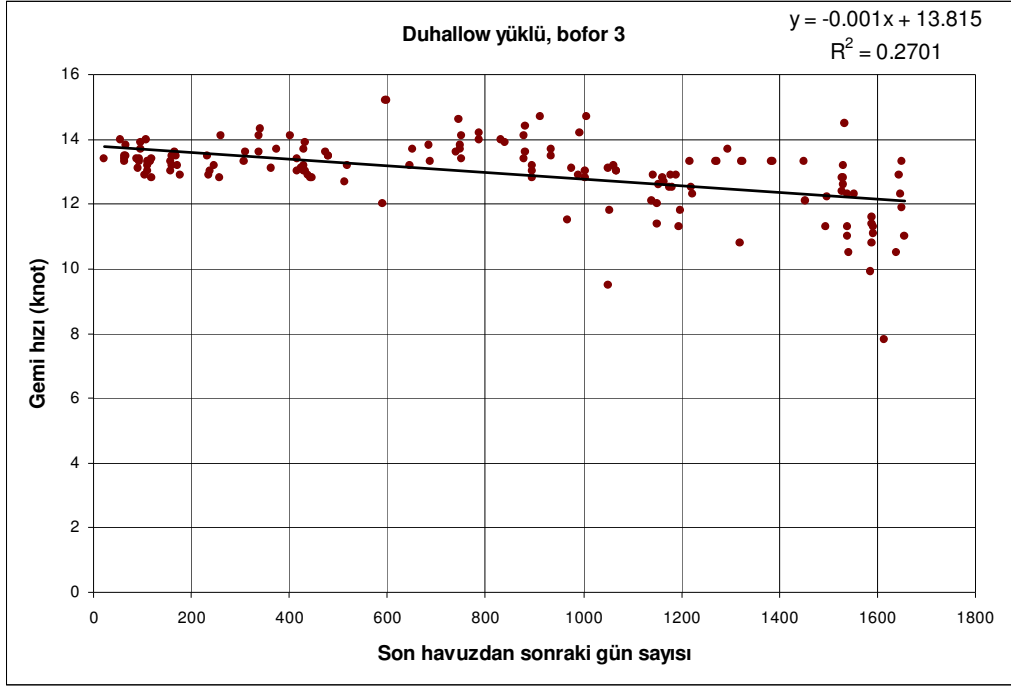
EK A: Dökme yük gemileri için havuzlama zamanına göre hız grafikleri



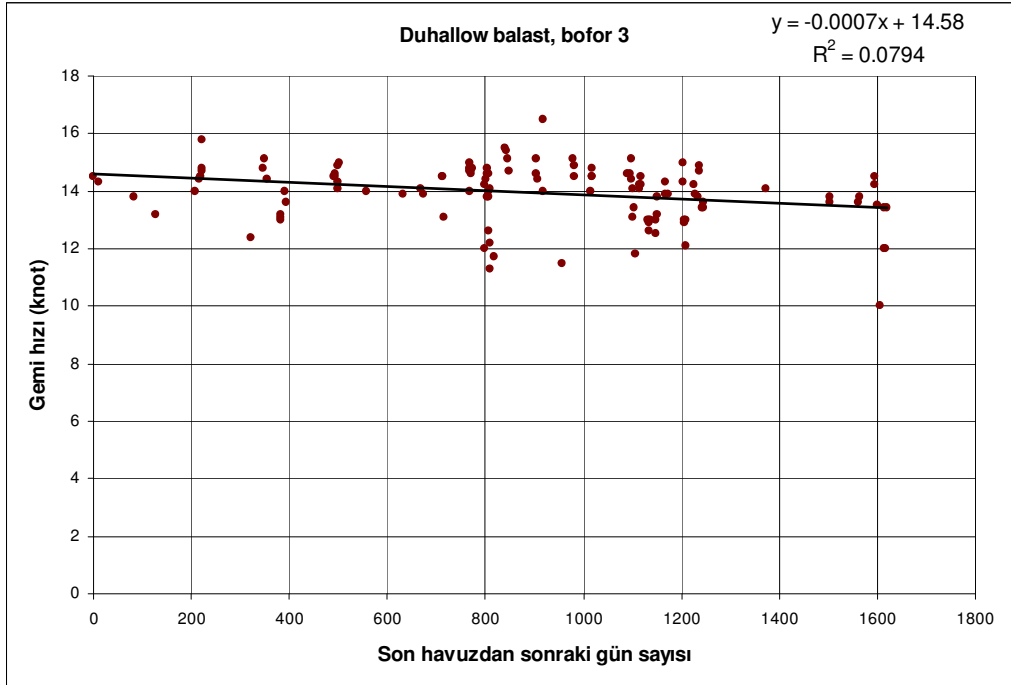
Şekil A.1: Duhallow yüklü koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 2 için)



