



GEMİ İNŞAATI VE DENİZ TEKNOLOJİSİ TEKNİK KONGRESİ 2008

BİLDİRİLER KİTABI

CİLT 1



24 - 25 KASIM 2008
İTÜ AYAZAĞA YERLEŞKESİ
İSTANBUL



Editörler

Şebnem HELVACIĞLU

Hakan AKYILDIZ

Yalçın ÜNSAN

MTU - A Tognum Brand

Alarm. Heavy Seas. Safety.

Powered by MTU.

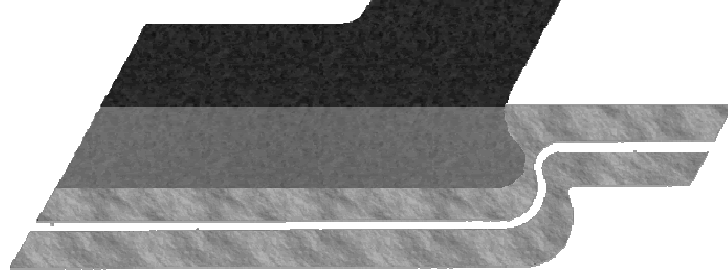


www.mtu-online.com
www.mtu.com.tr



Head Office:
MTU Motor Trbin Sanayi ve Ticaret A.Ş.
merli Cad.No. 5
34565 HADIMKY/İSTANBUL, TÜRKİYE
Tel. +90 212 798 2710 • Fax +90 212 798 2792
E-mail: MTU-TR@mtu-online.com

Sales Office:
Karanfil Cad.
Karanfil Arıstırđı Sk. No. 6
34330 2. Levent/İSTANBUL, TÜRKİYE
Tel. +90 212 386 0600 • Fax +90 212 386 0626



GEMİ İNŞAATI VE DENİZ TEKNOLOJİSİ TEKNİK KONGRESİ 2008

BİLDİRİLER KİTABI

CİLT 1

24 - 25 KASIM 2008
İTÜ AYAZAĞA YERLEŞKESİ
İSTANBUL

Editörler

Şebnem HELVACIĞLU Hakan AKYILDIZ

Yalçın ÜNSAN

ENDÜSTRİLEŞMEK ve DENİZCİLİK

Mustafa Kemal Atatürk

Endüstrileşmek, en büyük milli davalarımız arasında yer almaktadır. Çalışması ve yaşaması için ekonomik elemanları memleketimizde mevcut olan büyük, küçük her çeşit endüstriyi kuracağız ve işleteceğiz. En başta vatan savunması olmak üzere, ürünlerimizi değerlendirmek ve en kısa yoldan en ileri ve refahlı Türkiye idealine ulaşabilmek için, bu bir zorunluluktur.

Endüstrileşme karar ve hareketimize paralel olarak, bugünkü kanunlarımızda düşünülecek değiştirmeler ve eklenecek bazı yeni hükümler vardır. Bunların başlıcalarını şöyle özetleyebiliriz: Sermayesi'nin tamamı veya büyük kısmı devlete ait, ticari - sanayi kurumların mali kontrol şeklini; bu kurumların bünyelerine ve kendilerinden istediğimiz ve isteyeceğimiz ticari ulusal ve anlayışla çalışma ilkelerine göre süratle düzenlemek....

Mevcut Gümrük tarifeleri Kanununda da bugünkü politika ve eğilimlerimize uygun tedbirleri almak gerekir. Diğer önemli nokta, memlekette özellikle bazı bölgelerde, göze çarpacak önem kazanmış olan, hayat pahalılığı konusu ile uğraşmak.... Bunun için ilmi bir araştırma yaptırılmalı ve tespit edilecek sorunlar ile radikal ve planlı şekilde mücadele edilmelidir.

Küçük esnafa ve büyük sanayicilere ihtiyaç duyacakları kredileri, kolayca ve ucuza verecek bir örgüt kurmak ve kredinin normal şartlar altında, ucuzlatılmasına çalışmak da çok gerekli işlerdendir.

Türkiye'de devlet madenciliği, milli kalkınma hareketleriyle yakından ilgili, önemli konulardan biridir. Genel endüstrileşme anlayışımızdan başka, maden arama ve işletme işine; her şeyden önce, dış ödeme imkanlarımızı, döviz gelirimizi artırabilmek için devam etmek ve özel bir önem vermek zorundayız. Maden Tektik ve Arama dairesinin çalışmalarının, büyük ölçüde geliştirilmesini ve bulunacak madenlerin, rantabilite hesapları yapıldıktan sonra, planlı bir şekilde hemen işletmeye konulmasını sağlamamızı gerekir.

Ekonomik bünyemizdeki gelişme, deniz ulaşım araçları ihtiyaçlarını her gün arttırmaktadır. Yeni gemiler inşa ettirmek ve özellikle eski tersaneyi, ticaret filomuz için, hem onarım hem yeni yapı merkezi olarak çalıştıracak çareleri sağlamak gerekir.

Arkadaşlar; En güzel coğrafi durumda bulunan, üç tarafı denizle çevrili olan Türkiye; endüstrisi, ticareti ve sporu ile, en ileri denizci millet yetiştirmek yeteneğindedir. Bu yetenekten yararlanmayı bilmeliyiz.; Denizciliği Türk'ün büyük milli ülküsü olarak düşünmeli ve onu az zamanda başarmalıyız.

Ekonomik Kalkınma; Bağımsız ve Egemen Türkiye'nin, daima daha kuvvetli, daima daha refahlı Türkiye idealinin belkemiğidir. Türkiye bu kalkınmada, iki büyük kuvvet serisine dayanmaktadır.: Toprağının iklimleri, zenginlikleri ve başlı başına bir servet olan coğrafi durumu; bir de Türk milletinin, silah kadar, makina da tutmaya yaraşan kudretli eli ve milli olduğuna inandığı işlerde ve zamanlarda, tarihin akışını değiştirir bir güçle beliren yüksek sosyal benlik duygusu...

Kaynakça

Mustafa Kemal Atatürk'ün Büyük Millet Meclisi Beşinci Dönem Üçüncü Toplama Yılıni Açılış Konuşması 1 Kasım 1937 (Devletçilik İlkesi ve Türkiye Cumhuriyeti'nin Birinci Sanayi Planı 1933. Prof. Dr. Afet İnan)

Kaynak Gösterimi : Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik kongresi 2008
Bildiriler Kitabı, 24-25 Kasım 2008
TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul

* Tüm telif hakları, bildiriler içinde yer alan bilgiler ve bundan doğacak hukuki sorumluluklar yazarların kendilerine aittir.

Basım Yeri : Deniz Basım AŞ. – İSTANBUL
Basım Tarihi : Kasım 2008

DÜZENLEYEN KURULUŞLAR

T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı

Gemi Mühendisleri Odası

İstanbul Teknik Üniversitesi
Gemi İnşaatı Ve Deniz Bilimleri Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisliği Bölümü

Türk Loydu Vakfı

KONGRE DÜZENLEME KURULU

Yaşar Duran Aytaş

Tansel Timur

Ömer Gören

Bahri Şahin

Ercan Köse

Mustafa İnel

Yalçın Ünsan

ÖNSÖZ

T.C.Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı'nın desteği ve Gemi Mühendisleri Odası, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Türk Loydu Vakfı, YTÜ Makina Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Bölümü ve KTÜ Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü İşbirliği ile hazırlanan Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2008, sektörümüzde önemli yeri olan ve gelenekselleşmiş bir etkinliktir. Bu güne kadar yapılan kongrelerin dokuzuncusudur. İlk olarak 1968 de " Gemi Mühendisleri Kongresi" adıyla düzenlenmiş, 1969 ve 1973 'de de aynı adla düzenlendikten sonra uzun süre ara verilmek zorunda kalınmıştır. On bir yıl sonra 1984 yılında "Gemi İnşaatı Teknik Kongresi 84 " adı altında toplanılmıştır. Beşinci kongre 1989 yılında, altıncı kongre ise 1995 yılında yedinci kongre 1999 ve sekizinci kongre 2004 yılında düzenlenmiştir. Dokuzuncu ve son kongre İ. T. Ü. Ayazağa Yerleşkesi'nde 24 - 25 Kasım 2008 tarihlerinde gerçekleştirilecektir.

Kongrenin amacı Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi ile ilgili tüm sektörlerden temsilcileri bir araya getirmek, sektörü ilgilendiren çeşitli konulara ilişkin sunulan bildirileri tartışmaktır.

Düzenleyici kurum ve kuruluşlara, çalışmalarda emeğini esirgemeyen meslektaşlarımıza, ayrıca sempozyumun düzenlenmesine katkıda bulunan ve kapakta logoları bulunan firmalara teşekkür ederiz.

