

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK HIZLI TEKNELERDE
DENİZCİLİK PERFORMANS ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Osman Ender KALENDER**

Anabilim Dalı : Gemi ve Deniz Teknolojileri Mühendisliği

Programı : Gemi ve Deniz Teknolojileri Mühendisliği

NİSAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK HIZLI TEKNELERDE
DENİZCİLİK PERFORMANS ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Osman Ender KALENDER
508071105**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Nisan 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Nisan 2011

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kadir SARIÖZ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Abdi KÜKNER (İTÜ)
Prof. Dr. Ahmet Dursun ALKAN (YTÜ)**

NİSAN 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenim hayatım boyunca bilgilerimi ve desteğini esirgemeyen, beni her zaman en iyi şekilde yönlendiren ve her soruma sabırla yanıt veren Sayın Hocam Prof. Dr. Kadir SARIÖZ'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum. Ayrıca üzerimde sonsuz emekleri bulunan diğer tüm İ.T.Ü Gemi İnşaat ve Deniz Bilimleri Fakültesi öğretim üyelerine, Yüksek Lisans öğrenimim boyunca beni sürekli destekleyen ve bu düzeye gelmemde üzerimde çok emekleri bulunan Sayın Müh. Selim SARIKAYA ve tüm BST Mühendislik çalışanlarına ve geçen yılların her anında benimle olan, manevi desteklerini her zaman hissettiğim tüm dostlarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca, bugünlere gelebilmem için maddi manevi hiçbir desteklerini esirgemeyen, aldığım her kararın arkasında durduklarından duyduğum güvenle ayaklarımın yere daha sağlam basmasının nedenleri, hayattaki en çok değer verdiğim insanlar annem, babam ve teyzem; Feray KALENDER, Naci KALENDER ve Yaşar Şöhret TEKİN'e, aynı zamanda aramızdan çok erken ayrılan manevi babam Sadi TEKİN'e teşekkürlerimi, sevgilerimi ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim. Siz olmasaydınız asla başaramazdım...

Saygılarımla,

Mart 2010

Osman Ender Kalender

Gemi İnşaat ve Deniz
Teknolojileri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. YÜKSEK SÜRATLI TEKNELER İÇİN DENİZCİLİK KABİLİYETİNİN ÖNEMİ.....	5
2.1 Dalgaların Tekne Üzerindeki Etkileri	6
2.1.1 Çalışabilirlik (Operability)	7
2.1.2 Yaşanabilirlik (Habitability)	7
2.1.3 Hız Koruma Kabiliyeti (Mobility)	8
2.1.4 Beka Kabiliyeti (Survivability).....	8
2.1.5 Yüksek Süratli Tekneler ve Bu Teknelere Dalgaların Etkisi.....	8
2.2 Yüksek Denizcilik Performansı	11
2.3 Gemi Hareketleri	12
3. DENİZCİLİK PERFORMANS KABİLİYETİNİN BELİRLENMESİ.....	17
3.1 Karışık Denizlerin Temsili	19
3.1.1 Pierson – Moskowitz – ITTC Tek Parametrelili Dalgalar Spektrumu	25
3.1.2 Bretshneider – ITTC İki Parametrelili Dalgalar Spektrumu	27
3.1.3 JONSWAP Dalgalar Spektrumu	28
3.2 Düzenli Dalgalardaki Gemi Hareketleri.....	30
3.3 Denizcilik Kriterleri	35
3.3.1 Tekne ve Donanım ile İlgili Denizcilik Kriterleri.....	36
3.3.2 Mürettebat ve / veya Yolcu ile ilgili Denizcilik Kriterleri.....	40
3.4 Denizcilik Performans Analizi ile İlgili Yazılımlar	40
4. GEMİ HAREKETLERİNİN İNSANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	43
4.1 Deniz Tutmasının Nedenleri	43
4.2 Düşey ve Yatay İvmelenmeler	44
4.3 Deniz Tutması ile İlgili Standartlar	47
4.3.1 ISO Standartları ISO 2631	47
4.3.2 İngiliz Standardı BS 6841	48
4.3.3 Amerikan Donanması Standardı MIL – STD – 1472	48
4.4 Deniz Tutması Tahmini.....	50
4.4.1 Deniz Tutması İndisi (Motion Sickness Incidence – MSI).....	50
4.4.2 İstifra İndisi (Vomiting Incidence – VI)	53
4.5 Kompleks Hareketler.....	58
4.6 Alışma	59
4.7 Semptomlar ve Deniz Tutması Şiddeti.....	60

4.7.1 Deniz Tutması Semptomlarının Şiddeti (Motion Sickness Semptomatology Severity – MSSS).....	60
4.7.2 Uykulu Olma Hali, Uyuşukluk ve Bitkinlik.....	61
4.7.3 Hastalık Derecelendirmesi (Illness Rating – IR).....	61
4.7.4 Semptom Şiddeti, Hastalık İndisi ve Performans.....	62
4.8 Bağıl Hareket Şiddeti (Subjective Motion Magnitude – SMM)	62
4.9 Deniz Tutmasını Belirleyen Diğer Bileşenler	64
4.10 Biyodinamik Problemler	65
4.10.1 Hareket Kaynaklı Rahatsızlıklar (Motion – Induced Interruptions – MII)	65
4.10.2 Hareket Kaynaklı Bitkinlik (Motion – Induced Fatigue – MIF).....	66
4.10.3 Tüm Vücut Titreşimi (Whole Body Vibration – WBV)	66
4.10.4 Tüm Vücut Titreşimi ile İlgili Standartlar.....	67
4.10.5 Sürüş Kalitesi ve Sürüş Konforu.....	68
5. ANA BOYUTLARIN DENİZCİLİĞE ETKİSİ	69
5.1 Gemi Ana Boyutlarının Denizciliğe Etkisi.....	70
5.2 Tekne Formunun Denizciliğe Etkisi.....	72
5.3 Gemi Hızının Denizciliğe Etkisi	75
5.3.1 Kritik Altı Bölge.....	75
5.3.2 Kritik Bölge.....	75
5.3.3 Kritik Üstü Bölge	76
5.4 Deniz Şartlarının Denizciliğe Etkisi.....	76
5.5 Denizciliği Etkileyen Diğer Faktörler	78
6. TİPİK BİR MOTORYATTA ANA BOYUTLARIN DENİZCİLİK PERFORMANSINA OLAN ETKİSİ.....	81
6.1 Analiz Hazırlığı	86
6.2 Modellerin Hazırlanması	90
6.3 Düşey İvmelenlerin Hesabı	91
6.4 Modellerin Deniz Tutması İndislerinin Karşılaştırılması.....	94
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	107

KISALTMALAR

A_{jk}	: Ek Su Kütlesi Matrisi
B (m)	: Tekne Genişliği
B_{jk}	: Sönüm Kuvveti Matrisi
B_{WL}	: Teknenin Su Hattı Genişliği
C_{jk}	: Hidrostatik Geri Getirme Kuvveti Matrisi
F_L	: Boylamasına Basınç Dağılım Faktörü
F_j (N)	: Uyarıcı Dalga Kuvveti
g (m/s ²)	: Yerçekimi İvmesi (m/s ²)
\bar{H} (m)	: Ortalama Dalga Yüksekliği
$H_{1/3}$ (m)	: Karakteristik Dalga Yüksekliği
$H_{1/10}$ (m)	: En Yüksek %10 Dalgaların Ortalaması
H_{RMS} (m)	: Karşılaşma Olasılığı En Yüksek Dalga Yüksekliği
L (m)	: Tekne Boyu
L_{WL} (m)	: Teknenin Su Hattı Uzunluğu
n	: Ortalaması Alınacak En Yüksek Dalga Yüzdesi
m	: Dalga Genliği Dağılımının Varyansı
M_{jk}	: Genelleştirilmiş Atalet Matrisi
P_{bxx} (kN/m ²)	: Herhangi bir Postadaki Dip Basıncı
S_ζ	: Dalga Spektrumu
T (m)	: Tekne Su Çekimi
U (knot)	: Rüzgar Hızı
\bar{x} (knot)	: Feç Uzaklığı
β_{bx} (°)	: Sintine Dönüm Açısı
ζ (m)	: Dalga Genliği
η_k (m)	: Hareketin Genliği
$\dot{\eta}_k$ (m/s)	: Hareketin Hızı
$\ddot{\eta}_k$ (m/s ²)	: k Modundaki Hareketin İvmesi
$\bar{\eta}_k$ (m)	: k Modundaki Hareketin Mutlak Genliği
σ	: RMS Dalga Genliği
σ^2	: Varyans
ε	: Faz Farkı
ω (Hz)	: Dalga Frekansı
ω_e (Hz)	: Karşılaşma Frekansı
Δ (ton)	: Deplasman

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kişilerin dayanabilecekleri düşey ivmelenme sınırları	9
Çizelge 2.2 : Yaşanabilirlik İvmelenme Sınırları	10
Çizelge 3.1 : n değerine bağlı olarak k katsayıları.....	21
Çizelge 3.2 : Karakteristik dalga yüksekliği ve rüzgar hızına bağlı olarak deniz şiddeti	23
Çizelge 3.3 : Hareket modu k değerleri	31
Çizelge 3.4 : Tipik bir suüstü savaş gemisi için operasyon talepleri.....	35
Çizelge 3.5 : Tipik baş kış vurma hareketi kriterleri	36
Çizelge 3.5 (devam) : Tipik baş kış vurma hareketi kriterleri.....	37
Çizelge 3.6 : Tipik Yalpa Hareketi Kriterleri	37
Çizelge 3.7 : Tipik dövünme sayısı kriterleri	38
Çizelge 3.8 : Tipik gemi ortasında dövünme gerilmesi kriterleri.....	39
Çizelge 3.9 : Tipik güverte su basması kriterleri.....	39
Çizelge 3.10 : Pervanenin sudan çıkması olasılığı için tipik kriterler	40
Çizelge 4.1 : Düşey ivmelenme şiddetinin yolcu ve mürettebat üzerindeki etkisi....	45
Çizelge 4.2 : Değişik gemi tipleri için önerilen düşey ivme kriterleri.....	45
Çizelge 4.3 : Değişik gemi tipleri için önerilen yatay ivme kriterleri	46
Çizelge 4.4 : $\overline{VI}(f)$ değerindeki A ve B değerleri.....	54
Çizelge 4.5 : Değişik gemi tipleri için SMM değerleri	63
Çizelge 6.1 : SC23 ve SC23'den üretilen 8 modelin ana boyutları	83
Çizelge 6.2 : Seçilen noktaların tekne üzerindeki yerleri	85
Çizelge 6.3 : Loa = 20,00 – 27,00 m. arası motoryatların güncel fiyat listesi.....	88
Çizelge 6.4 : 17 knot hız için gereken beygir gücü değerleri	90
Çizelge 6.5 : EKA SC23 Gerçek Düşey İvmelenme Değerleri	92
Çizelge 6.6 : SC23'ten üretilen modellerin ivmelenme değerleri	93
Çizelge 6.7 : BOY modellerinde maruz kalınan düşey ivmelenmeler	94
Çizelge 6.8 : EN modellerinde maruz kalınan düşey ivmelenmeler	96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Artan deniz şiddeti ile ortaya çıkan doğal ve istemli hız kayıpları	10
Şekil 2.2 : 6 serbestlik dereceli gemi hareketi	12
Şekil 3.1 : Düzenli dalga bileşenlerinden karışık deniz oluşumu	19
Şekil 3.2 : Karışık denizi oluşturan düzenli dalga bileşenleri	19
Şekil 3.3 : Dalga yüksekliği için temel istatistiki tanımlar	22
Şekil 3.4 : Akdeniz için yıllık dalga olasılık dağılımı	24
Şekil 3.5 : Değişik deniz durumları için Pierson – Moskowitz dalga spektrumu.....	27
Şekil 3.6 : Karadeniz’de 4 deniz durumunda dalgaların enerji dağılımları.....	30
Şekil 3.7 : Dalga yönü konvansiyonu	32
Şekil 4.1 : Sürekli deniz yolculuğu yapmayan kişiler için ortalama dayanma sınırları	49
Şekil 4.2 : $\Phi(z) - z$ grafiği	51
Şekil 4.3 : RMS düşey ivmelenme ve VI (%) grafiği.....	56
Şekil 4.4 : VI metodu frekans ağırlıklı eğrisi ve normalleştirilmiş VI	56
Şekil 4.5 : Lineer ve gözlemlere göre lineer olmayan bir eğri geçirilmiş VI (%)	57
Şekil 4.6 : VI – MSI karşılaştırılma grafiği	57
Şekil 4.7 : IR ve gözlemlenen VI grafiği	62
Şekil 4.8 : Yüksek hızlı su üstü muharabe gemisi, ISO standardı ve bir hava taşıtında meydana gelen ortak WBV problemleri bölgeleri şeması	67
Şekil 5.1 : Sıfır yalpa sönümü eğrisi.....	73
Şekil 5.2 : Gemi hızının fribord üzerindeki etkisi	74
Şekil 5.3 : Dalga yönünün sevk gücünün artmasındaki etkisi	77
Şekil 6.1 : SC23 Endazesi.....	83
Şekil 6.2 : Gemi üzerinde hesaplamaların yapılacağı noktalar.....	85
Şekil 6.3 : EN 1, 2, 3, 4 MODEL’lerinin ve SC23’ün Makine Gücü – Hız Grafiği .	89
Şekil 6.4 : Boy değişimlerinin MSI üzerine olan etkisi.....	95
Şekil 6.5 : En değişimlerinin MSI üzerine etkisi	97

YÜKSEK HIZLI TEKNELERDE DENİZCİLİK PERFORMANS ANALİZİ

ÖZET

Son yıllarda Türkiye gemi inşaat sanayinde söz sahibi ülkelerden birisi olmuştur. Özellikle Türkiye’de üretilen motoryatlar dünya çapında bir kaliteye ve üne ulaşmışlardır. Yüksek hızlı tekneler statüsündeki motoryatların üretiminin tamamen Türkiye’de yapılıyor olmasına karşın ülkemizde yalnızca gemi inşaatın üretim ayağı gelişmiş olup, tekne formunun iyileştirilmesi ile ilgili ARGE çalışmalarına gereken para ve mesai harcanmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında düşey ivmelenme değerlerinin teknenin ana boyutlarının değişiminden nasıl etkilendiği incelenecektir. Zira düşey ivmelenme değeri, bir motoryatın, ticari başarısındaki önemli kriterlerden birisi olan konfor kriterini en çok etkileyen bileşendir. Analizi yapılacak olan motoryat Türkiye’de imal edilebilecek özelliklere sahiptir. Teknenin boyu 22.25 m. eni ise 5.811 m.dir. Bu inceleme kapsamında boyu 21.75 m.den 22.75 m.ye kadar, 0.25 m. aralıklarla değişen 4 adet model üretilmiştir. Aynı zamanda eni 5.411 m. ile 6.211 m. arasında değişen 4 adet model daha üretilmiş ve tüm bu modellerin düşey ivmelenme değerleri Maxsurf programının Seakeeping modülü ile hesaplanmış ve tüm modellerden elde ettiğimiz sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

SEAKEEPING PERFORMANCE ANALYSIS FOR HIGH SPEED CRAFTS

SUMMARY

In recent years, Turkey has become one of the major shipbuilder countries in the world. Particularly motor yachts that have been designed and built in Turkey have reached world-wide quality and reputation. However, the progress achieved in the design and production procedures has not been matched by the research on hull form development. In general very limited funds are allocated for R&D activities about hull form optimization.

In the scope of this thesis, the variations of vertical acceleration values in waves by the changes in vessel's dimensions are analysed. The vertical acceleration value is the most influential component on the comfort in waves and therefore significantly affects the commercial success of a motor yacht. For the analysis a typical motor yacht designed and built in Turkey is selected as the parent form. The vessel's length is 22,25 m and the breadth 5,811 m. By using this form as the parent form four different variant forms were generated. The lengths of these variant forms vary from 21,75 m to 22,75 m, by 0,25 m increments. Four more variant forms were generated by changing the breadth between 5,411 m and 6,211. The vertical acceleration values of all these forms were calculated by the Seakeeper module of Maxsurf software and the results were compared with each other.

1. GİRİŞ

Uygarlık tarihinin en önemli kilometre taşlarından bir tanesi insanın su üzerinde durmasına olanak sağlayan araçlar yapmasıdır. Çeşitli kazılar göstermiştir ki, su üzerinde durabilen taşıtların tarihi bundan 8 ile 10 bin yıl önceye, Neolitik Çağ'a kadar gitmektedir. İlk yapılan araçlar; bir ağaç kütüğünün ortasının oyularak oluşturulan ilkel kanolar ya da ince dalların birbirlerine tutturulması ile oluşturulmuş basit sallardır. Eski Babil, Asur, Mısır, Çin ve Okyanusya kaynaklarından edindiğimiz bilgilere göre günümüzdeki gemilere benzer gemilerin yapımlarına MÖ 4000'li yıllarda başlanmıştır. Yaşamaya elverişli iklimi nedeni ile Akdeniz kıyıları insanların en çok tercih ettiği bölgeler olmuştur. Bu bölgede artan nüfus ile de bölgede ticaret gelişmiştir. Bölgede ticaret çok hızlı bir şekilde gelişmiş ve bu nedenle gemilere ihtiyaç duyulmuştur. MÖ 4. milenyumda Eski Mısırda çeşitli gemi kalıntılarına rastlanmıştır. Bu gemiler genelde yelkenli kargo gemileridir. Bu bölgede, ortası oyulup kano olarak kullanılabilir büyük ağaç kütükleri yoktur. İlkelerine nazaran biraz daha gelişmiş olan sallarda da ancak balıkçılık, avcılık ve kısa mesafe seyirler için uygundur. Bu nedenle de Eski Mısırlılar, MÖ 3000'li yıllarda sallardan daha dayanıklı ve uzun seyirlere olanak sağlayabilecek ahşap gemiler yapmaya başlamışlardır. Bu zamandan sonra gemiler birçok değişikliklere uğramış ve insanların ihtiyaçlarına karşılık verebilecek şekilde bir değişim sürecine girmişlerdir. 14. yy sonlarında ise gemilere topların yerleştirilmesi ile deniz savaşları ve gemiler bir anda büyük bir değişimler göstermişlerdir.

Çeşitli değişikliklerle 19. yy.a kadar gelen gemilerin bu tarihten sonra sevk sistemleri ve üretim malzemeleri değişmiş, yelken ve küreğin yerini, buhar makineleri ve uskur pervane almıştır. Gemilerdeki denizcilik problemleri ilk kez bu değişimin sonunda ortaya çıkmıştır. Denizcilik en genel anlamı ile suyun içindeki teknenin dalgalar ile olan etkileşiminin incelenmesidir. Yelkenli gemiler dalgalardan çok fazla etkilenmemektedir. Kürekle sevk edilen gemiler ise gemiyi dalgalardan kötü yönde etkilenebilecek bir hıza çıkaramamaktadırlar. Bu nedenle, makine ve uskur ile belirli bir hızın üstüne çıkan ve baştan gelen dalgalarla etkilenen gemiler önemli bir çalışma

konusu haline gelmişlerdir. Çünkü baştan gelen dalgalar teknenin birçok özelliğini kötü yönde etkilemektedir. Gemiler bu dalgalar nedeniyle hız kayıpları, güverte üstü su basması, çeşitli sistemlerin çalışmaması ve gemi çalışanları ya da yolcuları deniz tutması gibi birçok istenmeyen durumla karşılaşmaktadırlar.

Bu çalışmanın üzerinde durduğu konu ise düşey ivmelenmelerdir. Çünkü düşey ivmelenmeler bir motoryatın konforunun en önemli bileşenlerinden bir tanesidir. Motoryatlarda ise konfor, teknenin ticari başarısının en önemli kriterlerindedir. Bu amaçla 23 metre boyunda tipik bir motoryat ele alınmış ve ana boyutlardaki değişimlerinin seçilen konumlardaki düşey ivmelere olan etkileri incelenmiştir. Bu incelemenin sonuçlarından yararlanılarak dizaynere ana boyutları seçmede yardımcı olacak önerilerde bulunmaktadır.

Çalışma toplam 5 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde denizcilik kavramının ne olduğu anlatılmaktadır. Bu kapsamda dalgaların tekne üzerindeki etkileri ve teknenin dalgalara verdiği tepkiler örnekleri ile birlikte incelenmektedir.

Üçüncü bölümde denizcilik performans kabiliyetinin belirlenebilmesi için geliştirilen yöntemler sunulmaktadır. Öncelikli olarak rastgele dalgalardan oluşan bir deniz yüzeyinin lineer süperpozisyon prensibi kullanılarak matematiksel modellenmesi incelenmektedir. Aynı bölümde düzenli dalgalar içinde hareket eden bir geminin altı serbestlik dereceli hareketlerinin dilim teorisi yöntemi ile nasıl hesaplanacağı ve bu hareketleri ve dalga spektrum formülasyonlarını kullanarak karışık bir denizdeki hareketlerin nasıl hesaplanacağı konularına değinilmektedir.

Dördüncü bölümde gemi hareketlerinin insanlar üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu kapsamda deniz tutmasının nedenleri ve dalgaların, insanlar üzerindeki biyodinamik etkileri sunulmaktadır. Alternatif dizaynların denizcilik performansını karşılaştırmak üzere çeşitli deniz durumlarında kişilerin maruz kaldıkları hareketler ve bu hareketlerin frekanslarına göre hazırlanmış skalalar ve bu skalaların bulunduğu standartlar incelenmektedir.

Beşinci bölümde teknelerdeki ana boyutların denizcilik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 23 metrelik bir tipik motoryat formu ele alınmış ve bu formun ana boyutları sistematik olarak değiştirilerek değişik konumlarda düşey ivmelerin değişimi incelenmiştir.

Son bölümde ise ana boyutlar ile düşey ivmeler arasındaki ilişkileri yansıtan bir bağıntı sunulmaktadır.

2. YÜKSEK SÜRATLİ TEKNELER İÇİN DENİZCİLİK KABİLİYETİNİN ÖNEMİ

Denizcilik kavramı en genel tanımı ile sudaki teknelerin dalgalar ile olan ilişkisidir. Tekneler stabilitelerini, mukavemetlerini, manevra yeteneklerini ve dayanıklılıklarını tüm dalga etkilerine karşı korumak zorundadırlar. Dalgalar her denizde aynı olmadığı için, tekneler dizayn edilirken hangi denizlerde çalışacağı ve görevleri göz önünde bulundurulmalıdır. Gemiler sakin su durumu için dizayn edilmiş olsalar da, doğada sakin su yüzeyi ancak kıyı bölgelerde ya da limanlarda görülebilir. Açık denizlerde sakin suyun olduğu bölgeler yok denecek kadar azdır. Dalgalı denizler ise karmaşık bir yapıya sahiptir. Dalgalı denizlerde gemi hareketlerinin modellenmesinin zor olduğu sanılsa da, sayısal ve deneysel yöntemler ile çeşitli paket programlar vasıtası ile bu hareketleri belirleyebilmek mümkündür. Bu nedenle dalgaların tekne üzerindeki etkileri tekne henüz dizayn aşamasındayken ele alınmalıdır. Ancak genelde bu çok üzerinde durulmayan bir durumdur. Dalgalı deniz halinin özellikle ön dizayn aşamalarında ihmal edilmesinin temel nedenleri ise şunlardır:

1. Dalgalı deniz karmaşık bir yapıya sahiptir ve benzer şekilde böyle bir denizdeki geminin hareketleri de karmaşıktır. Böyle bir denizi ve geminin hareketlerini modellemek kolay değildir. Bu bir gerçek olmakla birlikte günümüzde modern sayısal ve deneysel yöntemler karmaşık denizleri ve bu denizlerdeki gemi hareketlerini en azından ön dizayn aşamasında rahatça kullanılabilir düzeyde belirleyebilmektedir. Yüksek süratli tekneler için gemi hareketlerinin modellenmesi önemlidir. Yüksek süratlerde sürtünme alanını azaltan ve ağırlığının %30'unu kaybeden tekneler dalgalardan daha çok etkilenebilmektedir.

2. Denizler çok kere sakin bir görünümde ve fırtınalı günler azdır. Bu kanı denize karadan bakan insanlar arasında oldukça yaygındır. Ancak gerçekte açık denizlerde sakin su en az rastlanan durumlardan biridir ve orta şiddette denizler sanıldığından çok daha sıktır. Gelişen oşinografik teknikler sayesinde bugün ana ticaret hatlarındaki denizlerin karakteristik yapıları, bu denizlerde karşılaşılan dalga

yükseklik ve periyotları istatistiki olarak belirlenmiştir. Bu istatistikler ön dizayn aşamasında kullanılabilir şekilde tablo ve atlaslar halinde sunulmaktadır.

3. Gemi hareketlerinde yapılacak iyileştirmeleri işletim maliyetlerinde bir azalma veya karlılıkta bir artım olarak ifade etmenin mümkün olmayacağı kanısı hakimdir. Ancak bu kanı da oldukça yanlıştır. Örneğin gemi ortasında dalıp çıkma hareketinde yapılacak %10 iyileştirme pek önemli olmayabilir ancak bir yolcu gemisinde bu şekilde ivmede sağlanacak bir azalma deniz tutmasına uğrayacak yolcu sayısını önemli ölçüde azaltabilir. Diğer taraftan asıl önemli denizcilik karakteristikleri olan dövünme, güverte ıslanması gibi olaylar istatistiki bir yapıya sahip olduğundan en küçük iyileştirmeler bile oransız bir şekilde geminin işlevsel karakteristiklerini iyileştirebilir.

4. Gemi hareketlerine bağlı diğer bir konu gemiye gelen dalga yüklerinin hesabıdır. Bu konuda klasik yöntem gemiyi trokoid formunda statik bir dalganın üzerine yerleştirmek ve bu durumda kesme kuvveti ve eğilme momentlerini hesaplamaktır. Oysa modern spektrum teknikleri kullanılarak çok daha gerçekçi bir durum için bu tepkiler hesaplanabilir. Bu şekilde yapılan hesaplama genelde daha hafif ve ekonomik bir dizayn ile sonuçlanacaktır.

5. Geminin denizcilik özellikleri içinde maliyet açısından en kolay ele alınabilecek konular istemli ve doğal hız kayıplarıdır. Doğal hız kayıpları dalgalı denizlerdeki direnç artışı ve sevk karakteristiklerindeki bozulmalar nedeniyle ortaya çıkar. İstemli hız kayıpları ise kaptanın dövünme, güverte ıslanması gibi nedenlerle yolcu, yük ve mürettebatın güvenliğini sağlamak üzere gönüllü olarak hız kesmesidir. Her iki halde de geminin ekonomik karakteristikleri etkilenecektir. Yüksek süratli gemilerde hızın azalması teknenin karakteristiğini değiştirecektir.

2.1 Dalgaların Tekne Üzerindeki Etkileri

Bir teknenin dalgalarla olan etkileşimi teknenin denizciliğine bağlıdır. Denizci bir tekne dalgalardan denizci olmayan bir tekneye göre daha az etkilenecektir. Denizcilik özellikleri ise teknenin boyutlarına, ağırlık dağılımına, tekne form karakteristiklerine ve takıntı tiplerine göre değişim göstermektedirler. Dalgaların bir tekne üzerindeki etkileri ise 4 ana grupta toplanabilir;

1. Çalışabilirlik (Operability)
2. Yaşanabilirlik (Habitability)
3. Hız Koruma Kabiliyeti (Mobility)
4. Beka Kabiliyeti (Survivability)

2.1.1 Çalışabilirlik (Operability)

Çalışabilirlik dalgaların gemi sistemlerinin işletilmesini engelleyen etkilerdir. Gemi burnunun bağıl hızı ve lokal dalga alanı çok arttığı zaman, güverteler ve yaşam mahallerinin duvarları ıslanabilir. Ayrıca rüzgar da su serpintilerini geminin üzerine taşır. Tüm bu koşullar fribordun istenmeyen bir biçimde düşmesine neden olur. Burada çalışabilirlik limitini belirleyen konular; güvertedeki ve teknenin ıslanan yüzeylerindeki ekipmanların tuzlu suya ne kadar dayanıklı olduğu ya da güvertede çalışması gereken mürettebatın çalışabileceği en üst limit şartıdır. Bir firkateynde normalin üzerindeki hızda olan burun hareketi ıslanmaya ve dövünmeye neden olabileceği için, firkateyn'in tüm işletimini kısıtlayabilir Büyük masraflar yapılan balıkçı gemilerinin dalgalar nedeni ile limandan çıkamaması direkt olarak geminin çalışabilirliği ile ilgilidir.

2.1.2 Yaşanabilirlik (Habitability)

Yaşanabilirlik dalgaların mürettebat ve yolcular üzerindeki negatif etkileridir. Gemilerde aşırı hareketler istenmeyen durumlardandır. Bu aşırı hareketler gemi personelinin çalışma verimini düşürebilir ya da gemi yolcularının konforunu bozabilir. Çeşitli hareketler arasındaki etkileşim de ayrıca önemlidir. Geminin yalpa hareketleri ve yatay ve düşey ivmeler deniz tutmasının temel nedeni sayılabilir. Deniz tutmasına neden olan tüm gemi hareketleri, bu hareketlere maruz kalma süresi biriminden ISO 2631 standardında gösterilmektedir. Yolcu gemilerinde bu bölge yaşam mahallerinin yoğun olduğu bölgedir. Deniz tutması ya da mürettebatın iş yapamayacak hale gelmesi yaşanabilirlik konusunun altında incelenen durumlardır.

2.1.3 Hız Koruma Kabiliyeti (Mobility)

Hız Koruma Kabiliyeti dalgaların geminin hızı üzerindeki negatif etkisidir. Bazı deniz şartlarında yolcu ve mürettebatın güvenliği için geminin hızının azalması gerekebilir. Çünkü gemilerde aşırı hareketler istenmeyen durumlardandır. Bu aşırı hareketler gemi personelinin çalışma verimini düşürebilir ya da gemi yolcularının konforunu bozabilir. Dalgalarda gemiler büyük dirençlere maruz kalırlar ve itici sistemlerin çalışma karakteristiği de uygun çalışma ortamında olmadıkları için homojen olmayabilir. Hatta kuvvetli esen bir rüzgar bile tekne direncinde çok fazla etkili olabilir. Bu da verilen itme gücünün aynı kalmasına rağmen gemi hızında bir azalmaya neden olabilir.

2.1.4 Beka Kabiliyeti (Survivability)

Beka Kabiliyeti tam olarak dalgaların gemiye hasar vermesidir. Yukarıda da belirtildiği üzere koşullarda su, gemi gövdesine büyük kuvvetler gönderir. Dövünme, geminin dikey ivmelenmesindeki ani değişim ve bu değişim sonrasında gemi kirişinin doğal frekansıyla titreşmesi ile karakterize edilir. Dövünmeye neden olan koşullar büyük ölçüde gemi ve su arasındaki bağıl hıza bağlıdır. Baştan itibaren %10 - %25 arasındaki alan dövünmeye ve bu sayede de en çok hasara maruz kalan gemi bölgesidir.

2.1.5 Yüksek Süratli Tekneler ve Bu Teknelere Dalgaların Etkisi

Yüksek Süratli Tekneler IMO HSC CODE’da “Eğer bir teknenin maksimum hızı, aşağıdaki bağıntılardan fazla ise, bu tekne yüksek süratli bir teknedir” diye tanımlanmıştır. Δ m³ cinsinden teknenin su altı hacmi olmak koşulu ile;

$$3.7 \Delta^{0.1667} \text{ m/s} \quad (2.1)$$

$$7.139 \Delta^{0.1667} \text{ knot} \quad (2.2)$$

Dalgaların yüksek süratli teknelere olan etkileri ile daha düşük süratli teknelere olan etkileri farklıdır. Yukarıda genel olarak dalgaların tekneler üzerindeki etkileri anlatılmıştır. Aşağıda ise bu konularda çeşitli örnekler verilecektir.