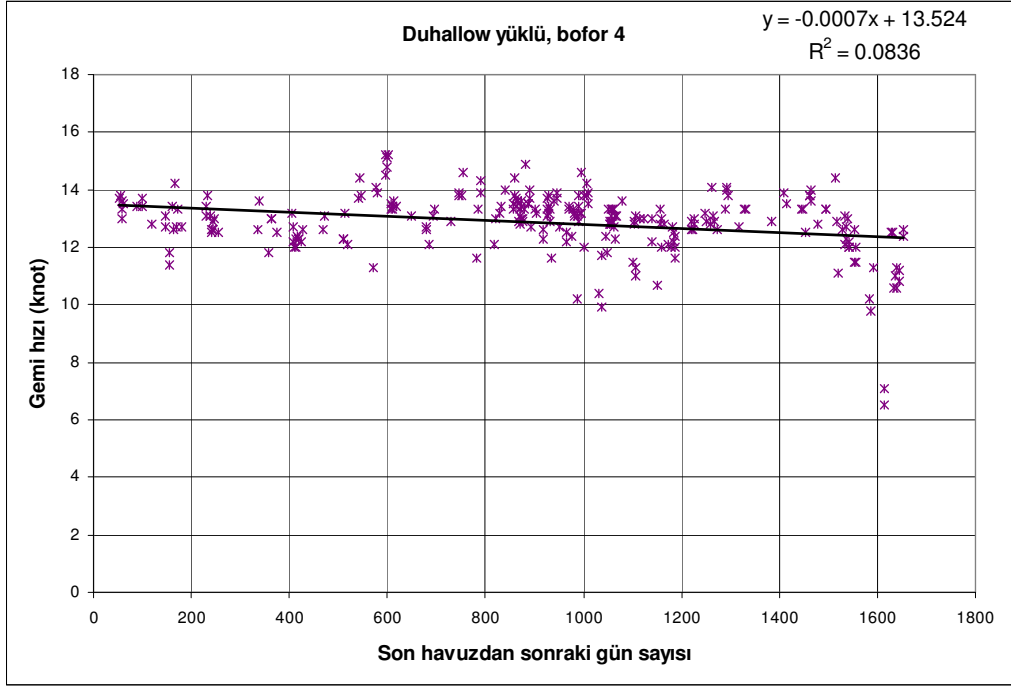
Şekil A.2: Duhallow balast koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 2 için)



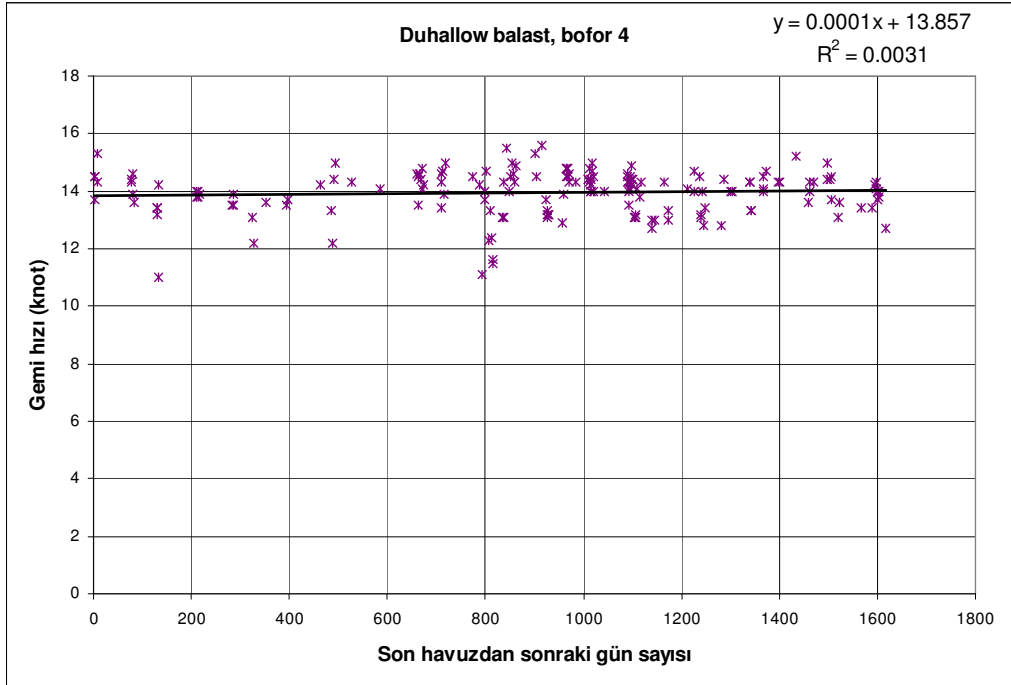
Şekil A.3: Duhallow yüklü koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 3 için)



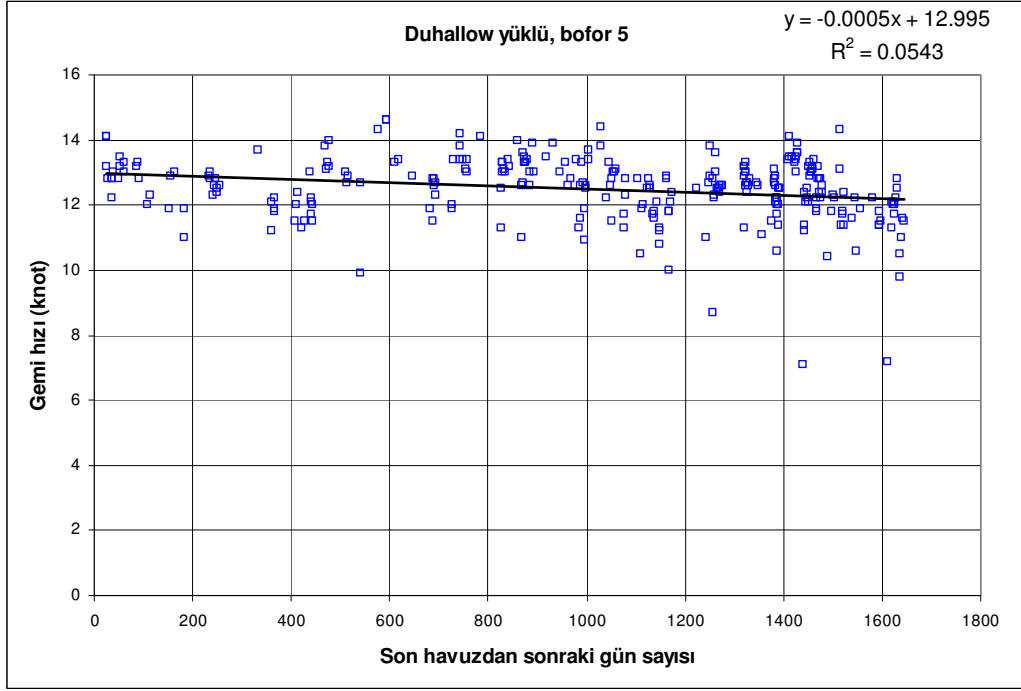
Şekil A.4: Duhallow balast koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 3 için)