Düzenleme kurulu, 06.Kasım.2008

İçindeki Bildiriler

CİLT 1

Bildirinin Adı	Sayfa No
KORKUT, Emin ve ATLAR, Mehmet, Foul Release Antifouling Boyaların Pervanelerde Performans, Kavitasyon ve Gürültü Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi	1
PEŞMAN, Emre ve TAYLAN, Metin Baştan Gelen Düzenli Dalgalarda Yalpa Hareketi Analizi	14
AKYILDIZ, Hakan Balonla Denize İndirme	24
SARAÇOĞLU, Burak Ömer, BARLAS, Barış, ÜNSAN, Yalçın, İNSEL, Mustafa ve HELVACIOĞLU, H. İsmail Bakım Onarım Tersanesi Yer Seçimi Kriterlerinin Belirlenmesi	36
ŞENLİTÜRK, Fevzi ve ALARÇİN, Fuat Servovalf ve Hidrolik Sistemden Oluşan Elektrohidrolik Bir Düman Sisteminin Konum Kontrolü	47
DİYAROĞLU, Çağan ve ALTUNSARAY, Erkin Gemi Çerçevesinin Mukavemet Hesaplarında Sınır Koşullarının Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi	56
GÜNEY, Caner, BİLGİN GÜNEY, Ceren, YONSEL, Fatma ve ÇELİK, Rahmi Nurhan Türkiye Deniz Bilgi Sistemi (DeBiSi) Yaklaşımı	65
BİLGİN GÜNEY, Ceren ve YONSEL, Fatma Balast Suyu Arıtımında Alternatif Yöntemler	80
BAYRAKRAKTARKATAL, Ertekin ve KILINÇ, Alican Gemi Çelik Tekne Ağırlık Dağılımının Modellenmesinde Bir Yaklaşım: Hacimsel Oranlar Yaklaşımı	91
KARAYEL, H. Barış ve OKAN, M. Barbaros Gemilerin Dalgalar Arasındaki Hareketinin İncelenmesi için Bir Yöntem: Sıfır Hız Hali	101

CİLT 1

Bildirinin Adı	Sayfa No
ÖZÜM, Sadık, ŞENER, Bekir ve YILMAZ, Hüseyin Mevcut Bir Teknenin Stabilité Problemlerinin Analizi ve Uygun Çözüm Yöntemlerinin Belirlenmesi	111
BEJİ, Serdar, DİKİLİ, A. Cemil ve BARLAS, Barış İstanbul Boğazı'nda İki Tabakalı Akışın Sayısal İncelenmesi	118
MENTEŞ, Ayhan ve HELVACIOĞLU, İsmail H. Bulanık Karar Verme Yöntemi ve Çok Noktadan Bağlı Sistemlerde Uygulanması	129
BARLAS, Barış ve AKYILDIZ, Hakan Rijit Dikdörtgen Bir Tankta Akışkan Çalkantısının Sayısal İncelenmesi	144
ÜNAL, U. Oral ve GÖREN Ömer Akım Ayrılmasına Bağlı Enerji Kayıpları için Pratik Bir Uygulama: Girdap Yapıcılar	155
ERGİN, Selma ve SÜLÜS, Aydın Makine Dairesi Yangınlarına Açıklıkların Etkisinin İncelenmesi	167
ERGİN, Selma Gemi Dizel Motorlarında Emisyon Kontrolü	181
TAKİNACI, Alican Pervane Üretiminde Bilgisayar Kontrollü Tezgah Bütünleşmesi	188
DURAK, Onur Sabri Gemi Söküm Alanlarının Belirlenmesinde Hukuki Düzenlemeler ve Bu Düzenlemelere İlişkin Öneriler	196
DURAK, Onur Sabri Tersanelerde İş Sağlığı ve Güvenliğinin Sağlanmasında İş Hukuku Mevzuatı ve Hukuki Denetim	206
AKAN, Çiğdem ve BOZKURTOĞLU, Şafak Nur Ertürk Deniz Yüzeyinde Petrol Yayılımının Modellenmesi	216

CİLT 1

Bildirinin Adı	Sayfa No
AYDIN, Muhsin Balıkçılık Ağ ve Donanımlarının Model Testleri	226
BAL, Şakir Kavitasyon Yapan Gemi Pervanesinin Hidrodinamik Karakteristiklerinin Sayısal Bir Yöntemle İncelenmesi	239

CİLT 2

Bildirinin Adı	Sayfa No
ÜNAL, N. Erdem ve AKYILDIZ, Hakan Rijit Silindirik Bir Tankta Akışkan Çalkantısının Deneysel İncelenmesi	251
ÇELEBİ, Uğur Buğra, AKANLAR , Fuat Tolga ve VARDAR, Nurten Tersane Üretim Proseslerinin İşçi Sağlığı Üzerine Etkileri	262
TAYLAN, Metin Tersanelerde Meydana Gelen İş Kazaları ve İş Güvenliği	270
SARIDİKMEN, Ayhan Kojenerasyon Sistemleri	282
HIZIR, Olgun Güven ve ÜNSAN, Yalçın Gemi Yapı Analizi Problemlerinde Kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Bir Örnek: Gemi Perdelerinde Ağırlık Analizi	292
İNSEL, Mustafa ve HELVACIOĞLU, İsmail H. Gemi Yaşam Mahallerinde Gürültü Hesapları ve Ölçümleri	304
Var, H. Okan ve ÜNSAN, Yalçın Üniversite-Sanayi İşbirliği ve Bir Örnek	316
ÜNSAN, Yalçın Türkiye'deki Deniz Teknolojisi Mühendisliği Uygulamalarına Bir Bakış	327

CİLT 2

Bildirinin Adı	Sayfa No
BAŞARAN, Hasan Üstün ve ÜNSAN, Yalçın Gemi Boru Donanımlarında Gerilme Analizinin Autopipe Programı Yardımıyla İncelenmesi	339
METE, Serdar ve ÜNSAN, Yalçın Gemi İnşaatı Sektöründe Kullanılan Kreyn Çeşitleri ve Kreyn Kullanımına Getirilen Yeni Kurallar	346
Timur, R. Tansel İstanbul Kent İçi Deniz Ulaşımı	363
YALÇIN, İsmail ve SÜKAN, L. Macit Akçakoca’da Çalışabilecek Bir Sondaj Rayserinin Elastik Titreşimleri	381
BİLİCİ, Ahmet ve HELVACIOĞLU, Şebnem Gemi İnşaatı Sektöründe Kullanılan Yazılımların Gemi Dizaynındaki Gelişmelere Etkisi	391
ACAR, İsmail Hakkı İstanbul Metropolitan Planlaması ve Deniz Ulaşımı	406
MELİKOĞLU, Cem Türkiye Gemi İnşaatı Sanayinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Yönetim Metodları	437
Türkiye Gemi İnşa ve Bakım-Onarım Sanayisinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğine Bakış	454



FOUL RELEASE ANTIFOULING BOYALARIN PERVANELERDE PERFORMANS, KAVİTASYON VE GÜRÜLTÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Emin KORKUT¹ ve Mehmet ATLAR²

ÖZET

Fouling'in gemilerin sürtünme direncini arttırdığı bunun da gemilerin yakıt tüketimlerinin artmasına neden olduğu bilinmektedir. Yakıt fiyatlarının son yıllarda önemli ölçüde artmasından dolayı denizcilik sektörü gemilerin daha verimli hale getirilmesi için gereken bütün önlemleri araştırmaktadır; bunlardan birisi de pervane veriminin iyileştirilmesidir. Anti-fouling boyalar, bakır içeren Tin-free Self Polishing Co-polymers (SPC)'den zehirli Tri-Butyl Tin (TBT) içerikli SPC'ye ve Foul Release sistemlerine kadar değişmektedir. International Maritime Organisation (IMO) deniz yaşamına zararlı maddeler içeren antifouling boyaların 2003'ten itibaren kullanımını, 17/9/2008'den sonra da tamamen yasaklanmasına karar vermiştir. Artan çevresel baskılar ve buna bağlı olarak ortaya çıkan düzenlemeler çevre dostu antifouling sistemlerin (Foul release sistemler gibi) sadece gemi teknesinin fouling'ten korunmasında değil aynı zamanda pervanenin de korunmasında kullanılması neden olmuştur. Yukarıda bahsedilen konunun hem çevresel hem de ekonomik öneminden dolayı bu çalışma da yeni jenerasyon antifouling (Foul Release) boya ile boyanmış bir tanker model pervanesi kullanılarak foul release boyaların pervane performansı, gürültü ve kavitasyon karakteristikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu bildiri Newcastle Üniversitesi Emerson Kavitasyon Tüneli'nde gerçekleştirilen deneylerin ayrıntılarını ve sonuçlarını içermektedir.

Anahtar kelimeler: Anti-fouling, pervane, performans, kavitasyon ve gürültü

¹ Doç. Dr., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 34469, Maslak-İstanbul,
e-mail: korkutem@itu.edu.tr

² Prof., School of Marine Science and Technology, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne NE1 7RU,
U.K., e-mail: mehmet.atlar@ncl.ac.uk

1. Giriş

Fouling su içine daldırılmış cisimlerin yüzeylerine deniz organizmalarının yapışması ve burada büyümesi olarak tanımlanabilir. Bu işlem doğal olarak meydana gelir ve gemilerin sürtünme direncini artırır. Gemilerin sürtünme direnci de yük gemilerinde ve tankerlerde toplam direncinin %80-90'ına ve yüksek süratli teknelerde ise %50'den fazlasına karşılık gelir [1]. Fouling gemilerin aynı servis hızında sevk edebilmesi için gereken güç ihtiyaçlarını artırır dolayısıyla da yakıt tüketimleri artar. Aertssen [2] sadece orta seviyede oluşan fouling ile feribotların güç gereksinimlerinde %30 artış rapor etmiştir. Milne [3] fouling'e karşı uygulanan antifouling boyaların toplam deniz taşımacılığındaki etkisinin antifouling uygulanmadığı durumdakinden %40 daha az yakıt tüketimi olduğunu hesaplamıştır.

Bir geminin performansındaki azalma gemi tekne (gövde)'sinin yüzey durumuyla ilgili olduğu zaman pervane foulinginin etkisi genellikle pek dikkate alınmamıştır. Ancak bu etki çok büyük olabilir. Mosaad [4] pervane yüzey şartlarının etkisinin tekne yüzey şartlarının etkisine göre daha az olduğunu fakat birim alandaki enerji kaybı açısından daha önemli olduğunu belirtmiştir. Şöyle ki ekonomik terimlerle, pervanenin periyodik bakımıyla (temizlenmesi) ucuz bir yatırımdan yüksek geri dönüş sağlanması olarak ifade edilebilir. Bu da gemi teknesine uygulanan antifouling boyaların pervanelere uygulanması fikrine yol açmıştır.