Çalışabilirlik açısından bakıldığında bir ambulans teknesinde hastaya olabildiğince çabuk gidilebilmesi ya da hastanın en yakın sağlık kuruluşuna olabildiğince hızlı götürülebilmesi önemlidir. Tekne yüksek hızlarda seyrederken ambulans içindeki malzemelerin dökülmemesi ve yine seyir anında içerideki ilk yardım ekibinin rahat çalışabilmesi ambulans teknelerinde hayati bir konudur. Diğer bir örnek olarak 6 şiddetinden büyük denizlerde bazı Sahil Güvenlik teknelerinin görevlerini tam olarak yerine getiremeyecekleri için göreve çıkmamalarıdır. Çizelge 2.1’de mürettebat ve yolcuların düşey ivmelenmelere bağlı olarak dayanabilecekleri sınırlar gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Kişilerin dayanabilecekleri düşey ivmelenme sınırları [1]

Düşey ivmelenme için Sınır Değeri (RMS) (g = 9.81 m/s²)	Açıklama
0.02 g	Büyük yolcu gemilerinde yolcuların dayanabileceği sınır
0.05 g	Yüksek Hızlı yolcu ferilerindeki yolcuların dayanabilme sınırı
0.10 g	Gemi çalışanlarının normal yaşayabilme sınırı
0.15 g	Gemi çalışanlarının ağır işlerini yapabilecekleri sınır
0.20 g	Gemi çalışanlarının ancak hafif işlerini yapabilecekleri sınır
0.275 g	Gemi çalışanlarının yalnızca basit işlerini yapabilecekleri sınır

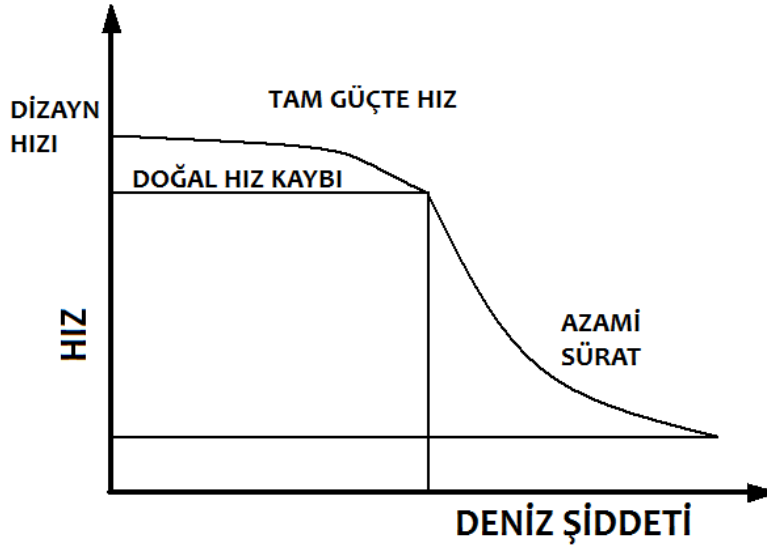
Yaşanabilirlik ise direkt olarak tekne yolcusu ya da mürettebatı ile ilgilidir. Örnek olarak Antalya Büyükşehir Belediyesi’nin yaptırdığı ve Antalya – Kemer arasında yolcu taşımaya planlanan yüksek süratli tekne klasmanındaki katamaranlar, öğleden sonra Antalya Körfezinde Kemer tarafına doğru çıkan rüzgardan dolayı oluşan deniz şartlarında yolcu taşımaya müsait olmadığı için şu anda bu görev ile çalıştırılmamaktadırlar. Çünkü özellikle tekneye ilk kez binecek yolcular o deniz şartlarında gerçekleştirecekleri yolculuktan korkabileceklerinin altı çizilmiştir. Çizelge 2.2’de yaşanabilirlik için ivmelenme sınırları verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Yaşanabilirlik İvmelenme Sınırları [1]

Yaşanabilirlik İvmelenmeleri (RMS) (m/s ²)	Açıklama
< 0.315	Konforsuz değil
0.315 – 0.63	Biraz konforsuz
0.5 – 1.0	Makul bir şekilde konforsuz
0.8 – 1.6	Konforsuz
1.25 – 2.5	Çok Konforsuz
> 2	Aşırı Konforsuz

Hız koruma kabiliyeti geminin belli bir hızda hareket etmesi ile ilgilidir. Yüksek süratli tekneler yarı kayıcı ve kayıcı tip teknelerdir. Bu gövde tiplerinde gemiler düşük hızlarda verimli olamamaktadırlar. Gövde yapıları nedeni ile her zaman çalışmalarını için tasarlandıkları Froude Sayılarına gitmek istemektedirler.

Savaş gemilerinde ise birçok silah sisteminin gemi hareketlerinden bağımsız kendi bir görüş menzilleri ve kendilerine ait stabilite sistemleri vardır. Çeşitli hareketler arasındaki etkileşim de ayrıca önemlidir. Deniz şiddeti ile hız arasındaki etkileşim aşağıdaki şekilden görülebilmektedir.



Şekil 2.1 : Artan deniz şiddeti ile ortaya çıkan doğal ve istemli hız kayıpları

Şekil 2.1 Hızın Deniz Şiddeti ile değişimini gösteren bir grafikdir. Gemiler dizayn edilirken tüm dizaynın çevresinde şekillendiği bir dizayn hızı değeri vardır. Bu dizayn hızı genel olarak teknenin görevine göre seçilmektedir. Ayrıca teknenin gövde özelliklerine bağlı olarak bir azami sürat değeri de mevcuttur. Bu azami sürat değeri teknenin pratikte çıkabileceği en yüksek hız değeridir. Zira teknenin azami süratının üzerine çıkması teoride mümkün olsa da, pratikte ekonomik ve güvenlik kısıtları göz önüne alındığında bu hızlara çıkmasına gerek yoktur. Ayrıca grafikte görüldüğü üzere deniz şiddeti arttıkça teknelerdeki hız kayıplarının miktarı da artmaktadır. Teknelerin tam güç ile sakin denizlerde gidebileceği azami sürati şiddetli denizlerde tam güç ile gidebilecekleri azami süratten daha azdır.

Beka Kabiliyeti, teknenin dalgalar arasında yoluna devam edebilmesi için gereken bir mukavemet özelliğidir. Tekne yüksek hızlarda seyrederken başın suya vurması teknenin tüm yapısal elemanlarında bir titreşime ve aşınmaya neden olmaktadır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken konu dövünmeden kaynaklanan basınçların doğru hesaplanabilmesidir.

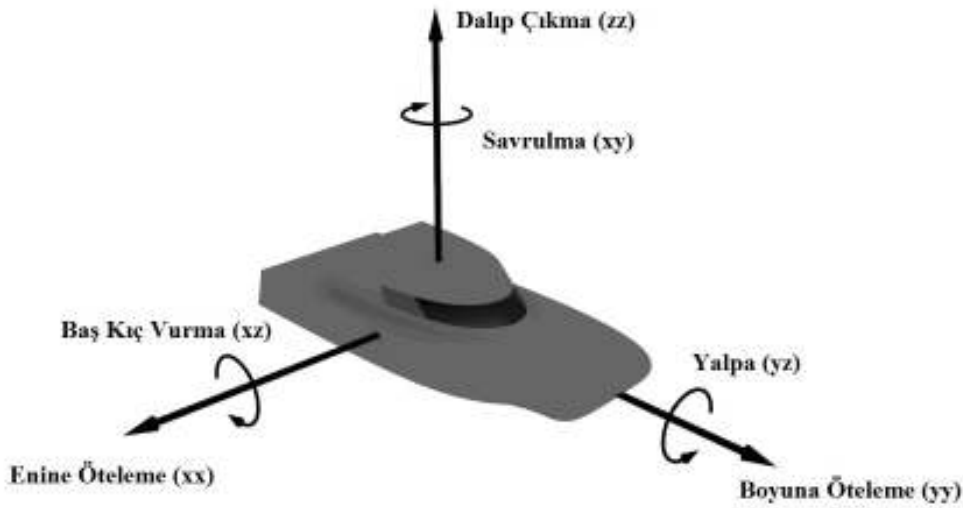
2.2 Yüksek Denizcilik Performansı

Konfor kavramını bireysel ya da toplumsal olarak ayrı ayrı inceleyebiliriz. Bu kavram bireysel anlamda, kişinin istediği şeylere sahip olma imkanı, toplumsal anlamda ise istatistiksel olarak birçok insanın istediği şeylerin kesişim kümesi olarak düşünülebilir. Geminin iç donatımındaki “kişiselleştirme” ile teknedeki bireysel konforu incelersek, tüm tekne sahiplerinin ya da yolcuların “sarsıntısız ve güvenli yolculuk yapma” isteklerini konforun toplumsal yapısı olarak düşünebiliriz. Tekneyi menkul bir değer olarak nitelendirirsek, konforsuz bir gemiyi herhangi bir müşteri almak istemeyecektir. Diğer taraftan konforlu bir gemi, lüks tüketim ürünü özelliğini perçinleyerek hem fiyatını hem de müşteri memnuniyetini arttıracaktır. Bu nedenle geminin denizciliği ticari anlamda geminin fiyatını belirleyen unsurlardan olduğu gibi müşteri memnuniyeti, teknenin kullanım amaçlarına göre değişse de, genellikle teknenin denizci olması ile alakalıdır diyebiliriz. Bir diğer denizcilik kavramı ise tekne performansı konusunda ortaya çıkmaktadır. Örneğin, dalgalı bir denizde teknenin hızını belli bir hızdan belli bir hıza çıkartmak için gereken beygir gücü, sakin suda tekneyi aynı hız değerine ulaştıran beygir gücüne ne kadar yakınsa, tekne o kadar denizcidir. Aynı zamanda böyle bir teknenin yakıt sarfiyatı da denizci

olmayan teknelere göre daha az olacağından, ekonomikliklerinden dolayı denizci tekneler yine bir tercih sebebi olarak karşımıza çıkarlar. Aşırı deniz koşullarında seyreden bir yolcu gemisinin taahhüt edilen yolculuk süresinde varış limanına ulaşması da geminin denizcilik kalitesinin göstergesidir. Aslen teknenin su altındaki hacmi ne kadar çok olursa teknenin o kadar denizci olacağı bir gerçektir [2]. Ancak teknenin kullanım amacı ve teknedeki beklentiler gibi dizayn kriterleri belirlendiğinde teknenin su altında kalan hacmi olan deplasman değerinin her zaman için büyük olması çok uygun olmayabilmektedir.

2.3 Gemi Hareketleri

Yüzen bir cismin 6 serbestlik derecesi vardır. Hareketler ağırlık merkezinin hareketi ve ortogonal eksenlerdeki dönmeleri olarak ifade edilir.



Şekil 2.2 : 6 serbestlik dereceli gemi hareketi

Geminin altı serbestlik dereceli hareketleri aşağıdaki gibidir;

1. Boyuna öteleme (xx) (surge)
2. Yanal öteleme (yy) (sway)
3. Dalıp çıkma (zz) (heave)
4. Yalpa (yz) (roll)
5. Baş kıç vurma (xz) (pitch)
6. Savrulma (xy) (yaw)

Bu hareketlerden dalıp çıkma, baş kış vurma ve yalpa hidrostatik geri getirme kuvvetine sahip oldukları için rezonans salınım periyodu mevcuttur ve bu yüzden bu hareketler diğerlerine göre daha önemlidir. Dalıp çıkma hareketi konvansiyonel gemi tipleri için genellikle sorun yaratmamaktadır ancak yüzey etkili gemiler gibi hava yastığına sahip gemi tiplerinde tekne ve dalgalar arasındaki karşılaşma frekansının yüksekliğine bağlı olarak dalıp çıkma hareketi rezonansa girmekte ve sorun oluşturmaktadır. Diğer taraftan sondaj yapan gemilerde ve platformlarda dalıp çıkma hareketi sondaj işlemini güçleştirmekte veya olanaksız hale getirebilmektedir.

Baş kış vurma hareketi konvansiyonel gemiler için dalıp çıkma hareketine göre çok daha fazla rahatsızlık ve tehlike unsurudur. Özellikle baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarda baş kış vurma genliğinin artması gemideki yüke, ekipmana veya mürettebat ve yolcuya zarar verebilecektir. Bu nedenle genellikle gemi kaptanı bu etkileri azaltmak için hız kesmek veya rota değiştirmek zorunda kalacaktır.

Yalpa hareketi konvansiyonel gemi tipleri için en çok sorun yaratan hareketlerin başında gelir. Gemi üzerindeki ekipman ve tesisata zarar verebilen yalpa hareketi özellikle yolcu ve mürettebat üzerinde çok etkilidir. Düşey ve yatay ivmelenme ile birlikte deniz tutmasının temel nedenlerinden biri olan yalpa hareketi, yolcu konforunu olumsuz etkilerken savaş gemileri ve balıkçı gemileri gibi mürettebatını etkin bir şekilde çalıştırmak zorunda olan gemilerde ciddi sorunlar oluşturur. Modern savaş gemilerinde pek çok silah ve sensör sistemleri belli yalpa açısı sınırları dahilinde etkin olarak çalışabilmektedir. Bu gemilerde yalpa hareketini azaltıcı dizayn önlemleri alınması zorunludur. Diğer taraftan modern yolcu gemilerinde yolcu konforu birinci dizayn önceliği olduğundan bu gemilerde yalpayı azaltmak üzere aktif veya pasif yalpa söndürücü kullanımı gereklidir.

Yalpa aynı zamanda geminin güvenliği açısından da önem arz eder. Bordadan gelen dalgalarda özellikle rüzgarın da katkısı ile tehlikeli derecede yana yatmalar ve hatta alabora olma riski ortaya çıkabilir. Kıçtan gelen dalgalarda gemi stabilitesini kaybederek tehlikeli yalpa açılarına maruz kalabilir. Yalpa ile birlikte yanal ivmelenmenin birleşmesi ile dökme yük gemilerinde ciddi yük kaymaları ve konteyner gemilerinde güverte konteynerlerinin bağlarının kopması ve kaybı görülebilir.

Dalıp çıkma ve yanal öteleme hareketleri kendi başlarına ciddi bir sorun oluşturmazlarsa da bu hareketlerin ivmeleri özellikle yolcu ve mürettebat üzerinde çok etkilidir. Düşey ivmeler deniz tutmasının temel nedenlerinin başında geldiğinden yolcu gemilerinde önem kazanırlar. Diğer taraftan savaş gemilerinde yüksek ivmeler mürettebatın verimini ciddi olarak etkileyecektir. Balıkçı gemilerinde düşey ve yatay ivmeler mürettebatın güverte üzerinde çalışmasını zora sokacaktır.

Baş kışırma ve yalpa gibi mutlak hareketlerin etkileri ortada iken geminin dalgalara göre bağıl hareketleri çok kere bunlardan da tehlikeli olabilmektedir. Gemi başında bağıl hareketin genliğinin fribordu aşması ile güverteye su basar. Güverteye su basması sonucu güverteye çullanan sular gemiye, ekipmana, yüke veya güvertedeki mürettebata ciddi zarar verebilir ve özellikle baştan gelen dalgalarda istemli hız kayıplarına yol açar. Güverte su basmasının şiddeti görüşü etkileyen serpintiden başlar ve geminin tüm güvertesinin tamamen sular altında kalmasına kadar gider. Bu tür şiddetli güverte su basması olayları geminin stabilitesini bozacağı gibi yapısal bütünlüğünü de tehdit edecektir. Şiddetli güverte su basması olaylarının etkisini azaltmak üzere gemi kaptanı hız kesmek zorunda kalacaktır. Gemi ön dizaynı aşamasından itibaren güverte su basmasını azaltacak önlemler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar arasında en önemlileri yüksek fribord ve voltalı bir baş formudur.

Özellikle baştan gelen dalgalarda gemi ile dalga arasındaki bağıl hareketin genliğinin su çekimini aşması halinde gemi başı su yüzeyinin üstüne çıkacak ve belli bir hızla tekrar suya girecektir. Bu hızın belli bir kritik değeri aşması halinde dövünme oluşacaktır. Ortalama olarak saniyenin otuzda biri gibi çok kısa bir sürede oluşan dövünme olayı sonucu ortaya çıkan titreşim 30 saniye kadar bir süre boyunca hissedilebilecektir. Dövünme gemi dip ve baş borda kaplamalarında yerel yapısal hasara yol açabileceği gibi oluşan titreşim nedeniyle ortaya çıkan eğilme momenti gemi kirişini zorlayacaktır. Şiddetli baş dövünmesi olayı geminin hız kesmesi ile azaltılabileceği için özellikle yüksek hızlı gemilerde istenen hıza ulaşmayı engelleyen temel denizcilik özelliklerindedir.

Geminin dalgalar içindeki hareketleri nedeniyle ortaya çıkan önemli bir etki geminin ileri hareketine engel olan ek dirençtir. Bu direncin kaynağı gemi hareketleri nedeniyle oluşan dalgalara verilen enerji ve gemiye gelen dalgaları yansıtmak ve

kırmak için yapılan iştir [3]. Ek direnç istemsiz hız kayıplarının temel nedeni olup ticari gemilerde sefer sürelerini ve dolayısı ile yakıt harcamasını ve diğer ekonomik karakteristikleri olumsuz olarak etkiler. Savaş gemilerinde yukarıdaki etkiye ek olarak geminin belli hızlara ulaşamaması nedeniyle savaş yeteneğinde bir azalma olabilir.

Dalgalar içinde kalan bir geminin teknesi üzerindeki basınç sürekli değişecek ve bu değişimler üç türlü dalga yükünün ortaya çıkmasına neden olacaktır:

1. Yerel hidrodinamik basınç yükleri
2. Basınç farklılıklarının entegrasyonundan kaynaklanan boyuna ve burulma kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri
3. Güverte su basması ve dövünme esnasında yerel olarak gemi üzerinde oluşacak ani basınç değişimlerinin teknede yaratacağı titreşimden kaynaklanan eğilme ve burulma momentleri.

Bu etkiler gemide global ve lokal anlamda ek kesme kuvveti ile eğilme ve burulma momentlerinin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Bu etkileri gerçek anlamda yapısal dizayn hesaplarına katabilmek zor olduğundan Klas Kuruluşları genellikle deneyime dayalı ampirik yöntemler önermek zorunda kalmaktadır. Ancak bu yöntemlerin zafiyetleri çok kere can ve mal kaybına yol açan kazalar ile ortaya konmaktadır. Diğer taraftan birçok durumda Klas Kuruluşlarının ampirik yöntemleri gerektiğinden daha ağır ve maliyetli bir yapısal dizayn ile sonuçlanabilmektedir.

3. DENİZCİLİK PERFORMANS KABİLİYETİNİN BELİRLENMESİ

Her türlü gemi ve deniz aracının dizaynında geminin içinde bulunacağı deniz sahalarında tekne, sevk sistemi, donanım ve mürettebat gibi temel alt sistemlerin güvenliğinin sağlanması ve geminin görevini dalgalardan en az etkilenecek şekilde yapabilmesi temel hedeftir. Bu hedefe ulaşabilmek üzere dizayner öncelikle verilen bir dizaynın belli bir deniz sahasındaki denizcilik performansını belirleyebilme kabiliyetine sahip olmalıdır. Bir geminin verilen bir deniz sahasındaki denizcilik performansı aşağıdaki unsurlara bağlıdır:

1. Denizin özellikleri (deniz sahası, mevsim, dalga yüksekliği, dalga periyodu)
2. Geminin özellikleri (deplasman, ana boyutlar, tekne su altı ve su üstü formu. ağırlık dağılımı)
3. Dalga yönü ve gemi hızı
4. Denizcilik kriterleri (hangi hareket, ivme vs değerlerinden sonra hız kesmek veya rota değiştirmek zorunlu kabul edilecek)

Gemilerde denizcilik özelliklerinin dizayn işlemine girmesi 1950'lerde dilim teorisi ile lineer süperpozisyon tekniklerinin ortaya çıkması sayesinde olmuştur. Bu tekniklerden birincisi sinüsoidal formda tek bir dalga için altı serbestlik dereceli gemi hareketlerinin belirlenmesini, ikinci teknik ise karmaşık denizlerin matematiksel olarak ifadesini ve bu denizlerde gemilerin hareketlerinin olasılığa dayalı olarak belirlenmesini sağlamıştır. İlerleyen yıllarda denizcilik performansının değerlendirilmesinde büyük gelişmeler kaydedilmiş ve değişik performans değerlendirme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Günümüzde verilen bir gemi dizaynı için belirli bir deniz sahasındaki denizcilik performansını belirlemek amacıyla kullanılacak çok sayıda yazılım mevcuttur. Bu yazılımlarda denizcilik performans analizi genellikle aşağıdaki sıra izlenerek gerçekleştirilmektedir:

1. Öncelikle geminin içinde bulunacağı deniz saha ve şiddetleri matematiksel olarak temsil edilmelidir. Karışık denizlerin rastgele davranışı olasılık teknikleri kullanılarak dalga enerji spektrumları ile temsil edilmekte ve karşılaşılabilecek deniz şiddetleri ile bu şiddetleri karakterize eden dalga yüksekliği ve dalga periyodu dağılımlarının bilinmesi halinde ilgili deniz saha ve şiddetlerini temsil edecek dalga spektrumları elde edilebilmektedir.

2. Denizcilik performans analizi gerçekleştirilecek teknenin ana boyutları, tekne form geometrisi ve ağırlık dağılımı özelliklerinden yararlanılarak dalıp çıkma, baş kış vurma ve yalpa doğal salınım periyotlarının belirlenmesi mümkün olacaktır. Doğal salınım periyotları geminin hangi boy ve periyotta dalgalar ile rezonansa girebileceği ve büyük genlikli hareketlerin ortaya çıkabileceği hakkında fikir verecektir.

3. Teknenin geniş bir frekans aralığına sahip birim genlikli düzenli dalgalar içindeki dalıp çıkma, baş kış vurma, boyuna ve yanal öteleme, savrulma ve yalpa transfer fonksiyonlarının değişik dalga yönleri ve tekne hızları için belirlenmesi. Transfer fonksiyonları hangi dalga yönlerinde ve tekne hızlarında rezonans olayı yaşanacağı ve aşırı hareket genlikleri ile karşılaşılabileceği konusunda fikir verecektir.

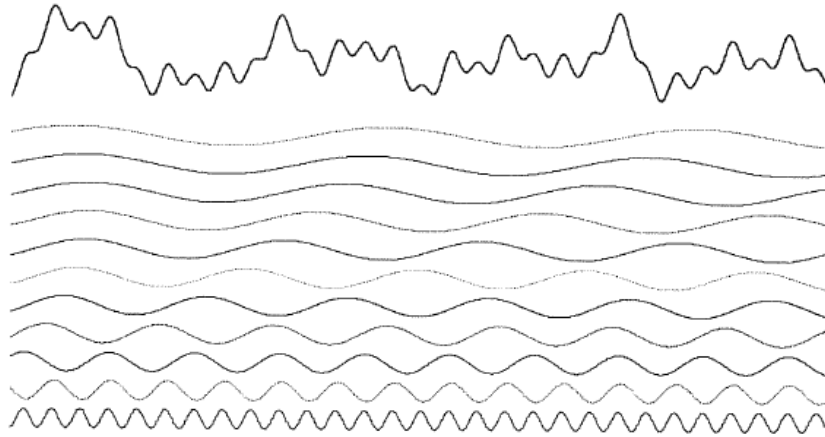
4. Teknenin karışık denizler içindeki hareketlerini belirlemek üzere daha önceden belirlenmiş olan dalga spektrumları ve transfer fonksiyonları kullanılacaktır. Böylece her bir deniz sahası ve deniz şiddeti için değişik dalga yüksekliklerindeki dalıp çıkma, baş kış vurma, yalpa genlikleri, tekne üzerinde herhangi bir noktadaki hareket, hız ve ivmeler, güverte su basması ve baş dövünmesi olasılıkları hesaplanabilecektir.

5. Değişik deniz sahaları, deniz şiddetleri, gemi hızı ve dalga yönleri için hesaplanan denizcilik özellikleri belli kriterler ile karşılaştırılarak hangi deniz sahası, deniz şiddeti, dalga yönü ve gemi hızı kombinasyonlarında bu kriterlerin aşıldığı belirlenir. Kriterlerin aşılması durumunda hız kesmenin veya yön değiştirmenin gerekeceği kabul edilmektedir. Kullanılacak denizcilik kriterleri konusunda değişik yaklaşımlar bulunmakta olup bunlar genellikle personelin ve ekipmanın çalışabilmesine yönelik değerlerdir.

6. Değişik deniz sahalarında farklı deniz şiddetleri ile karşılaşma olasılıklarının bilinmesi durumunda geminin belli mevsimde, belli deniz sahasında nasıl bir denizcilik, performansına sahip olduğu belirlenebilecektir.

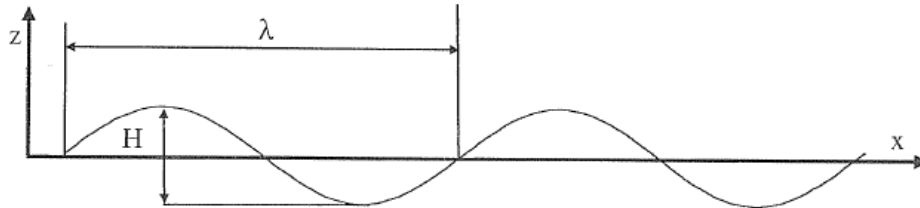
3.1 Karışık Denizlerin Temsili

Dalgalı bir deniz rastgele bir davranış sergileyecektir ve böyle bir denizi matematik olarak temsil edebilmek için istatistiki yöntemler kullanmak gerekecektir. Karışık bir denizin istatistiki özelliklerinin birkaç saat gibi kısıtlı bir zaman dilimi içinde sabit kaldığı kabul edilerek herhangi bir zamanda ve konumda karışık deniz yüzeyinin çok sayıda rastgele genlik, frekans ve faza sahip düzenli, harmonik dalgaların lineer süperpozisyonu ile temsil edilebileceği kabul edilmektedir. Şekil 3.1'de kabaca gösterilen bu prensip düzenli dalga bileşenlerinin frekansa göre varyansının yoğunluğu ile o denizin enerjisini temsil eden bir dalga spektrumu elde etmemizi sağlar.



Şekil 3.1 : Düzenli dalga bileşenlerinden karışık deniz oluşumu [1]

Karışık denizleri temsil edebilmek üzere Şekil 3.2'deki gibi derin suda ($H / \lambda \leq 20$ ve su derinliği $\geq \lambda/2$) tek bir harmonik düzenli dalga bileşenini ele alalım.



Şekil 3.2 : Karışık denizi oluşturan düzenli dalga bileşenleri [1]

Bu tek düzenli dalga bileşeninin lineer teoriye göre temel fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir:

Dalga Boyu

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3.2)$$

Dalga Frekansı

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}} \quad (3.3)$$

Dalga Periyodu

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad (3.3)$$

Dalga Hızı

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{gT}{2\pi} \quad (3.4)$$

Dalga Yüksekliği

$$H = 2\zeta \quad \zeta : \text{Dalga Genliği} \quad (3.5)$$

Dalga Sayısı

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega^2}{g} \quad (3.6)$$

Dalga Profili

$$\zeta = \zeta_a \cos(kx - \omega t + \varepsilon) \quad \varepsilon : \text{faz farkı} \quad (3.7)$$

Karışık denizleri karakterize etmek üzere gözlemlenen veya ölçülen dalga yükseklik değerlerine dayalı olarak istatistiki kavramlar geliştirilmiştir. N adet ölçülmüş dalga yüksekliği değerinin mevcut olması durumunda, dalga yüksekliklerinin dağılımının Rayleigh dağılımına uygun olduğu kabulü ile, aşağıdaki istatistiki dalga yüksekliği değerleri elde edilebilir:

$$H_{1/n} = \sqrt{2m_0 \left\{ \sqrt{\ln(n)} + n \sqrt{\pi} \left[\frac{1}{2} - \operatorname{erf} \sqrt{2 - \ln(n)} \right] \right\}} \quad (3.8)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (3.9)$$

$$H_{1/n} = k\sqrt{m_0} \quad (3.10)$$

Burada n ortalaması alınacak en yüksek dalga yüzdesini m ise dalga genliği dağılımının varyansını (karelerin ortalaması) temsil etmektedir. k katsayısı n değerine bağlı olarak aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Çizelge 3.1 : n değerine bağlı olarak k katsayıları [1]

n	1	2	3	10	50	100	1000
k	2.50	3.55	4.00	5.10	5.60	6.06	7.44

Bu istatistiki değerlerden bazıları denizcilik hesaplamalarında özel öneme sahiptir:

Karşılaşma olasılığı en yüksek dalga yüksekliği

$$H_{\text{RMS}} = 2\sqrt{m_0} \quad (3.11)$$

Ortalama dalga yüksekliği (n=1)

$$\bar{H} = 2,5\sqrt{m_0} \quad (3.12)$$

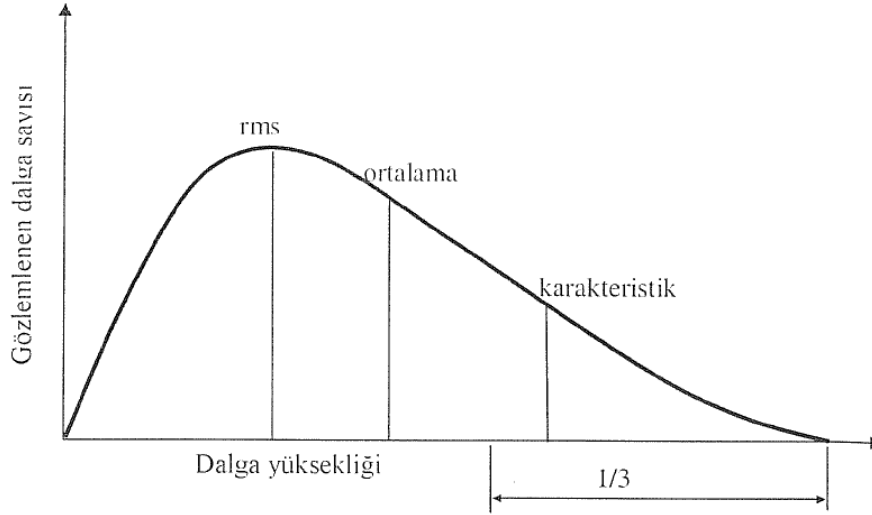
Karakteristik dalga yüksekliği (n=3)

$$H_{1/3} = 4\sqrt{m_0} \quad (3.13)$$

En yüksek %10 dalgaların ortalaması (n=10)

$$H_{1/10} = 5.1 \sqrt{m_0} \quad (3.14)$$

Gözlem sonuçlarına çok yakın sonuçlar verdiği için en yüksek 1/3 dalgalarının ortalaması özellikle sık kullanılır ve karakteristik dalga yüksekliği olarak adlandırılır. Özellikle dalga dövünme yüklerinin hesabında önem kazanan bir başka istatistiki değer en yüksek %10 dalganın ortalamasıdır.



Şekil 3.3 : Dalga yüksekliği için temel istatistiki tanımlar

Karışık denizleri tanımlamak üzere genellikle deniz şiddeti adında karakteristik dalga yüksekliğine bağlı bir ölçek kullanılır. Deniz şiddeti karakteristik dalga yüksekliğinin veya rüzgar hızının bir fonksiyonu olarak tanımlamaktadır. Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) tarafından kabul edilen deniz şiddetine karşılık karakteristik dalga yükseklikleri aşağıdaki tabloda verilmektedir. Bu değerler başta Amerikan Donanması olmak üzere NATO üyesi ülkeler tarafından standart olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.2 : Karakteristik dalga yüksekliği ve rüzgar hızına bağlı olarak deniz şiddeti [1]

Deniz Şiddeti	Karakteristik Dalga Yüksekliği (m)			Rüzgar Hızı (knot)		
	Asgari	Azami	Ortalama	Asgari	Azami	Ortalama
0 – 1	0.0	0.1	0.05	0	6	3
2	0.1	0.5	0.30	7	10	8.5
3	0.5	1.25	0.88	11	16	13.5
4	1.25	2.25	1.88	17	21	19
5	2.5	4.0	3.25	22	27	24.5
6	4.0	6.0	5.00	28	47	37.5
7	6.0	9.0	7.50	48	55	51.5
8	9.0	14.0	11.50	56	63	38.5
> 8	> 14.0	> 14.0	> 14.00	> 63	> 63	> 63

Deniz şiddeti için standart tanımlama mevcut olmakla birlikte dünyanın değişik bölgelerinde aynı karakteristik dalga yüksekliğine sahip deniz şiddetleri arasında farklılıklar olabilecektir. Temel olarak dalga periyoduna ve denizin kısıtlılığına (feç) bağlı olan bu değişimler denizcilik performans analizini etkileyeceği için geminin çalışacağı denize ait dalga istatistiklerinin mevcut olması çok önemlidir. Bu istatistikler genellikle karakteristik dalga yüksekliği ve modal dalga periyodu cinsinden verilir. Şekil 3.4'te Akdeniz için karakteristik dalga yüksekliği ve modal dalga periyoduna göre deniz durumlarının yıllık dağılımı görülmektedir.