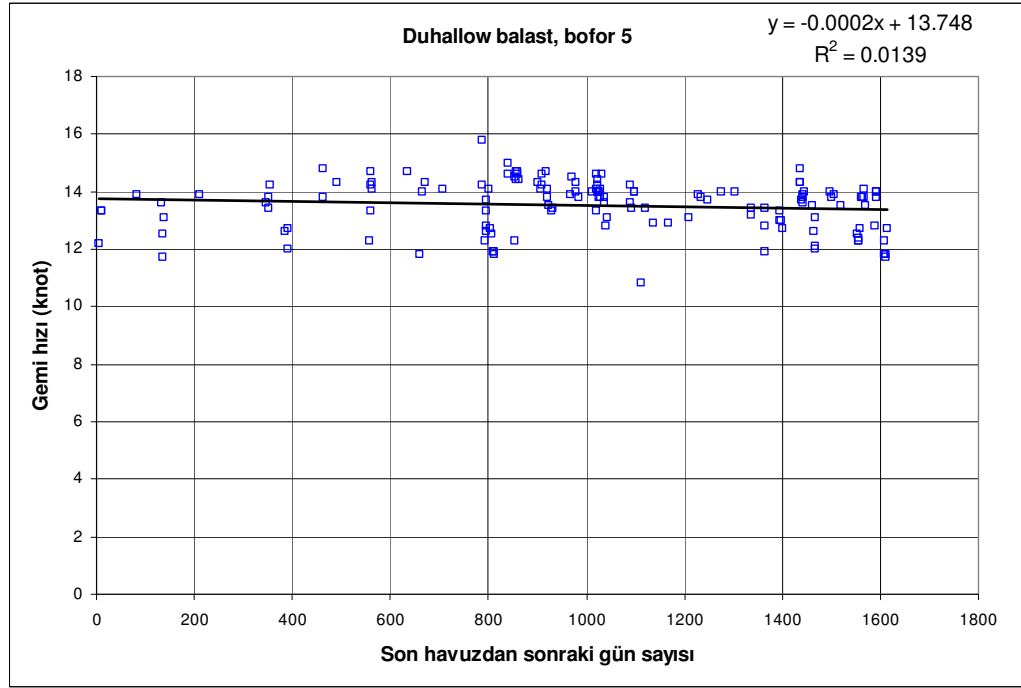
Şekil A.5: Duhallow yüklü koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 4 için)



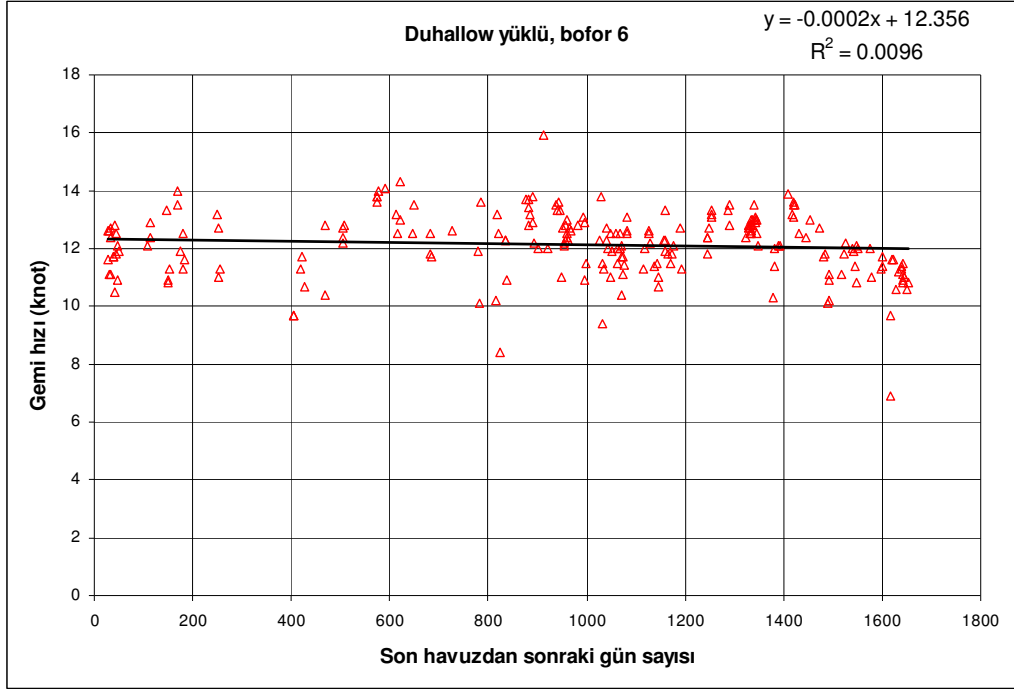
Şekil A.6: Duhallow balast koşulu için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 4 için)