Üstte bahsedilen deniz organizmalarına karşı kullanılan antifouling çeşitleri, bakır içeren Tin-free Self Polishing Co-polymers (SPC)'den zehirli Tri-Butyl Tin (TBT) içerikli SPC'ye ve Foul Release sistemlerine kadar değişmektedir. Çok eski zamanlardan beri fouling'e karşı çeşitli yöntemler kullanılmaktadır, bunlar arsenik, çinko, kalay ve bakırdır [5]. En etkili yöntem ise Tri Butyl Tin (TBT-SPC) içeren boyalardır. Ancak 1990'larda TBT'nin ayrıca deniz yaşamına da yan etkilerinin olduğu saptanmıştır. Bu yüzden International Maritime Organisation (IMO) TBT-SPC'nin 2003'ten itibaren kullanımını, 17/9/2008'den sonrada tamamen yasaklanmasına karar vermiştir [6]. Avrupa Komisyonu-Enerji ve Taşımacılık Kuruluşu (The European Commission-Directorate-General for Energy and Transport) Avrupa Konseyi ve Parlemantosunun (EC) 782/2003 nolu yönetmeliğini takiben bir TBT yönetmeliği yayınlamıştır [7]. Bu ise çevre dostu antifouling sistemlerinin pazara tanıtılmasına neden olmuştur.

Bu çalışma yeni jenerasyon antifouling boya ile boyanmış pervanelerin performans, gürültü ve kavitasyon karakteristiklerinin incelenmesini amaçlamaktadır. İncelenecek boya teknolojisi 1990 yılların başında geliştirilmiş ve deniz endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım bulmaya başlamıştır. Bu boya sistemlerine Foul Release Sistemler adı verilmektedir. Çünkü sistem foulinge neden olan organizmaların yüzey üzerine yerleştikten sonra yok edilmesi yerine bu organizmaların yapışmasını önleyerek (hidrodinamik kuvvetler ile temizlenmesi) kontrol edilmesi prensibine dayanmaktadır. Foulingden dolayı oluşan pervane kanadındaki pürüzlülüğün neden olduğu pervane verimindeki önemli kayıpların üstesinden gelmek için Matsushita ve Ogawa [8] eğitim gemisi Yuge-Maru'nun pervanesi üzerine foul release sistem ile ilgili deneyler yapmışlardır. Sonuçlar foul release sistemin, pervaneleri fouling'den en az 1 yıl koruyabileceğini göstermiştir, fakat bu

boyaların pervane performansı üzerine etkisi ile ilgili herhangi bir deney yapmamışlardır. 1993 yılından beri bu boyalarla ilgili bir çok gelişme olmuştur. Bu gelişmelerin bir parçası olarak foul release boyaların yapıştırıcı özelliklerinin iyileştirilmesiyle ilgili olarak Newcastle Üniversitesi - School of Marine Science and Technology’de önemli ve devam eden bir araştırma programı başlatılmıştır [9]. Ayrıca foul release boyaların pervanelerin hidrodinamik karakteristikleri üzerine etkisi de incelenmektedir [10].

Foul release sistemler (boyalar) antifouling boyaların deniz yaşamı üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle, TBT-SPC gibi kullanımı yasaklanan antifouling boyalara karşı bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu boyaların zehirsiz ve yapışmayan bir özelliğe sahip oldukları bilinmektedirler. Ayrıca biyofouling organizmaların bu boyalar üzerine yapışmasının ve yerleşmesinin zor olduğu da gözlemlenmiştir [5].

Ayrıca pervane yüzeyinin pürüzlülüğünün pervane verimini etkilediği bilinmektedir. Atlar ve diğerleri [9] ve [10] foul release boyanmış bir tanker pervanesinin foul release boyanmamış aynı pervaneden %6 daha fazla verimli olduğunu hesaplamışlardır. Bu da pervane kanatlarındaki foul release boyanın pürüzlülük karakteristikleri üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen konunun hem çevresel hem de ekonomik öneminden dolayı bir tanker model pervanesi kullanılarak foul release boyaların pervane performansı, kavitasyon ve gürültü karakteristikleri üzerindeki etkileri Newcastle Üniversitesi Emerson Kavitasyon Tüneli’nde deneysel olarak incelenmiştir. Sonraki bölümlerde deney düzenekleri ve test koşulları verilmekte, çalışmanın sonuçları tartışılmaktadır.

2. Deney Düzenekleri ve Test Koşulları

Deneyler, 1.22 m genişliğinde ve 0.81 m yüksekliğinde büyük bir test kesitine sahip Newcastle Üniversitesi’nin Emerson Kavitasyon Tünelinde (ECT) dört grupta yapılmıştır. Birinci grup deneyler, açık su pervane deneyleri, ikinci grup deneyler kavitasyon deneyleri ve üçüncü grup deneyler ise gürültü ölçümleridir. Bütün deneyler düzgün akım şartında yapılmıştır. Deney koşulları Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Deney koşulları

Deney Grubu	Pervane Yüzey Durumu	Deney Adı
1	Boyasız	Açık su pervane deneyleri
	Boya uygulanmış	
2	Boyasız	Kavitasyon başlangıcı ve gözlemleri
	Boya uygulanmış	
3	Boyasız	Gürültü ölçümleri
	Boya uygulanmış	

Pervane açık su deneyleri International Towing Tank Conference (ITTC)’nin pervane açık su deneyleri prosedürüne göre gerçekleştirilmiştir [11]. Deneyler sırasında pervanenin itme ve moment değerleri Kempf&Remmers H33 pervane dinamometresi ile atmosferik basınç

altında ölçülmüştür. Tünel hızı, V , 3 m/sn’de sabit tutulmuş pervane dönme hızı, n , değiştirilerek ilerleme katsayısı, J elde edilmiştir. Deneyler 10 kez tekrar edilmiş ve itme ve moment değerlerinin ortalamaları alınmıştır.

Kavitasyon başlangıç deneyleri gözle olduğu gibi FlashCam Black & White CCD video kamera kullanarak da saptanmıştır. Bunun için tünel akım hızı, V , 3 m/sn’de sabit tutulmuş ve tünele sabit olarak bir vakum uygulanmıştır. Pervane devri başlangıçta pervane kanat ucu girdap (tip vortex) kavitasyonu gözle görülür görülmez oluncaya kadar artırılmış bu durum **“kanat uçlarına bağlanmayan girdap kavitasyonu”** olarak kabul edilmiştir. Daha sonra devir pervane kanat ucu girdap kavitasyonu görünür görünmez oluncaya kadar azaltılmış ve bu durum **“kavitasyonun yok olması (desinence)”** olarak kabul edilmiştir. Buna ek olarak 2 ileri kavitasyon aşamasında daha gözlem yapılmış ve bağlı kavitasyon değerleri kaydedilmiştir. Bu kavitasyon aşamaları: **“bir kanat ucuna bağlanan girdap kavitasyonu”**, **“üç kanat ucuna bağlanan girdap kavitasyonu”** ve **“bütün kanatlara tamamen bağlanan girdap kavitasyonu”**dur.

Gürültü ölçümleri Tablo 2’de verilen tam yüklü ve balast koşullarında yerine getirilmiştir. Ölçümlerde Bruel and Kjaer 8103 tip hidrofon kullanılmış, hidrofon pervanenin şaft merkezinden 0.405 m uzaklıkta tünel kapağının üstüne yerleştirilmiştir. Hidrofondan gelen sinyaller, bir diğer Bruel and Kjaer teçhizatı (Pulse digital acquisition and analysis system) ile 25 kHz frekans’a kadar kaydedilmiş ve analizleri yapılmıştır.

Tablo 2. Geminin tam yüklü ve balast durumları.

Yükleme durumu	Tam yüklü	Balast
Kavitasyon sayısı, σ	0.520	0.334
Pervane şaftının su yüzeyine olan uzaklığı (m)	10	4.66
Pervane dönme hızı (RPM)	100	104
Pervane ilerleme katsayısı, J_A	0.48	0.486
J aralığı	0.75, 0.70, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40	

2.1. Model pervane özellikleri

Deneyler de kullanılan pervane mevcut 100,000 DWT’luk bir tankere ait pervanenin ölçekli modelidir. Model pervane alüminyum alaşımdan yapılmıştır. Pervanenin ve tankerin özellikleri Tablo 3’de verilmektedir. Model pervane Şekil 1 ve 2’de hem boyasız hemde boyalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 3. Geminin ve pervanenin ana özellikleri

Pervane		Gemi	
Çap, D	6.85 m	Gemi tipi	Tanker
Hatve oranı, P/D	0.699	DWT	96920 ton
Alan oranı, A_E/A_0	0.524	Tam boy, L_{OA}	243.28 m
Kanat sayısı, Z	4	Su çekimi, T	13.616 m
Dizayn pervane ilerleme katsayısı, J_A	0.48	Hız	14.86 knot
Dönüş yönü	Sağ	Makina gücü	9893 kW
Ölçek, λ	19.57	İnşa tarihi	1992



Şekil 1. Boyanmamış kanatlar ile model pervanenin görünüşü



(a)



(b)

Şekil 2. Boyanmış kanatlar ile model pervane: (a) kalın boya ve (b) ince boya uygulanmış

2.2. Model ölçeğinde boya uygulaması

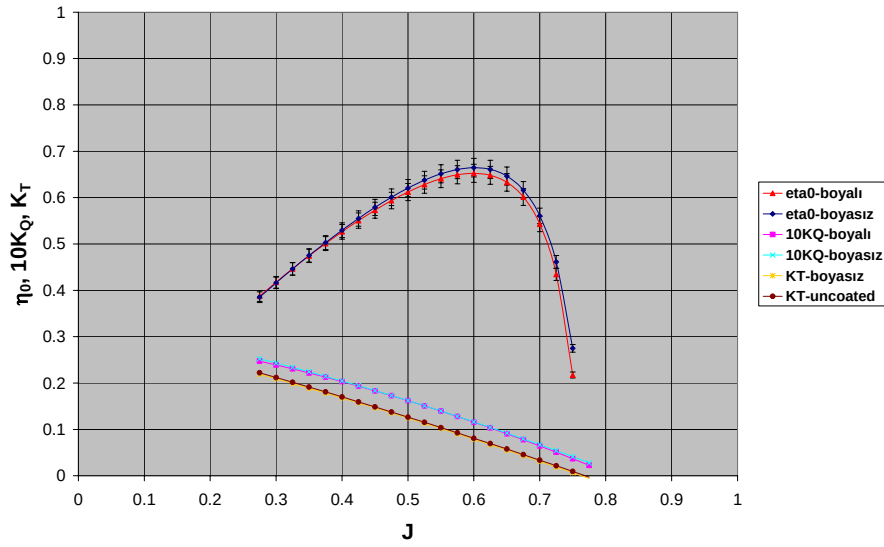
Pervanelere uygulanmakta olan standart boya 4 kattan oluşmaktadır. Bunlar; 2 kat epoksi, 1 kat silikon polimer en son kat olarak ve epoksi ve silikonu bağlamak için ise 1 ara kattır. 4 kat yaklaşık 350 μm bir film kalınlığı oluşturmaktadır. Fakat 4 katlı sistem önder ve izler kenarlarda istenmeyen kalınlık oluşturduğu için pervanenin performansında azalma ve gürültü seviyelerinde de artma meydana getirmiştir. Bunu önlemek için 4 kat yerine 3 kat boya uygulanarak bütün deneyler tekrar edilmiştir. Bu durumda boya kalınlığı yaklaşık 250 μm civarında bir film kalınlığı meydana getirmiştir.