Dalga histogramında mevcut her bir karakteristik dalga yüksekliği ve modal dalga periyodu kombinasyonuna karşılık gelen karışık deniz durumunu temsil edebilmek için dalga yüzeyinin birim alanının enerjisini temsil eden dalga spektrumu kavramından yararlanır.

$$\int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega = m_0 = \sigma^2 \quad (3.15)$$

Burada σ rms dalga genliği olup en sık rastlanan dalga genliğini temsil etmektedir, σ^2 varyans olarak bilinmektedir.

Deniz durumuna ait istatistikî özellikleri belirlemek üzere dalga spektrum momentlerinin bilinmesi gerekecektir. Verilen bir dalga spektrumunun n. momenti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

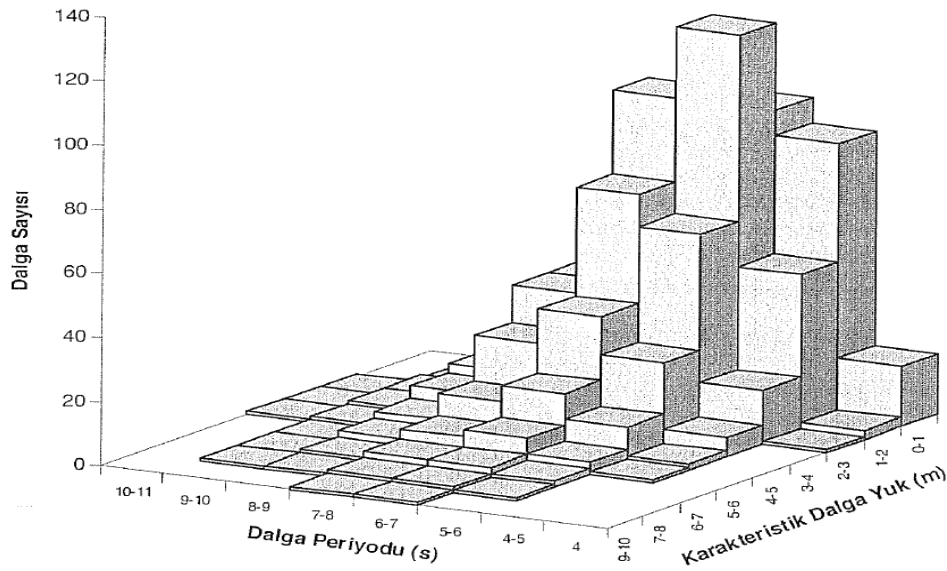
$$m_n = \int_0^{\infty} \omega_n S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (3.16)$$

Spektrum momentinin bilinmesi ile deniz durumunu karakterize eden ortalama modal (pik) ve sıfır geçme periyotları aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\bar{T} = 2\pi \frac{m_0}{m_1} \quad (3.17)$$

$$T_m = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}} \quad (3.18)$$

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (3.19)$$



Şekil 3.4 : Akdeniz için yıllık dalga olasılık dağılımı [1]

Dalga spektrumunun bant genişliğini belirleyen ε parametresi spektrum momentleri veya periyotlar cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} = \sqrt{1 - \frac{T_m^2}{T_z^2}} \quad (3.20)$$

Geminin çalışacağı deniz sahasındaki değişik deniz durumları için ölçülmüş dalga spektrumunun bulunmaması durumunda standart dalga spektrumlarından uygun olanı seçilmelidir. Bu amaçla kullanılacak dalga spektrumları üç grupta toplanabilir.

1. Tek parametrelili dalga spektrumu (Pierson – Moskowitz – ITTC tek parametre)
2. İki parametrelili dalga spektrumu (Bretschneider – ITTC çift parametre)
3. JONSWAP Dalga Spektrumu

3.1.1 Pierson – Moskowitz – ITTC Tek Parametrelili Dalga Spektrumu

Pierson Moskowitz dalga spektrumu dalga frekansı ve rüzgar hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$S_{\zeta} = \frac{0.0081g^2}{\omega^5} \exp \left[-0.74 \left(\frac{g}{V\omega} \right)^4 \right] \quad (3.21)$$

Burada ω (rad/s) dalga frekansı ve V (m/s) deniz yüzeyinden 19,5 metre yukarıda ölçülen rüzgar hızıdır.

Uluslararası 12. ITTC konferansı rüzgar hızı ile karakteristik dalga yüksekliği arasındaki aşağıdaki gibi bir ilişkinin geçerli olduğunu kabul edilerek Pierson – Moskowitz spektrumunu dalga frekansı ve karakteristik dalga yüksekliği cinsinden ifade etmektedir.

$$H_{1/3} = 0.00565V^2 \quad V(\text{knot}), H_{1/3} (\text{m}) \quad (3.22)$$

$$S_{\zeta} = \frac{A}{\omega^5} \exp \left[-\frac{B}{\omega^4} \right] \quad A = 0.0081 g^2 B = \frac{3.11}{H_{1/3}^2} = \frac{0.032g^2}{H_{1/3}^2} \quad (3.23)$$

Bu spektrumun maksimum değerinin

$$\frac{dS_{\zeta}}{d\omega} = 0 \rightarrow \omega_m = \left(\frac{4}{5}B\right)^{1/4} \cong \frac{1.25}{\sqrt{H_{1/3}}} \quad (3.24)$$

Veya

$$T_m = \frac{2\pi}{\omega_m} \cong 5\sqrt{H_{1/3}} \quad (3.25)$$

Dalga frekansından olduğu ve bu değerin

$$S_{\zeta}(\omega_m) = A (0.8B)^{-5/4} e^{\frac{5}{4}} = 0.25 H_{1/3}^{5/2} e^{\frac{5}{4}} \quad (3.26)$$

Olduğu gosterilebilir. Dalga spektrum momentlerini aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega = \frac{A}{4B} = \frac{H_{1/3}^2}{16} \quad (3.27)$$

$$m_2 = \frac{A}{4} = \sqrt{\frac{\pi}{B}} \quad (3.28)$$

$$m_4 = \infty \quad (3.29)$$

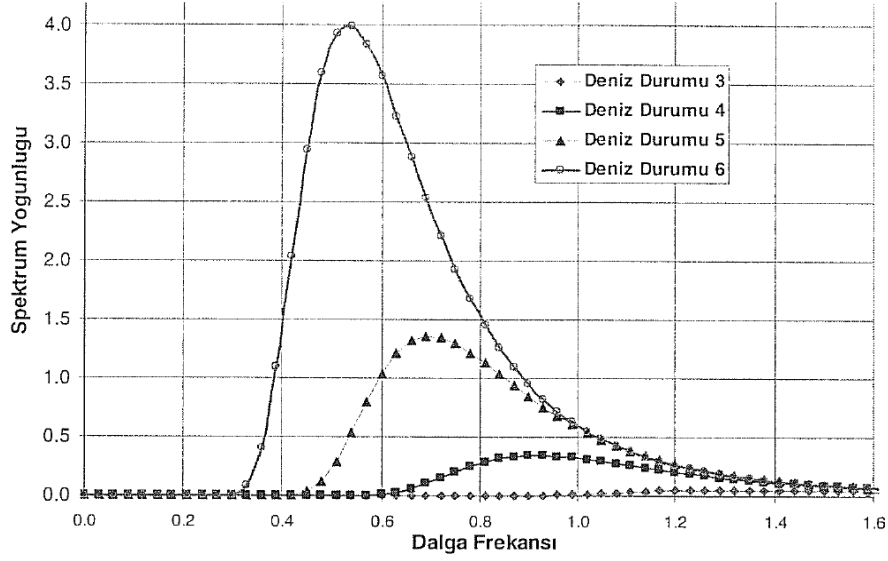
Ortalama, modal (pik) ve sıfır geeme periyotları ise aşağıdaki gibi bulanabilir:

$$\bar{T} = 2\pi \frac{m_0}{m_1} \quad (3.30)$$

$$T_m = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (3.31)$$

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (3.32)$$

Değişik karakteristik dalga yükseklikleri için Pierson – Moskowitz dalga spektrum eğrileri Şekil 3.5’de sunulmaktadır.



Şekil 3.5 : Değişik deniz durumları için Pierson – Moskowitz dalga spektrumu

3.1.2 Bretschneider – ITTC İki Parametrelilik Dalga Spektrumu

Yukarıda verilen tek parametrelilik spektrum formülasyonları tam oluşmuş açık denizleri temsilde başarılı olmakla birlikte kapalı denizlerde oluşan deniz durumlarını temsil için dalga periyotlarını da dikkate almak gerektiği açıktır. Bu nedenle Bretschneider aşağıdaki iki parametrelilik dalga spektrumunu önermiştir.

$$S_{\zeta}(\omega) = 0.3125 \frac{\omega_m^4 H_{1/3}^2}{\omega^5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right)^4 \right] \quad (3.33)$$

Görüldüğü gibi bu formülasyonda karakteristik dalga yüksekliğinin yanı sıra ikinci parametre olarak modal dalga frekansı kullanılmaktadır. Bu spektrum aşağıdaki standart formda da ifade edilebilir.

$$S_{\zeta}(\omega) = 0.3125 \frac{\omega_m^4 H_{1/3}^2}{\omega^5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right)^4 \right] \quad (3.34)$$

$$A = \frac{487 H_{1/3}^2}{T_m^4} = \frac{173 H_{1/3}^2}{\bar{T}^4} = \frac{124 H_{1/3}^2}{T_Z^4} \quad (3.35)$$

$$B = \frac{1948}{T_m^4} = \frac{691}{\bar{T}^4} = \frac{495}{T_Z^4} \quad (3.36)$$

Burada \bar{T} ortalama dalga periyodun temsil etmektedir. Ortalama dalga periyodu ile modal dalga periyodu arasında aşağıdaki ilişkiler vardır.

$$T_m = \frac{2\pi}{\omega_m} = \frac{2\pi}{\sqrt[4]{\frac{4}{5}B}} = \frac{2\pi}{\sqrt[4]{\frac{4}{5} \frac{691}{\bar{T}^4}}} = 1.296 \bar{T} \quad (3.37)$$

$$\bar{T} = 0.772 T_m \quad (3.38)$$

$$T_m = \frac{2\pi}{\omega_m} = \frac{2\pi}{\sqrt[4]{\frac{4}{5}B}} = \frac{2\pi}{\sqrt[4]{\frac{4}{5} \frac{495}{T_z^4}}} = 1.41 T_z \quad (3.39)$$

$$T_z = 0.71 T_m \quad (3.40)$$

Bu bağıntılardan yararlanılarak A ve B katsayıları modal periyod cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$A = 487 \frac{H_{1/3}^2}{T_m^4}, \quad B = \frac{1948}{T_m^4} \quad (3.41)$$

Bretschneider dalga spektrumu 15. ITTC tarafından standart iki parametrelilik dalga spektrum formülasyonu olarak tavsiye edilmiştir.

3.1.3 JONSWAP Dalga Spektrumu

1968 – 1969 yıllarında Joint North Sea Wave Project (JONSWAP) projesi çerçevesinde Kuzey Denizinde gerçekleştirilen kapsamlı bir dalga ölçümü çalışması sonucu Hasselman ve Ewing tarafından kısıtlı feçe sahip denizler için aşağıdaki dalga spektrum formülasyonları önerilmiştir.

$$S_\zeta(\omega) = \alpha \frac{g^2}{\omega^5} \exp \left\{ -1.25 \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right)^4 \right\} \gamma \exp \left[\frac{(\omega - \omega_m)^2}{2\sigma^2 \omega_m^2} \right] \quad (3.42)$$

Buradaki γ ve σ katsayıları aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\gamma = 3.3 \quad \begin{array}{ll} \sigma = 0.07 & \omega \leq \omega_m \\ \sigma = 0.09 & \omega > \omega_m \end{array} \quad (3.43)$$

α katsayısı ise feç uzunluğuna bağlı olarak tanımlanmaktadır:

$$\alpha = 0.076 (\bar{x})^{-0.22} \quad (3.44)$$

$$\bar{x} = \frac{g X}{U^2} \quad (3.45)$$

Burada \bar{x} deniz mili cinsinden feç uzaklığını U ise knot cinsinden rüzgar hızını temsil etmektedir. Kısıtlı denizler için 17. ITTC Jonswap spektrumundan hareketle aşağıdaki formülasyon tavsiye edilmektedir.

$$S_j(\omega) = 0.658 S_2(\omega) (3.3) \exp\left(-\frac{0.206 \omega T_1^{-1}}{\sqrt{2\sigma}}\right) \quad (3.46)$$

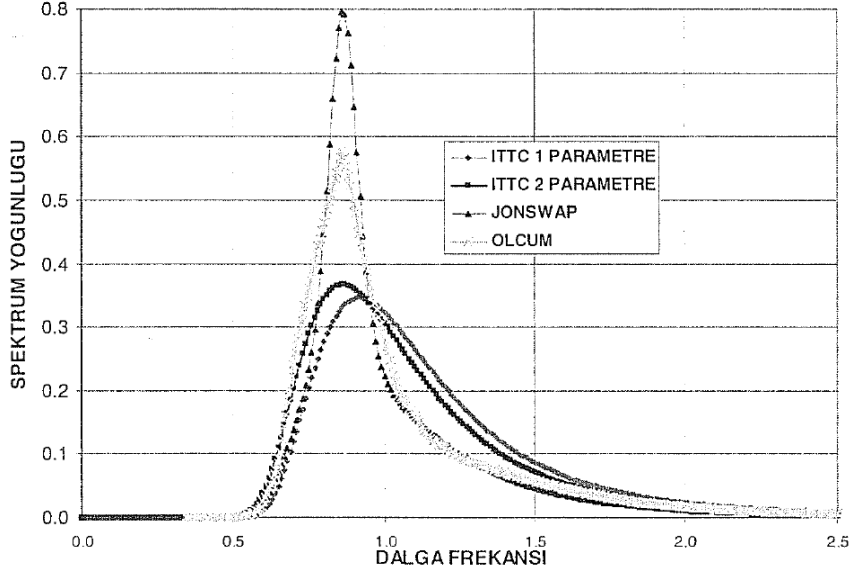
Yukarıdaki denklemde $\omega \leq \frac{4.85}{T_1}$ ise $\sigma = 0.07$ ve $\omega > \frac{4.85}{T_1}$ ise $\sigma = 0.09$ 'dur.

Modal periyod cinsinden bu ifade aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$S_j(\omega) = 0.658 S_2(\omega) (3.3) \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{\omega T_m - 1}{2\pi}\right)^2\right) \quad (3.47)$$

Burada $\omega \leq \frac{2\pi}{T_m}$ ise $\sigma = 0.07$ ve $\omega > \frac{2\pi}{T_m}$ ise $\sigma = 0.09$ 'dur.

Şekil 3.6'da Karadeniz için 4 deniz durumunda farklı formülasyonlar ile dalga enerjisinin dalga frekansına göre dağılımı görülmektedir. Görüldüğü gibi ölçüm sonuçları Karadeniz için tam açık deniz veya tam kısıtlı deniz dalga spektrumlarının kullanılamayacağını göstermektedir.



Şekil 3.6 : Karadeniz’de 4 deniz durumunda dalgaların enerji dağılımları

3.2 Düzenli Dalgalardaki Gemi Hareketleri

Doğada düzenli dalgalara çok nadir rastlanmakla birlikte deneysel veya sayısal denizcilik analizlerinde kullanılan lineer süperpozisyon ilkesi karışık dalgalardaki tepkileri belirleyebilmek için düzenli sinüzoidal formdaki dalgalardaki tepkileri esas aldığı için geminin düzenli dalgalar içindeki hareketlerini temsil eden transfer fonksiyonlarını doğru olarak hesaplamak veya ölçmek gerekmektedir.

Geminin hareket doğrultusuna göre β yönünden gelen düzenli sinüzoidal dalgalar içinde V hızıyla yol alan bir geminin altı serbestlik dereceli hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sum_{k=1}^6 [M_{jk} + A_{jk}] \ddot{\eta}_k(t) + B_{jk} \dot{\eta}_k(t) + C_{jk} \eta_k(t) = F_j(t) \quad (3.48)$$

Burada M_{jk} genelleştirilmiş atalet matrisini, A_{jk} ek su kütlesi matrisini, B_{jk} sönüm kuvveti matrisini, C_{jk} hidrostatik geri getirme kuvveti matrisini, F_j uyarıcı dalga kuvvetini, $\ddot{\eta}_k$ k modundaki hareketin ivmesini, $\dot{\eta}_k$ hareketin hızını ve η_k hareketin genliğini temsil etmektedir. Hareket modu k aşağıdaki şekillerde tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.3 : Hareket modu k değerleri [1]

Hareket	Hareket Modu (k)
Boyuna Öteleme	1
Yan Öteleme	2
Dalıp – Çıkma	3
Yalpa	4
Baş – K1ç Vurma	5
Savrulma	6

Kütlev, eksu kütlesi ve sönüm kuvveti matrisleri 36 elemandan oluşmakla birlikte gemi koordinat sisteminin ağırlık merkezinde kabul edilmesi ve geminin sancak-iskele simetrisine sahip olması durumunda ciddi şekilde azalacaktır. Hidrostatik geri getirme kuvveti matrisinin değere sahip olanları ise aşağıdaki gibidir:

$$C_{33}, C_{35}, C_{44}, C_{53}, C_{55}(C_{35} = C_{53})$$

Geminin düzenli sinüzoidal dalgalar içindeki hareketi harmonik olduğundan zamandan bağımsızdır. Yani;

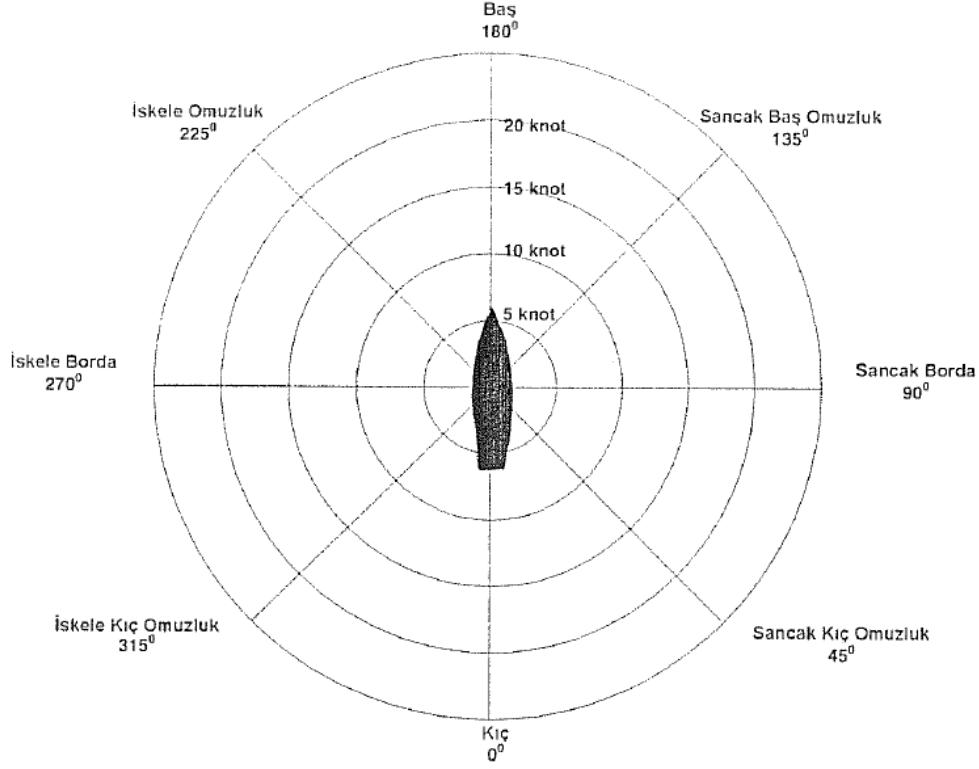
$$\eta_k(t) = \left| \overline{\eta_k} \right| \cos(\omega_e t + \varepsilon_k) = \overline{\eta_k} e^{i\omega_e t} \quad (3.49)$$

$$\dot{\eta}_k(t) = i \omega_e \overline{\eta_k} e^{i\omega_e t} \quad (3.50)$$

$$\ddot{\eta}_k(t) = -\omega_e^2 \overline{\eta_k} e^{i\omega_e t} \quad (3.51)$$

Burada $\overline{\eta_k}$, k modundaki hareketin mutlak genliğini, ω_e ise karşılaşma frekansını temsil etmektedir.

Karşılaşma frekansı dalgaların gemiye göre yönüne ve geminin hızına bağılı olacaktır. Dalgaların yönü için Şekil 3.7’de gösterilen konvansiyon kabul edilecektir.



Şekil 3.7 : Dalga yönü konvansiyonu [1]

Dalğanın geliş yönündeki gemi hızı $V \cos \mu$ olduğundan gemi ve dalga arasındaki bağıl hız

$$C - V \cos \mu \quad (3.52)$$

Olacaktır. Dalga tepeleri λ metre aralıklı olduğundan geminin dalga tepesiyle karşılaşma periyodu,

$$T_e = \frac{\lambda}{c - V \cos \mu} \quad (3.53)$$

Saniye olacaktır. Bu durumda karşılaşma frekansı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\omega_e = \frac{2\pi}{T_e} = \frac{2\pi}{\lambda} c - V \cos \mu \quad (3.54)$$

Derin suda $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ve $c = \frac{\lambda\omega}{2\pi}$ olduğundan bu ifade

$$\omega_e = \omega - k V \cos \mu = \omega - \frac{\omega^2 V}{g} \cos \mu \quad (3.55)$$

Şeklinde yazılabilir. Baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarda $\cos \mu$ negatif olduğundan karşılaşma frekansı her zaman dalga frekansından büyüktür. Bordadan gelen dalgalarda $\cos \mu = 0$ olduğundan geminin hızı ne olursa olsun karşılaşma frekansı dalga frekansına eşittir. Kıç ve kıç omuzluktan gelen dalgalarda $\cos \mu$ pozitif olduğundan karşılaşma frekansı da pozitifdir ve maksimum değeri aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$\omega_{e \max} = \frac{g}{4 V \cos \mu} \quad (3.56)$$

Bu değere karşılık dalga frekansı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\omega = 2 \omega_{e \max} = \frac{g}{2 V \cos \mu} \quad (3.57)$$

Aşağıdaki durumda karşılaşma frekansı sifıra eşit olacaktır:

$$\omega = \frac{g}{c} \quad (3.58)$$

Derin suda $\omega = \frac{g}{c}$ olduğundan karşılaşma frekansının sıfır olabilmesi için $V \cos \mu = c$ koşulu sağlanmalıdır. Düzenli dalgalar içindeki gemi hareketlerini çözebilmek için iki güçlüğün yenilmesi gerekecektir. Bu güçlüklerden birisi ek su ve sönüm kuvvetlerinin hesaplanması, ikincisi ise uyarıcı dalga kuvvetlerinin hesabıdır. Hareket denklemlerinin çözümünde en karmaşık kısım ek su ve sönüm kuvveti değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu amaçla kullanılan üç boyutlu hesap yöntemleri fazla karmaşık olması ve uzun bilgisayar zamanı gerektirmesi nedeniyle denizcilik yazılımlarının çoğunda dilim teorisi yardımıyla üç boyutlu problem iki boyutlu hale indirgenir. Bu yaklaşıma göre üç boyutlu gemiye etkiyen kuvvetler, gemiyi oluşturan iki boyutlu dilimlere etkiyen kuvvetlerin toplamı olarak bulunur. İki boyutlu dilimlere etkiyen hidrodinamik kuvvetleri hesaplamak için kullanılan iki temel yöntem mevcuttur:

1. Lewis form yaklaşımı

2. Frank Close – fit yaklaşımı

Birinci yaklaşımda gemi formları Lewis form adı verilen trigonometrik formlarla temsil edilir ve eksü ve sönüm katsayıları konform dönüşümü ile hesaplanır. Lewis form yöntemi tipik U – V formlu kesitler için uygun olmakla birlikte ayna kış ve yumru baş gibi kesitler ile çeneli formlar bu yöntem ile temsil edilememektedir. Lewis form ile temsil edilebilecek gemi kesitleri için geometrik kısıtlar aşağıdaki gibidir.

$$\frac{B}{2T} \leq 1 \quad \text{için} \quad \frac{3\pi}{32} \left(2 - \frac{B}{2T} \right) \leq \beta \leq \frac{3\pi}{128} \left(\frac{B}{2T} + 12 \right) \quad (3.59)$$

$$\frac{B}{2T} \geq 1 \quad \text{için} \quad \frac{3\pi}{32} \left(2 - \frac{2T}{B} \right) \leq \beta \leq \frac{3\pi}{128} \left(\frac{2T}{B} + 12 \right) \quad (3.60)$$

Burada B kesit genişliği, T kesit su çekim, $\beta = A / BT$ ise kesit alan katsayısını temsil etmektedir.

Frank Close-fit yönteminde ise her bir kesit çok sayıda bölüme ayrılır ve her bir bölümün ortasına bir kaynak yerleştirilerek buralarda sınır koşullarını sağlayan hız potansiyelleri hesaplanır. Hız potansiyelinden kuvvete geçilir ve buradan eksü ve sönüm katsayıları bulunur. Bu yöntemde kesit geometrisi üzerinde bir kısıt bulunmadığı için modern denizcilik yazılımlarında Frank Close-fit yöntemi tercih edilmektedir. Frank Close-fit yönteminin iki temel dezavantajı daha çok bilgisayar zamanı gerektirmesi ve çok yüksek düzensiz frekanslarda hatalı sonuç verebilme olasılığıdır. Ancak bu frekanslar tipik denizcilik problemleri için çok yüksektir ve önceden belirlenmeleri kolaydır.

Viskoz etkiler, aerodinamik etkiler ve pervanenin yol açtığı etkiler ihmal edilirse dalgalar içinde yol alan bir gemiye etkiyen temel kuvvetler hidrostatik geri getirme ve viskoz olmayan hidrodinamik basınç kuvvetleridir. Gemiye etkiyen hidrodinamik basınç kuvvetini hesaplamak üzere geminin su altı kısmına k yönünde etki eden normal basınç bileşeni $P(x,y,z,t)$ her bir hareket yönü, j, için su altı yüzeyi üzerinde entegre edilmelidir.

3.3 Denizcilik Kriterleri

Bir geminin tanımlanmış çalışma sahalarında hangi dalga yönü ve deniz şiddeti için güvenli seyir/operasyon gerçekleştirebileceğini belirlemek üzere öncelikle güvenli seyir/operasyon için sağlanması gereken sınırlar tanımlanmalıdır. Denizcilik kriterleri olarak bilinen bu sınırlardan herhangi biri aşıldığında geminin güvenli seyir/operasyon gerçekleştiremeyeceği ve hız kesme veya rota değiştirmenin zorunlu olacağı kabul edilmektedir.

Denizcilik kriterleri geminin tipine ve misyonuna göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin bir yolcu gemisinde yolcu konforunu etkileyen ve deniz tutmasına neden olan düşey ve yatay ivmelerin çok düşük olması istenirken bir balıkçı gemisinde veya yüksek süratli devriye botunda çok daha büyük değerlere izin verilebilir. Bu nedenlerden dolayı denizcilik kriterlerinin belirlenmesinde öncelikle geminin hangi deniz koşullarında ne tip operasyon gerçekleştireceği belirlenmelidir. Örneğin tipik bir su üstü savaş gemisi için operasyon talepleri aşağıdaki gibi olabilecektir.

Çizelge 3.4 : Tipik bir suüstü savaş gemisi için operasyon talepleri [1]

Performans Talebi	Deniz Durumu	Dalga Yönü	Gemi Hızı
Seyir sırasında denizden ikmal	4	En uygun	15-18 knot
Helikopter inişi ve kalkışı	4	En uygun	10-18 knot
Savaş Harekat Merkezinde görevli personelin konsantrasyonu ve etkin görev yapabilmesi	5	Tüm yönler	Azami sürat
Sınırlı Beka Kabiliyeti: Gemi ve alt sistemlerde ciddi hasar oluşmadan seyir kabiliyeti	6	Tüm yönler	Azami sürat
Sınırsız Beka Kabiliyeti: Gemi ve alt sistemlerde ciddi hasar oluşmadan işlevsel kalabilme	7	En uygun	En uygun

Geminin görevine göre performans taleplerinin belirlenmesi ile dalgalarda etkilenecek gemi alt sistemleri için gemi hareketlerinden kaynaklanan sınır değerler belirlenebilecektir. Bu alt sistemler genellikle dört ana başlık altında toplanabilir:

1. Tekne ve donanım
2. Mürettebat ve/veya Yolcu
3. Ekipman
4. Hız ve Manevra Kabiliyeti

Bu alt sistemlere ait gemi hareketlerinden kaynaklanan sınır değerlerin nasıl belirleneceğine aşağıdaki bölümlerde değinilmektedir

3.3.1 Tekne ve Donanım ile İlgili Denizcilik Kriterleri

Gemideki tüm sistemleri ve mürettebatı ve/veya yolcuyu taşıyan ana unsur tekne olduğundan dalgaların tekne üzerindeki etkisi geminin görevini başarı ile yerine getirebilmesi ve üzerindeki sistemlerin güvenliği açısından önemlidir. Dalgalar içindeki bir geminin teknesini zorlayacak temel etkiler:

1. Baş kış vurma.
2. Yalpa,
3. Baş dövünmesi.
4. Güverte,su basması, ve
5. Dalgalardan kaynaklanan eğilme ve burulma momentleri olacaktır.

Baş kış vurma ve yalpa hareketleri hidrostatik geri getirme etkisi nedeniyle uygun olmayan koşullarda kolayca rezonansa girebilmekte ve gemi teknesi için olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Baş kış vurma hareketi özellikle baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarda artarken yalpa hareketi özellikle bordadan gelen dalgalarda etkindir. Baş kış vurma ve yalpa hareketleri için önerilen kriterler aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Çizelge 3.5 : Tipik baş kış vurma hareketi kriterleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	Karakteristik baş kış vurma açısı
Suüstü savaş gemisi	Comstock	1.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi	Olson	1.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (transit)	STANAG 4154	1.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (aktif sonar)	STANAG 4154	2.5 derece (RMS)

Çizelge 3.5 (devam) : Tipik baş kış vurma hareketi kriterleri [1]

Suüstü savaş gemisi (VLS yükleme)	STANAG 4154	1.0 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (top. torpido)	STANAG 4154	3.8 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (helikopter)	STANAG 4154	1.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (torpido yükleme)	STANAG 4154	1.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (Denizde ikmal)	STANAG 4154	2.2 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (helikopter)	Brown	2.0 derece (RMS)
Sahil Güvenlik Botu	Baitis	3.0 derece (RMS)

Çizelge 3.6 : Tipik Yalpa Hareketi Kriterleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	Karakteristik valpa açısı
Hızlı Yük Gemisi	Aertssen	5.8 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (transit)	Comstock	4.0 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (helikopter)	Comstock	2.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (transit)	Olson	9.6 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (helikopter)	Olson	3.2 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (transit)	STANAG 4154	4.0 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (aktif sonar)	STANAG 4154	7.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (top. torpido)	STANAG 4154	3.8 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (helikopter)	STANAG 4154	2.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (torpido yükleme)	STANAG 4154	1.5 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (VLS yükleme)	STANAG 4154	3.8 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (Denizde ikmal)	STANAG 4154	2.2 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi (helikopter)	Brown	2.5 derece (RMS)
Sahil Güvenlik Botu	Baitis	4.0 derece (RMS)
Balıkçı	Soares	6.0 derece (RMS)
Ticari	NORDFORSK	6.0 derece (RMS)
Suüstü savaş gemisi	NORDFORSK	4.0 derece (RMS)
Hızlı karakol teknesi	NORDFORSK	4.0 derece (RMS)

Baş dövünmesi olayı dalgalar içindeki bir gemi için yapısal hasara yol açma açısından tehlikelidir. Bu yapısal hasar geminin baş bölgesinde yerel olabileceği gibi dövünmenin yarattığı eğilme momentleri geminin yapısal bütünlüğünü zorlayabilir.