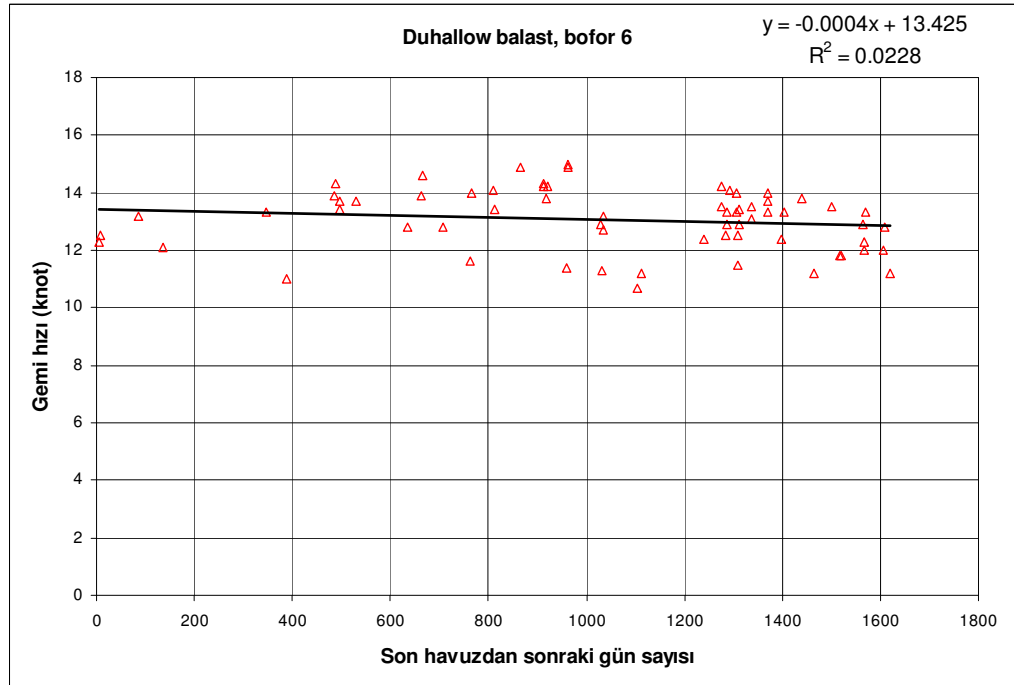
Şekil A.7: Duhallow yüklü koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 5 için)



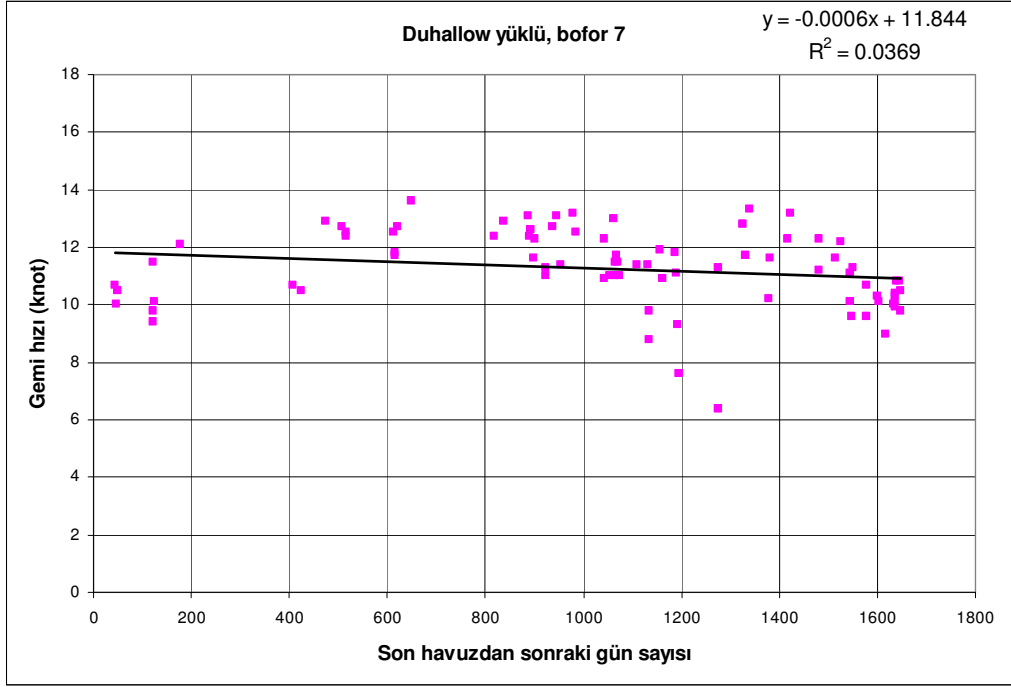
Şekil A.8: Duhallow balast koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 5 için)