3. Deney Sonuçları ve Analizleri

3.1. Açık su pervane deneyleri

Açık su pervane deney sonuçları Şekil 3'te verilmektedir. J pervane ilerleme katsayısı, K_T itme katsayısı, K_Q moment katsayısı ve η_0 açık su pervane verimi aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$J = \frac{V}{nD}, K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}, K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}, \eta_0 = \frac{J}{2\pi} \frac{K_T}{K_Q} \quad (1)$$



Şekil 3. Boyasız ve boyalı durumlardaki açık su pervane deney sonuçlarının karşılaştırması

Açık su pervane deneyleri göstermiştir ki, boyanın itme ve moment değerleri üzerine etkisi olduğunu söylemek zordur. İnce boya uygulamasının ve boyasız halin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar Mutton ve diğerleri [12] tarafından da daha önce elde edilmiştir. Sonuç olarak boyanın pervane performansı üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

3.2. Kaviteasyon deneyleri

Kaviteasyon başlangıç ölçüm sonuçları Tablo 4'te verilmekte ve kaviteasyon gözlemleri de Şekil 4 ve 5'te sunulmaktadır. Kaviteasyon sayısı σ , bileşke yada bağlı hız, V_R 'a bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\sigma = \frac{P_{st} - P_v}{\frac{1}{2} \rho V_R^2} \quad (2)$$

Burada P_{st} referans noktasındaki (0.7R) statik basınç (N/m^2), P_v suyun buharlaşma basıncı (N/m^2), ρ suyun yoğunluğu (kg/m^3), n ise pervanenin saniyedeki devir sayısı (rps) ve bileşke hız $V_R = \sqrt{V^2 + (0.7\pi n D)^2}$ (m/sn) dır.

Tablo 4. Kavitasyon başlangıcı sonuçları

Kavitasyon Tipi	Boyasız	Boyalı
Pervane ucuna bağlanmamış kanat ucu girdap kavitasyonu	0.685	0.679
Pervane ucuna bağlanmamış kanat ucu girdap kavitasyonu- yok olmuş	0.683	0.677
Bütün kanatlara bağlanmış	0.606	0.611

Anti-fouling boya uygulamasının kavitasyonun başlangıcı ve yok oluşu üzerinde belirgin bir etkisinin olduğunu söylemek zordur. Bu durum Tablo 4'te verilmektedir. Ayrıca model ölçeğinde uygulanan boya kalınlığı ile gemi pervanesine uygulanan boya kalınlığı neredeyse aynıdır. Mevcut teknoloji ile daha ince bir uygulama yapmak fiziksel olarak mümkün değildir. Bu da göstermiştir ki model ölçeğinde dikkatle uygulanan boyanın kavitasyonu erken meydana çıkarması saptanmamıştır. Ancak gemi pervanesinde boyanın kavitasyonu geciktireceği beklenebilir.

Kavitasyon gözlemleri $J=0.75 - 0.40$ aralığında yapılmasına rağmen, hem boyalı hemde boyasız yüzey koşullarında $J=0.75 - 0.55$ aralığında kavitasyon oluşmamıştır. Boya uygulaması durumlarında kavitasyonun boyasız duruma göre daha az/ince olduğu fotoğraflardan saptanmaktadır. Bu durum iki yükleme koşulunda da gözlemlenmiştir (Şekil 4 ve 5). Bu da göstermektedir ki, model ölçeğinde iyi uygulanmış ince anti-fouling boyanın, boyanın özelliğinden dolayı pervane yüzeyini pürüzsüz hale getirdiği için kavitasyonun gelişimine olumlu etkisi vardır.