Baş dövünmesi ile ilgili sınır değerler genellikle dövünmenin şiddeti ve sıklığı ile ilgilidir. Dövünme sayısı kriterleri genellikle bir saat içinde karşılaşılabilecek dövünme sayısı veya 100 baş kış vurma salınımı içinde karşılaşılabilecek dövünme sayısı olarak ifade edilir. Tipik dövünme sayısı sınır değerleri Çizelge 3.7'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.7 : Tipik dövünme sayısı kriterleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	Karakteristik yalpa açısı
Su üstü savaş gemisi	STANAG 4154	20 adet/saat
SWATH	STANAG 4154	20 adet/saat
Yük Gemisi	Aertssen	% 6
Yolcu Ferisi	Aertssen	%5
Büyük Tanker	Aertssen	%3
Dökme Yük	Aertssen	%3
Balıkçı	Aertssen	%6
Yük Gemisi	Ochi	% 3
Yük Gemisi	Hoffman	% 8 veya 4 adet/saat
Destroyer	Olson	3 adet/saat
Destroyer	Kehoe	60 adet/saat
Destroyer	Bales	20 adet/saat
Su üstü savaş gemisi	Brown	20-90 adet/saat
Sahil Güvenlik Botu	Baitis	30 adet/saat
Balıkçı	Spouge	20 adet/saat

Dövünmenin yarattığı titreşim hareketi gemi üzerinde bir dövünme gerilmesi yaratacaktır. Bu gerilme genellikle gemi ortasında en yüksek değere ulaşır. Gemi ortasında oluşacak dövünme gerilmesi için önerilen sınır değerler Çizelge 3.8'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.8 : Tipik gemi ortasında dövünme gerilmesi kriterleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	Dövünme Gerilmesi (kg/mm²)
Yük Gemisi	Hoffman	1.6 (orta şiddet)
Yük Gemisi	Hoffman	2.5 (şiddetli)
Yük Gemisi	Aertssen	0.6
Yolcu Ferisi	Aertssen	0.4
Dökme Yük	Aertssen	2.0

Tekne ve donanım açısından kritik bir olay güverte su basması olasılığıdır. Güverte su basması gerek tekneye gerekse güverte üzerindeki ekipman veya yüke ciddi zarar verebilmektedir. Güverte su basması olasılığı için önerilen sınır değerler Çizelge 3.9'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.9 : Tipik güverte su basması kriterleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	Güverte Su Basması Sayısı
Suüstü savaş gemisi	STANAG4154	30 adet/saat
SYVATH	STANAG4154	5 adet/saat
Suüstü savaş gemisi (denizde ikmal)	STANAG4154	0.5 adet/saat
Yük Gemisi	Lewis	10 adet/saat
Dökme Yük	Aertssen	%5
Yük Gemisi	Ferdinande	% 5-7
Destroyer	Kehoe	60 adet/saat
Destroyer	Conolly	33 adet/saat
Yük Gemisi	Landsburg	% 5
Ticari / Askeri	Chilo	%7
Destroyer	Bales	30 adet/saat
Destroyer	Andrew	30 adet/saat
Suüstü savaş gemisi	Brown	30-90 adet/saat
Sahil Güvenlik Botu	Baitis	20 adet/saat
Balıkçı	Spouge	36 adet/saat
Balıkçı	Soares	% 5
Ticari / Askeri	NORDFORSK	%5

Dalgalı denizlerde pervanenin sudan çıkması şaft sistemi ve ana makine üzerinde olumsuz etki yapacaktır. Genellikle pervanenin dörtte birinin sudan çıkması durumunda pervanenin sudan çıktığı kabul edilmektedir ancak bu olayı gözlemek zor olduğu için şaft üzerinde ölçülen torkun % 25 ve daha fazla azalması durumunda pervane sudan çıkmış kabul edilecektir. Pervanenin sudan çıkması olasılığı için önerilen sınır değerler Çizelge 3.10'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.10 : Pervanenin sudan çıkması olasılığı için tipik kriterler [1]

Gemi Tipi	Öneren	Pervanenin Sudan Çıkması
Suüstü savaş gemisi	STANAG4154	90 adet/saat
Yük Gemisi	Aertssen	100 baş kış vurmada 10-25
Yük gemisi	Landsburg	100 baş kış vurmada 25
Ticari ve Askeri	Lloyd	120 adet/saat
Suüstü savaş gemisi	Brown	40-1.20 adet/saat
Sahil Güvenlik Bolu	Baitis	25 adet/saat
Balıkçı	Spouge	120 adet/saat

3.3.2 Mürettebat ve / veya Yolcu ile ilgili Denizcilik Kriterleri

Mürettebat ve/veya yolcular ile ilgili birçok denizcilik kriteri mevcuttur. Bu kriterler genel olarak tekne içindekilerin görevlerini yerine getirebilecekleri ya da konforlarını koruyabilecekleri düşey ivmelenme ve yalpa hareketi gibi gemi hareketlerinin üst sınırlarını belirlerler. Özellikle bu konu ile ilgili yazılmış standartlar da mevcuttur. Çalışma kapsamında bu konuya sonraki bölümde geniş bir yer ayrılmıştır.

3.4 Denizcilik Performans Analizi ile İlgili Yazılımlar

Teknelerin denizcilik performanslarının hesaplanabileceği çeşitli paket programlar mevcuttur. Bu programlardan ülkemizde en çok kullanılanı Maxsurf isimli programın Seakeeping modülüdür. Seakeeping modülü bir analiz programıdır. Kullanıcının belirlediği deniz şartlarında Maxsurf'e uyumlu geometrik bir cismin hareketlerini ve neler yapabileceğini analiz eder. Cismin hareketlerini hesaplayabilmek için Salvesen'in 1970 yılında dilim teorisi ile yaptığı çalışmalar kullanılmıştır. Bu çalışmalarda cismin hareketleri, birleşik olarak dalıp – çıkma ve

baş – kık vurma olarak dilim teorisine göre hesaplanır. Buna ek olarak sonuçlar grafik ve tablolar olarak da gösterilir. Ayrıca bu program içerisinde cismin hareketleri bir animasyon olarak da gösterilebilir.

Dilim teorisi, geniş bir deniz taşıtı yelpazesinde tutarlı denizcilik performansı sonuçları bulabilmeyi sağlar. Bu teoride alışan Maxsurf isimli bilgisayar programının Seakeeper modülü de hem analizinin güvenilirliği hem de analizi hızlı bir şekilde yapabilmesi sayesinde n dizaynda aşamasında en çok tercih edilen programlardan bir tanesidir. Bu alışma dahilinde de tüm analizler Maxsurf'n Seakeeper modülü ile yapılmıştır.

4. GEMİ HAREKETLERİNİN İNSANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Gemi dizaynı alanında yapılan Ar-Ge çalışmalarından büyük bir pay insanların performanslarını geminin hareketleri nedeniyle azaltacak nedenlerin ortadan kaldırılması ile ilgilidir. Gemi hareketlerinden dolayı ortaya iki temel problem çıkmaktadır. Bu problemlerden bir tanesi deniz tutması, diğeri de biyodinamik problemlerdir. Literatürde, deniz tutmasının oluşmasının nedeni belli bir zaman aralığında maruz kalınan hareketin frekansının düşük olması olarak gösterilmektedir. Biyodinamik problemler ise belli bir zaman aralığında maruz kalınan hareketin yüksek frekansta olmasından dolayı ortaya çıkar. Ancak bazı durumlarda biyodinamik problemler düşük frekanslarda da görülebilmektedir.

Dalgaların ortaya çıkardığı gemi hareketleri ve ivmelenmeler insanlar üzerinde olumsuz etki yapacaktır. Bu etki en basit düzeyde konforu bozacak ancak daha ileri düzeylerde deniz tutmasına neden olabilecek ve hatta insanların dengelerinin bozulması ile yaralanmalarına dahi neden olabilecektir. Bu etkiler yolcu taşıyan gemilerde gerek yolcu güvenliği açısından gerekse geminin ticari başarısı açısından çok önemlidir. Savaş gemileri, araştırma gemileri, balıkçı gemileri gibi geminin görevini yerine getirebilmesi açısından, mürettebatın etkin çalışabilmesi gereken gemi tiplerinde ise mürettebatın dalgalardan olabildiğince az etkilenmesine bağlı olacaktır.

4.1 Deniz Tutmasının Nedenleri

Deniz tutmasının nedeni üzerindeki teoriler veya deniz tutmasının nedenleri araştırıldığı zaman görülmüştür ki; deniz tutmasının ilk nedeni algısal çakışmadır. Bu algısal çakışmaları aşağıdaki mekanikleri takip ederler;

1. Hareket nedeniyle Görsel Uyarıcının, Akustik Sinir Reseptörler ile süperpozisyonu yüzünden meydana gelen “Görsel Atalet uyumsuzluğu”.
2. Görsel Uyarıcı yokluğunda, yarı – dairesel kanallar (Açısal Hareket Algılayıcıları) ile Çizgisel Hareket Algılayıcıları arasındaki çakışmadan meydana gelen kanal – kulak taşı uyumsuzluğu.

Deniz tutması oluşması için gerçekleşen her mekanizmada en az üç tane algısal süperpozisyon oluşmaktadır. Örneğin görsel – atalet süperpozisyonunda deniz tutması;

1. Eş zamanlı ancak çakışan görsel ve akustik sinir bilgilerinden dolayı oluşabilir. Örneğin kafayı hareket ettirirken, görüntüyü bozan optik bir cihaz takmak
2. Akustik sinir uyarıcıları yokluğunda hareketin görsel idrakinden dolayı oluşabilir. Örneğin durağan uçuş simülöründe hareket hastalığı
3. Görsel uyarıcı yokluğunda hareketin akustik sinir idrakinden dolayı oluşabilir. Asansör tutması bu duruma bir örnek olarak gösterilebilir.

Deniz tutması ile ilgili benzer literatürün incelenmesinden önce söyleyebiliriz ki, dizayndaki insani faktörler göz önünde bulundurularak deniz tutması etkileri birkaç önemli madde göz önünde tutulduğu zaman en aza indirilebilir. Geminin çalışacağı denizler, geminin ekipmanları ve geminin yapılma görevi ile ilgili deniz tutmasını etkileyen faktörler, Newman [4] ve Dittner ve Guignard'ın [5] yaptıkları çalışmalarda “Mühendislik İlkelerindeki İnsan Faktörü” adı altında 5 ilkede toplanmıştır.

1. Gemideki yaşam alanlarının geminin dönme merkezinin (Center of Rotation) civarına yerleştirilmesi
2. Gemi üzerindeki mürettebat ve yolcuların kafa hareketleri en aza indirilmesi
3. Kaptan köşkünün gemi gövdesinin asıl eksenine yerleştirilmesi
4. Geminin çalışabilirliğini, yaşanabilirliğini, hız koruma kabiliyetini ve beka kabiliyetini etkileyen şartların birden fazlasının gemiye etkimesi önlenmeli
5. Dizayn sırasında sadece üretim, hız, ekonomiklik gibi temel ilkelerinde haricinde, geminin temel denizcilik özellikleri ile ilgili dizayn kriterlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

4.2 Düşey ve Yatay İvmelenmeler

Deniz tutmasının temel nedeni 0.1 – 0.5 Hz arası frekanstaki düşey ivmelenmelerdir. Özellikle 0.125 – 0.25 Hz arası en kritik bölgedir. Deniz tutmasını etkileyen temel unsurlar arasında hareketin şiddeti, harekete maruz kalınan süre, hareket sırasında yapılan aktivite, yenilen yemek ve bireyin fiziksel özellikleri yer alır. 2 yaşından

küçük çocuklar deniz tutmasından etkilenmezken 4 – 10 yaş arası çocuklar en kötü etkilenen grubu temsil ederler.

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi düşey ivmeler ile yolcu ve mürettebatın konforu ve güvenliği arasında yakın ilişki bulunmaktadır. Bu yüzden özellikle mürettebatın işlevsel öneme sahip olduğu savaş gemisi, balıkçı gemisi ve araştırma gemilerinde düşey ivme kriterleri önem kazanmaktadır. Diğer taraftan yolcu gemilerinde yolcu konforu en önemli dizayn unsurlarından biri olduğundan her türlü yolcu gemisi için düşey ivme kriterlerinin belirlenmesi önemlidir.

Çizelge 4.1 : Düşey ivmelenme şiddetinin yolcu ve mürettebat üzerindeki etkisi [1]

Düşey ivme (g = 9,81 m/s²)	Yolcu ve mürettebat üzerindeki etki
0.275g	Basit ve hafif işler yapılabilir. Dengeyi korumak için özel gayret gerekir. Yüksek hızlı teknelerde ancak kısa süre için tolere edilebilir.
0.200g	Denize alışkın mürettebat uzun olmayan sürelerde çalışmayı sürdürebilir ancak kısa sürede dikkat dağılması ve yorulma başlayacaktır.
0.150g	Balıkçı tekneleri gibi teknelerde denize alışkın mürettebat uzun süre çalışabilir.
0.100g	ISO yarım saat dayanma sınırı olan bu ivme bir araştırma gemisinde bilimsel çalışma yapan personel için sınır kabul edilebilir. Gemi mürettebatı uzun süre bu ivme ile yaşayabilir.
0.050g	ISO iki saat dayanma sınırı. Yolcu ferisindeki yolcular için üst sınır, denize alışkın olmayan yolcuların yaklaşık % 10'unu deniz tutacaktır.
0.020g	Kruzer tipi büyük yolcu gemileri için üst sınır. Bu sınırın altında deniz tutması çok nadir görülür, aslı yolcular için üst sınır kabul edilebilir.

Çizelge 4.2’de de değişik araştırmacılar tarafından değişik gemi tipleri için önerilen düşey ivme kriterleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 : Değişik gemi tipleri için önerilen düşey ivme kriterleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	Düşey İvme (RMS)	Konum
Balıkçı	Aertssen	0.35 g	Baş
Destroyer	Comstock	0.2 g	Köprüüstü
Yük Gemisi	Landsburg	0.25 g	Baş

Çizelge 4.2 (devam) : Değişik gemi tipleri için önerilen düşey ivme kriterleri [1]

Sahil Güvenlik Botu	Baitis	0.2 g	Köprüüstü
Ticari ve Askeri	Chilo	0.2 g	FP
Destroyer	Bales	0.2 g	Köprüüstü
Destroyer	Conolly	0.23 g	Köprüüstü
Destroyer	Andrew	0.2 g	Köprüüstü
Su üstü Savaş Gemisi (Helikopter)	Brown	0.15 g	Helikopter Platformu
Balıkçı	Soares	0.35 g	FP
Balıkçı	Soares	0.2 g	Köprüüstü
Ticari (L < 100 m)	NORDFORSK	0.275 g	FP
Su üstü Savaş Gemisi	NORDFORSK	0.275 g	FP
Hızlı Karakol Teknesi	NORDFORSK	0.65 g	FP
Su üstü Savaş Gemisi	NORDFORSK	0.20 g	Köprüüstü
Hızlı Karakol Teknesi	NORDFORSK	0.275 g	Köprüüstü

Yatay ivme gerek deniz tutmasına yol açtığı ve gerekse mürettebat veya yolcuların dengesini kaybetmesine neden olduğu için gemide bulunan insanlar açısından önemlidir. Değişik gemi tipleri için önerilen yatay ivme sınır değerleri Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : Değişik gemi tipleri için önerilen yatay ivme kriterleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	Yatay İvme (RMS)	Konum
Balıkçı	Soares	0.15 g	Köprüüstü
Su üstü Savaş Gemisi (Helikopter)	Brown	0.25 g	Helikopter Platformu
Sahil Güvenlik Botu	Baitis	0.1 g	Köprüüstü
Su üstü Savaş Gemisi	NORDFORSK	0.10 g	Köprüüstü
Hızlı Karakol Gemisi	NORDFORSK	0.10 g	Köprüüstü

Yolcu veya mürettebatın dalgalardan ne kadar etkileneceğini belirlemek üzere sadece düşey veya yatay ivme şiddetini kullanmak genellikle yetersiz kalmaktadır. İvmelenmenin frekansı ve ivmelenmeye maruz kalınan süre de dalgaların insan üzerindeki etkisini önemli ölçüde etkilemektedir.

4.3 Deniz Tutması ile İlgili Standartlar

Deniz tutması ile ilgili ISO tarafından hazırlanmış ISO 2631 / 1, İngiliz standardı BS 6841 ve Amerikan Donanmasına ait MIL – STD – 147 standartları mevcut olup bu standartlar aşağıda incelenmektedir.

4.3.1 ISO Standartları ISO 2631

ISO 2631 standardı [6] 0,1 – 0,63 Hz arasındaki frekansta olan titreşimin insan vücuduna olan etkilerini inceler. Bu standardın kapsamına özellikle geniş frekans – dar dalga titreşimi ve geçici olarak rastgele veya periyodik olmayan titreşimleri belirlenen frekans aralığındaki hareketler girmektedir.

ISO 2631 / 1 “sert konforsuzluk sınırlarını” tanımlar. Şekil 4.1’de 3 farklı zaman aralığındaki (0.5, 2.0 ve 8.0 saat) RMS ivmelenmesi (m/s^2) ve frekans (Hz) grafiğidir. Herhangi özel bir frekans ve zamanda, ISO standardının sınırları, deniz tutmasından dolayı “sert konforsuzluk ve geçici işlev kaybı yaşamış” yaklaşık %10 erkek popülasyonunun maruz kaldığı ivme değerini belirler. ISO standardı “kadınlar erkeklere göre hareket hastalığından yaklaşık %5 daha çok etkileneceğini de söyler.

ISO 2631 / 1 standardı, Biyodinamik problemlerin meydana geldiği yüksek frekanstaki (1 – 80 Hz arası) tüm – vücut titreşimi ile ilgili sınırları belirlemektedir. Bu standart direkt olarak deniz tutması ile ilgili olmamasına rağmen, ISO 2631 kompleks düşey hareketleri ve kombine düşey ve yatay hareketleri azaltmak gerektiğini tavsiye eder. Şekil 4.1’de sürekli deniz yolculuğu yapmayan kişiler için çizilmiş denize dayanma sınırları görülmektedir. Bu grafik belirli bir frekansta yolcu ya da mürettebat üzerine etkiyen düşey ivmelenme değerini, kişinin bu harekete yarım saat, 2 saat ve 8 saat maruz kalması halinde kişiyi deniz tutup tutmayacağını göstermektedir. İnsanların belli bir süre dayanabileceği düşey ivmenin şiddet ve frekansı ISO 2631 / 1 standardında da tanımlanmaktadır. Bu sınırlar genellikle yolcu konforunu esas almaktadır ve özellikle savaş gemileri, balıkçı gemileri ile yüksek

süratli teknelerde kullanımı uygun olmayacaktır. ISO 2631 / 1 düşey ivmenin şiddetine ve maruz kalınan süreye göre aşağıdaki gibi bir deniz tutması dozu (Motion Sickness Dose Value – MSDV) tanımlanmaktadır.

$$\text{MSDV} = a \sqrt{T_0} \quad (4.1)$$

Burada a RMS düşey ivme şiddetini ve T_0 bu ivmeye maruz kalınan süreyi temsil etmektedir.

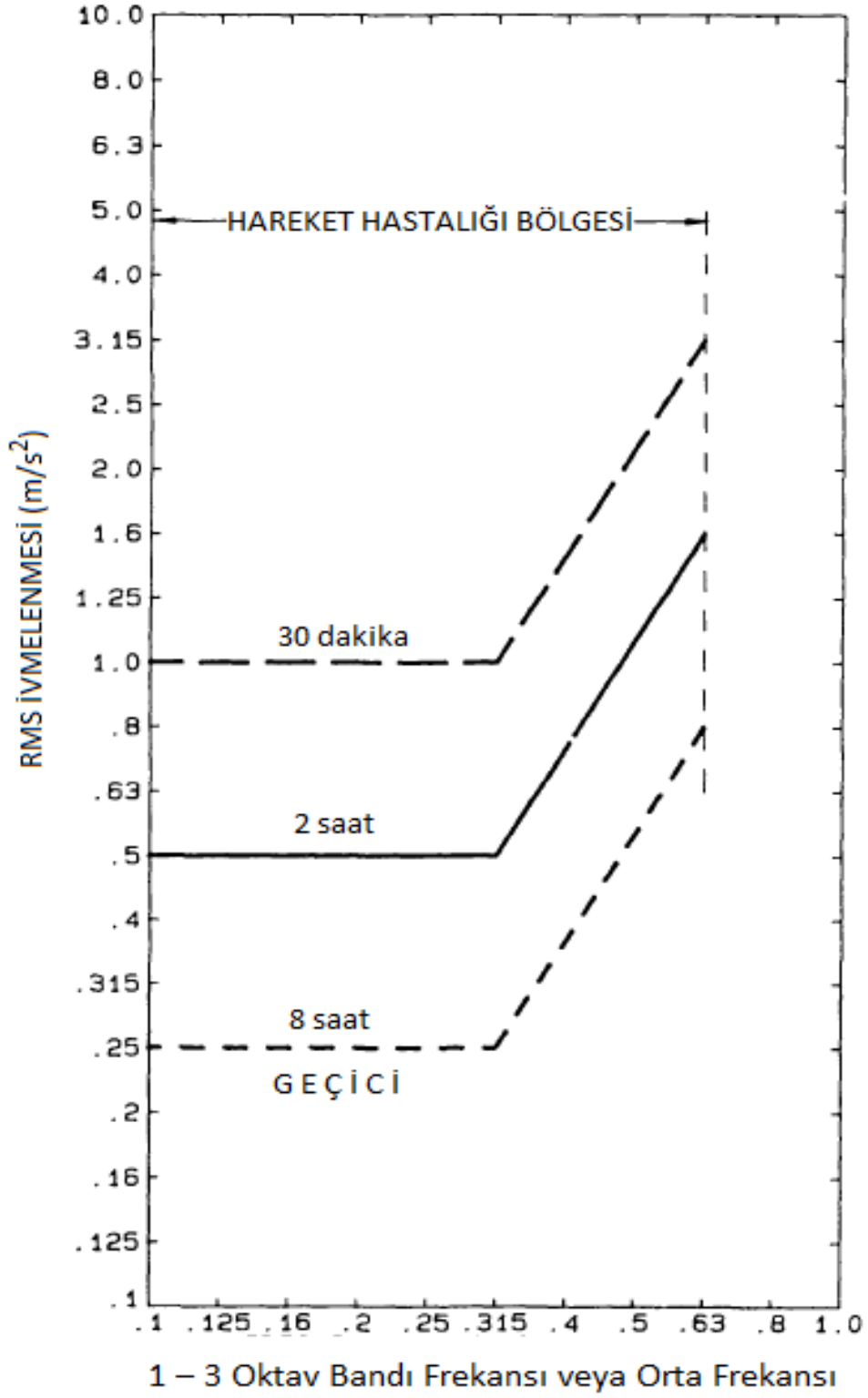
Konforu düşürmesini yanında, gemi hareketleri insanların çalışmasını engelleyebilir. Hatta yapmaları gereken işleri yapmamasına neden olabilir. Bu nedenle dalgalı denizlerde kaptan ya da geminin işletimini sağlayan mürettebatın aldığı kararlar büyük önem taşır. Hareketlerin insanların davranışlarına olan etkileri tam olarak bilinemese de, genel olarak ivmelenmenin ve ivmelenme periyodunun hareketler üzerinde etkilidir. Bunlar bağıl hareket konseptinin bir birleşimi olarak karşımıza çıkarlar. Bunun için de harekete maruz kalan objelerin ivmelenme ve frekansın bir kombinasyonu belirlenir.

4.3.2 İngiliz Standardı BS 6841

BS 6841, 1987 [7] standardı deniz tutmasının tahmini için nicel bir rehberdir. Özellikle bu standardın içinde Deniz Tutması Dozu (Motion Sickness Dose Value – MSDV) olarak adlandırılan deniz tutmasının sıklığını belirten yönergeleri vardır.

4.3.3 Amerikan Donanması Standardı MIL – STD – 1472

Amerika Donanmasının konu ile ilgili kuralı MIL – STD – 1472 [8]'dir. Bu standart, hareket hastalığını önlemek için, düşük frekans titreşim değerinin belirlenen değerleri geçemeyeceğini belirtmektedir. Bu değerler McCauley yöntemi ile hesaplanmıştır ve ilerideki bölümlerde anlatılacaktır.



Şekil 4.1 : Sürekli deniz yolculuğu yapmayan kişiler için dayanma sınırları [1]

4.4 Deniz Tutması Tahmini

Bu bölümde harekete bağlı deniz tutmasını tahmin etmek için 2 metod anlatılacaktır.

1. Deniz Tutma Hastalığı (Motion Sickness Incidence – MSI) (O’Hanlon ve McCauley [9] ve McCauley et al. [10])
2. İstifra Tekrar Olasılığı (Vomiting Incidence – VI), Lawter ve Griffin [11,12])

Bu iki metoddaki da deniz tutması, belirli bir zamandan sonra deniz tutmasına maruz kalan kişilerin tüm yolculara olan yüzdesi olarak ifade edilir.

Yukarıdaki iki metod da 3 farklı özel problemi paylaşmaktadır.

1. Tekil – frekans deney datalarına dayanmaları
2. Gözlem için uzun zaman aralıklarının kullanılması veya tekrarlanan hareketlere alışmanın bu metotlarda geçerli olmamaları
3. Tahmin edilen MSI’nın insanın performansını ölçmek için iyi bir birim olmaması

4.4.1 Deniz Tutması İndisi (Motion Sickness Incidence – MSI)

O’Hanlon ve McCauley [9] ve Mc Cauley et al. [10] çok sayıda genç erkek akademi öğrencisi üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirdiler. Bu deneylerde kobay olarak kullanılan öğrenciler, tekil frekans, sinüzoidal ve dikey hareketlere maruz kaldılar ve deneyin sonucunda düşey ivmelenme şiddeti, frekansı ve maruz kalınan süreye bağlı olarak bir deniz tutması indisi geliştirildi. Bu indis belirli düzey frekansta düşey ivmelenme sonucu deniz tutmasına maruz kalacak insanları yüzdesini temsil etmektedir.

$$MSI = 100 \Phi(z_a) \cdot \Phi(z_t^1) \quad (4.2)$$

Burada $\Phi(z)$ standartlaştırılmış normal değişken z 'nin kümülatif dağıtım fonksiyonudur.

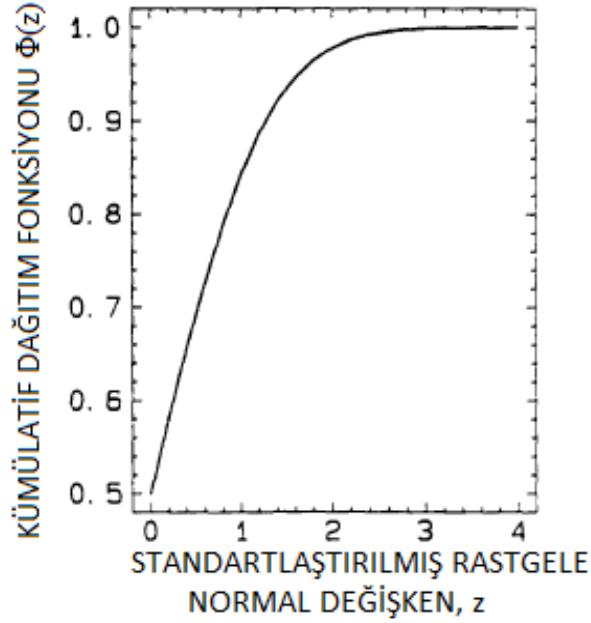
$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \quad (4.3)$$

$$z_a = \frac{\log(a) - \mu_a(f)}{\sigma_a} \quad (4.4)$$

$$z_t^1 = \frac{z_t - \rho z_a}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (4.5)$$

$$z_t = \frac{\log(t) - \mu_t}{\sigma_t} \quad (4.6)$$

Burada a RMS büyüklüğündeki dikey ivmedir (m/s^2), f ivme değerinin frekansı (Hz), t ölçümün yapıldığı zamandır (dakika). Geriye kalan parametreler O'Hanlon ve McCauley [9] deneysel verilerinden çıkmıştır. Aşağıda kümülatif dağıtım fonksiyonu $\Phi(z)$ ile standartlaştırılmış rastgele normal değişken z grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : $\Phi(z) - z$ grafiği [13]

$$\mu_a = 0.87 + 4.36 \log(f) + 2.73 (\log(f))^2 \quad (4.7)$$

$$\mu_t = 1.46, \sigma_a = 0.47, \sigma_t = 0.76, \rho = -0.75 \quad (4.8)$$

Yukarıdaki ifadelerin bir diğer gösterimi de aşağıdaki gibidir.

$$MSI = 100 \left\{ 0.5 + \operatorname{erf} \left[\frac{\log_{10} \left(\frac{|\ddot{s}_3|}{g} \right) - \mu_{MSI}}{0.4} \right] \right\} \quad (4.9)$$

Burada;

$$\mu_{MSI} = -0.819 + 2.32 (\log_{10} \omega_e)^2$$

$|\ddot{s}_3|$ = ortalama düşey ivme

ω_e = karşılaşma frekansdır.

ISO 2631 / 1 standardında MSI hesabına göre %10 değerini sivil yolcular için ciddi rahatsızlık sınırı olarak kabul etmektedir. Savaş Gemilerinde mürettebat gemi hareketlerine daha alışkın olduğu için STANAG 4154, 4 saatlik bir süre için MSI %20 değerini sınır kabul etmektedir. 2 saatlik bir süre için de bu değer %35 alınacaktır. Baitis [14] sahil güvenlik botları için 4 saatlik bir süre için MSI değerini %50 olarak kabul etmektedir.

MSI metodu, sinüzoidal ve dikey ivmelerinden dolayı meydana gelen deniz tutmasının tekrarlama olasılığının tahmini için yazılmış basit ve kısa bir algoritmadır. Metot, laboratuvar ortamında, hareket kaynaklı deniz tutmasının üzerinde iki nirengi noktalı parametrik çalışmalarda gözlemlenen istatistik temelli verileri kullanır.

MSI metotları deniz tutması ile ilgili olan standartları oluşturmuşlardır. Ancak Lawter ve Griffin'in [15] yaptıkları çalışmalar göstermiştir ki, MSI metodunda %1 hata payı ve %6'lık bir standart sapma vardır. Applebee, McNamara ve Baitis'in [16] yaptıkları çalışmalarda, Amerikan Donanmasına ait Sahil Güvenlik Gemilerinde yapılan testlerden elde ettikleri sonuçların MSI metodundan çıkan sonuçlara çok uygun olmadığını görmüşler ve bunun nedeninin, hatanın öncelikli olarak modelin ve inceleme zamanının doğru olmamasıyla alakalı olduğu göstermişlerdir. MSI'nin oluşturulmasındaki deneyler, her bir kenarı 30 dakika içerisinde sabit bir hızla geçilebilen sekizgen bir parkurda yapılmıştır. MSI tahminleri yarım saatlik zaman dilimlerinde yapılmalarına rağmen gerçek gözlemin zaman aralığı daha geniştir. Çünkü, deneyin yapılacağı sahaya gitmek için harcanan 3 – 4 saatlik zaman deneylere dahil değildir. Ayrıca yarım saatte geçileceği hesaplanan kenarlar deney

esnasında yarım saatte geçilememiştir. Bununla beraber hesaplamalar da 4 günde yapılmıştır. Yani tüm durumların bileşkesinde uygun bir deney modeli hazırlanmıştır. Bu model dahilinde değişen hareketler ve bu hareketlerin insanlar üzerindeki etkilerini de göz önünde bulundurulmuştur.

4.4.2 İstifra İndisi (Vomiting Incidence – VI)

Lawter ve Griffin [11] yaptıkları çalışmalar sonucunda, İstifra İndisi (Vomiting Incidence – VI) adında bir parametre bulmuşlardır. Gösterimi VI olan bu parametre McCauley et al. [10]'in bulduğu parametre kadar gerçeğe yakındır. İki yöntem arasındaki fark kullanılan metotların farklı olmasıdır. Lawter ve Griffin'e [11] göre VI (%)'nin formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$VI = K d = \frac{30}{85} d \quad (4.10)$$

Bu formüldeki K ampirik sabit, d ise aşağıda belirtildiği gibi dikey ivmelenmedeki kümülatif dozu temsil eden parametredir.

$$d = \left(\int_0^T a_{f_w}^w(t) dt \right)^{1/2} \quad (4.11)$$

Burada $a_{f_w}^w(t)$ frekans ağırlıklı düşey ivmelenmedir (m/s^2) ve T ivmelenmenin gözlemlendiği zaman aralığıdır (sn.). Böylece d'nin birimi ($m. s.^{-1.5}$), K'nın birimi ise ($\% / m. s.^{-1.5}$) olur.