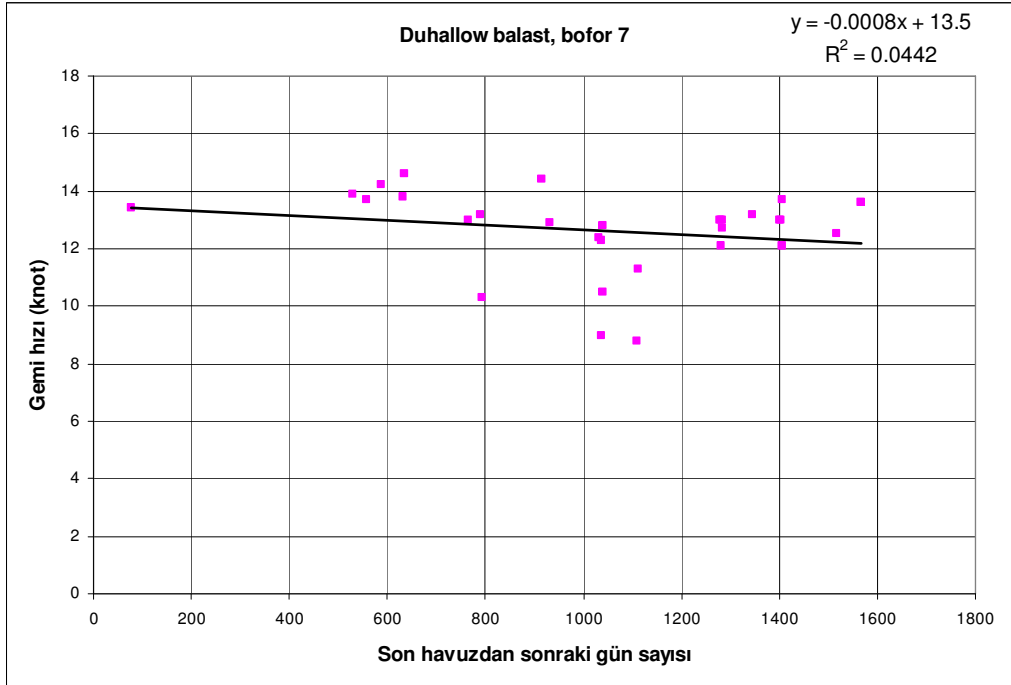
Şekil A.9: Duhallow yüklü koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 6 için)



Şekil A.10: Duhallow balast koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 6 için)

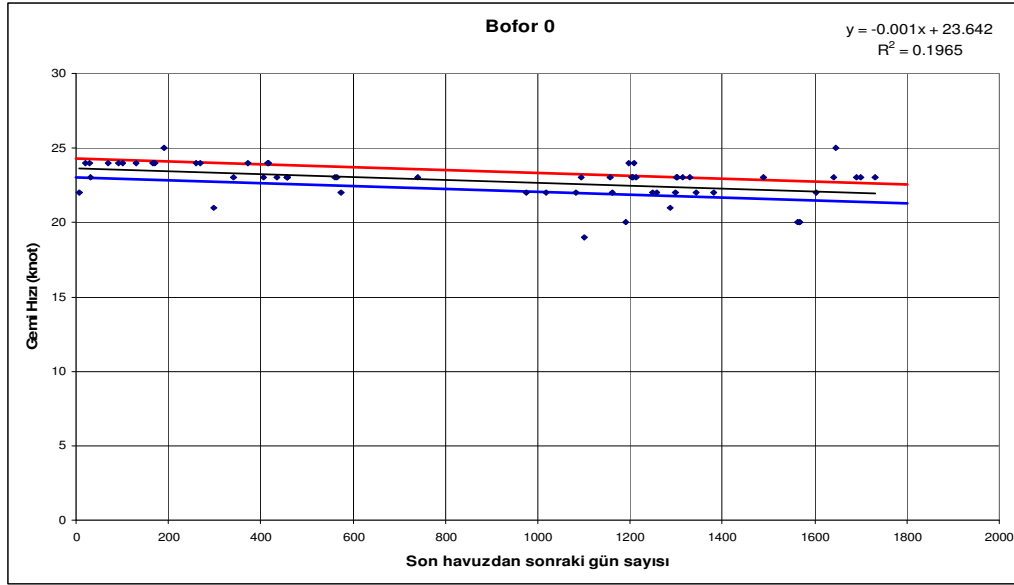


Şekil A.11: Duhallow yüklü koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 7 için)

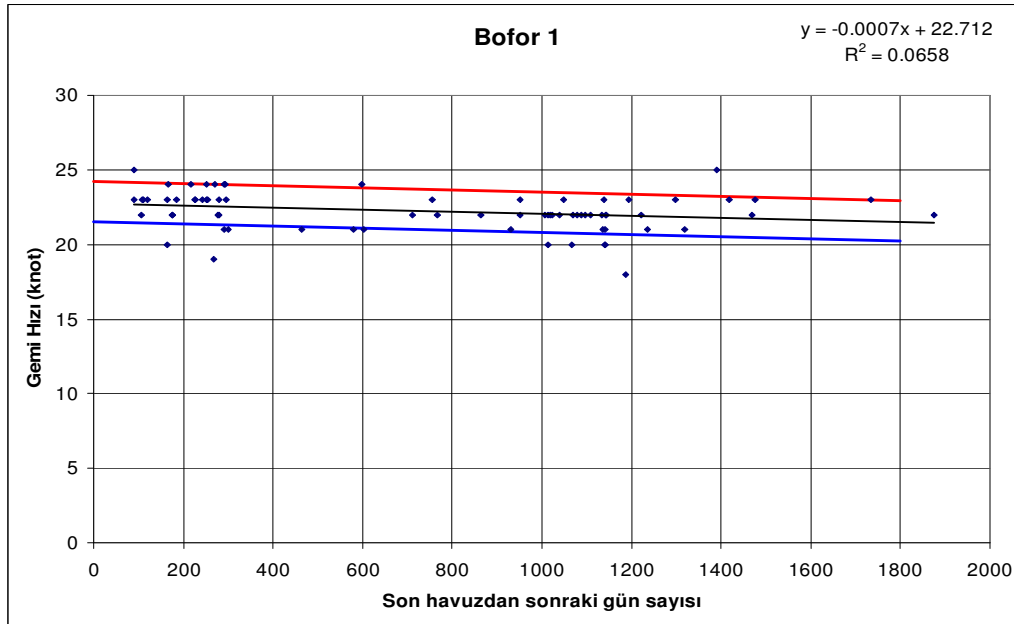


Şekil A.12: Duhallow balast koşul için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği (Bofor şiddeti 7 için)