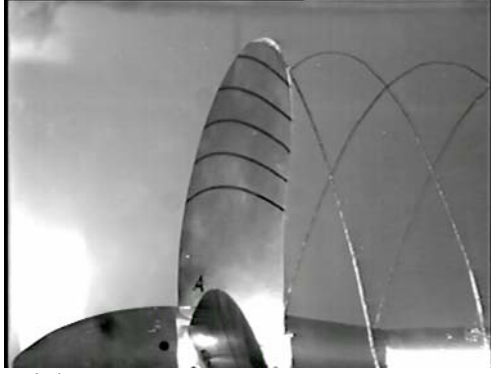


J=0.50

Boyasız

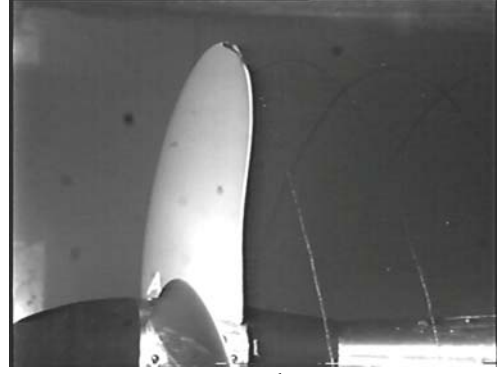


Boyalı

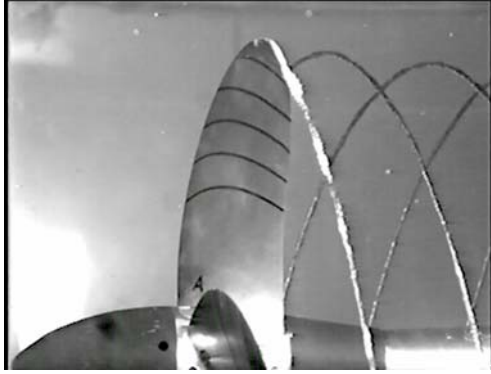


J=0.45

Boyasız

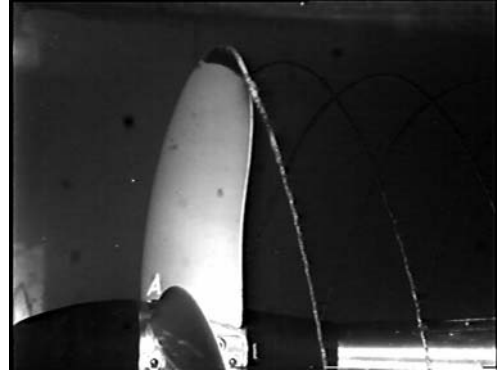


Boyalı



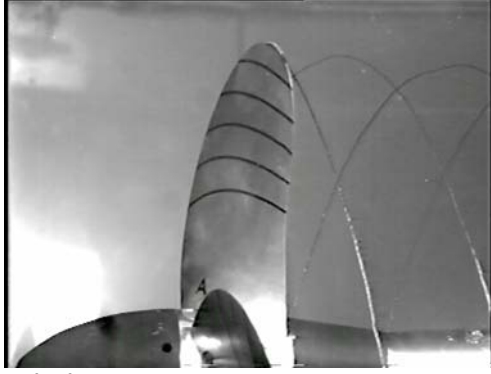
J=0.40

Boyasız



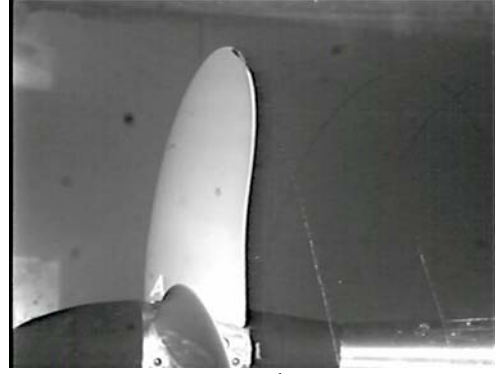
Boyalı

Şekil 4. Tam yüklü durumda değişik ilerleme katsayılarında kavitasyon oluşumu

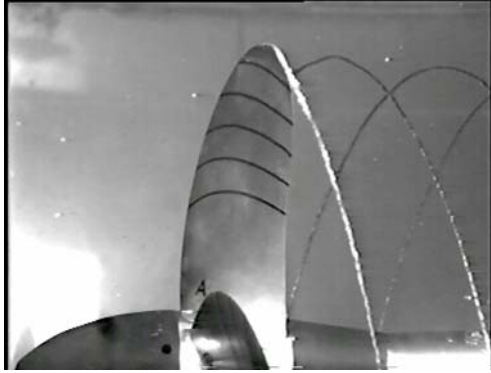


J=0.50

Boyasız

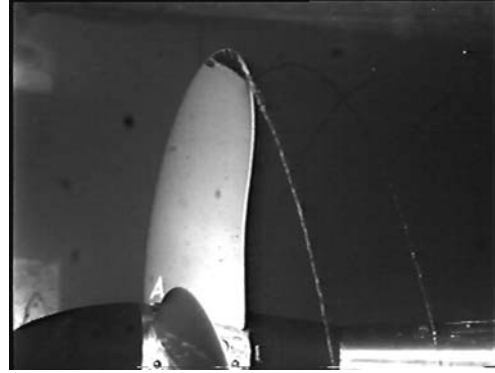


Boyalı

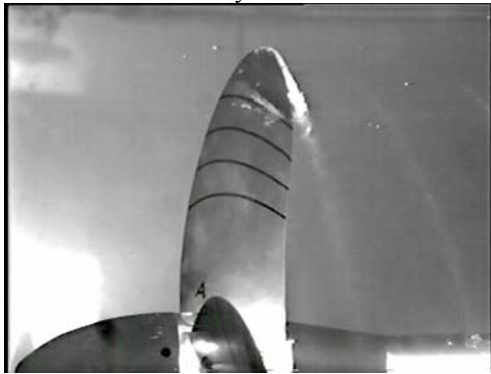


J=0.45

Boyasız

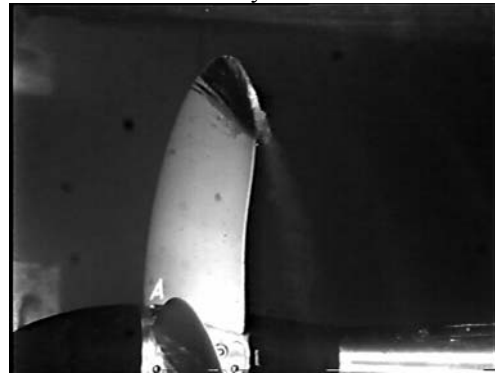


Boyalı



J=0.40

Boyasız



Boyalı

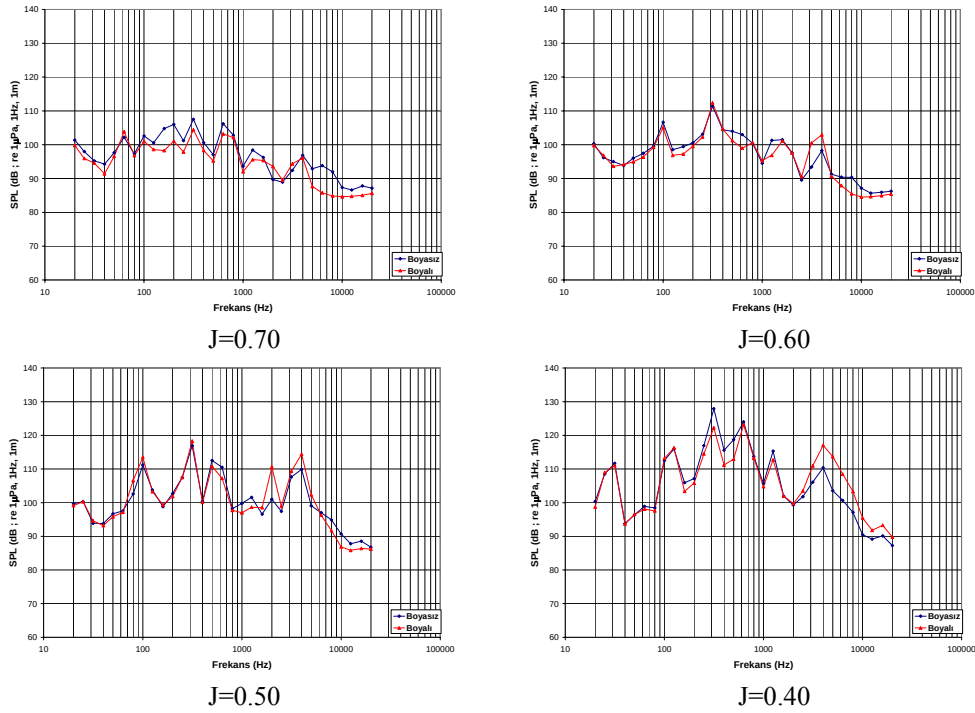
Şekil 5. Balast durumunda değişik ilerleme katsayılarında kavitasyon oluşumu

3.3. Gürültü ölçümleri

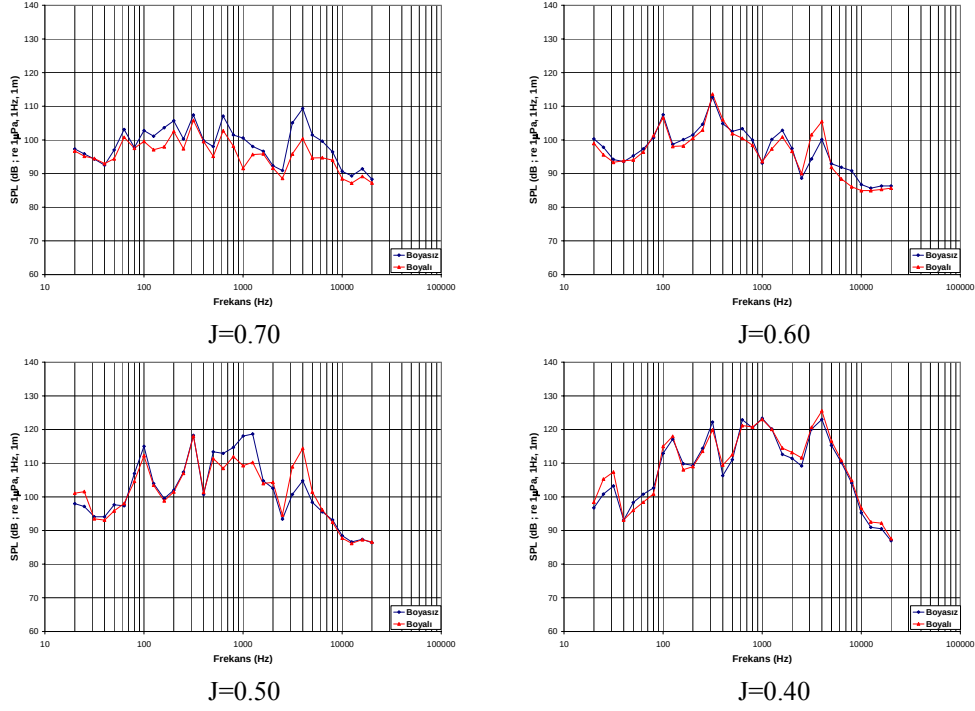
Şekil 6 ve 7’de, Tablo 2’de gösterilen iki kavitasyon sayısında ve değişik ilerleme katsayılarında yapılan model pervanesinin gürültü ölçümlerinden bazıları verilmektedir. Ölçümlerin tamamı ve detayları için [13]’e bakınız. Farklı filtre genişliklerinde elde edilen gürültü değerlerini karşılaştırmak için her 1/3 oktav bandında ölçülen değerler eşdeğer 1 Hz band genişliğine aşağıda verilen formül ile dönüştürülmüştür [14].

$$SPL = SPL_m - 10 \log \Delta f \quad (3)$$

Burada SPL 1 Hz band genişliğine dönüştürülen gürültü düzeyi, SPL_m ölçülen gürültü düzeyi ve Δf ise ölçüm yapılan filtre band genişliğidir. Ayrıca ölçümler pervane shaftından 0.405 m uzaklıkta yapılmasına rağmen sonuçlar standart 1 m ölçüm uzaklığına da dönüştürülmüştür. Şekillerde logaritmik ölçekli x eksenini ölçüm yapılan frekansları Hz olarak, lineer ölçekli y ekseninde gürültü düzeylerini dB olarak göstermektedir.



Şekil 6. Boyanın tam yüklü durumda pervane gürültü seviyeleri üzerindeki etkisi



Şekil 7. Boyanın balast yükleme durumunda pervane gürültü seviyeleri üzerindeki etkisi

Şekil 6’da görülmektedir ki tam yüklü durumda boya uygulamasının $J=0.75 - 0.60$ arasında ve yüksek frekans aralığında gürültü seviyelerinde boyasız yüzey şartına göre düşmeye yol açtığı söylenebilir. Buna karşılık $J=0.50 - 0.40$ aralığında ise hafif yükselmeye yol açtığı gözlemlenmiştir. Bunun kavitasyonun boyasız durumda daha çok gelişmesi (Şekil 4 ve 5) ve daha çok gelişmiş kavitasyonun gürültü düzeylerinde düşmeye yol açmasıdır. Bu durum Korkut [15] tarafından da daha önce gösterilmiştir. Benzer sonuçlar balast yükleme durumunda da saptanmıştır (Şekil 7).

Genel olarak model ölçeğinde iyi ve ince uygulanmış bir anti-fouling boyanın frekans aralığı ve ilerleme katsayısına bağlı olarak pervane gürültü seviyesini düşürdüğü söylenebilir. Bunun gerçek gemi arkasında yapılacak ölçümler ile daha çok görülebileceği beklenebilir.

4. Sonuçlar

Silikon bazlı ve çevreye zararsız anti-fouling boya olan Foul Release sistemlerin pervane performansı, kavitasyon ve gürültü karakteristikleri üzerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde bir tanker model pervanesi kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen çıkarımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Model pervanede ve gemi pervanesinde uygulanan boya kalınlığı neredeyse aynıdır. Bu nedenle boya uygulamaları için, kalınlık ile ilgili olarak model ve gemi pervanesi arasında bir ölçek yasasına gereksinim duyulmaktadır.
- Anti-fouling boyanın pervane performans üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığı söylenebilir.
- Model ölçeğinde dikkatle uygulanan ince boya erken/geç kavitasyona yol açmamıştır. Ancak gemi pervanesinde boyanın kavitasyonu geciktireceği beklenebilir.
- İyi uygulanmış ince anti-fouling boya pervane yüzeyini boyanın özelliğinden dolayı pürüzsüz hale getirdiği için kavitasyonun gelişimine olumlu etkisi vardır ve kavitasyonun daha geç oluşmasına neden olmuştur.
- Genel olarak model ölçeğinde iyi ve ince uygulanmış bir anti-fouling boyanın frekans aralığı ve ilerleme katsayısına bağlı olarak pervane gürültü seviyesini düşürdüğü söylenebilir. Bunun gerçek gemi arkasında yapılacak ölçümlerde daha çok görülmesi beklenebilir.
- Bu çalışmada model deney sonuçlarından gemi pervanesi gürültü tahminleri yapılmamıştır. Bunu doğru olarak yapabilmek için anti-fouling boyaların etkisinin gemi pervanesi üzerinde de inceleme yaparak araştırılması gereklidir.