Formülde a (t) yerine $a_{f_w}(t)$ sembolünün kullanılmasının nedeni, ivmenin frekans bazlı olmasıdır. Bu doz konseptini Griffin [17], yüksek frekans, Tüm Vücut Titreşimi (WBV) problemleri ve hareket kaynaklı deniz tutmasına uygulamak için geliştirmiştir. VI tekil frekans bazlı faktörle şu hale gelir.

$$d = \left(\int_0^T a_{f_w}^w(t) dt \right)^{1/2} \approx \left(\int_0^T a^2(t) dt \right)^{1/2} WF(f_m) = a_{RMS} \sqrt{T} WF(f_m) \quad (4.12)$$

Burada a(t) dikey ivmelenmedir (m/s^2), a_{RMS} RMS dikey ivmelenmesidir. (m/s^2). Burada $WF(f_m)$ değeri, ivmelenme spektrumunun modal frekansında uygulanan

Lawter ve Griffin [15] tarafından bulunmuş boyutsuz frekans ağırlık faktörüdür. Bu yaklaşım dar – bantlı hareketlerde gerçeğe uygun sonuçlar verirken, tekil frekanslı sinüzoidal hareketlerde kesin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Geniş – bant hareketleri için bu yaklaşım ileriki bölümlerde anlatılacaktır. Herhangi bir durumda, bu yaklaşım VI metodu için uygun basitleştirmeler sunmuştur.

Herhangi bir frekansta, f , ağırlık faktörü, $WF(f)$ aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

$$WF(f_m) = \frac{\overline{VI}(f)}{\overline{VI}_{\max}} = \frac{\overline{VI}(f)}{23.0} \quad (4.13)$$

Lawter ve Griffin'e [15] göre normalleştirilmiş VI değeri olan $\overline{VI}(f)$ ve $\overline{VI}_{\max} = 23.0$ (% / ms⁻²) normalleştirilmiş VI'nın en yüksek değeridir. $\overline{VI}(f)$ değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\overline{VI}(f) = \frac{VI(f)}{a(f)} \quad (4.14)$$

Burada $a(f)$ değeri ivmedir. Ayrıca $\overline{VI}(f)$ değeri aşağıdaki gibi de hesaplanabilir.

$$\overline{VI}(f) = 10^{\{A \log(f) + B\}} \quad (4.15)$$

A ve B değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : $\overline{VI}(f)$ değerindeki A ve B değerleri [13]

Frekans (Hz)	A (log % / ms ⁻²) (log ⁻¹ (Hz))	B (log % / ms ⁻²)
0.028 – 0.105	2.228	3.459
0.105 – 0.129	0.928	2.187
0.129 – 0.270	0.0	1.362
0.270 – 0.495	-2.060	0.191
0.495 – 0.850	-3.490	-0.246

VI değeri ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$VI = 0.0153 a_{RMS} \sqrt{T} 10^{\{A \log (f) + B\}} \quad (4.16)$$

Burada a_{RMS} düşey ivme (m/s^2), T ivmelenmenin gözleendiği zaman aralığı (sn.), A ve B frekans ağırlıklı sabitler, ivmelenmenin f frekans (Hz), sabit 0,0153 da;

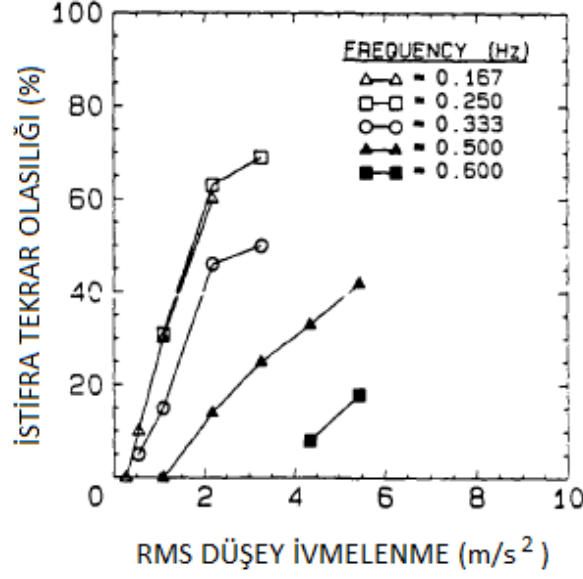
$$K / \overline{VI} \max = 30 / 85 \times 1/23 \text{ tür.} \quad (4.17)$$

VI metodu düşey ivmelenmenin büyüklüğünü, frekansını ve maruz kalınan zamanına göre deniz tutmasını tahmin etmeye yarayan basit ve yarı ampirik bir metottur. Düşey ivmelenmeye karşı insan tepkilerinin modelini aşağıdaki gibi iki önemli varsayıma dayandırır. Bunlar;

1. Sabit frekansta, düşey ivmelenmenin bir büyüklüğü olan RMS'nin lineer bir fonksiyon olduğu
2. Doz parametresinin lineer bir büyüklük olduğudur.

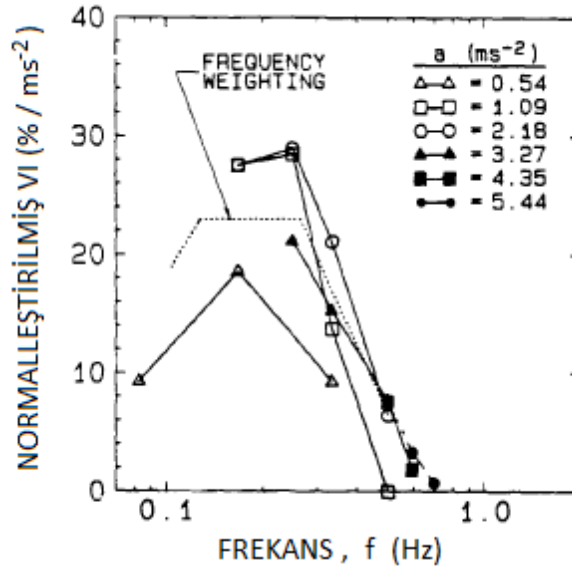
Belirtmek gerekir ki, bu varsayımlar deniz şartlarını %100 yansıtmamaktadır. Birinci varsayımda normalleştirilmiş istifra olasılığı değeri kullanılmaktadır ($\overline{VI} = VI / a$). İkinci varsayım ise VI'yı doz değerinden hesaplatmaktadır. ($VI = K \cdot d$)

Aşağıda öne sürülen kısıtlamaların VI metodunun yolcu ferilerinde uygulanmasını engellemediğini önemle vurgulamak gerekir. Ancak bu kısıtlamalar metodun deniz şartlarına uygun olmadığını öne sürmektedir. Ayrıca Lawter ve Griffin [15], O'Hanlon ve McCauley'in [9] üzerinde deney yaptığı grupların dışında gruplarla da çalışmışlardır. Deneylerinde kadın erkek oranı dengelidir ve 15 yaşının altındakiler denek olarak kabul edilmemişlerdir. Aşağıdaki şekil, sabit frekansta ve 115 dakikalık gözlem süresi içerisinde, ivmelenme büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak VI'yı göstermektedir.



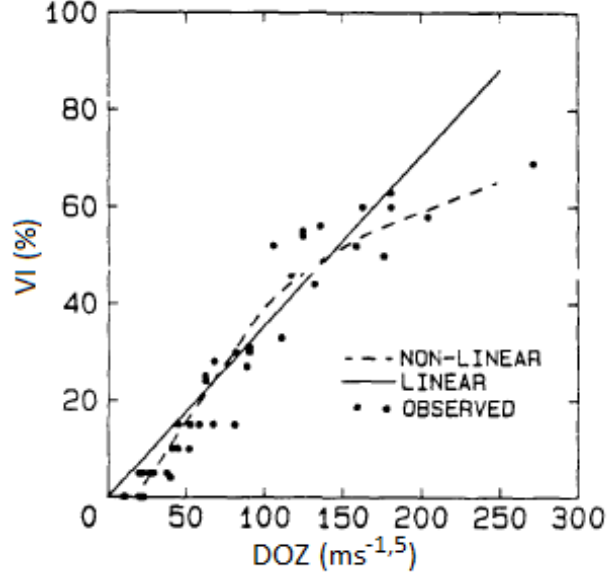
Şekil 4.3 : RMS düşey ivmelenme ve VI (%) grafiği [13]

Bu şekilde görünüyor ki, $(VI = A(a) + B)$ olan ilk yaklaşım yaklaşık %40'lık değer için tanımlıdır.



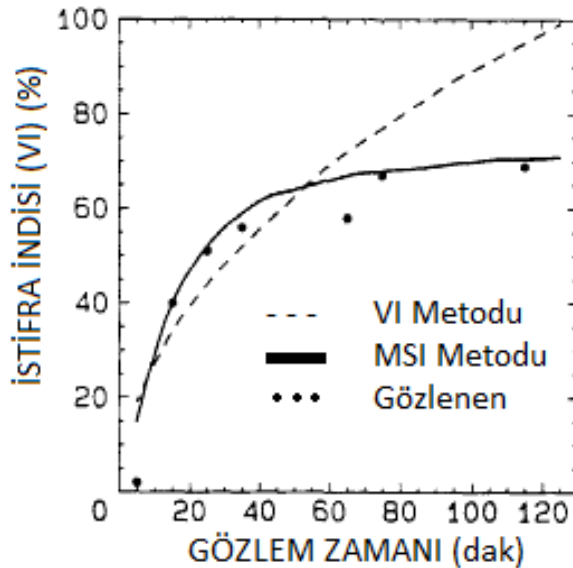
Şekil 4.4 : VI metodu frekans ağırlıklı eğrisi ve normalleştirilmiş VI [13]

Yukarıdaki şekilde 6 farklı ivmelenme değeri için VI'nın frekans ve sabit ivmelenmedeki değeri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi tüm datalar tekil bir frekansta ve sinüzoidal hareket esnasında hesaplanmıştır. Aşağıdaki şekilde ise ikinci yaklaşım olan VI'nın doza bağlı olması yaklaşımıdır.



Şekil 4.5 : Lineer ve gözlemlere göre lineer olmayan bir eğri geçirilmiş VI (%) [13]

Lineer olmayan eğri, gözlemlere daha yakın bir şekilde hazırlanmış olmasına rağmen, hesabı belli bir zaman aralığı ile sınırladığımız zaman VI ve MSI yöntemlerinin karşılaştırılması ve gözlemler Şekil 4.6'daki gibi olur. Şekil 4.6'da belirli bir zamanda VI'yı 0.25 Hz frekans ve 0.333 (m/s²) RMS düzey ivmelenmesinde MSI ve VI metotlarının sonuçlarının gözlemler ile karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : VI – MSI karşılaştırılma grafiği [13]

4.5 Kompleks Hareketler

Kompleks hareketler ISO 2631 standardında şöyle belirlenmektedir;

1. Tekil frekans: Tek, sinüzoidal sabit – frekanslı hareketler
2. Çoğul frekans. İki ya da daha fazla süperpoze olmuş, sinüzoidal sabit frekanslı hareketler (geniş bantlı olmayan, sonlu sayıda dalgalar)
3. Dar bant: Tüm belirgin enerjiler tek 1 – 3 oktav arasındaki bantta oluşuyorsa dar bant.
4. Geniş bant: Tüm belirgin enerji birden çok 1 – 3 oktav arasındaki bantta oluşuyorsa geniş bant olarak adlandırılmaktadırlar.

Konu ile ilgili olan ISO 2631 / 1 standardı 1 – 3 oktav bantlarının merkez frekans bantlarını, frekans temelli datalar olarak kabul etmektedir. Gözlenen platformun şekline ve işletim koşullarına bağlı olarak tipik karşılık spektrumları 6 ya da 12'den fazla 1 – 3 oktav bantlarının belirgin enerjilerini gösterirler.

İnsan tepkileri ile ilgili literatür araştırmaları yaparken çoklu frekans ile dar bant kavramlarının aynı anlamda kullanıldığı görülebilir. Ancak aralarında büyük farklar vardır. Gemi hareketleri gerçek seyrüseferler sırasında dar bantlı hareketlidir. Diğer taraftan denize karşılık oluşan hareketleri yaratan enerji hem dar bantlı hem de çoklu frekansta olabilir.

Daha önce anlatıldığı üzere, tüm MSI ve VI metotları O'Hanlon ve McCauley [9] ve McCauley et al.'in [10] tekil frekanslı düşey ivmelenmeler deneylerine dayanmaktadır. Gerçekte ise, bu deneyleri “sinüzoidal” kontrol hareketleri nedeniyle dar bantta yapılan deneyler olarak düşünmeliyiz. Böylece MSI metodu dar bantlı hareketlerde daha iyi sonuçlar verebileceği halde, deniz şartları tipik geniş bantlı ve düşey olmayan hareketleri de barındıran bir yapıdadır.

ISO 2361 düşey olmayan hareketler olduğunda (özellikle baş – kık vurma ve yalpa hareketleri esnasında) mevcut ivmelenme değerini %25 azaltınca sınır değerler dahilinde kalındığını belirtmektedir. Baş – kık vurma yalpa hareketleri gemi hareketlerinin her hesaplanmasında göz önünde bulundurulması gerekirken, düşey olmayan ivmelenmeler başka bir problem olarak ortaya çıkar. Irwin ve Goto [18] yılında düşük frekanslı yatay hareketlerin meydana getirdiği deniz tutmasını ve buna

bağlı semptomları incelemiştir. Düşey hareketler bazı deniz çevrelerinde daha çoktur ve bu hareketler deniz tutması ile belli bir korelasyon içerisindedirler.

4.6 Alışma

Glaser [19], Money [20], Wiker, Pepper ve McCauley [21] adaptasyon ve alışma ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Money [20] yılında aşağıdaki kavramları belirlemiştir.

Alışma kavramı aslında üç farklı olaydır:

1. Uyarıcılara giden tepkilerde değişim (tepki reddi ya da tepkilerde azalma da denebilir)
2. Tepki retleriyle ilgili vücut mekanizmasının değişmesi
3. Vücut mekanizmasındaki kazançlı değişimler

Alışma ise alışma dahilinde edinilen kazançlar ve tepkilerdeki azalma olarak düşünülebilir. Alışmanın modellenmesi ile ilgili Andrews ve Lloyd [22] iki RN firkateyni ile bir dizi deneyler yapmışlardır. Bu deneyler esnasında, köprüüstünde 0.125 (g) gibi ortalama bir düşey ivmelenmede yüksek VI görülürken (%37), yüksek ortalama ivmelenmede (0.160 g) daha düşük bir VI gözlemlenmiştir (%26). Bu çelişki bağıl gözlem zamanları ile açıklanmıştır. Yüksek ivmelenme değerleri ve düşük VI denizdeki 4. günde görülmüştür. Ancak düşük ivmelenmeler ve yüksek VI deneyin 2. gününde gözlemlenmiştir.

Her ne kadar alışmadan bahsetsek de, Thomas, Guignard ve Willems'in [23] yaptığı deneylerde "alışmanın" bazı beklenmedik ve nadir görülen hareketlerde meydana gelmediği farkedilmiştir. Ayrıca deniz şartlarına alışma ile ilgili olmayabilen deneysel ve gözlemsel koşulların çeşitliliğine rağmen, alışkanlık kazanma ve alışkanlık kaybetme oranı farklı şartlara bağlıdır. Yani bulunulan ortama göre o şartlara alışkanlık kazanılabilir de, alışkanlık kaybedilebilir de.

Alışkanlık ile ilgili iki tane istisnai durum vardır. Bunlar öncelikli olarak optik tepkilerin ölçülmesi ile belirlenen alışkanlık, diğeri de uzay uçuşundaki alışkanlıktır [24, 25, 26, 27, 28, 29]. Birinci durumda, optik tepkiler indüklenmiş koryolis

kuvvetler (Büyük açısal hıza sahip bir dönme yaparken kafanın hareket etmesi) ve kalorik test (kulakların sıcak ve soğuk ile uyarılması) tarafından meydana gelir. Optik tepkiyi ölçen iki yöntem on saniyede bir ölçülen Okülerjik ilizyon (OGI) ve Göz Titremesidir (Nystagmus). OGI sabit bir objenin ne kadar hareket ettiğini gördüğümüzü ölçer. Göz titremesi ise uyarıcıları provoke ettikten sonra gözlerin bakma eksenlerindeki kayıp oranlarını incelemektedir. Bu optik tepkiler uzay şartlarına direk olarak uygulanabilen vestibuler alışmanın fizyolojik temellerine dayanır. İkinci durum ise insan üzerindeki yerçekimi kaldırılıp yapılan uzun süreli testlerdir. Bu testlerde farklı bir fizyolojik olay incelenir. Bu olayı tüm vücut sıvılarının yer değiştirmesidir ve aslında bu değişim deniz tutmasının ana nedenlerinden birisi sayılabilir. Ancak bu uzay şartlarına alışma maalesef deniz şartlarındaki alışma deneylerine adapte edilememektedir. Bunun dışında alışmayla ilgili ilaç tedavisi de yapılmaktadır.

4.7 Semptomlar ve Deniz Tutması Şiddeti

Yukarıda anlatılan metotlar deniz tutmasının tahmini için metotlardı. Money'in [20], Reason'un [30] ve Muir'in [31] yaptıkları deneylerde deniz tutmasıyla alakalı semptomlar araştırılmıştır. Graybiel et al.,in [32] ve Graybiel ve Lackner'in [33] yaptıkları çalışmalarda gözlenen deniz tutması şiddeti ve semptomların ile ilgili bir "keyifsizlik" skalası hazırlamışlardır.

4.7.1 Deniz Tutması Semptomlarının Şiddeti (Motion Sickness Symptomatology Severity – MSSS)

Wiker'in, [34] Wiker, Pepper ve McCauley'in [35, 36], Woolaver ve Peters'in [37] ve Wiker ve Pepper'in [38] yaptıkları deneysel çalışmalar, 29 m.lik Sahil Güvenlik Karakol gemisi, 115 m.lik Sahil Güvenlik gemisi ve 27 m.lik deneysel Amerikan Donanması SWATH Teknesinde yapılan denizcilik testleri ile birleştirilmiştir. Gemiler, güvertelerin ve gemilerin hareketlerini ayrı ayrı gösteren ve kaydeden cihazlarla donatılmışlardır.

MSSS skalası deniz tutması semptomlarının anketlerinin sonuçlarına göre oluşturulmuştur. MSSS değerlerinin objektif ve sübjektif şiddetlerinin bilimsel olarak güvenilir olmasına neden olur. Ayrıca MSSS skalası ilk istifra vakasının yaşanacağı zamanın tahmininde de güvenilir bir yoldur.

4.7.2 Uykulu Olma Hali, Uyuşukluk ve Bitkinlik

Birçok çalışma deniz tutması semptomlarından uykulu olma hali ve uyuşukluğu birbirinden ayırır. Hatta bitkinliğin bir semptom olmadığı bile söylenmiştir. Bitkinlik kelime anlamı olarak “güç kullanımından sonra yorulma” olmasına rağmen buradaki önemli nokta bitkinliğin nasıl ortaya çıktığıdır. Deniz tutması ve bitkinliğin birlikte görülmesi, bu iki belirtinin tek tek ortaya çıkmasından her zaman daha kötü bir durumdur. Aslında bitkinlik daha çok, zor koşullarda denizde durmakla daha çok ortaya çıkmaktadır (Örneğin, kış aylarında Kuzey Atlantik’te seyrüsefer).

4.7.3 Hastalık Derecelendirmesi (Illness Rating – IR)

Lawter ve Griffin [11, 12, 15, 39] yaptıkları çalışmalarda Hastalık Derecelendirmesinin (IR) VI dozu ve düşey ivmelenme ile bir korelasyon içinde olduğunu göstermiştir. IR olarak gösterilen Hastalık Derecelendirmesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$IR = \frac{N_1 + 2N_2 + 3N_3}{N} \quad (4.18)$$

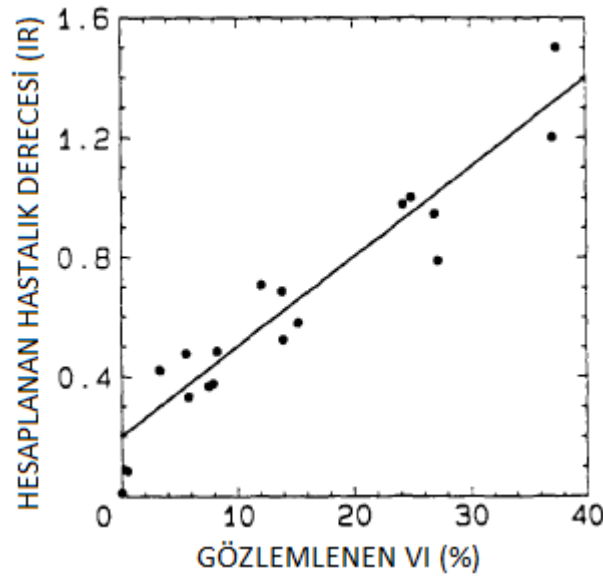
Burada N_1 deniz şartlarında “kendini iyi hissetmeyen” kişilerin sayısıdır. N_2 “açık ara kendini hasta hissedenlerin” sayısıdır. N_3 ise “kesinlikle kendini ölümcül derecede hasta hissedenlerin” sayısıdır. Burada N değeri gözlem yapılan yolcu ya da mürettebatın toplamının sayısıdır. Formülde görünmese bile katsayısı ve indisi 0 olan N_0 gösterimli “kendini iyi hissedenlerin sayısı” bileşeni de vardır, ancak katsayısı 0 olduğu için sonucu etkilememektedir.

4.7.4 Semptom Şiddeti, Hastalık İndisi ve Performans

IR ve Lawther ile Griffin'in [11, 12, 15, 39] yılında yaptıkları deneylerden alınan datalar ile gözlemlenen VI'lar arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$IR = 0.030 VI_{obs} + 0.20 \quad (4.19)$$

Burada IR hastalanma derecesi ve VI_{obs} gözlemlenmiş deniz tutması tekrarı ihtimalidir. (VI metodu ile tahmin edilen değerler değildir). Şekil 4.7 bu datalardan yararlanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.7 : IR ve gözlemlenen VI grafiği [13]

4.8 Bağlı Hareket Şiddeti (Subjective Motion Magnitude – SMM)

1975 yılında Lloyd ve Andrew [40] Amerikan Hava Kuvvetlerinin pilot adaylarının düşey ivme şiddeti ve frekansına bağlı olarak ne kadar rahatsız olduklarını belirlemek için SMM metodunu geliştirmişlerdir. Metodun oluşturulma sürecinde aynı zamanda düşük frekans titreşimlerinin bağlı tepkilerini inceleyen Shoenberger'in [41] deneysel verilerinden yararlanılmıştır. Bu yöntemde genliği 0.46 g ve frekansı 1 Hz olan düşey sinüzoidal ivmenin SMM değeri 10 kabul edilmiş ve pilot adaylarının değişik salınım şiddet ve frekanslarını buna göre kıyaslaması istenmiştir. Bu çalışma sonucunda aşağıdaki ampirik formül elde edilmiştir.

$$SMM = A \left[\frac{\ddot{s}}{g} \right]^{1.43} \quad (4.20)$$

$$A = 30 + 13.53 (\ln f)^2 \quad (4.21)$$

Burada \ddot{s} düşey ivme genliğini (m/s^2), f salınım frekansını (Hz) ve g yerçekimi ivmesini ($9.81 m/s^2$) temsil etmektedir.

Gemi üzerinde her noktada düşey ivmeler farklı olacağı için SMM değeri insanların görev yaptığı konumlarda önem kazanmaktadır. Ancak bu konumlar çok fazla sayıda olabileceği için tüm gemi boyunca geçerli bir ortalama SMM kavramı geliştirmişlerdir.

$$SMM = \frac{\sum w_i SMM_i}{\sum w_i} \quad (4.22)$$

Burada toplama işlemi gemi boyunca olacak ve w_i ağırlık katsayısı köprüüstünden (x_B) gemi başına kadar olan bölgede 1, kıç tarafta ise (x / x_B) alınacaktır. Ayrıca bu deneyler aşağıda anlatılacak olan sürüş kalitesinde de etkilidir. Aşağıdaki çizelgede çeşitli gemi tipleri için SMM değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Değişik gemi tipleri için SMM değerleri [1]

Gemi Tipi	Öneren	SMM
Suüstü Savaş Gemisi	Lloyd ve Andrew	15
Suüstü Savaş Gemisi	Andrew ve Lloyd	12
Hızlı Feribot	Aertssen	15
Balıkçı	Spouge	15

4.9 Deniz Tutmasını Belirleyen Diğer Bileşenler

Deniz tutmasını belirleyen çeşitli bileşenler vardır. Bunlardan birisi sürüş kalitesidir. Payne'nin [42], Stark'ın [43, 44], Allen ve Farris'in [45] yaptıkları birleşik yaklaşımlarda sürüş kalitesini hem düşük frekans hem de yüksek frekans için tayin etmişlerdir. Düşük ve Yüksek frekans hareketlerinde zaman çok önemlidir. Çünkü uzun süre düşük frekanslı harekete maruz kalan kişilerde deniz tutması etkileri azalırken, yine uzun süre yüksek frekanslı hareketlere maruz kalınca biyodinamik etkiler artış gösterir.

Deniz tutması için ilaç tedavisi, alışmayı arttırdığı ve deniz tutması semptomlarını azalttığı için tercih edilen bir uygulamadır. Burada anlatılan deniz tutması modellemelerinin hiçbirisinde ilaç tedavisi sonrasında elde edilen veriler yoktur ya da ilaç tedavisi görmüş kişilerin oranı ilaç almamışların yanında ihmal edilecek kadar azdır. Dünya üzerindeki denizde çalışan kişilerin ortalama %12'si seyrüseferlerden önce ilaç almaktadır.

Deniz tutmasına karşı hassasiyet ise; 1983 yılında Thomas, Guignard ve Willems'in [46] yaptığı çalışmalar göstermiştir ki, deniz tutmasına karşı olan hassasiyet toplumdaki topluma değişmektedir. ISO 2361/1 standardında "normal yolculuk eden halkın %5'i 0.63 Hz'nin altındaki hareketlere bile asla adapte olamamaktadır." Bu aşırı hassasiyet oranı donanma çalışanları arasında çok belirgin değildir. Anketlere göre donanma çalışanlarının %4 ile %13'ü arası sert denizlerde her zaman deniz tutmasına maruz kalmaktadırlar. Bu çok yüksek bir oran olmasına rağmen anketlerde belirtilen sert deniz koşulları normal deniz yolcuları üzerinde test edildiğinde, değer normal deniz yolcuları arasında çok daha yukarılara çıkmaktadır. Donanma çalışanlarında hiçbir deniz koşulunda deniz tutmasına maruz kalmayanların oranı %32 olarak belirtilmektedir. Landolt ve Monaco'nun [47] yaptıkları deneylerde aşırı deniz şartlarında %100'e varan VI'ler de görülmüştür ancak bu aşırı deniz şartları bu deney için "kapalı bir can salına bindirilip sert denize atılma" olduğu için gerçek deniz koşulları ile bir alakası olmadığını belirtmekte fayda vardır.

4.10 Biyodinamik Problemler

Biyodinamik problemler 1 Hz'nin üzerindeki Tüm Vücut Titreşimleridir (Whole Body Vibration WBV). Tüm Vücut Hareketi (Whole Body Motion– WBM) ise iki kategoride açıklanabilir. Bunlardan ilki Hareket Kaynaklı Rahatsızlıklar (Motion Induced Interruptions – MII) ve uzun dönemde, Hareket Kaynaklı Bitkinlik (Motion Induced Fatigue – MIB). Önceki bölümlerde de bahsettiğimiz üzere WBM problemleriyle ilgili ISO standartları vardır. Yüksek frekanslarda ise WBV'ler incelenir. WBV problemlerini kontrol problemleri, görüş problemleri, seyir konforu ve kalitesindeki değişimler olarak sınıflandırılmışlardır. Ancak burada başka kaynaklarda görülebilen gürültü rahatsızlığı incelenmeyecektir.

4.10.1 Hareket Kaynaklı Rahatsızlıklar (Motion – Induced Interruptions – MII)

Hareket Kaynaklı Rahatsızlıklar lokal hareketler nedeniyle kişinin dengesini kaybetmesi ve yaptığı işi yapamaması olarak tanımlanmaktadır. MII konseptini Applebee, McNamara ve Baitis'in [48] yaptıkları çalışmalar sonrasında ortaya çıkmıştır ancak tam olarak açıklanması Baitis, Woolaver ve Beck [49] ve Baitis, Applebee ve McNamara'nın [50] yaptığı çalışmalar ile açıklanmıştır. MII tahmini için kullanılan frekans bölgesi tahmin metodu Yanal Kuvvet İndisi'dir (Lateral Force Estimator – LFE). Yanal Kuvvet Tahmincisi herhangi bir gemi hareketinde dünya eksenini referans alan yanall ivmelenme ile gemi eksenini referans alan yanall ivmelenmeyi kombine eder. LFE küçük ivmelenme durumlarında iyi tahminler sunmaktadır. Graham [51] tarafından bulunan "Genelleştirilmiş Yanal Kuvvet Tahmincisinde" düşey kuvvetleri ve frekans bölgesi teknikleri de kullanılır.

Bu metotlar ayakta duran insanlara etki eden kuvvetleri modelleyerek MII'yı tahmin ederler. Yani, uygun hareketlere etkiyen hareketlerin bir ortalamasını alırlar (Örneğin, bir helikopterin gemi hareketlerinden dolayı iniş yapamaması veya el aletleri ve el fenerleri ile bakımı yapılacak bir işletim sistemine hareketten dolayı bakımın yapılamaması) Mevcut MII teorilerinin uzantıları ile insanların birbirleri ile ve ağır, taşınabilir ekipmanlarla olan ilişkileri modellenabilir. Ancak bu konu üzerine çalışmalar hala devam etmektedir. Lloyd ve Hanson'un [52] yaptıkları çalışmalar rüzgarın helikopter operasyonlarında insan aktivitelerinin limitlerini deneysel datalara aktarmışlardır.

4.10.2 Hareket Kaynaklı Bitkinlik (Motion – Induced Fatigue – MIF)

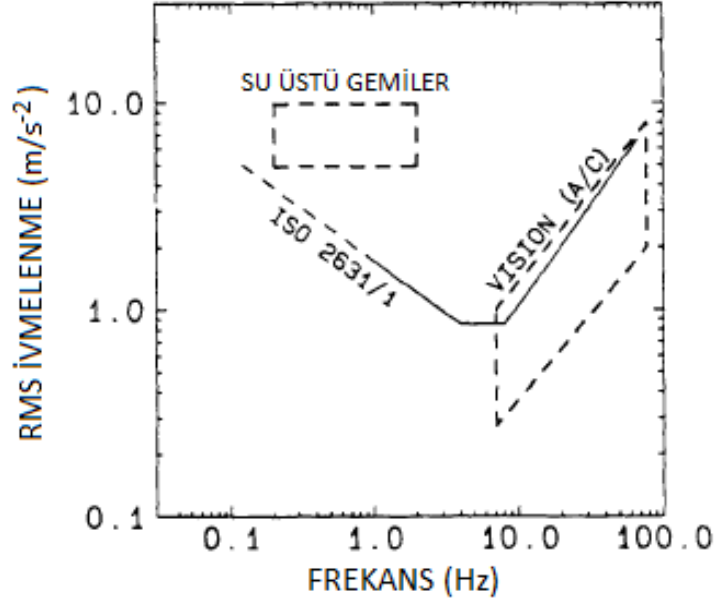
Bitkinlik daha önce de anlatıldığı gibi deniz tutması belirtilerinden Uykulu Olma Hali ve Uyuşukluk ile karıştırılmamalıdır. Warhurst ve Cerasani [53] yaptığı çalışmalarda güçlü yalpaların uyku bozukluğuna neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu gözlemlerde düşük frekans ile büyük genlikli hareketlerin uykulu olma hali ve bitkinliğe neden olduğu bulunmuştur. Wiker, Pepper ve McCauley'in [54] ve Sapov ve Kulesov'un [55] yaptıkları çalışmaları genişletmişler ve yalpa hareketinin bitkinliğin ana nedeninin olduğunu açıklamışlardır. Her ne kadar MSI, MIF ve MII'ların yalpa nedeniyle oluşan bitkinliğin gözlemlenmesinde önemli olduğu biliniyor olsa da ve hatta bitkinliğin gemi yönünü ve deniz yönünü değiştirince değiştiğini göstermiş olsa da hareket kaynaklı bitkinlik önemli bir biyodinamik problemdir.