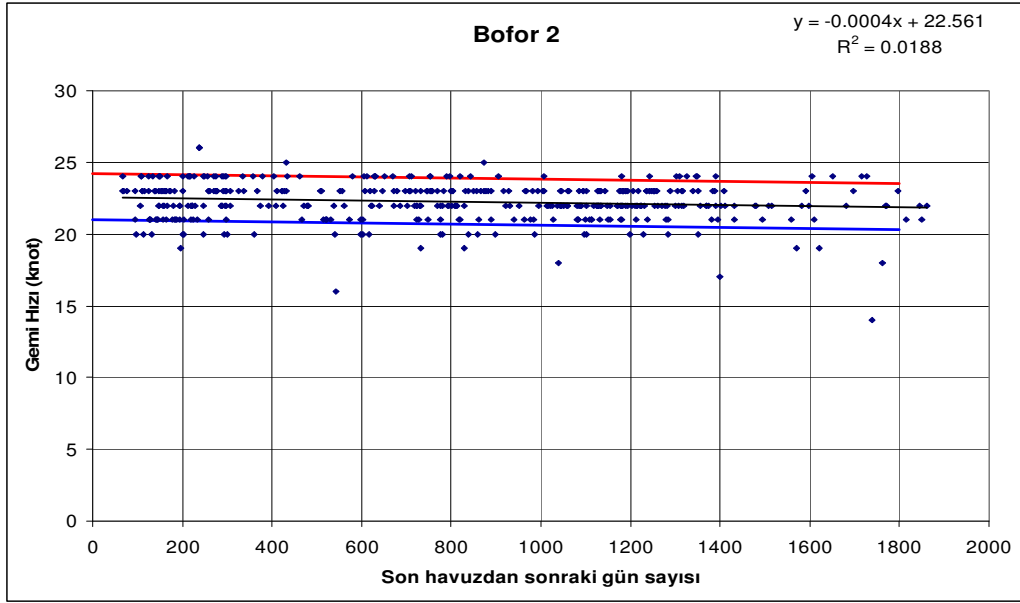
EK B: Değişik deniz şiddetlerinde konteyner gemisinin havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği



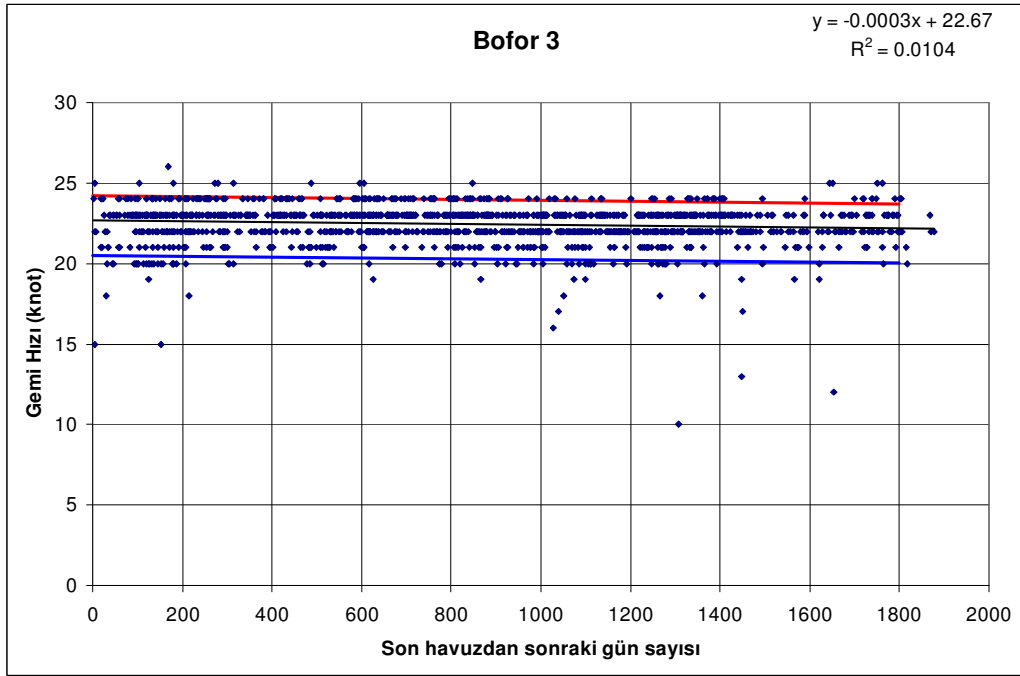
Şekil B.1: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 0