Teşekkür

Bu çalışma TUBİTAK tarafından 2219 - Doktora Sonrası Burs Programı çerçevesinde, International Paint ve School of Marine Science and Technology tarafından da ayrıca desteklenmiştir. Yazarlar özellikle Mr. Rod Sampson'a deneyler sırasındaki yardımları için teşekkürü bir borç bilir. Ayrıca Emerson Kavitasyon Tünelinin teknisyeni Mr. Ian Paterson'a da deneyler sırasındaki yardımından dolayı teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Lackenby, H., 1962, "Resistance of Ships with Special Reference to Skin Friction and Hull Surface Condition". The 34th Thomas Lowe Gray Lecture, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 176, pp.981-1014.
- [2] Aertssen, G., 1961, "Further Sea Trials on the Lubumbashi". Transactions of the Institution of Naval Architects", Vol. 97, pp.502-530.
- [3] Milne, A., 1990, "Roughness and Drag from the Marine Paint Chemist's Viewpoint". Marine Roughness and Drag Workshop, Paper 12, London.
- [4] Mosaad, M., 1986, "Marine Propeller Roughness Penalties", Ph.D. Thesis, University of Newcastle upon Tyne.

- [5] Anderson, C.A., Atlar, M., Callow, M., Candries, M., Milne, A and Townsin, RL., 2003, "The Development of Foul Release Coatings for Seagoing Vessels", Journal of Marine Design and Operations, Proceedings of IMarEST, Part B, pp.11-23.
- [6] IMO, 2001, IMO Adopts Convention on Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships. Briefing 27/2001, International Maritime Organization, London, <http://www.imo.org/>.
- [7] EC, 2003, TBT Regulation Consequences- Regulation (EC) No 782/2003 of the European Parliament and of the Council of 14 April 2003 on the Prohibition of Organotin Compounds on Ships. European Commission Directorate-General for Energy and Transport.
- [8] Matsushita, K., and Ogawa, K., 1993, "Ship Hull and Propeller Coatings Using Non Polluting and Anti-Fouling Paint". Paper 24, ICMES 93-Marine System Design and Operation, 29th September – 1st October, Marine management Holdings.
- [9] Atlar, M., Glover, E.J., Candries, M., Mutton, R. and Anderson, C.D., 2002, "The Effect of a Foul Release Coating on Propeller Performance". ENSUS 2002, University of Newcastle upon Tyne 16th -18th Dec 2002.
- [10] Atlar, M., Glover, E.J., Mutton, R., and Anderson, C.D., 2003, "Calculation of the Effects of New Generation Coatings on High Speed Propeller Performance". 2nd Intl Warship Cathodic Protection Symposium and Equipment Exhibition, Cranfield University, Shrivenham, February 18-20.
- [11] ITTC, 2005, "ITTC – Recommended Procedures and Guidelines: Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Propulsor Open Water Test, 7.5-02 -03-02.1, Edinburgh, UK.
- [12] Mutton, R.J., Atlar, M., Downie, M., Anderson, C.D. 'Drag Prevention Coatings for Marine Propellers', 2nd International Symposium on Seawater Drag Reduction, Busan, Korea, 23-26 May 2005.
- [13] Korkut, E., 2006, "An Investigation into the Effects of Foul Release Coating on Propeller Performance, Noise and Cavitation Characteristics", Report of School of Marine Science and Technology, Report No: MT-2007-004, University of Newcastle, UK.
- [14] Odabasi, A.Y., "Cavitation Inception and Prediction of Broad-Band Noise Levels", Report No:W1607, British Maritime Technology Limited, UK, 1987.
- [15] Korkut, E., 1999, "An Investigation into the Scale Effects on Cavitation Inception and Noise in Marine Propellers", PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, UK.



BAŞTAN GELEN DÜZENLİ DALGALARDA

YALPA HAREKETİ ANALİZİ

Emre PEŞMAN¹ ve Metin TAYLAN²

ÖZET

Bu makalede, özellikle baştan gelen boyuna düzenli dalgalar arasındaki bir geminin parametrik yalpa hareketinin, bir serbestlik dereceli lineer olmayan matematiksel modeli sunulacaktır. Hala parametrik rezonans nedeniyle gemilerin devriliyor olması veya yük kayıplarının oluşması bu konudaki eksikliklerin giderilmesini ve pratik kuralların oluşturulmasını gerektirmektedir. En azından riskli gemi hızları ve bu hızlarda oluşabilecek maksimum yalpa açılarının tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, gemi hızına göre oluşabilecek maksimum yalpa açılarının tahmin edilebilmesi için oluşturulmuş matematiksel model sunulacaktır. Makalede, örnek bir gemi için birinci parametrik rezonanz bölgesinde parametrik zorlamaya karşı sistemin frekansa bağlı olarak verdiği cevabın, yani maksimum yalpa açılarının yaklaşık analitik yöntem ile elde edilen sonuçları ve yine bu örnek geminin deney sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Parametrik Yalpa Hareketi, Stabilitate, Lineer olmayan hareket

1.Giriş

Baştan veya kıçtan gelen dalgalarda gemilerin parametrik rezonansa girerek alabora olması daha önce de bilinen bu fiziksel olayı, özellikle son yıllarda bu olay ile ilgili kazaların artması nedeniyle önemli bir konu haline getirmiştir. Günümüzde, araştırmacıların, klas kuruluşlarının ve kural belirleyici kurumların üzerinde yoğunlaştığı bu fiziksel olay, farklı şekillerde modellenmiş ve problemleri hala giderilmeye çalışılan popüler bir konu olmuştur. Sakin suda statik veya yarı statik stabiliteye bağlı olarak oluşturulmuş olan IMO kurallarını ve mevcut IS kodunu sağladığı halde gemiler hala devrilebilmektedir. Mevcut stabilite kurallarının, denizin doğası ve geminin dinamik tepkileri dikkate alınarak geliştirilmesi ve yenilenmesi için geminin dalgalar arasındaki hareketinin doğru bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Bu model, stabilitenin kaybolacağı gemi hızını, dalga

1 İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü , Tel:0212 285 63 80, e-posta: pesman@itu.edu.tr

2 İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü , Tel:0212 285 64 10, e-posta: taylan@itu.edu.tr

yüksekliğini, stabilite sınırının aşıldığı yalpa genliğini ve diğer parametreleri belirleyebilir nitelikte olmalıdır. Ayrıca, burada amaç çok karmaşık olmayan bir çözüm elde etmek olmalıdır, yani stabilite kuralları ve klas kuruluşlarının, kılavuz olarak sunabilecekleri pratik kuralların oluşturulması göz ardı edilmemelidir. Parametrik yalpa hareketi ile ilgili çalışmalar Grim, Wendel ve Pauling'in başlattığı ve günümüzde hala popülerliğini koruyan önemli bir konudur[1,2]. Bu makalede, daha önce yapılmış çalışmalar ışığında yukarıdaki şartları sağlayabilecek yeni bir model sunulacaktır.

2. Matematiksel Model

Baştan gelen boyuna düzenli dalgalar arasındaki bir geminin hareketi altı serbestlik dereceli bir harekettir. Altı serbestlik dereceli hareket denkleminin, çözümü oldukça zor ve hareket etkileşiminden dolayı yalpa genliklerinin doğru olarak tahmin edilmesinde problemler yaratmaktadır. Model, geminin rotasını koruma kabiliyetinde olduğu varsayımı ile yanal öteleme ve savrulma hareketlerini, ayrıca geminin sabit hızda ilerlediği kabulü ile, boyuna öteleme hareketini ihmal ederek basitleştirilebilir. Böylelikle, model etkileri nispeten diğerlerine göre daha önemli olan üç serbestlik derecesine; yalpa, dalıp çıkma ve baş kışırma hareketlerine indirgenmiş olur. Üç serbestlik derecesine göre oluşturulmuş olan modellerde, lineer olmayan terimlerin çokluğu nedeniyle, analitik çözümde sınır bölgelerinin üzerindeki yalpa genlikleri doğru olarak tahmin edilememektedir. Zaten amaç geminin baş kışırma hareketi nedeniyle oluşan ivmeleri ve dövmeyi belirlemek değildir. Amaç sadece baştan gelen dalgaların yalpa hareketi üzerine olan etkisini incelemektir. Serbestlik derecesi sayısı düşürülerek model basitleştirilebilir. Model parametrik salınım hareketi olarak düşünerek serbestlik derecesini 1'e düşürmek mümkündür. Bu geminin geri getirici moment terimini zamana bağlı olarak yani dalgaların gemi boyunca bulunduğu konuma göre modellenerek yapılabilir. Böylelikle dalgalar arasındaki bir gemi yalpa hareketine karşı vermiş olduğu tepki belirlenmiş olur. En genel halde model aşağıdaki gibidir.

$$I\ddot{\phi} + S(\phi, \dot{\phi}) + Md(\phi, t) = 0 \quad (1)$$

ϕ : Yalpa açısı

I: Geminin harekete karşı reaksiyonundan doğan yalpa atalet momentiyile, deniz suyunun gemi hareketine karşı reaksiyonundan doğan ek kütle atalet momentinin toplamını göstermektedir. Ve hareketin ivmesine bağlıdır.