Baitis, Woolaver ve Beck'in [49] yaptıkları çalışmalarda, LFE metodu ile MII ile MIF değerlendirmelerini açıklamışlardır. Buna benzer olarak Graham da Genelleştirilmiş Kuvvet Tahmini ile uzun – dönem bitkinliğin korelasyonlu olduğunu göstermiştir. Ayrıca Colwell de [56] MII'nın ve MIF'nın belirtilerinin LFE ile kısıtlanacağını da belirtmiştir. Aynı zamanda MIF'nin insan fizyolojisindeki belirtilerin tahmini için MII teorisi ile kombine edilmesi gerektiğini de belirtmiştir. Oman'ın [57] yatay hareketler için yaptığı çalışmalarda da, bağıl hareketi korumak için kaslar tarafından yapılan iş yüzünden oluşan bitkinliğin hesabını tahmin etmiştir. Sapov ve Kuleshov [55] hareket kaynaklı bitkinliği iş yapma miktarının ya da yapılan işi bitirmenin azalması olarak değil, yapılan işin kalitesinin düşmesi olarak tanımlamışlardır. Bu, özellikle donanma çalışanları için önemli bir konudur. Çünkü özellikle yüksek hızlı askeri gemilerde yapılan işlerde ortaya çıkan hatalar çok kötü sonuçlara neden olabilir.

4.10.3 Tüm Vücut Titreşimi (Whole Body Vibration – WBV)

WBV problemlerinde kişinin görüş bozukluğu ve kendini kontrol edememe gibi belirtiler vardır ve bu problemler 1 Hz alt sınır olmak üzere, bir süre boyunca bu frekans değerinin üzerindeki frekanslarda bir harekete maruz kalınca ortaya çıkar (Ancak gelişmiş deniz taşıtları da denin ANV'lerde (Advanced Naval Vessels) 1 Hz frekansın altında da bu problemlere rastlanmıştır). Wiker, Pepper ve McCauley'in

1980 yılındaki çalışmalarında 0.5 – 1.0 g düşey ivmelenme esnasında 0.2 – 2.0 Hz frekans aralığında su üstü gemilerinin hareketlerinin simülasyonunda kontrol problemleri gözlemişlerdir.



Şekil 4.8 : Yüksek hızlı su üstü muharabe gemisi, ISO standardı ve bir hava taşıtında meydana gelen ortak WBV problemleri bölgeleri şeması [13]

Griffin [58] yaptığı çalışmalarda yukarıdaki tabloyu elde etmiştir. Yukarıdaki tabloda daha önceki bölümde açıklanmış olan ISO 2631/1 [6] standardındaki 2 saat için “dayanma azalımı belirlemesi” sınırı, yüksek hızlı bir su üstü muharebe gemisinin WBV sınırı ve bir hava taşıtındaki görüş problemlerinin bölgesi gösterilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere, genelde WBM problemleri aynı bölgelerde yaşanmaktadır.

4.10.4 Tüm Vücut Titreşimi ile İlgili Standartlar

WBV ile ilgili ISO 2631/1 Standardında bir bölüm vardır. Bu bölüm düşey ve yatay titreşimlerinin limitlerini frekans ve ivmelenmenin bir fonksiyonu olarak 3 durumda inceler.

1. Azalmış Konfor
2. Dayanma Azalımı Belirlemesi
3. Maruz kalma limiti (Sağlıklı veya Güvenli)

Maruz kalma limitleri tablo ve grafik olarak gösterilmiştir. Bu limitlerin belirlenmesinde ISO 2631/1 standardı geniş bant ve kompleks hareketleri dar bant ve tekil yönlü hareketlere indirger. Buradaki sınırlar, titreşime maruz kalınan sürelerde, süreye bağlı etkilerin ve performans düşüklüklerinin gözlenebileceği limitlerdir. Böylece ISO bitkinliğin anlamını bu bölümde, hareket nedenli bitkinlik (MIF) konusundaki gibi kas hareketinden sonra yorulma olarak kullanmamıştır. Bu bölümde ISO bitkinliği, hareket kaynaklı bitkinlik, mental bitkinlik, uykulu olma hali ve konsantrasyon düşüklüğü belirtilerinin bir kombinasyonu olarak açıklamıştır.

Ayrıca bu konu ile ilgili İngiliz Standartlarından BS 6841’de [7] vardır ve WBV’ye ISO 2631/1 standardından biraz daha farklı yaklaşmaktadır. BS 6841 standardında “fatigue – decreased proficiency” kavramı yoktur. BS 6841 standardı sağlık, el kontrolü, görüş, konforsuzluk, hareket algısı ve deniz tutmasını ayrı ayrı inceler ve her problem için de ayrı birer limit vermektedir. Colwell’in [13] yaptığı çalışmalarda BS 6841’in de konuya mantıklı sınırlar getirdiğini önermiştir.

4.10.5 Sürüş Kalitesi ve Sürüş Konforu

Sürüş kalitesi ve sürüş konforu yolcu memnuniyetini açıklamak ve bu memnuniyeti modellemek için ISO 2631 / 1 standardını baz alan bir metot olarak düşünebiliriz. Osborne [59, 60], Stark [44] ve Farris’in [45] yaptıkları çalışmalar ile sürüş kalitesi kavramını açıklamışlardır. Birçok çalışma zamana bağlı deniz tutması ve yolcu konforunu aynı kavramlarda açıklamış olsalar da, bu yaklaşım çok doğru değildir. Amerikan Donanması kurallarından MIL – F – 9490’da [61] frekansa bağlı ağırlık faktörleri hesaplanarak sürüş konforunun düşey ve yanal ivmelenme üst limitleri belirlenir.

5. ANA BOYUTLARIN DENİZCİLİĞE ETKİSİ

Başarılı olmuş bir gemi dizaynını, bu dizayna uygun olarak yapılmış geminin her türlü sert deniz ve hava koşullarında can ve mal güvenliğini sağlayacak biçimde hız ve rotasını muhafaza edebilmesi ve kendisinden beklenen görevleri yerine getirebilmesi şeklinde, geminin tüm denizciliği ile ilgili hususlarla tanımlayabiliriz. Ayrıca gemiler, genelde sert deniz koşullarına göre dizayn edilirler.

Tiplerine ve boyutlarına bakılmaksızın sert hava koşulları geminin hareketlerini ve gemilerdeki işletim sistemlerini kısıtlayacaktır. Bu nedenle gemilerin teknolojik başarısı iyi bir denizcilik tasarımına bağlıdır. Denizcilik tasarımı geminin dalgalar arasındaki hareketlerinin, direncinin, stabilitesinin ve mukavemetinin geniş ve detaylı bir şekilde incelenmesini ve gerekli düzeltmelerin dizayn safhasında yapılmasını öngörür. Bunlara ek olarak geminin ekonomik olarak çalışabilirliği de dizaynın başarılı olmasında diğer çok önemli bir husustur.

Yukarıda yapılmış olan tanımların geminin yaşanabilirlik niteliği ile sıkı bir ilişkisi vardır. Her gemi dizayn amacına uygun olarak bir yaşanabilirlik niteliğine sahip olmalıdır. En sert deniz ve hava koşullarında dahi personelin gemideki görevlerini sağlıklı bir biçimde sürdürebilecek koşulların var olması gereklidir. Özellikle, yüksek süratli gemiler ve savaş gemileri için bu husus çok önemlidir. Kendilerinden çok zor ve komplike görevler beklenen bu tip gemiler ancak iyi yaşam koşullarına sahip oldukları sürece moral ve fizik bakımlarından sağlıklı personel tarafından yönetilebilirler. Bunun yanında yüksek süratli yolcu gemilerinde sert deniz ve hava koşullarında yolcuların rahat ve konforlu bir şekilde seyahat edebilmeleri bu tip gemilerin ününü arttırdığı gibi önemli bir tercih nedeni olurlar.

Gemilerin denizcilik performanslarının yüksek olması özellikle her türlü deniz şartında yüksek hız yapması da istenen ticari ve askeri gemiler için istenen bir durumdur. Bu demek oluyor ki, dalgaların ve rüzgarın gemi üzerindeki doğrudan etkilerini en aza indirmek gerekmektedir. Etkiler genelde hız kesmeye neden olur ve istemli hız kesmeyi, gemini baş – kış vurmasını, güvertenin ıslanmasını ve yüksek ivmelenmelerini vb. kaptan geminin yönünü değiştirerek azaltabilir.

Denizde bir geminin davranışlarını tayin eden faktörler aşağıdaki gibidir:

1. Geminin ana boyutları
2. Gemi formu
3. Gemi hızı
4. Deniz şartları

Buna göre bir geminin denizcilik yönünden verilen bir deniz şartına en uygun şekilde dizayn edilebilmesi için yukarıda sayılan konuların içinde yer alan dizayn parametrelerinin geminin dizaynı safhasında en uygun biçimde seçilmesi gerekmektedir. Yukarıda saydığımız faktörlerin yüksek hızlı bir geminin denizcilik performansını nasıl etkiledikleri anlatılacaktır.

5.1 Gemi Ana Boyutlarının Denizciliğe Etkisi

Düşey düzlemdeki hareketler (dalıp çıkma, baş kış vurma, düşey ivmelenme, baş dövünmesi ve güverte su basması gibi) açısından en kritik ana boyut gemi boyudur. Artan gemi boyu ile geminin rezonansa gireceği dalgaların da boyu artacak ve bu tip dalgalar daha nadir olduğundan geminin toplam denizcilik performansı iyileşecektir. Yani geminin dalgalar arasındaki davranışları önemli bir ölçüde geminin boyuna bağlıdır. Gerek dalıp – çıkma ve gerekse baş – kış vurma hareketleri üzerinde, gemi boyunun büyük bir etkisi vardır.

Dalıp – çıkma ve baş – kış vurma hareketi açısından boy/su çekimi oranı (L/T) olabildiğince büyük olmalıdır. Bu durum düşey düzlemdeki düşey ivmelenmeleri, düşey hızları ve güverte su basması olasılığını azaltacaktır. Ancak artan L/T oranı sonucu su çekimi azalacağı için dövünme olasılığı artabilecektir Gemi boyunun, aynı zamanda, dalgalı denizde gemi seyir hızının muhafaza edilmesinde de rolü büyüktür. Şiddetli deniz koşullarında büyük boylu dalga bileşenleri ile senkronize olan gemi, büyük genliklerde baş – kış ve dalıp – çıkma hareketleri yapar. Dolayısıyla isteyerek hız azaltılması yoluna gidilir ve gemi daha küçük boylu ve enerjisi daha az olan dalgalarla senkronize olmak suretiyle hareketlerini yumuşatmış olur. Bu nedenle, gemi boyunun arttırılması oranında gemi seyir hızında daha az bir hız kaybı meydana gelir.

Tam ölçek gemilerle yapılan deneyler sonucunda görülebilir ki, kısa boylu gemilere nazaran uzun boylu gemilerde, baştaki düşey ivmelerin ve denizin güvertelere çullanma olasılığının azaldığı görülmüştür. Diğer bir deyimle, sabit bir deplasmana karşılık gelen gemi boyu ne kadar büyük seçilirse geminin denizcilik performansı da o derecede artar. Ancak deplasmanı azaltmak amacıyla gemi su çekimi derinliğinin aşırı derecede küçültülmesi gemi başında dövünme olasılığını artırır. Sonuç olarak, gemi boyunun artması geminin denizciliğini arttırmaktadır. Ancak, boyun artması gemi genişliğini ve bir dereceye kadar gemi su çekimi derinliğini azaltacağından geminin stabilitesi azalarak gemi bu yönden olumsuz etkilenecektir. Ayrıca, uzun boylu gemi narin olduğundan boyuna mukavemetin artırılması için daha kalın malzemenin gemide kullanılmasını gerektirir. Böylece geminin çalıştırılmasındaki ekonomik olma özelliği de azalır. Dolayısıyla gemi boyunu seçerken tüm bu hususları da göz önünde tutmak suretiyle en iyi bir ara çözümün bulunması gerekmektedir.

Gemi enine stabilitesi yönünden (L/B) oranının küçük olması tercih edilir. Bu oranın küçük olması baş – kıç vurma hareketini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Bununla beraber baş – kıç vurma hareketi, (L/B)'nin artması oranında yani (B'nin azalması oranında) önemsiz miktarda artmaktadır. Özellikle yüksek hızlı gemiler için dövünme ve güverte su basması açısından (L/B) oranı büyük olmalıdır. Aynı şekilde boyutsuz pervane momenti ve pervane beygir gücünde de artmalar görülür.

Gemi genişliği geminin yalpa periyodu ve buna bağlı olarak yalpa performansı açısından temel ana boyuttur. Yalpa periyodunun düşük olması diri bir gemiye yol açacak ve bu durum özellikle yanal ivmelenmeler açısından istenmeyen bir durum ortaya koyabilecektir.

Su çekiminin fazla olması hem hareketlerin sönümünü arttırmak hem de baş dövünmesi olayını hafifletmek açısından önemlidir. Gemi derinliğinin de özellikle gemi başında fazla olması güverte su basması olasılığını düşürecektir. Ayrıca gemilerde baş tarafta su çekimi derinliği, gemi başının dövünmesi yönünden çok önem taşıyan bir parametredir. (L/T) oranının artmasıyla (yani T'nin azalması ile) gemi başının dövünmesi çok artar.

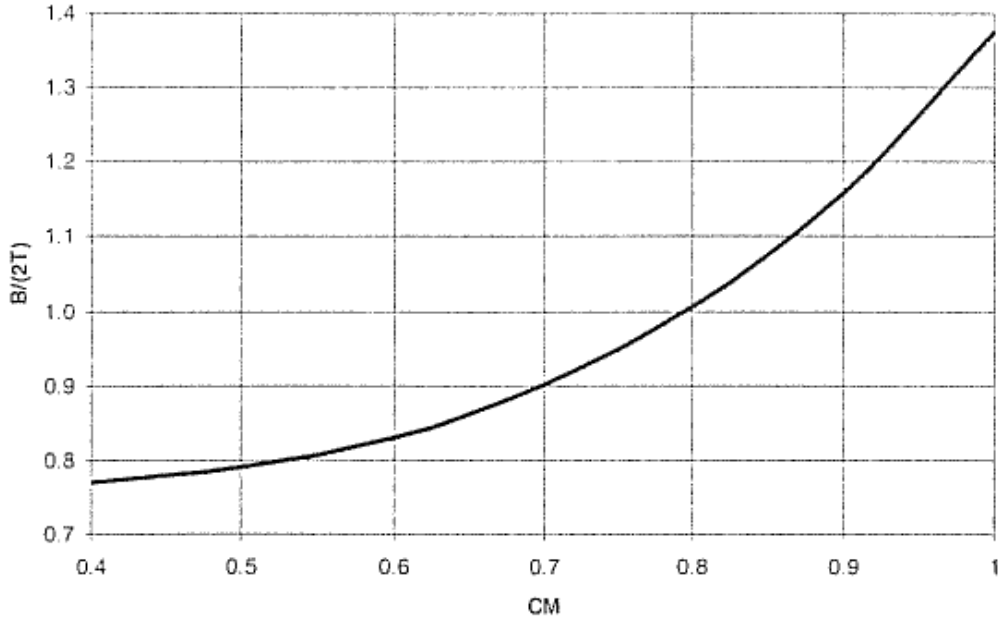
5.2 Tekne Formunun Denizciliğe Etkisi

Tek tekneli gemilerde denizcilik performansını arttırmak üzere tekne form dizaynında dikkat edilecek hususlar su altı formu ve su üstü formu özellikleri olarak iki ana grupta incelenebilir. Tekne su altı formu dizaynında bir yandan sönümü arttırırken diğer taraftan dalga kuvvetlerini düşük tutmaya dikkat edilmelidir.

Yapılan kuramsal hesaplamalar sonucunda, gemilerde başta U – şeklinde kesitler yerine V şeklinde kesitler kullanılması ile dalıp – çıkma hareketlerine ait genliklerin küçük kaldıkları gözlemlenmiştir. U – şeklindeki kesitler, yalnız uzun dalga boylarında baş – kıç vurma genliklerini azaltabildikleri halde, kısa boylu dalgalarda baş – kıç vurma genlikleri artar. Deneysel olarak, başta V – şeklinde kesitlerin kullanılması, gemilerde dövünme sayısının arttırmasına rağmen, dövünmede başta gemi tabanına gelen basınç değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir [62]. Dolayısı ile başkesitleri V – şeklinde olan gemiler daha az yol keserek daha hızlı gidebilirler. U ve V şekilli kesitlere ait ek su kütlesi ve sönüm kuvveti katsayılarının farklılıklarıyla açıklanabilir. Gerçekten, aynı en kesitleri alanı eğrisine sahip iki gemiden birinin başı U – şekilli, diğerinki V – şekilli olduğunda, iki gemideki toplam ek su kütlesinde büyük farklılıklar olmamasına karşılık, başta V şekline sahip gemilerde sönüm kuvveti katsayısı ve momenti oldukça büyüktür. Ayrıca bu etkinin birleşik hareketli diğer çapraz terimlere de yansımaları suretiyle bu iki geminin dalgalar arasındaki davranışları arasında farklar da olacaktır.

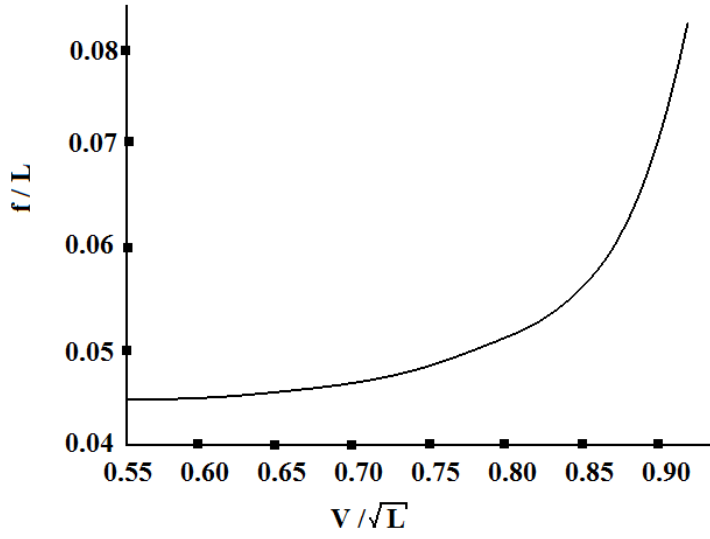
Sönümü arttırmak üzere su hattı alanını arttırmanın mümkün olmadığı durumlarda blok katsayısının azaltılması da düşey düzlemdeki hareketler açısından olumlu sonuç verecektir. Baş – kıç vurma hareketinin hemen hemen blok katsayısından bağımsız olmasına karşılık, blok katsayısının büyümesi ile rezonans civarındaki dalıp – çıkma hareketlerindeki genliklerinin çok arttığı görülmüştür. Ayrıca, blok katsayısının artmasıyla dalgadan dolayı geminin eğilme momenti değeri de çabuk bir şekilde artar. Düşük hızlı gemilerde blok ve su hattı alanı katsayıları arasındaki oranı tanımlayan düşey prizmatik katsayı bu açıdan önemli olmasına ve bu katsayının olabildiğince büyük seçilmesinde yarar olsa da yüksek hızlı gemilerde durum farklıdır. Prizmatik katsayısının büyük olması dalgalar arasındaki geminin büyük hız kayıplarına uğramasına neden olur. Ayna kıçın geniş olması dolaylı olarak yüksek bir su hattı alanına ve düşey prizmatik katsayıya neden olacağı için tercih edilmelidir.

Yalpada viskoz etkiler önemli olduğundan özellikle girdap ve sürtünme kaynaklı sönümü arttırıcı form özellikleri tercih edilmelidir. Yalpada girdap etkisini belirleyen temel parametre sintine dönümü yarıçapının su çekimine oranıdır. Yalpada diğer önemli parametre gemi genişliğinin ağırlık merkezi yüksekliğine oranını temsil eden B/KG parametresidir. Yalpa hareketini azaltmak üzere geminin B/T oranı ve orta kesit narinlik katsayısı C_M teorik sıfır yalpa sönümünü temsil eden aşağıdaki eğriden uzak kalacak şekilde seçilmelidir.



Şekil 5.1 : Sıfır yalpa sönümü eğrisi [62]

Su üstü formunun denizcilik performansı açısından en önemli özellikleri fribord, gemi başındaki volta çene ve flerdir. Fribord güverte su basması açısından temel parametrelerden biridir. Güvertelere suların çullanmasını önlemek bakımından gemi başındaki fribord yüksekliği ile posta kesitlerinin su hattının üstünde dışarıya doğru açılmaları en uygun şekilde tayin edilmelidir. Gemi hızının artması oranında baş taraftaki fribord yüksekliğinin gemi boyuna oranının da artması gerekir. Aşağıda hız – boy oranının artışının fribord üzerindeki etkisi gösterilmektedir. [62]



Şekil 5.2 : Gemi hızının fribord üzerindeki etkisi [62]

Analitik yoldan güverte ıslanma olasılığının blok katsayısına, gemi boyuna ve fribord oranının bağlı olduğu görülmüştür. Gemi başının ise suya nazaran hareketi hemen hemen gemi boyuna bağlı olmayan bir durumdur. Bu nedenle, güverte ıslanmasını önlemek için büyük gemilere nazaran küçük gemilere daha fazla fribord yüksekliği ile şiyer kalkımı verilmelidir. Su üstü savaş gemileri için gemi başındaki minimum fribord değeri için Bales [63] gemi dikeyler arası boyu ve su çekimi cinsinden aşağıdaki formül ile bulunacak değeri önermektedir.

$$f = 10.5 + 0.045 (L_{BP} - 150) - 0.00002 (L_{BP} - 150)^2 - 0.2 \left(\frac{L_{BP}}{T} - 27.5 \right) \quad (5.1)$$

Baş tarafta gemi kesitlerinin su yüzünden yukarıda kalan kısımlarının dışarıya doğru açılmaları, yani fler, makul sınırlar içinde kalmak koşuluyla yararlıdır. Böylece gemi başı suya girdiğinde dalgalı deniz yüzeyi gemiden dışarıya doğru saptırılmış olur. Ancak kesitlerin dışarıya doğru açılması aşırı derecede fazla olursa bu halde başta şiddetli dönmelere ve hız kayıplarına yol açılmış olur. Baş tarafta güverte açık olmalı ve güverteye gelebilecek olan sular kolaylıkla ve çabukça tekrar denize boşalabilmesidir.

5.3 Gemi Hızının Denizciliğe Etkisi

Şiddetli denizlerde gemi hızı, gemi hareketlerini ve bunların doğurduğu ivmeleri, dövünmeleri ve ek direnci artıran önemli bir parametredir. Hızın, baştan gelen dalgalarda baş – kış vurma üzerindeki etkisinin az olmasına karşılık dalıp – çıkma hareketi üzerindeki etkisi büyüktür. Geminin hızının artması ile özellikle baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarındaki düşey düzlem hareketlerin (baş kış vurma, düşey ivmelenmeler, baş dövünmesi ve güverte su basması gibi) şiddeti artacaktır. Bunun nedeni artan hız ile geminin dalgalarla karşılaşma periyodunun azalmasıdır. Bu nedenle denizcilik performansı hızlı gemiler için daha önemlidir ve yüksek hızlarda artan deniz şiddeti ile baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarda dalgaların etkisini azaltmak üzere hız kesmek veya rota değiştirmek zorunlu olabilecektir.

Geminin hızına ve buna bağlı olarak dalgalarla karşılaşma frekansına göre üç değişik bölgeden söz edilebilir.

5.3.1 Kritik Altı Bölge

Geminin, 0.75L'den kısa dalgalar ile karşılaşma frekansının geminin dalıp çıkma ve baş kış vurma doğal salınım frekanslarının %75'inden az olduğu durumdur. Bu bölgede ciddi düzeyde dalıp – çıkma, baş – kış vurma, düşey ivme, baş dövünmesi ve güverte su basması olayı görülmeyecektir

5.3.2 Kritik Bölge

Geminin, kendi boyunda veya daha uzun olan ve aynı zamanda o denizi temsil eden spektruma en çok enerjiyi veren dalga boyundan daha kısa dalgalar ile karşılaşma frekansının geminin dalıp çıkma ve baş – kış vurma doğal salınım frekanslarına yakın olduğu durumdur. Bu bölgede aşırı şiddetli dalıp çıkma, baş – kış vurma, düşey ivme, baş dövünmesi ve güverte su basması olayı beklenmelidir.

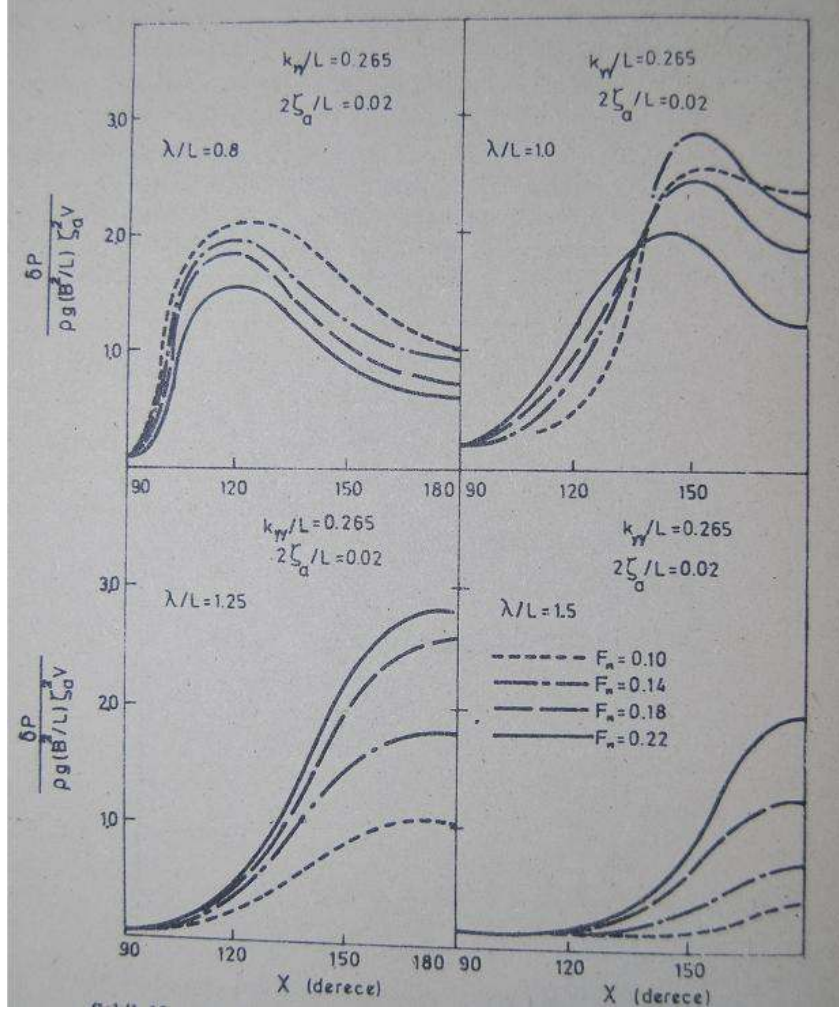
5.3.3 Kritik Üstü Bölge

Geminin, o deniz koşulunda karşılaşılabilecek en uzun dalgalarla karşılaşma frekansının geminin dalıp – çıkma ve baş – kık vurma doğal salınım frekanslarının 1,2 katından az olmadığı durum. Bu bölgede ciddi düzeyde dalıp çıkma, baş kık vurma, düşey ivme, baş dövünmesi ve güverte su basması olayı olmayacaktır.

Hızın yanal düzlemdeki hareketler ve özellikle yalpa üzerindeki etkisi tam tersi bir durum ortaya koyar. Bordadan gelen dalgalardeki yalpa hareketi ve yanal ivmeler genellikle artan hız ile şiddetini kaybeder. Bunun nedeni bir yandan dalga karşılaşma periyodunun diğer taraftan viskoz yalpa sönümünün artmasıdır.

5.4 Deniz Şartlarının Denizciliğe Etkisi

Dalgalı bir denizde seyreden bir geminin dalgalarla karşılaşma yönüne ve hızına bağlı olarak denizcilik performansı açısından üç adet bölge tanımlanabilir: Kritik altı bölgede geminin dalıp – çıkma ve baş – kık vurma doğal periyotlarına sahip dalga boyları gemi boyunun 3/4'ünden azdır ve ciddi hareketlere neden olmazlar. Kritik üstü bölgede ise geminin doğal periyoduna sahip dalga boyları gemi boyunun 1,5 katından fazladır ve gemi bu tip uzun dalgaları takip edeceği için fazla etkilenmeyecektir. Bu iki bölge arası kritik bölge olup buradaki dalgalar ciddi denizcilik problemleri yaratabilmektedir. Bordadan gelen dalgalarda gemiyi yalpaya zorlayan kuvvetler genellikle çok büyüktür. Rezonans halinde ise, en büyük yalpa hareketleri, geminin dalgaları kık omuzluk ile borda arasından alması halinde meydana gelmektedir. Ayrıca, yüksek gemi hızlarında yalpadaki sönüm daha etkin olmaktadır. Baş – kık vurma hareketinde, dalga zorlayıcı moment değerleri, geminin dalgaları baştan veya kıçtan alması halinde maksimum olmaktadır. Dolayısıyla böyle durumlarda baş – kık vurma hareketinin de en büyük değerlere ulaşması gerekir. Baştan gelen dalgalarda, geminin dalgalarla rezonansa girmesi dolayısıyla, kıçtan gelen dalgalara nazaran, gemi daha büyük genliklerde baş – kık vurma hareketleri yapar. Dalıp – çıkma hareketinde bordadan gelen dalgalarda zorlayıcı kuvvetler maksimum olurlar. Ancak baştan gelen dalgalarda da baş – kık vurmanın etkisi ile birleşik hareket doğarak önemli ölçüde dalıp – çıkma hareketleri meydana gelir. Geminin dalgalara göre ilerleme yönünün, gemi sevk gücünün artmasındaki etkisini gösterebilmek için aşağıdaki şekil verilmiştir.



Şekil 5.3 : Dalga yönünün sevk gücünün artmasındaki etkisi [62]

Burada incelemeler $(\lambda/L) = 0.8, 1.0, 1.25, 1.5$ oranları için yapılmıştır. Şekilde görüldüğü üzere, gemi boyuna eşit veya gemi boyundan küçük dalgalarda, güçteki maksimum artma, dalgaların daha ziyade baş omuzluklardan alınmasında meydana gelmektedir. Gemi boyuna nazaran dalga boyu arttıkça bu maksimum, dalgaların baştan alınmasına doğru kaymaktadır.

Şiddeti fazla olmayan denizlerde baş – kıç vurma ve dalıp – çıkma hareketlerindeki genlikler dalga yüksekliği ile lineer olarak değişirler. Buna karşılık deniz şiddetinin artmasıyla bu lineerlik bozulur. Başın suya dalması, güverteye suların çullanması ve başta omurganın sudan çıkması oldukça büyük dalga yüksekliklerinde meydana gelir. Dolayısıyla, bunlar için dalga yüksekliği ile lineer değişme söz konusu olamaz. Yalpa hareketinin de dalga yüksekliği ile bağıntısı lineer değildir. Dalga yüksekliğinin artmasıyla dövünmelerdeki basınçlar artar. Genellikle dövünme, 0.7 ve

1.5 gemi boyundaki dalgalarda oluşmakla beraber şiddetli dövümler gemi boyuna eşit dalgalarda meydana gelmektedir.

Gemi dizaynerinin geminin çalışacağı deniz koşullarına göre genellikle hangi operasyon bölgesinde kalacağını tahmin etmesini sağlamaya yönelik yaklaşımlarda gemi servis hızı ile karşılaşılması olası dalgalar arasındaki rezonans olayından kaçınılmaya çalışılır. Gemi boyu ve hızı ile doğal hareket periyotlarının bilinmesi, geminin hangi operasyon bölgesinde çalışması gerektiği belirlenebilir ve olabildiğince kritik bölgeden kaçınmaya çalışılır. Kritik altı bölgedeki gemiler genellikle yavaş ve büyük gemilerdir ve sabit deplasmanda bu bölgeye geçmenin en etkin yolu boyu arttırmak olacaktır. Kritik üstü bölgede ise geminin doğal periyodunun çok yüksek olması gerekir ki bu tip gemilere en güzel örnek yarım batık ve SWATH tipi teknelerdir.

5.5 Denizciliği Etkileyen Diğer Faktörler

Gemilerin tekne sayısı ile denizcilik performansı arasında çok yakın ilişkiler vardır. Tekne sayısını arttırmak yolu ile gemilerin doğal salınım periyotlarını arttırmak ve bu yolla daha uzun ve nadir dalgalarla rezonansa girmelerini sağlamak mümkündür. ancak çok tekneli teknelerde özellikle yalpa ve baş kık vurma hareket periyotlarının birbirine yakın olması yolcu konforunu bozucu hareket ve ivmelenmelere yol açabilmektedir. Ayrıca çok tekneli gemilerde yüksek deniz şiddetlerinde ortaya çıkan dövünme olayı tekneler arası yapı üzerinde ciddi yükler doğmasına yol açabilir. Özel bir katamaran tipi olarak değerlendirilebilecek SWATH tipi tekneler çok düşük su hattı alanları nedeniyle dalgardan fazla etkilenmezler ve mükemmel denizcilik özelliklerine sahiptirler.