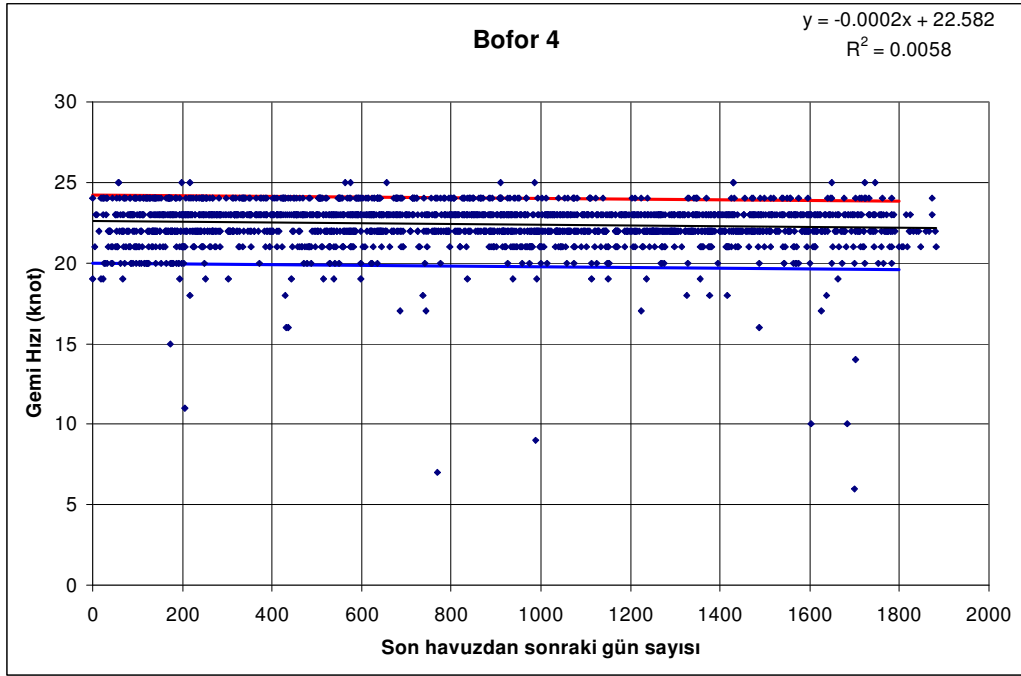
Şekil B.2: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 1



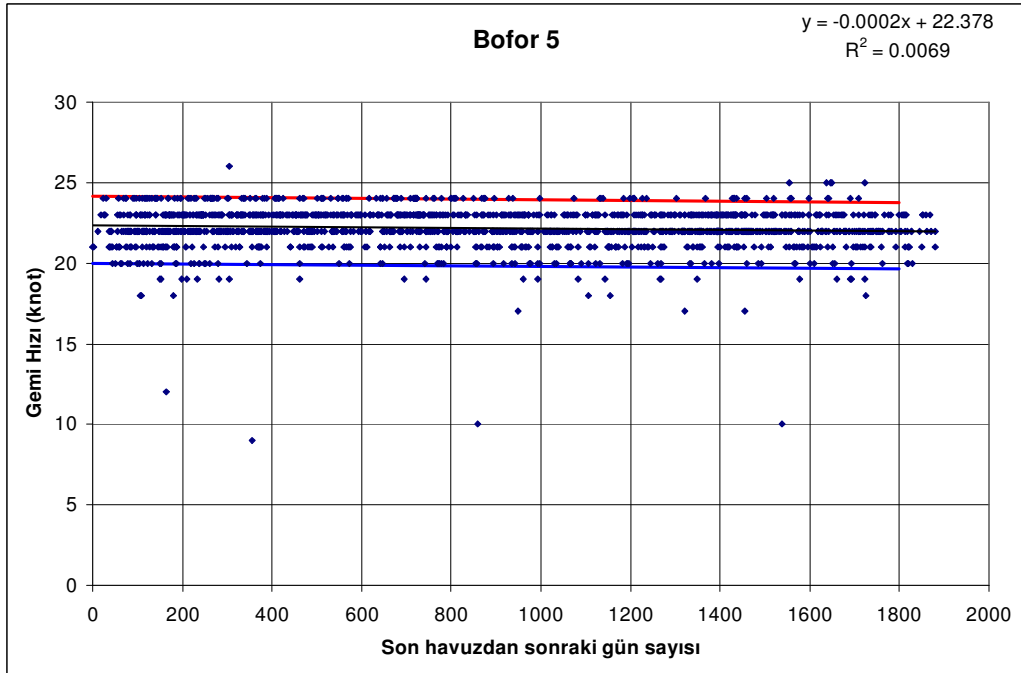
Şekil B.3: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 2



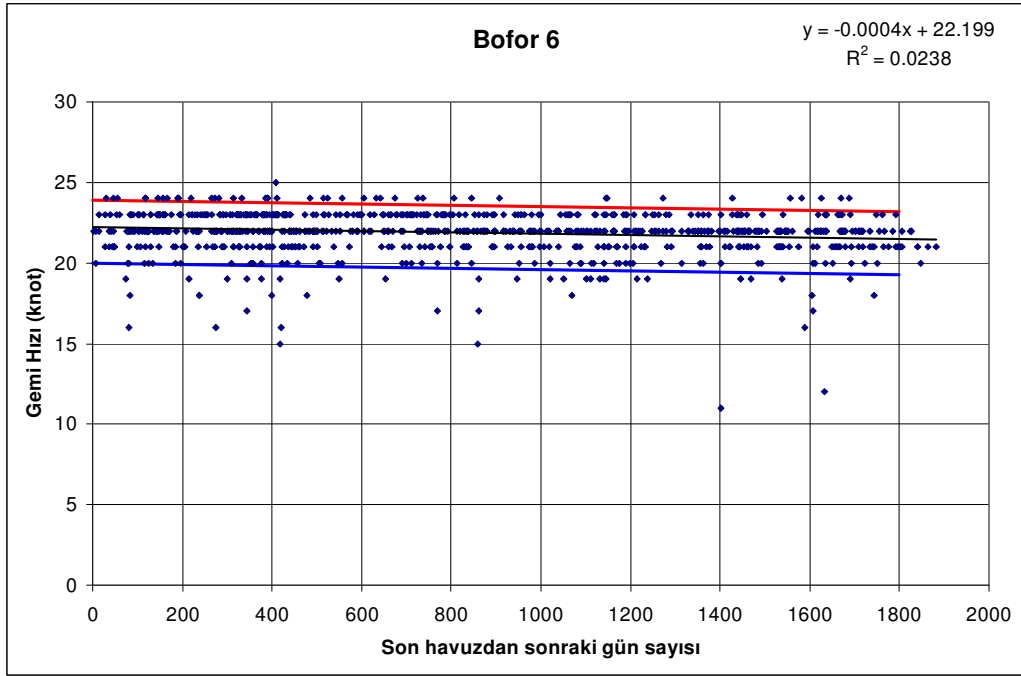
Şekil B.4: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 3