$S(\phi, \dot{\phi})$: Sönüm momentini göstermektedir. Yalpa açısı ve yalpa hızına bağlı olarak değişir.

$Md(\theta, t)$: Doğrultma momentini göstermektedir. Yalpa açısına ve zamana bağlı değişmektedir.

2.1. Sönüm Momenti

Parametrik yalpa hareketinin doğası gereği, yüksek mertebeden lineer olmayan terimler içermesi, yalpa sönüm momentlerinin veya katsayılarının tahminini oldukça güçleştirmektedir. Bu konuda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmasına rağmen, yalpa sönüm momentlerinin gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilebilmesi oldukça güçtür. Suyun viskozitesinin yalpa sönümü üzerinde önemli etkisi vardır. Haddara ve Zhang gemi hızının yalpa sönümüne olan etkisini göstermek için bir çok model deneyi yapmışlardır[3]. Ikeda yalpa sönümünü beş kategoride incelemiştir. Bunlar;

1. Sürtünme etkisi
2. Kaldırma etkisi
3. Dalga etkisi
4. Türbülans ve kabarcık yapıcı etki
5. Yalpa omurga etkisidir.

Çalışmasının sonunda yalpa sönüm momentini oluşturan her bir etkiyi tahmin edebilmek için ampirik bağıntılar oluşturmuş ve daha ilkerki çalışmalarda Ikeda ve Himeno gemi hızının etkisi ve bazı düzeltmelerle bu ampirik bağıntıları geliştirmiştir[4]. Peşman, Bayraktar ve Taylan bu ampirik bağıntıları kullanarak bordadan gelen dalgalarda sönümün bir balıkçı gemisinin yalpa hareketine olan etkisini incelemiştir[5].

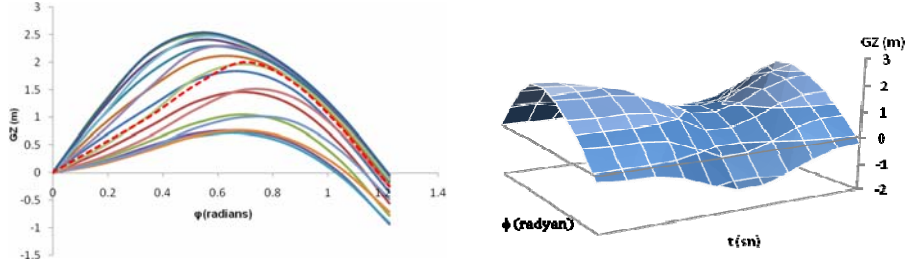
Bu çalışmada sönüm terimi deney sonuçları ile uyumlu olması için aşağıdaki gibi kübik alınmıştır

$$S(\phi, \dot{\phi}) = s_1 \dot{\phi} + s_2 \dot{\phi}^2 + s_3 \dot{\phi}^3 \quad (2)$$

2.2. Doğrultma Momenti

Modelde, doğrultma momenti terimi $\omega_0^2 \frac{\overline{GZ}(\phi, t)}{GM_0}$ olarak tanımlanmıştır. Burada ω_0 geminin doğal frekansı, $\overline{GM_0}$ sakin su metasantr yüksekliği, $\overline{GZ}(\phi, t)$ geri getirici moment koludur.

Geri getirici moment kolu yüzeyi dalga tepesinin konumuna; bir başka deyişle zamana ve yalpa açısına bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1).



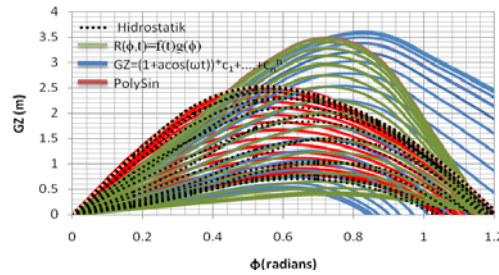
Şekil 1. Zamana ve yalpa açısına göre moment kolu değişimi “hidrostatik hesap”.

Geri getirici moment kolu yüzeyinin analitik modeli, literatürde genellikle sakin sudaki geri getirici moment kolu değişimine göre oluşturulmuştur[6,7]. Fakat bu analitik modeller ne yazık ki Şekil 1’deki gibi bir geri getirici moment kolu yüzeyini doğru olarak temsil edememektedir. Bulian geri getirici moment kolunu polinom ve Fourier serileri ile çok daha gerçekçi bir şekilde modellemiştir[8].

Buradaki model sakin su geri getirici moment kolu değişimine göre değil de, Bulian’ın oluşturmuş olduğu modelden de farklı olarak sadece dalga tepesi ve dalga çukurundaki geri getirici moment kolu değişimine göre oluşturulmuştur. Modelde geminin dalga çukurunda ve dalga tepesindeki moment kolu değişimleri hidrostatik bir program yardımıyla hesaplanmış ve 7. derece polinomlar ile ifade edilmiştir. Elde edilen polinom katsayılarına sinüsoidal eğriler uydurularak geri getirici moment kolu temsil edilmiş ve aşağıda gösterilen bağıntıya ulaşılmıştır.

$$\overline{GZ}(\phi, t) = \sum_{n=1}^N (m_{2n-1} + k_{2n-1} \cos(\omega_e t)) \phi^{2n-1} \quad (3)$$

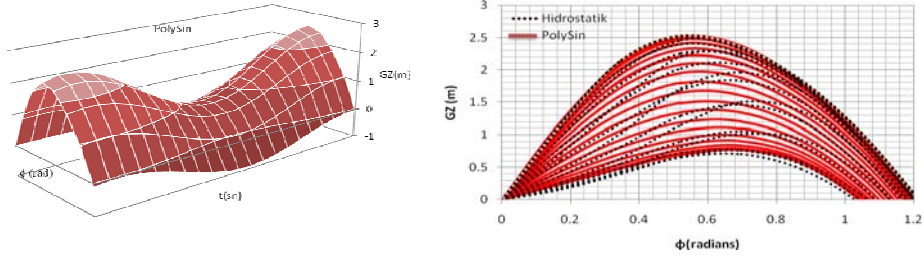
Burada, ω_e karşılaşma frekansıdır. Sakin sudaki geri getirici moment koluna göre oluşturulmuş yüzeyler ile bu çalışmada oluşturulan model (polysin) karşılaştırmalı olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Geri getirici moment kolu yüzeylerinin karşılaştırılması.

Oluşturulan analitik geri getirici moment kolu yüzey modeli Şekil 2 ve 3’de görüldüğü gibi sakin su daki moment kolu değişimine göre oluşturulmuş olan modellerden nispeten daha

iyi olmakla beraber geri getirici moment kolu yüzeyini tam doğru olarak temsil edemeyen bir modeldir. Bunun yanında pratik ve yaklaşık analitik yöntemler ile çözüme imkan veren ve deney sonuçlarıyla oldukça uyumlu sonuçlar verebilen bir modeldir.



Şekil 3. Zamana ve yalpa açısına göre moment kolu değişimi.

3. Parametrik Yalpa Hareketi Denkleminin Çözümü

Baştan gelen düzenli boyuna dalgalar arasındaki bir geminin yalpa hareketinin modeli aşağıda (4) denkleminde gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

$$\ddot{\phi} + 2\mu\dot{\phi} + \beta\phi|\phi| + \delta\phi^3 + \omega_0^2 \frac{\sum_{n=1}^N (m_{2n-1} + k_{2n-1} \cos(\omega_e t)) \phi^{2n-1}}{GM_0} = 0 \quad (4)$$

(4) Denkleminin çözümü öncelikle pertürbasyon yöntemlerinden çok ölçek yöntemi ile aranmış fakat lineer olmayan terimlerin çokluğu nedeniyle anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Daha sonra yaklaşık analitik çözüm yöntemlerinden, Krylov-Bogolyubov yöntemi ile bazı kabuller yapılarak sonuca ulaşılmıştır[9-14].

$$\begin{aligned} \tau &= \omega_0 t, & \gamma_{2n-1} &= \frac{m_{2n-1}}{GM_0}, & \xi_{2n-1} &= \frac{k_{2n-1}}{GM_0}, \\ \Lambda &= \frac{\omega_e}{\omega_0}, & \nu &= \frac{\mu}{\omega_0}, & d &= \delta\omega_0 \end{aligned} \quad (5)$$

Yukarıda gösterilen dönüşümlerin yapılmasıyla (4) denklemi aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\phi'' + 2\nu\phi' + \beta\phi|\phi| + d\phi^3 + \left(\sum_{n=1}^4 (\gamma_{2n-1} + \xi_{2n-1} \cos(\Lambda\tau)) \phi^{2n-1} \right) = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} b(\phi') &= 2\nu\phi' + \beta\phi|\phi| + d\phi^3 \\ r(\phi) &= \sum_{n=1}^4 \gamma_{2n-1} \phi^{2n-1} \\ \delta r(\phi, \tau) &= \sum_{n=1}^4 \xi_{2n-1} \cos(\Lambda\tau) \phi^{2n-1} \end{aligned} \quad (7)$$

Sönüm ve doğrultma momenti terimleri yukarıdaki gibi kısaltılarak (6) denklemi kısaca aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\phi'' + b(\phi') + r(\phi) + \delta r(\phi, \tau) = 0 \quad (8)$$

Denklemin çözümünün aşağıda bağıntılarda gösterildiği gibi olduğu kabul edilerek ve türevleri ile birlikte (8) denkleminde yerine koyulması ile, (10) denklemi elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \phi(\tau) &= A \cos(Q) & A &= A(\tau) \\ \phi'(\tau) &= -A \frac{\Lambda}{2} \sin(Q) & Q &= \frac{\Lambda}{2} \tau + \frac{\psi(\tau)}{2} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \phi''(\tau) &= -A' \frac{\Lambda}{2} \sin(Q) - A \frac{\Lambda^2}{4} \cos(Q) - A \frac{\Lambda}{2} \frac{\psi'}{2} \cos(Q) \\ A' \frac{\Lambda}{2} \sin(Q) + A \frac{\Lambda}{2} \frac{\psi'}{2} \cos(Q) &= -A \frac{\Lambda^2}{4} \cos(Q) + b(\phi') + r(\phi) + \delta r(\phi, \tau) \end{aligned} \quad (10)$$