Baş kık vurma hareketi ve buna bağlı düşey düzlem hareketlerini azaltmak için boyuna jirasyon yarıçapını küçültmek yararlıdır. Gemideki ağırlıkların olabildiğince gemi ortasında toplanmasını gerektiren bu düzeltmeyi yapmak çok kere diğer dizayn sınırlamalarından dolayı mümkün değildir. Ağırlık dağılımında yapılacak küçük değişiklikler ise teknenin genel denizcilik özelliklerin çok etkilemeyecektir.

Yalpa hareketinin diğer hareketlere göre daha düşük kütle atalet momentine sahip olması ve bu hareketin azaltılmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Pasif ve aktif olarak iki ana grupta toplanan bu sistemle özellikle yolcu gemileri ve

yatlar ile su üstü savaş gemilerinde yoğun olarak uygulanmaktadır. Yolcu gemileri ve yatlarda yalpa yolcu konforunu etkilemekte, savaş gemilerinde ise mürettebatın ve silah – sensör sistemlerinin savaş kabiliyetini ciddi olarak bozmaktadır.

Aktif yalpa finleri yolcu gemilerinde, motoryatlarda ve suüstü savaş gemilerinde yalpa hareketini azaltmak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Aktif finler genellikle gemi ortasında sintine dönümüne sancak-iskele olarak yerleştirilir. Sayıları iki veya dört olabilir. Sabit finler gemide direnç artışına yol açtığı için sadece çalışacağı zaman ortaya çıkan çıkarılabilir tipleri de mevcuttur. Yalpa finleri geminin yalpa hareketine zıt moment yaratacak şekilde çalışır. Oluşan moment geminin hızının karesi ile orantılı olduğundan bu sistemler yüksek hızlarda daha etkilidir. 10 knotun altındaki hızlarda aktif yalpa finleri yalpa söndürmede etkin değildir. Yalpa finleri orta ve yüksek hızlarda yalpayı %90 oranında azaltabilmektedir.

Özellikle çift dümenli hızlı savaş gemilerinde, dümenler yalpa söndürmek amacıyla kullanılabilir. Bir otomatik kontrol sistemi ile dümenler zıt yönde yalpa momenti doğuracak şekilde döndürülür. Ancak bu sistem dümenlerin hızlı bir şekilde döndürülebilmesine bağlı olduğundan dümen sistemi özel dizayn edilmelidir. Ayrıca dümen sisteminin bakım tutum ve onarım maliyetleri de ciddi olarak artacaktır. Düşük hızlarda etkin olmayan bu sistem özellikle yüksek hızlı savaş gemilerinde uygulama alanı bulmaktadır. Aktif dümen denen bu sistemin orta ve yüksek hızlarda yalpayı %70 oranında azaltabildiği gözlemlenmiştir.

Düşey bir eksen etrafında dönen bir ağırlıktan oluşan yalpa söndürücü jiroskoplara özellikle yolcu gemileri ve denizaltılarda uygulama alanı bulmuşlardır. Ancak bu sistemlerin fazla yer kaplamaları ve ciddi güç gereksinimleri nedeniyle sınırlı uygulaması vardır.

6. TİPİK BİR MOTORYATTA ANA BOYUTLARIN DENİZCİLİK PERFORMANSINA OLAN ETKİSİ

Yüksek Süratli bir teknede denizcilik performans analizi önemli bir konudur. Bilindiği gibi klasik tek gövdeli tekneler gövde özelliklerine göre 3'e ayrılmaktadırlar:

1. Deplasman Tekneleri (Froude Sayısı: 0 – 0,45)
2. Yarı Kayıcı Tekneler (Froude Sayısı: 0,45 – 0,65)
3. Kayıcı Tekneler (Froude Sayısı: 0,65 ve üzeri)

Teknelerin yukarıda belirtilen karakterlerini belirleyen kriter teknelerin Froude Sayılarıdır. Aslında deplasman seyirinin bittiği değer olarak gösterilen 0,45 ya da teknenin kayıcı karaktere geçtiği 0,65 değeri kesin bir sınır olmamakla birlikte bu değerlerden sonra genellikle teknelerin seyir karakterlerinin değiştiği gözlemlenmektedir.

Deplasman teknelerinde, tekne seyir sırasında bir bütün olarak suyun içinde kalmaktadır. Tekne burnunu kaldırabilecek hız değerlerinde ulaşmamaktadır. Aynı zamanda teknenin denizcilik performansı da yarı kayıcı ve kayıcı teknelere göre daha iyidir. Çünkü teknenin su altında kalan hacminin artması, teknenin denizcilik performansını denizciliğini arttırmaktadır.

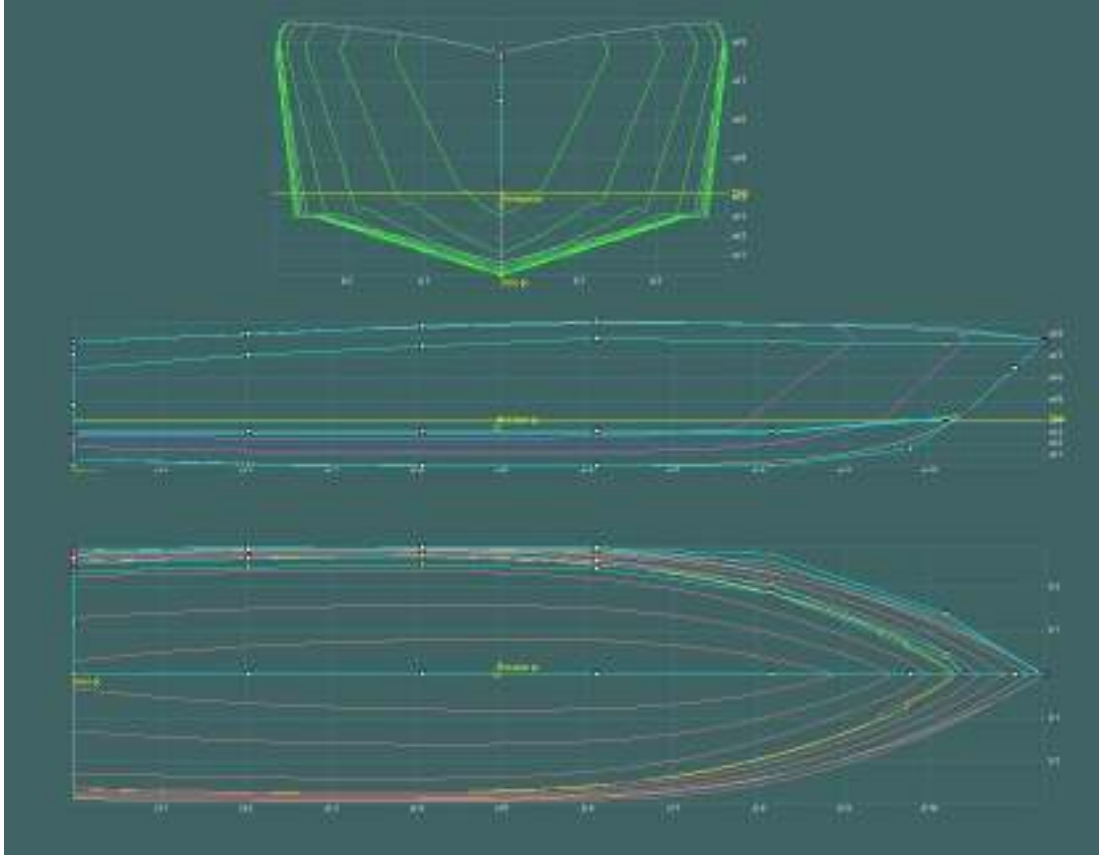
Yarı kayıcı teknelerde ise durum biraz daha farklıdır. Tekne 0,45 – 0,65 Froude Sayıları arasında çalışırken tekne burununu $1^0 - 2^0$ kaldırmakta ve tekne burnunu kaldırdığı için teknenin seyir halindeki deplasman değeri ilk durumuna göre yaklaşık %10 mertebesinde azalmaktadır. Denizcilik performansı olarak da yarı kayıcı tekneler deplasman teknelerine göre daha kötü durumdadır.

Kayıcı gövdelerde ise teknenin burnu kayıcı duruma geçildiği anda yaklaşık 4^0 kalkmakta ve teknenin deplasmanı ilk durumuna göre %30 mertebesinde azalmaktadır. Bu azalma ile birlikte teknenin denizcilik performansı da düşmektedir.

Teoride, bir cismin sudaki hacmi ne kadar fazla ise cismin denizcilik performansı da o kadar yüksek olmaktadır. Yalnız bu bağıl bir parametredir. 6 metrelik bir deplasman teknesi ile 50 metrelik kayıcı teknenin denizcilik özelliklerini aynı Froude sayılarında karşılaştırmak söz konusu olamaz. Çünkü cisme etkiyen dalgaın boyu, yüksekliği ve frekansı iki teknede de aynı tepkileri meydana getirmemektedir. Konuyu tek bir tekne için ele aldığımızda ise, deplasman değerinin değişmesi teknenin denizcilik performansını büyük ölçüde etkileyecektir. Bu çalışma dahilinde ise Türkiye’de üretimi gerçekleştirilebilecek kayıcı tipte bir motoryatın deplasman değerini sabit tutmak koşulu ile teknenin boy ve genişlik değerini belirli aralıklarla değiştirerek, teknedeki düşey ivmelenmelerin ne kadar değiştiğini ve düşey ivmelenmeleri en aza indirebilmek için yapılması gereken ana boyut değişimlerinin neler olacağı incelenmiştir.

Deplasman değerindeki değişimlerin denizcilik performansı üzerine etkilerinin analiz edilmemesinin nedeni, deplasman değerinin değişimi ile teknenin karakteristiğinin değişimi arasında direkt olarak bir bağıntı olmasıdır. Kardeş iki geminin yalnızca deplasman değerinin farklı olması, iki geminin hız – beygir gücü grafiklerinin, düşey ivmelenme değerlerinin, aynı dalgalara verdikleri tepkilerin, stabilite değerlerinin tamamen farklı olmasına neden olur. Bu nedenle deplasman değişimleri ile teknelerin denizcilik değerleri arasında bir bağıntı yaratmak zordur. Ancak bir teknenin, deplasman değeri sabitken ana boyutlarındaki değişimlerin teknenin denizcilik özelliklerine olan etkileri incelenebilir.

Bu çalışma kapsamında da Şekil 6.1’de endazesi görülen ve EKA Marine tarafından dizayn edilmiş SC23 modelli tipik kayıcı gövdeli bir motoryatın, boy değeri ve deplasman değerleri sabitken genişlik değerinin değiştirilmesi ve genişlik ve deplasman değerleri sabitken boy değerinin değiştirilmesi ile yaratılmış 8 adet formun, seçilen 3 noktadaki düşey ivmelenme değerlerinin değişimleri incelenecektir. Ayrıca Çizelge 6.1’de de üretilen 8 adet modelin ana boyutları gösterilmektedir.



Şekil 6.1 : SC23 Endazezi

Çizelge 6.1 : SC23 ve SC23'den üretilen 8 modelin ana boyutları

TEKNE	Boy – L (m)	Genişlik – B (m)	T – Su Çekimi (m)	Deplasman (ton)
SC23	22,25	5,811	1,050	54,87
BOY 1 MODEL	21,75	5,811	1,064	54,87
BOY 2 MODEL	22,00	5,811	1,057	54,86
BOY 3 MODEL	22,50	5,811	1,044	54,88
BOY 4 MODEL	22,75	5,811	1,037	54,83
EN 1 MODEL	22,25	5,411	1,093	54,83
EN 2 MODEL	22,25	5,611	1,071	54,85
EN 3 MODEL	22,25	6,011	1,031	54,88
EN 4 MODEL	22,25	6,211	1,012	54,85

Bu çalışma dahilinde denizcilik performans analizindeki önemli bir bileşen olan düşey ivmelenmenin temel boyut özellikleri ile değişiminin incelenmesinin nedeni, denizle ilgili temel bilgi düzeyindeki bir motoryat müşterisinin teknenin diğer

özelliklerinden önce temel boyutlarını incelemesi ve ancak bu konuda bir bilgisinin olmasıdır. Dövünme, serpinti, güverteyi su basması gibi diğer denizcilik problemlerine vakıf olmayan bu müşteri profili için öncelikli olarak teknenin ana boyutları önemlidir. Zira tekne ne kadar uzunsa o kadar lüks, tekne ne kadar genişse o kadar konforlu olacağına dair bir algı vardır. Aynı zamanda her motoryat müşterisinin tekneyi almasındaki amaç da farklıdır. Çalışma dahilinde analizi yapılan boylardaki motoyatların müşterisi ise genel olarak ev konforunu deniz üzerinde de yaşamak isteyen bir kesimdir. Bu nedenle olabildiğince uzun ve geniş bir tekne bu kesim için tercih sebebidir. Tersaneler ise bu müşteri kesimini memnun edebilmek için çeşitli gövde optimizasyonlarına girmişlerdir ve bu çalışmanın konusu olan ana boyutların teknenin denizciliği üzerine etkileri de bu sayede önem kazanmıştır.

Çeşitli boy ve tipteki tekne sahipleri ile yapılan görüşmeler sonucunda, tekne sahiplerinin 24 saat içerisinde teknelerinde en çok vakit geçirdikleri yerler ve bu noktalarda ne ile meşgul oldukları aşağıdaki gibi saptanmıştır:

1. Baş kamarada uyumak için
2. Teknenin vasatında yaşam alanı olarak ayrılan salonda yemek yemek yahut dinlenmek için
3. Teknenin kıç havuzluğundaki yaşam mahalinde yemek, dinlenmek ya da çeşitli gün içi aktiviteler için bulunmaktadır.

Bu verilere dayanarak, teknede düşey ivmelenmelerin hesaplanacağı noktalar seçilmiştir. Bu noktalar da;

1. Baş kamaradaki yatağın, insanların yattığı yüzünün orta merkezi
2. Teknenin vasatında yaşam alanı olarak ayrılan salonun orta noktası
3. Teknenin kıç havuzluğundaki yaşam mahalinin merkezi olarak belirlenmiştir.

Bu noktalarda düşey ivmelenme değerlerinin analizinin nedeni, deniz tutmasının en büyük nedenlerinden bir tanesinin teknedeki düşey ivmelenmeler olması ve insanların en çok vakit geçirdikleri noktalarda düşey ivmelenmelerin hesaplanması ile ana boyutlardaki değişimlerin insanların üzerinde ne derece etkili olacağının görülebilmesidir.

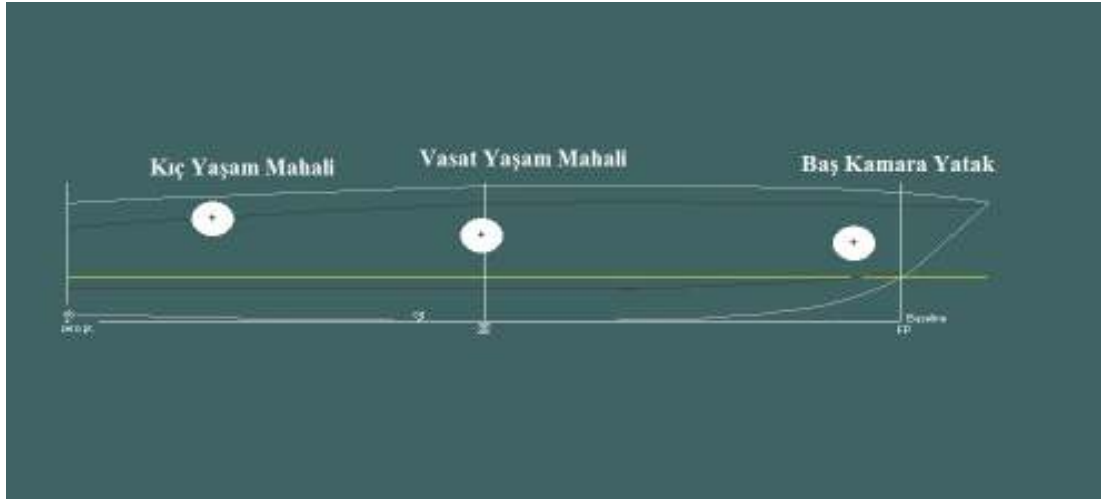
Tekne sahibi teknede geçirdiği 24 saatin %30'unu baş kamaradaki yatakta, %40'ını teknenin vasatında yaşam alanı olarak ayrılan salonda ve %30'unu teknenin kıç

havuzluğundaki yaşam mahalinde geçirdiği saptanmış ve bu noktalardaki düşey ivmelenme değerleri bu yüzde değerler ile çarpılıp birbirleri ile toplanarak ilgili teknenin genel bir düşey ivmelenme değeri bulunacaktır. Bu değer de diğer teknelerden elde edilen verilerle karşılaştırılarak ana boyutlardaki değişimin düşey ivmelenmeye olan etkileri tam olarak ortaya çıkacaktır.

Çizelge 6.2’de ve Şekil 6.2’de SC23 Modelinde ölçüm yapılan noktaların yerleri gösterilmiştir. Sıfır noktası olarak AP seçilmiş ve ölçümler buradan yapılmıştır.

Çizelge 6.2 : Seçilen noktaların tekne üzerindeki yerleri

	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)
Baş Kamara Yatak	19.00	1.90	0.00
Vasat Yaşam Mahali	10.00	2.10	0.00
Kıç Yaşam Mahali	3.50	2.50	0.00



Şekil 6.2 : Gemi üzerinde hesaplamaların yapılacağı noktalar

Çalışma dahilinde analizleri gerçekleştirirken teknenin yalnızca baş taraftan aldığı dalgalar incelenecektir. Daha önce de belirtildiği üzere seyir esnasındaki en büyük denizcilik problemleri tekneler dalgaları baş taraftan aldıkları zaman gerçekleşmektedir. Aynı zamanda düşey ivmelenmeler de tekne dalgaları baştan aldığı zaman en şiddetli şekilde oluşurlar.

Tüm denizcilik hesaplamaları teknenin Akdeniz’de çalışacağını düşünülerek gerçekleştirilmiştir ve deniz Akdeniz’de en çok karşılaşılan dalga boyları ve

frekansları seçilerek modellenmiştir. Tekne'nin en çok Akdeniz'de çalışacağı düşünülmesinin nedeni, dünya yat üreticileri arasında bu seçimin güncel bir trend olmasıdır. Yani yat üreticileri arasında teknelerin Akdeniz'e nasıl daha uygun olabileceği ile ilgili yoğun çalışmalar vardır. Denizin modellenmesi ise daha önceki bölümlerde de yer verilen Şekil 6.3'deki Akdeniz için yıllık dalga olasılık dağılımı grafiğinden yapılmıştır. Akdeniz'de en çok görülen dalgalar 1 – 2 m. arasında dalga boyu, 5 – 6 saniye arasında periyodu olan dalgalardır. Bu nedenle analizlerde karakteristik dalga yüksekliği olarak 1,5 m. ve ortalama dalga periyodu olarak 5,5 s. seçilmiştir.

Analizler sırasında Akdeniz'in kısıtlı feçe sahip olduğundan dolayı JONSWAP dalga spektrumu kullanılmıştır. Ayrıca analizlerde "Head – seas Approximation" yaklaşımı kullanılmıştır. "Head – seas Approximation" yaklaşımı; dalgaların gemiye baş taraftan etkidiğini düşünerek gemi üzerinde oluşacak kuvvetleri ve momentleri bu noktaya göre hesaplatan Froude – Krilov kuvvetidir.

Analiz esnasında teknenin yalnızca 17 knotluk hız değerindeki düşey ivmelenmeler hesaplanacaktır. Hızın 17 knot alınmasının nedeni, teknenin bu hızda Froude sayısının 0,667 olması ve bu Froude sayısında teknenin artık kayıcı tekne karakteri sergilemesidir.

6.1 Analiz Hazırlığı

Motoryatlar lüks tüketim ürünleridir. Kişinin sosyoekonomik ve sosyokültürel durumuna göre iç ve dış mekanları değişse de kişinin teknedeki beklentisi değişmemektedir. Bir motoryatın olmazsa olmazları konfor ve lüktür. Lüks konu başlığı iç mekan tasarımları ile ilgiliyken, konforun gemi inşaat mühendisliği ile yoğun bir ilgisi vardır. Teknedeki düşey ivmelenmeler ne kadar azsa tekne o kadar konforludur denebilir. Tabi ki teknenin konforunun belirlenmesinde ana kriter düşey ivmelenmeler değildir ancak bu konu üzerinde çok durulan ve çok çalışılan bir konudur. Analizini yaptığımız ve genelde ailelerin tercih ettiği bu boy ve endeki motoryatlarda düşey ivmelenmeler ne kadar azaltılabilirse, insanların deniz tutmasına maruz kalmaları da o kadar azalacaktır. Daha önce de belirtildiği gibi 0 – 2 yaş arasındaki bebekler deniz tutmasından etkilenmezken, 4 – 10 yaş arasındaki çocuklar deniz tutmasından en çok etkilenen yaş grubudur.

Analizler esnasında L değeri 0,25 metre aralıklarla değiştirilerek 21,75 m.den 22,75 m.ye kadar SC23 modeli de dahil olmak üzere, 5 model üretilmiştir. Ayrıca 0,2 m.lik aralıklarla 5,411 m.den 6,211 m.ye kadar değişen enlerde de yine SC23 dahil olmak üzere 5 adet model incelenmiştir ve her birisinin ayrı ayrı düşey ivmelenmeleri hesaplanmıştır.

Boy değişiminin 1 metre aralıkta seçilmesinin birçok nedeni vardır. Öncelikli olarak tekne boyu temel denizcilik bilgisine sahip her gemi müşterisi için neredeyse en önemli bir kriterdir. Çünkü halk arasında “Her tekne 1 metre kısadır” gibi bir söz vardır ve bu söz yeni bir tekneye sahip her insanın aslında teknesinin daha büyük olmasını istemesi anlamına gelir. Ancak işin içerisine bu noktada ekonomik kriterler girmektedir. Yacht Türkiye dergisinin Mart 2011 sayısından alınan 20.10 – 27.10 m. arasındaki bazı sıfır motoryat fiyatları Çizelge 6.3.deki gibidir.

Çizelgede görülmektedir ki, 20,00 – 21,00 metre arasındaki bir tekne ortalama olarak 1.500.000 €’ya satılmaktayken, 22,00 – 23,00 m. aralığındaki bir teknenin satış fiyatı yaklaşık 2.300.000 €’ya çıkmaktadır. 1 metre değişim için ödenecek yaklaşık fiyat 800.000 € civarındadır ve tekne için ödenecek meblanın neredeyse % 150 artması demektir. Diğer taraftan tekne boyu arttıkça tekne fiyatları doğrusal bir şekilde değil, parabolik bir şekilde artmaktadır. Ortalama 25.00 m.’lik bir tekne alabilmek için ödenmesi gereken ücret yaklaşık 3.500.000 € iken, Listenin en büyüğü ve en pahalısı olan 27.10 m.lik Dominator 68 modelinin fiyatı 5.300.000 €’dur.

Analizimiz için ürettiğimiz 21,75 m.den 22,75 m.ye kadar olan modellerin iç hacimleri ise neredeyse aynıdır. Tekne boyundaki 1 metre uzama, teknenin konforundan ya da lüksünden bir şey kaybettirmemektedir. Analizimizin boy değişim aralıklarını çok geniş tutmamamızın nedenlerinden bir tanesi de budur. Çünkü seçilen aralık örneğin 20,00 m. ile 24,00 m. arasında olsaydı teknelerin iç mekanları birbirlerinden farklı olacak ve düşey ivmelenmelerin hesaplanacağı noktalar birbirlerinin üzerinde çıkmayabilecekti. Örneğin AP’den 19,00 m. uzaklıkta seçilen “Baş Kamara Yatak” noktasını, 20,00 m’lik bir teknede yakalayabilmek çok mümkün değildir. Diğer taraftan 24,00 m.’lik bir tekne için de yine kıçtan 19,00 m.ye yerleştirilmiş bir yatak da iç tasarım açısından çok hoş durmamaktadır. Bu nedenle 21,75 m ile 22,75 m. arasında üretilen modelleri incelemek daha uygundur. Ayrıca 20,00 m’lik bir tekne ile 24,00 m’lik bir teknenin fiyatları da birbirlerinden

çok farklı olacağı için aynı klasmanda teknelerin karşılaştırılmaları mümkün olmayacaktır.

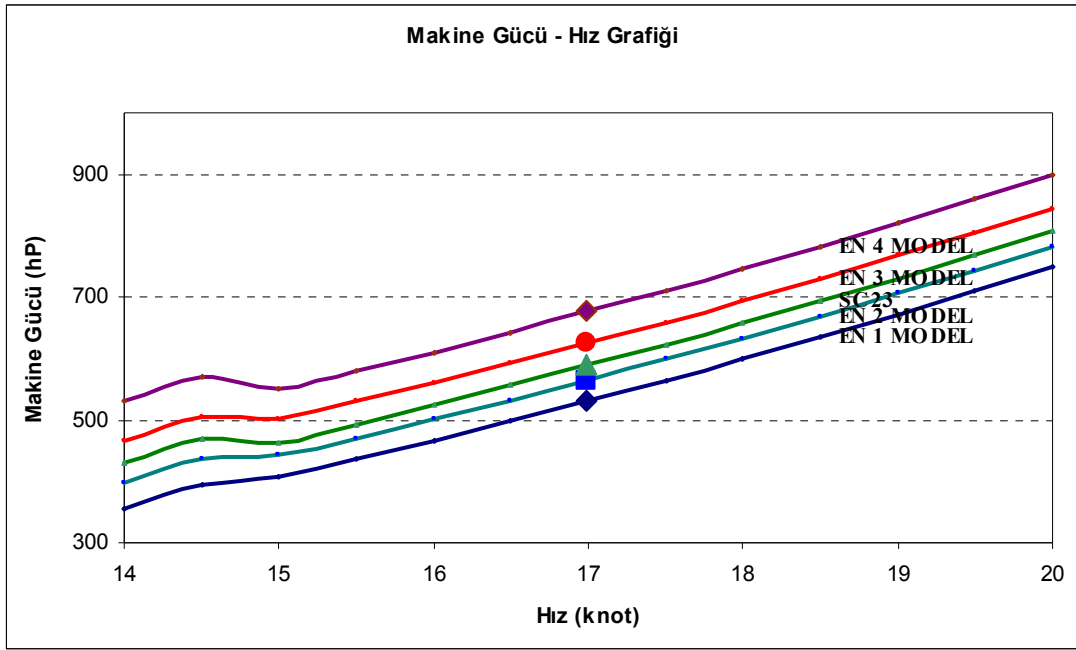
Çizelge 6.3 : Loa = 20,00 – 27,00 m. arası motoryatların güncel fiyat listesi

	Boy (m) (L _{OA})	En (m) (B _{MAX})	Fiyat (€)
Dominator 860	27.10	6.60	5.300.000
Aegan Yacht Posillipo Techenma 80	25.50	6.32	3.650.000
Sunseeker Predator 84	26.48	6.34	3.250.000
Dominator 780	24.00	6.05	3.780.000
Numarine 78 Fly	23.98	5.80	2.380.000
Aegan Yacht Posillipo Techenma 75	23.95	5.95	3.140.000
Orion Yacht Ghost 78	23.90	6.35	2.500.000
Sunseeker Manhattan 73	22.60	5.73	1.998.000
Sunseeker Manhattan 70	22.25	5.67	1.982.000
Dominator 720	22.17	5.75	2.865.000
Dominator 680	21.30	5.50	2.298.000
Numarine 68 Fly	21.20	5.40	1.600.000
Fairline Squadron 65	20.41	5.24	1.344.800
Sunseeker Predator 64	20.10	4.95	1.129.000

Teknenin enindeki değişimler ise 0,20 m. aralıklarla yapılmıştır. Bu bölümde aralıkları çok geniş tutmamamızın nedenleri ise şöyledir: Öncelikli olarak motoryat müşterileri için konfor birincil önemli kriterdir. Kişinin konfor algısını harekete geçirmek ise ancak ona geniş iç hacimler sunarak mümkündür. Geniş iç hacimleri sağlayabilmek için en basit çözüm teknenin olabildiğince geniş olmasıdır. Ancak teknelerin çok geniş olması, toplam gemi direncinin de artmasına neden olacaktır.

Direnç artışı ile teknenin servis hızına ulaşması için gereken makine gücü artacaktır. Ayrıca genişliğin artmasının teknenin yalpa hareketlerinde değişikliklere neden olacağı gibi teknenin yapım maliyetlerini de arttıracaktır. Bu nedenlerle genişlik değişimlerinin tekne karakterini değiştirmeden olabildiğince ölçülü aralıklar seçilmiştir.

Maxsurf programının Seakeeping modülünden başka, bir de teknelerin form direncini ölçen ve teknenin dizayn hızlarına ulaşabilmek için ihtiyacı olan beygir gücünün yaklaşık hesabını yapan Hullspeed modülü de mevcuttur. Yukarıda belirtildiği üzere, genişliğin artması ile gemi form direncinin artması hususunda tüm EN isimli tekne modellerinin Hullspeed'de beygir gücü analizleri yapılmıştır. Aşağıda EN 1, 2, 3, 4 MODEL'lerinin ve SC23'ün Hız – Beygir Gücü grafikleri görülmektedir.



Şekil 6.3 : EN 1, 2, 3, 4 MODEL'lerinin ve SC23'ün Makine Gücü – Hız Grafiği

Modellerin, denizcilik performans analizlerinin yapıldığı 17 knot hıza ulaşabilmeleri için gereken tahmini beygir güçleri ise aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.4 : 17 knot hız için gereken beygir gücü değerleri

Model	Makine Gücü (hp)
EN 1 MODEL	531.29
EN 2 MODEL	574.99
SC23	588.64
EN 3 MODEL	625.38
EN 4 MODEL	676.29

6.2 Modellerin Hazırlanması

Modellerin hazırlanması sırasında Maxsurf (version 11.12) programı kullanılmıştır. Öncelikli olarak File menüsünden Open Design sekmesi seçilerek SC23 modeli seçilmiş ve 3 boyutlu gövde Maxsurf'te açılmıştır. Teknenin hidrostatik hesaplamaları yapılmış ve teknenin deplasmanı 53,53 m³ olarak bulunmuştur. Diğer tüm modellerin deplasmanlarının da bu değere yaklaştırılmasına çalışılmıştır.

Daha sonra Maxsurf'ün Surface sekmesine tıklanmış ve açılan menüde Size Surface sekmesi seçilmiştir. Size Surface menüsünde tanımlanmış her şeklin boyutları değiştirilebilmektedir. Çalışma dahilinde öncelikli olarak teknenin eni sabitken boyunun değişmesi ile üretilen Boy 1, Boy 2, Boy 3 ve Boy 4 modelleri hazırlanmış ve tekneleri 53,53 m³'lük deplasman değerine getirebilmek için teknelerin su çekimleri değiştirilmiştir. Teknelerin su çekimleri ise; Data Menüsündeki Frame of Reference sekmesinden gerçekleştirilmiştir. Sonrasında da En 1, En 2, En 3 ve En 4 isimli tekneler hazırlanmıştır.

Bu sayede çalışma kapsamında denizcilik performans analizleri gerçekleştirilecek SC23 isimli model de dahil olmak üzere 9 adet model hazırlanmıştır.

6.3 Düşey İvmelerin Hesabı

Maxsurf'te hazırlanmış 9 adet model Seakeeper modülünde açılmıştır. Seakeeper'in ana ekranındaki Inputs bölümü içindeki Locations sekmesine teknenin ivme değerlerini aradığımız noktalar tanımlanmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu noktalar; baş kamarada yatağın olduğu nokta, vasattaki yaşam mahali ve kış havuzluktaki yaşam mahalidir. Daha sonra yine Inputs bölümünün içindeki Speeds sekmesine tek hız değeri olarak 17 knot yazılmıştır. Speeds sekmesinin yanındaki Headings sekmesine, teknenin baştan alacağı dalgalar inceleneceği için 180 derece yazılmış ve Spectra sekmesinde JONSWAP dalga spektrumu seçilerek karakteristik dalga yüksekliği olarak 1,5 m. ortalama dalga periyodu olarak 5,5 s. olarak belirlenmiştir.