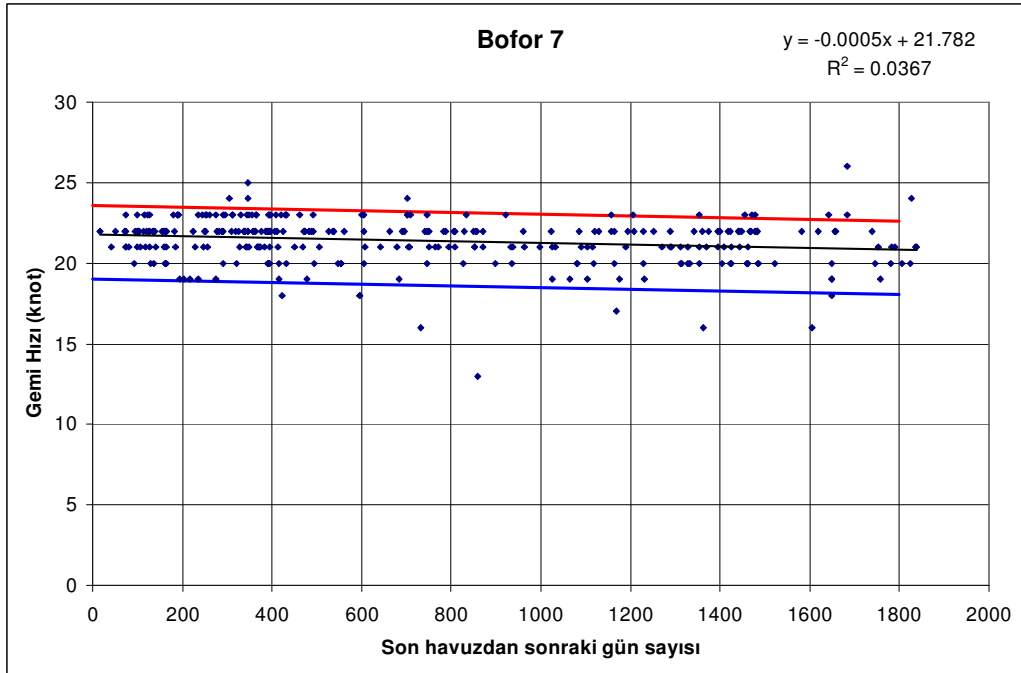
Şekil B.5: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 4



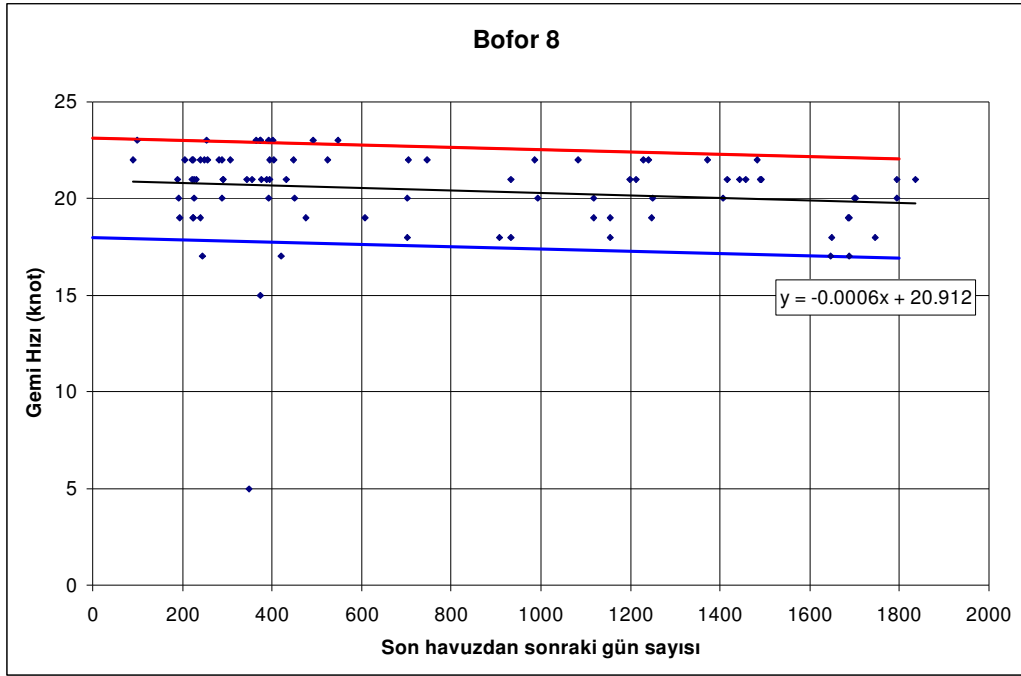
Şekil B.6: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 5



Şekil B.7: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 6



Şekil B.8: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 7



Şekil B.9: Konteyner gemisi için havuzlama zamanına bağlı olarak hız grafiği, Bofor 8