Teknenin hangi şartlarda seyredeceği ve hangi noktalarda analiz yapılacağı tanımlandıktan sonra Analysis menüsü içindeki Measure Hull sekmesi seçilmiş ve açılan ekranda Measure all tuşuna basılıp tüm tekneler tekrar Seakeeper'a tanıtılmıştır. Bu tanımlamadan sonra Vessel Type olarak Monohull seçilmiştir. Elimizde bu teknenin jirasyon yarıçaplarını hesaplayabileceğimiz bir yükleme koşulu bulunmadığı için, ancak bunun tipik bir motoryat olduğunu bildiğimiz için Mass Distribution sekmesinde teknenin jirasyon yarıçapları;

Boyuna jirasyon yarıçapı = %25

Enine jirasyon yarıçapı = %40

olarak belirlenmiştir.

Damping Factor, Enviroment ve Frequency Range sekmelerindeki değerler değiştirilmemiştir. Zira bu sekmelerde analizin hangi aralıklarda yapılacağı ya da denizin derinliği ile ilgili çeşitli düzenlemeler vardır ve Seakeeper'in otomatik olarak atadığı değerler analizimiz için uygundur.

Analysis menüsü altındaki Analysis Method sekmesinde 3 tane seçenek görünmektedir. Bunlardan ilki Transom Terms ikincisi, Added Resistance 3.sü ise Wave Force sekmeleridir. Transom Terms sekmesinde Transom terms şıkkı seçilmiştir ki bu sayede ayna kışık teknelerde dilim teorisi ile yapılan hesaplamalara ek bir düzeltme daha gelmiştir ve sonuçlar gerçeğe uygun bir hale gelmiştir. Added Resistance sekmesinde Salvesen şıkkı seçilmiştir. Salvesen şıkkının seçilme nedeni,

Diğer şıklar olan Gerritsma ve Baukelman yöntemlerinin hızlı kargo gemilerinde kullanılmaya daha müsait oluşu, Salvesen yönteminin tüm tekneler için uygulanmaya uygun olmasıdır. Bu ek direnç hesaplama yönteminde dalga büyüklüğü ve hesaplanan hareketler ile ek direncin ikinci dereceden ilgili olduğu düşünülmüştür ve eğer gemi hareketleri %10 – 15 hata payı ile hesaplanabilirse, tekneye etkiyecek ek direncin toplam direncin %20 – 30 fazlası olduğu söylenmektedir.

Diğer sekme olan Wave Force’da ise Head Seas Approximation şıkkı seçilmiştir. Bu seçimin nedeni, Head Seas Approximation’un teknenin yönü 160^0 – 200^0 arasıdayken uygun sonuçlar vermesidir.

Tüm bu girdilerden sonra Analysis menüsü altındaki Solve Seakeeping Analysis sekmesine basılarak teknelerin ilgili noktalardaki düşey ivme değerleri hesaplanmıştır. SC23’ün sonuçları Çizelge 6.5’deki gibidir.

Çizelge 6.5 : EKA SC23 Gerçek Düşey İvmelenme Değerleri

EKA SC23	Düşey İvme (m/s²)
Baş Kamara Yatak	4,787
Vasat Yaşam Mahali	2,989
Kıç Yaşam Mahali	3,046
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,5455

Diğer tüm modellere yukarıdaki işlemler uygulandığında hesaplanan düşey ivmelenme değerleri Çizelge 6.6’da görülmektedir.

Çizelge 6.5 ve 6.6’da teknede hesaplamaların yapıldığı noktalar ve bu noktalardaki değerlerin ilgili katsayılar ile çarpılarak elde edilen Ortalama Gerçek Düşey İvmelenmeler görülmektedir. Çizelgedeki değerlerden elde edilen bir diğer sonuç ise, teknenin vasatında düşey ivmelenmelerin en az olmasıdır. Diğer bir deyişle teknelerin yaşam mahallerinin olabildiğince tekne vasatına yakın olması konforu arttıran önlemlerden bir tanesidir.

Aşağıdaki değerlerden teknenin boyu ve enindeki değişimlerin teknenin düşey ivmelenmesi üzerindeki etkileri görülebilmektedir. Açık bir şekilde teknenin boyunun uzaması ve eninin büyümesi teknedeki düşey ivmelenme değerlerini azaltmaktadır.

Çizelge 6.6 : SC23'ten üretilen modellerin ivmelenme değerleri

BOY 1 MODEL (L = 21,75 m) Düşey İvme (m/s²)	
Baş Kamara Yatak	4,91
Vasat Yaşam Mahali	3,048
Kıç Yaşam Mahali	3,082
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,6168
BOY 2 MODEL (L = 22,00 m)	
Baş Kamara Yatak	4,848
Vasat Yaşam Mahali	3,018
Kıç Yaşam Mahali	3,064
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,5808
BOY 3 MODEL (L = 22,5 m)	
Baş Kamara Yatak	4,727
Vasat Yaşam Mahali	2,96
Kıç Yaşam Mahali	3,028
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,5105
BOY 4 MODEL (L = 22,75 m)	
Baş Kamara Yatak	4,668
Vasat Yaşam Mahali	2,932
Kıç Yaşam Mahali	3,009
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,4759
EN 1 MODEL (B = 5,411 m)	
Baş Kamara Yatak	5,015
Vasat Yaşam Mahali	3,103
Kıç Yaşam Mahali	3,18
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,6997
EN 2 MODEL (B = 5,611 m)	
Baş Kamara Yatak	4,899
Vasat Yaşam Mahali	3,044
Kıç Yaşam Mahali	3,111
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,6206
EN 3 MODEL (B = 6,011)	
Baş Kamara Yatak	4,687
Vasat Yaşam Mahali	2,939
Kıç Yaşam Mahali	2,986
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,4775
EN 4 MODEL (B = 6,211 m)	
Baş Kamara Yatak	4,592
Vasat Yaşam Mahali	2,892
Kıç Yaşam Mahali	2,93
Ortalama Gerçek Düşey İvme	3,4134

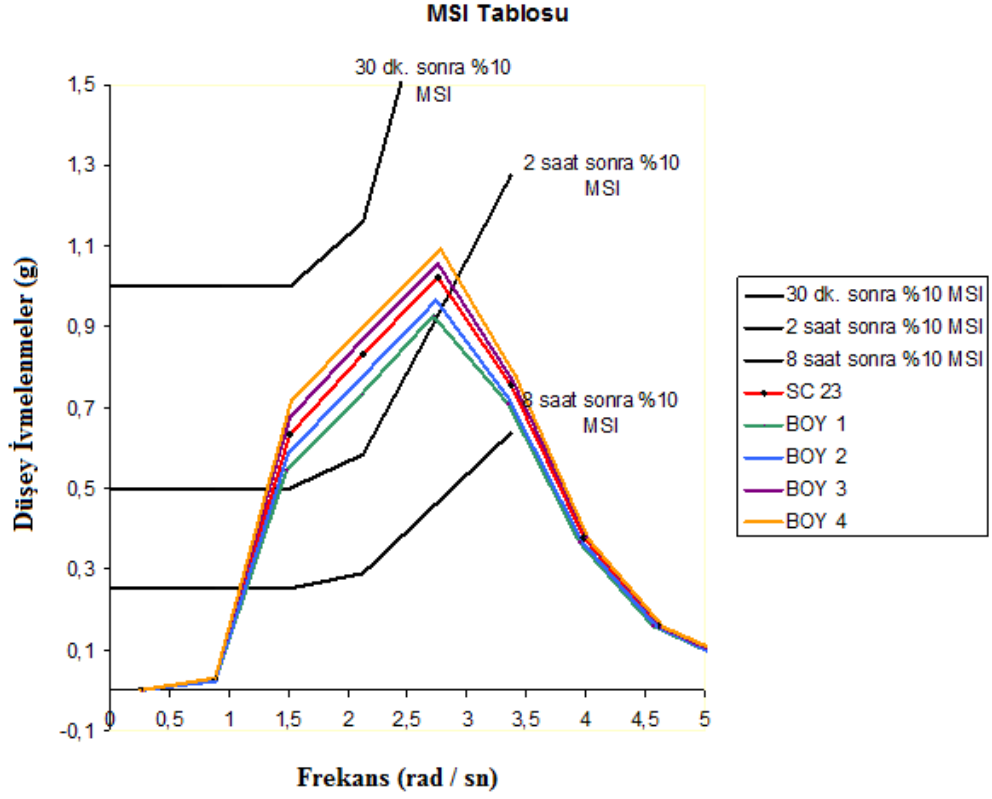
6.4 Modellerin Deniz Tutması İndislerinin Karşılaştırılması

Tüm modeller için elde edilen ortalama gerçek düşey ivme değerleri göstermiştir ki boydaki ve genişlikteki büyümeler teknedeki düşey ivmelenme değerlerini azaltmaktadır. Diğer taraftan Seakeeper modülü teknelerin ilgili noktalarındaki deniz tutma indislerini de hesaplamakta ve Bölüm 4 Şekil 4.1’de gösterilen deniz tutma indisi grafiğinde göstermektedir. Aşağıda, Seakeeper modülünde yapılan analizden sonra elde edilen; hareketin gerçekleşme frekanslarında ilgili modelde maruz kalınan düşey ivmelenme çizelgesi verilmiştir.

Çizelge 6.7 : BOY modellerinde maruz kalınan düşey ivmelenmeler

Karşılama Frekansları (Rad/sn)	Ortalama Gerçek Düşey İvmelenmeler (m/s ²)				
	SC 23	BOY 1	BOY 2	BOY 3	BOY 4
0,26	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,88	0,027	0,023	0,024	0,029	0,031
1,51	0,634	0,547	0,586	0,675	0,716
2,13	0,833	0,732	0,776	0,872	0,910
2,75	1,022	0,926	0,964	1,057	1,093
3,37	0,756	0,709	0,725	0,768	0,778
3,99	0,376	0,365	0,368	0,376	0,374
4,61	0,161	0,162	0,160	0,158	0,154
5,24	0,074	0,074	0,073	0,073	0,073
5,86	0,051	0,046	0,048	0,053	0,054
6,48	0,042	0,037	0,038	0,043	0,045
7,1	0,035	0,032	0,032	0,035	0,036
7,72	0,029	0,028	0,028	0,029	0,029
8,34	0,023	0,022	0,023	0,022	0,023
8,97	0,015	0,016	0,015	0,015	0,014
9,59	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010
10,21	0,010	0,010	0,009	0,010	0,010
10,83	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009
11,45	0,008	0,007	0,008	0,009	0,009
12,07	0,008	0,007	0,007	0,008	0,007
12,69	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005

Şekil 6.4’de ise bu değerlerin ISO 2631 standartında verilen tabloya taşınması ile oluşan MSI değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6.4 : Boy değişimlerinin MSI üzerine olan etkisi

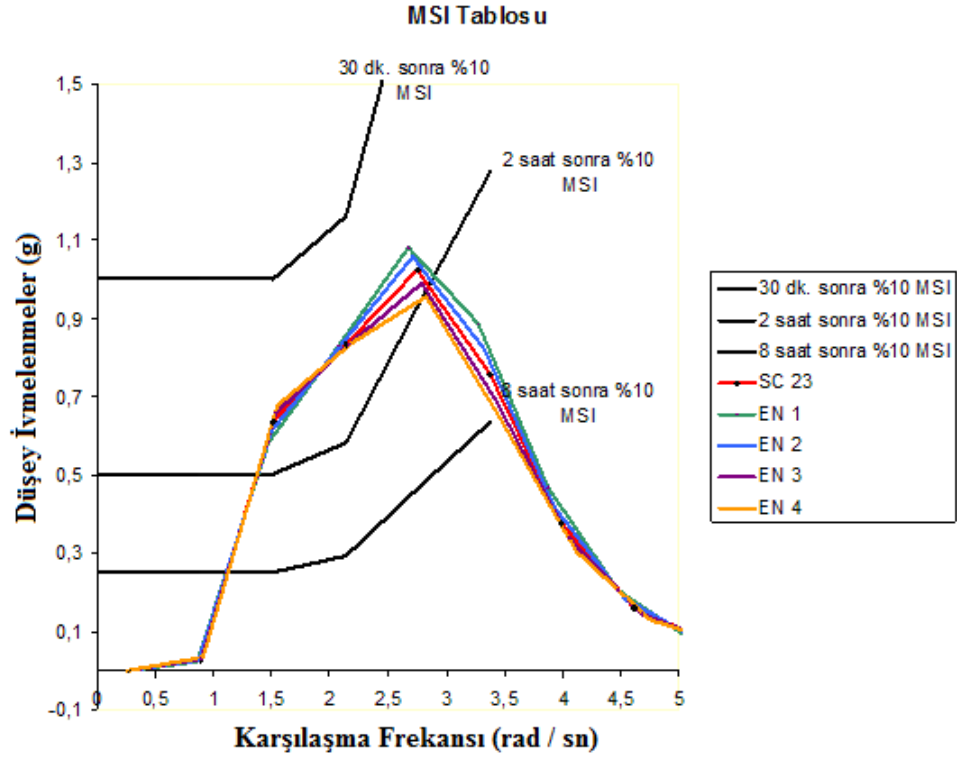
Bu şekilden de açıkça görülmektedir ki boy değeri uzadıkça teknedeki MSI oranı da aynı oranda düşmektedir.

En değerindeki değişimler de boy değerindeki değişimler ile benzer karakterde bir davranış sergilerler ve en değeri MSI değeri ile ters orantılıdır. Çizelge 6.8’de, Seakeeper modülünde yapılan analizden sonra elde edilen; hareketin gerçekleşme frekanslarında ilgili modelde maruz kalınan düşey ivmelenme çizelgesi verilmiştir.

Şekil 6.5’de ise Çizelge 6.8’deki değerlerin değerlerin ISO 2631 standartında verilen tabloya taşınması ile oluşan MSI değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.8 : EN modellerinde maruz kalınan düşey ivmelenmeler

Karşılama Frekansları (Rad/sn)	Ortalama Gerçek Düşey İvmelenmeler (m/s²)				
	SC 23	EN 1	EN 2	EN 3	EN 4
0,26	0,000	0,078	0,127	0,147	0,119
0,88	0,027	0,264	0,431	0,499	0,401
1,51	0,634	0,453	0,740	0,856	0,689
2,13	0,833	0,639	1,044	1,208	0,971
2,75	1,022	0,825	1,348	1,559	1,254
3,37	0,756	1,011	1,651	1,911	1,537
3,99	0,376	1,197	1,955	2,262	1,820
4,61	0,161	1,383	2,259	2,614	2,103
5,24	0,074	1,572	2,568	2,971	2,390
5,86	0,051	1,758	2,871	3,323	2,673
6,48	0,042	1,944	3,175	3,674	2,956
7,1	0,035	2,130	3,479	4,026	3,238
7,72	0,029	2,316	3,783	4,377	3,521
8,34	0,023	2,502	4,087	4,729	3,804
8,97	0,015	2,691	4,395	5,086	4,091
9,59	0,011	2,877	4,699	5,438	4,374
10,21	0,010	3,063	5,003	5,789	4,657
10,83	0,009	3,249	5,307	6,141	4,940
11,45	0,008	3,435	5,611	6,492	5,222
12,07	0,008	3,621	5,914	6,844	5,505
12,69	0,005	3,807	6,218	7,195	5,788



Şekil 6.5 : En değişimlerinin MSI üzerine etkisi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yapılabilen boyutlardaki yüksek hızlı bir teknenin denizcilik hesapları arasında önemli bir yere sahip olan düşey ivmelenmelerin, teknenin deplasman değeri sabit kalması koşulu ile boy ve genişlik değerlerinin ayrı ayrı değiştirildiğinde nasıl etkileneceğinin tespitidir.

Yüksek süratli birçok çeşit tekneler vardır. Bu tekneler görevleri itibari ile askeri amaçlarla ya da sivil amaçla kullanılabilirler. Askeri amaçla kullanılan yüksek süratli gemilerde savaş sistemlerinin ve mürettebatın etkin bir şekilde çalışabilmesi hayati bir konudur. Bu noktada teknenin ve mürettebatın durumları ayrı ayrı incelenebilir. Teknenin görevini yerine getirebileceği şartlarda mürettebatın, mürettebatın çalışabileceği şartlarda da teknenin çalışamayacak durumda olması istenmeyen bir durumdur. Ancak burada daha önemli olan konu, mürettebatın hiçbir zaman işlevlerinin kısıtlanmaması gerektiğidir. Mürettebatın işlevlerinin kısıtlanmasının önemli nedenlerinden birisi dalgalardan dolayı meydana gelen çeşitli fiziksel rahatsızlıklardır.

Sivil gemilerde ise durum biraz daha farklıdır. Balıkçı ya da yolcu gemileri gibi görevleri tam olarak belirli olmayan kişisel kullanım amacıyla yapılmış yüksek süratli teknelerde daha önce de belirtildiği gibi konfor önemli bir kriterdir. Konforun sağlanması için de düşey ivmelenmelerin olabildiğince küçük değerlerde olması gerekmektedir.

Düşey ivmelenme değerini azaltmanın çeşitli yolları vardır. Seyir anındayken hız kesme ya da geminin rotasını değiştirme gibi pratik çözümler olsa da teknenin ana boyutlarının değişimi düşey ivmelenme değerini çok etkilemektedir. En uç örnekler olarak bir sandal ile 100 metrelik bir tankerin ivmelenme değerleri aynı değildir. Bu noktadan yola çıkarak çalışma dahilinde var olan bir motoryatın 3 noktadaki düşey ivmelenme değerlerini hesaplandı ve insanların bu noktalarda geçirdikleri vakitler göz önünde bulundurularak elde ettiğimiz düşey ivmelenme değerleri birer katsayı ile çarpılmış ve teknenin düşey ivmelenme performansı elde edilmiştir.

Gövde tasarımı bir optimizasyondur ve bu noktada da dizayna birden fazla parametre etki etmektedir. Teknenin boyu uzadıkça maliyetinin artacağı ve seyir karakterinin değişeceği, teknenin eninin artması durumunda da teknenin istenen hızlarda sevkini sağlayacak makine gücünün artacağı ve yine maliyetinin artacağı birer gerçektir. Bu nedenle, çalışma dahilinde üretilen tüm modellerin boy ve genişlik değerlerindeki değişimler olabildiğince, yukarıda anlatılan parametrelere uygun bir aralıkta seçilmiştir.

Analizlerin sonucunda görülmüştür ki, deplasman değerleri tüm teknelerde aynı kalmak koşulu ile, teknenin boyu ve eninde olan büyümeler teknelerin düşey ivmelenmelerini azaltmaktadır. Ancak teknelerin bu değerlerinin büyümesi ile ortaya çıkan başka kriterler de göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Sarıöz, K., Kükner, A., Alkan, A.D.:** *Gemi Mühendisliği El Kitabı*, 2009, Sf. 6.1 – 6.A.6, İstanbul – Türkiye
- [2] **Bertram, V.:** *Practical Ship Hydrodynamics*, ISBN: 978-0-7506-4851-6, August 2000, Sf. 98 – 150
- [3] *The Maritime Engineering Reference Book*, 2008, Pages 483-577
- [4] **Newman, R.A.:** Ship Motion Effects in the Human Factors Design of Ships and Shipboard Equipment, Navy Personnel Research and Development Center **NPRDCTR-77-2**, November 1976.
- [5] **Dittner, A.C. (Jr.), Guignard, J.C.:**"Human Factors Engineering Principles for Minimizing Adverse Ship Motion Effects: Theory and Practice", *Naval Engineers Journal* **97(4):205-13**, May 1985.
- [6] **ISO-2631/3**, 1985. Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 3: Evaluation of Exposure to Whole-Body Z-Axis Vertical Vibration in the Frequency range 0.1 to 0.63 Hz., *International Organization for Standardisation*, Geneva.
- [7] **BS6841**, 1987. Guide to Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. *British Standard Institution*. London
- [8] **MIL-STD-1472C,2**, 1981. Military Standard; Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment and Facilities, *United States Department of Defense – Defense Standard*. Virginia.
- [9] **O'Hanlon, J.P. and McCauley, M.E.:** "Motion Sickness Incidence as a Function of the Frequency and Acceleration of Vertical Sinusoidal Motion", *Aerospace Medicine*, **45(4):366-369**, 1974
- [10] **McCauley. M.E., Royal, J.W., Wylie, C.D., O'Hanlon, J.F., and Mackie, R.R.:** "Motion Sickness Incidence: Exploratory Studies of Habituation, Pitch and Roll, and the Refinement of a Mathematical Model", *Human Factors Research, Inc., Technical Report 1733-2 (USN ONR contract N00014-73-C-0040)*, April 1976
- [11] **Lawther, A. and Griffin, M.J.:** "Prediction of the Incidence of Motion Sickness from the Magnitude, Frequency and Duration of Vertical Oscillations", *Journal of the Acoustical Society of America* **82(3):957-66**, 1987

- [12] **Lawther, A. and Griffin, M.J.:** "Motion Sickness and Motion Characteristics of Vessels at Sea", *Ergonomics* **31(10):1373-94**, 1988.
- [13] **Colwell J. L.:**"Human Factors in the Naval Environment: A Review of Motion Sickness and Biodynamic Problems", *Technical Memorandum* **89/220**, September 1989.
- [14] **Baitis A.E., Bennet C.J., Meyers W.G., Lee W.T.:** 1994 Seakeeping Criteria for 47 ft, 82 ft, and the 110 ft U.S. Coast Guard Cutters Naval Surface Warfare Center, Bethesda. Maryland US, **CRDKNSV/C-HD-1424-01**
- [15] **Lawther, A. and Griffin, M.J.:** "The Motion of a Ship at Sea and the Consequent Motion Sickness Amongst Passengers", *Ergonomics* **29(4):535-52**. 1986
- [16] **Applebee, T.A., McNamara, T.M. and Baitis, A.E.:** "Investigation into the Seakeeping Characteristics of the US Coast Guard 140-ft WTGB Class Cutters: Sea Trial Aboard the USCGC MOBILE BAY", *NSDRC Report SPD 0938-01*, March 1980
- [17] **Griffin, M.J.:** "Vibration Dose Values for Whole-Body Vibration: Some Examples". UK Informal Group Meeting on Human Response to Vibration, Heriot- Watt University, Edinburgh, **UK-HRV-84**, September 21-22, 1984
- [18] **Irwin, A.W. and Goto, T.:** "Human Perception, Task Performance and Simulator Sickness in Single and Multi-Axis Frequency Horizontal Linear and Rotational Vibration", *UK Informal Group Meeting on Human Response to Vibration*, Heriot-Watt University, Edinburgh, **UK-HRV-84**, September 21-22, 1984
- [19] **Glaser, E.M.:** *The Physiological Basis of Habituation*. Oxford University Press. London, 1966.
- [20] **Money, K.E.:** "Motion Sickness", *Physiological Reviews* **50(1)1-39**, 1970.
- [21] **Wiker, S.F., Pepper, R.L. and McCauley, M.E.:** "A Vessel Class Comparison of Physiological, Affective State and Psychomotor Performance Changes in Men at Sea", *USCG Report USCG-D-07-81*, August 1980.
- [22] **Andrew, R.N. and Lloyd, A.R.J.M.:** "Full Scale Comparative Measurements of the Behaviour of Two Frigates in Severe Head Seas", *Trans RINA*, Volume **123**, 1981
- [23] **Thomas, D.J., Guignard, J.C. and Willems, G.C.:** "The Problem of Defining Criteria for Protection of Crew from Low-Frequency Ship Motion Effects", *Proceedings of the 24th DRG Seminar on the Human as a Limiting Element in Military Systems*, DCIEM, May 1983, Volume **1**, DS/A/DR(83)-170-Vol-1.

- [24] **Collins, W.E.:** "Adaptation to Vestibular Disorientation. XII. Habituation of Vestibular Responses: An Overview", *FAA Civil Aeromedical Institute report FAA-AM-74-3*. March 1974
- [25] **Dowd, P.J.:** "Resistance to Motion Sickness Through Repeated Exposure to Coriolis Stimulation", *Aerospace Medicine* **36:452-455**, 1965
- [26] **Lidvall, H.F.:** "Mechanisms of Motion Sickness as Reflected in the Vertigo and Nystagmus Responses to Repeated Coriolis Stimulation", *Acta Oto-Laryngologica* **55:527-36**, 1962.
- [27] **Reason, J.T. and Benson, A.J.:** "Voluntary Movement Control and Adaptation to Cross-Coupled Stimulus", *Aviation, Space, and Environmental Medicine* **49:1275-80**, 1978.
- [28] **Reason, J.T. and Graybiel, A.:** "An Attempt to Measure Degree of Adaptation Produced by Differing Amounts of Coriolis Vestibular Stimulation", *Naval Aerospace Medical Institute, NAMI-1084*, July 1969.
- [29] **Reason, J.T. and Graybiel, A.:** "Adaptation to Coriolis Accelerations: Its Transfer to the Opposite Direction of Rotation as a Function of Intervening Activity at Zero Velocity", *Naval Aerospace Medicine Institute, Report NASA R-93*, August 1969.
- [30] **Reason, J.:** "Motion Sickness: Some Theoretical and Practical Considerations", *Applied Ergonomics* **9(3):163-7**, 1978.
- [31] **Muir, C.A.:** "Motion Sickness - A Bibliography", *Royal Naval Personnel Research Committee, UK, SMWP-1/83*, September 1983.
- [32] **Graybiel, A., Wood, C.D., Miller, E.F., and Cramer, D.B.:** "Diagnostic Criteria for Grading the Severity of Acute Motion Sickness", *Aerospace Medicine* **39:453-5**, 1968
- [33] **Graybiel, A. and Lackner, J.R.:** "Motion Sickness: Acquisition and Retention of Adaptation Effects Compared in Three Motion Environments", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **54(4):307-11**, 1983
- [34] **Wiker, S.F., Kennedy, R.S., McCauley, M.E., and Pepper, R.L.:** "Reliability, Validity and Application of an Improved Scale for Assessment of Motion Sickness Severity", *NASA Report CG-D-29-79*, 1979
- [35] **Wiker, S.F., Kennedy, R.S., McCauley, M.E., and Pepper, R.L.:** "Susceptibility to Seasickness: Influence of Hull Design and Steaming Direction", *Aviation, Space, and Environmental Medicine* **50(10):1046-1051**, 1979.

- [36] **Wiker, S.F., Pepper, R.L. and McCauley, M.E.:** "A Vessel Class Comparison of Physiological, Affective State and Psychomotor Performance Changes in Men at Sea", *USCG Report USCG-D-07-81*, August 1980.
- [37] **Woolaver, D.A. and Peters, J.B.:** "Comparative Ship Performance Sea Trials for the US Coast Guard Cutters MELLON and CAPE CORWIN and the US Navy Small Waterplane Area Twin Hull Ship KAIMALINO", *DTNSRDC-80/037*, March 1980.
- [38] **Wiker, S.F. and Pepper, R.L.:** "Adaptation of Crew Performance, Stress and Mood Aboard a SWATH and Monohull Vessel", *USCG-D-18-81*, 1981.
- [39] **Lawther, A. and Griffin, M.J.:** "A Survey of the Occurrence of Motion Sickness Amongst Passengers at Sea", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **59(5):399-406**, 1988.
- [40] **Lloyd, A.R.J.M. and Andrew, R.N.:** "Criteria for Ship Speed in Rough Weather", *Proceedings of the 18th ATTC*, Volume 2, pp 541-65, Annapolis, August 1977.
- [41] **Shoenberger, R.W.:** "Subjective Response to Very Low Frequency Vibrations", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **46(6):785-90**, June 1975.
- [42] **Payne, P.R.:** "On Quantizing Ride Comfort and Allowable Accelerations", *Payne, Inc., Report W.P. No. 196-6*, (DTNSRDC contract N00167-76-M-8390), July 1976.
- [43] **Stark, D.R.:** "Ride Quality Characterization and Evaluation in the Low Frequency Regime with Applications to Marine Vehicles", *Conference on Ergonomics and Transport*, Swansea, 1980.
- [44] **Stark, D.R.:** "Marine Vehicle Ride Quality: A State-of-the-Art Assessment", *Transportation Research Record 894, National Academy of Sciences*, Washington DC, 1982.
- [45] **Farris, W.E.:** "Ride Quality Criteria and Assessment for Advanced Marine Vehicles". *AIAA Eighth Advanced Marine Systems Conference*, San Diego CA, September 22 - 24, 1986.
- [46] **Thomas, D.J., Guignard, J.C. and Willems, G.C.:** "The Problem of Defining Criteria for Protection of Crew from Low-Frequency Ship Motion Effects", *Proceedings of the 24th DRG Seminar on the Human as a Limiting Element in Military Systems*, DCIEM, May 1983, Volume 1, DS/A/DR(83)-170-Vol-1..

- [47] **Landolt, J.P., and Monaco, C.:** "Seasickness in Occupants of Totally – Enclosed Motor – Propelled Survival Craft (TEMPSC)", DCIEM Report 89-RR-14, April 1989
- [48] **Applebee, T.A., McNamara, T.M. and Baitis, A.E.:** "Investigation into the Seakeeping Characteristics of the US Coast Guard 140-ft WTGB Class Cutters: Sea Trial Aboard the USCGC MOBILE BAY", *NSDRC Report SPD 0938-01*, March 1980
- [49] **Baitis, A.E., Woolaver, D.A., and Beck, T.A.:** "Rudder Roll Stabilization for Coast Guard Cutters and Frigates", *Naval Engineers Journal* **95(3):267-82**, 1983
- [50] **Baitis, A.E., Applebee, T.R. and McNamara, T.M.:** "Human Factors Considerations Applied to the Operations of the FFG-8 and LAMPS Mk III", *Naval Engineers Journal* **97(4)**, May 1984.
- [51] **Graham, R.:** "Motion-Induced Interruptions as Ship Operability Criteria", *submitted for publication in the Naval Engineers Journal*, 1989
- [52] **Lloyd, A.R.J.M. and Hanson, P.J.:** "The Operational Effectiveness of the Shipbourne Naval Helicopter", Volume 1, *RINA International Symposium on the Air Threat at Sea*, London, June 11-14, 1985.
- [53] **Warhurst, F. and Cerasani, A.J.:** "Evaluation of the Performance of Human Operators as a Function of Ship Motion", *ELECLAB* **225/68**, NAVSEC (SEC 6165C4), April 1969.
- [54] **Wiker, S.F., Pepper, R.L. and McCauley, M.E.:** "A Vessel Class Comparison of Physiological, Affective State and Psychomotor Performance Changes in Men at Sea", *USCG Report USCG-D-07-81*, August 1980.
- [55] **Sapov, I.A. and Kuleshov, V.I.:** "Seasickness and Efficiency of the Crew of a Surface Vessel", *Military Medical Journal (Voенно-Meditsinskiv Zhurnal)* **4:88-91**. 1975.
- [56] **Colwell J. L.:** "Human Factors in the Naval Environment: A Review of Motion Sickness and Biodynamic Problems", *Technical Memorandum* **89/220**, September 1989.
- [57] **Oman, C.M.:** "A Heuristic Mathematical Model for the Dynamics of Sensory Conflict and Motion Sickness", *Acta Oto-Laryngologica (Stockh) Supplement* **392**, 1962.
- [58] **Griffin, M.J.:** "Levels of Whole-Body Vibration Affecting Human Vision", *Aviation, Space, and Environmental Medicine* **46(8):1033-40**, 1975.
- [59] **Oborne, D.A.:** "A Critical Assessment of Studies Relating Whole-Body Vibration to Passenger Comfort", *Ergonomics* **19(C):751-74**, 1976.

- [60] **Oborne, D.J.:** "Vibration and Passenger Comfort", *Applied Ergonomics* **8(2):97-101**. 1977.
- [61] **MIL-F-9499D**, 1975. Military Specification: Flight Control Systems, *United States Department of Defense – Defense Standard*. Virginia.
- [62] **Sabuncu, T:** “*Gemi Hareketleri*”, İ.T.Ü Kütüphanesi Sayı: **1248**, İstanbul, Türkiye, Ekim 1993.
- [63] **Bales N.K.** 1979 *Minimum Freeboard Requirements for Dry Foredecks: A Design Procedure*, SNAME Spring Meeting/STAR Symposium. Houston. April

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Osman Ender KALENDER
Doğum Yeri ve Tarihi: Antalya / 10.08.1985
Adres: Abbasağa Mah. Kalkan Sok. Çiler Apt.
No : 3/5 D : 4 34353 Beşiktaş / İSTANBUL
Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi
Yayın Listesi: --