(10) Denklemi, trigonometrinin de yardımıyla aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$A' \frac{\Lambda}{2} = \left[-A \frac{\Lambda^2}{4} \cos(Q) + b(\phi') + r(\phi) + \delta r(\phi, \tau) \right] \sin(Q) \quad (11)$$

$$A \frac{\Lambda}{2} \frac{\psi'}{2} = \left[-A \frac{\Lambda^2}{4} \cos(Q) + b(\phi') + r(\phi) + \delta r(\phi, \tau) \right] \cos(Q)$$

(11) Numaralı denklemlerinden görüldüğü gibi $\left[-A \frac{\Lambda^2}{4} \cos(Q) + b(\phi') + r(\phi) + \delta r(\phi, \tau) \right]$, Q'nun

2π periyoduyla periyodik bir fonksiyonudur. A ve ψ 'nin yavaş değişmesinden faydalanarak (11) denklemlerinde değişken olan sağ taraflar yerine bir periyod içindeki ortalamaları koyulabilir ve böylece K-B yönteminin birinci yaklaşım çözümünü veren (12) denklemi elde edilmiş olur:

$$A' \frac{\Lambda}{2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \left[-A \frac{\Lambda^2}{4} \cos(Q) + b(\phi') + r(\phi) + \delta r(\phi, \tau) \right] \sin(Q) dQ \quad (12)$$

$$A \frac{\Lambda}{2} \frac{\psi'}{2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \left[-A \frac{\Lambda^2}{4} \cos(Q) + b(\phi') + r(\phi) + \delta r(\phi, \tau) \right] \cos(Q) dQ$$

$\tau^* \approx \frac{\tau}{\Lambda}$ dönüşümün yapılmasıyla ve geometrik kabullerle (12) denklemi, aşağıda gösterildiği gibi elde edilmiştir[8].

$$\frac{d\psi}{d\tau^*} \approx 2[M_{11} \cos(\psi) - B_{11}] = F_1(\psi, A, \Lambda) \quad (13)$$

$$\frac{dA}{d\tau^*} \approx A[M_{22} \sin(\psi) - B_{21}] = F_2(\psi, A, \Lambda)$$

$$B_{11} = - \left(\gamma_1 - \frac{\Lambda^2}{4} + \frac{3}{4} \gamma_3 A^2 + \frac{5}{8} \gamma_5 A^4 + \frac{35}{64} \gamma_7 A^6 \right) \quad (14)$$

$$B_{21} = \nu \Lambda + \frac{2}{3\pi} \beta \Lambda^2 A + \frac{3}{32} d \Lambda^3 A^2$$

$$M_{11} = \frac{1}{2} \zeta_1 + \frac{1}{2} \zeta_3 A^2 + \frac{15}{32} \zeta_5 A^4 + \frac{7}{16} \zeta_7 A^6$$

$$M_{22} = \frac{1}{2} \zeta_1 + \frac{1}{4} \zeta_3 A^2 + \frac{5}{32} \zeta_5 A^4 + \frac{7}{64} \zeta_7 A^6$$

A ve ψ 'nin sabit olduğu kabulü ile (14) numaralı eşitlikler elde edilmiş ve her iki tarafında karesi alınarak taraf tarafa toplanarak denklem (15) elde edilmiştir.

$$M_{11} \cos(\psi) = B_{11} \quad (15)$$

$$M_{22} \sin(\psi) = B_{21}$$

$$B_{11}^2 M_{22}^2 + B_{21}^2 M_{11}^2 - M_{11}^2 M_{22}^2 = 0 \quad (16)$$

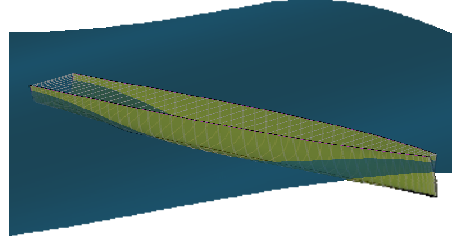
Denklem 16'nın anlamlı kökleri maksimum yalpa genliklerini vermektedir. Bu çalışmada, geri getirici moment kolu eğrileri 7. derece polinomlar ile ifade edilmiştir. (16) denkleminin kökleri Matlab® ile hazırlanmış olan kod yardımıyla gemi hızına göre hesaplanmıştır.

4. Örnek Gemi

Bu çalışmada, parametrik yalpa hareketinin incelenmesi için model deneyleri yapılmış olan FR1 kodlu fırkateyn kullanılmıştır. Deneyler Trieste Üniversitesi, Gemi İnşaatı Okyanus ve Çevre Mühendisliği Bölümünde (DINMA) yapılmıştır[9]. Örnek geminin ana boyutları Tablo 1'de 3 boyutlu görünümü Şekil 4'de verilmiştir. Geminin karşılaştığı dalgaların dalga boyları gemi boyuna eşit ve dalga diklikleri 1/30, 1/50 ve 1/100 olarak seçilmiştir.

Tablo 1. FR1 gemisinin ana boyutları.

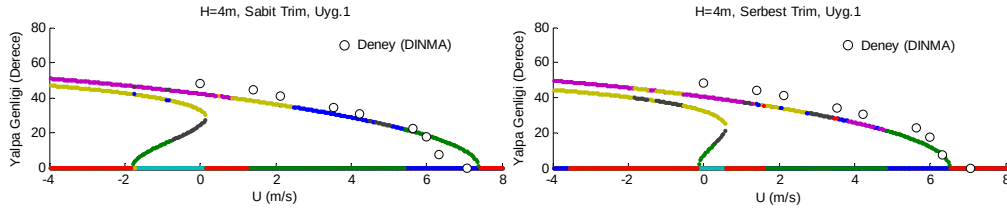
Fırkateyn FR1	DINMA C84-236
LBP (m)	120.00
B (m)	14.25
T (m)	4.060
Deplasman Hacmi (m ³)	3225
KB (m)	2.480
KG (m)	6.557
GM (m)	0.659



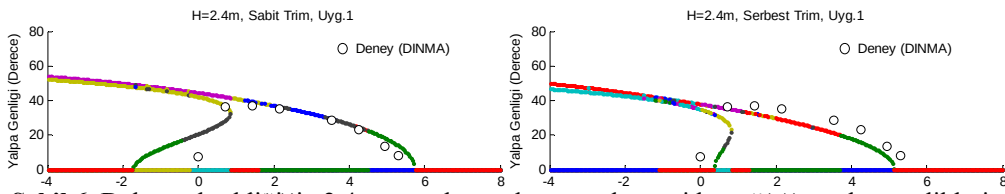
Şekil 4. Örnek Geminin 3 boyutlu görünümü.

5. Deney Sonuçları ve Syaisal Sonuçların Karşılaştırılması

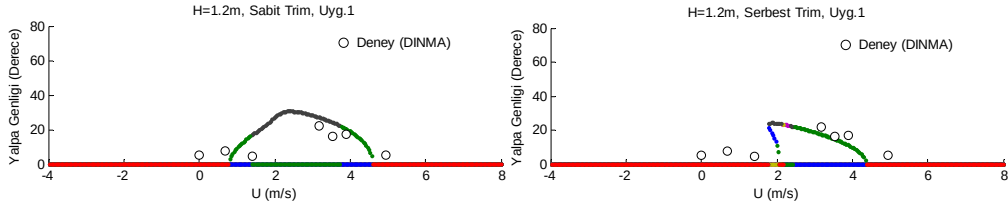
Geri getirici moment terimi için oluşturulmuş olan analitik model, dalga tepesi ve dalga çukurundaki geri getirici moment kolu değerlerine göre oluşturulmuştur. Moment kolları, hidrostatik hesap yapabilen bir program kullanılarak sabit trim ve serbest trim olmak üzere iki farklı durum için hesaplanmıştır. Sırasıyla 4, 2.4 ve 1.2 metre olan 3 farklı dalga yüksekliği kullanılmıştır. Geminin doğal frekansı ω_0 , 0.566 rad./s olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile birlikte karşılaştırmalı olarak aşağıda Şekil 5-7’de verilmiştir.



Şekil 5. Dalga yüksekliğinin 4 metre olması durumunda gemi hızına göre yalpa genlikleri (sabit trim durumu solda, serbest trim durumu sağda verilmiştir).



Şekil 6. Dalga yüksekliğinin 2.4 metre olması durumunda gemi hızına göre yalpa genlikleri (sabit trim durumu solda, serbest trim durumu sağda verilmiştir).



Şekil 7. Dalga yüksekliğinin 1.2 metre olması durumunda gemi hızına göre yalpa genlikleri (sabit trim durumu solda, serbest trim durumu sağda verilmiştir).

6. Sonuçlar

Oluşturulmuş olan modelin yaklaşık çözümü sonucunda deney sonuçları ile oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak, dalga yüksekliği arttıkça yalpa genliklerinin ve riskli gemi hızı aralığının arttığı, dalga yüksekliğinin 4 metreyi geçmesi durumunda ise modelin lineer olmaması durumunun bir sonucu olarak yalpa genliklerinin artmadığı, sadece riskli gemi hızı aralığının arttığı gözlemlenmiştir. Seyir sırasında gemi hızının düşürülmesinin yalpa genliklerini arttırdığı bu nedenle parametrik yalpa hareketinden kurtulmak için gemi hızının artırılması gerektiği belirlenmiştir. Geri getirici moment terimi, sabit ve serbest trim olmak üzere iki farklı durum için modellenmiştir. Sabit trim ile deney sonuçlarına daha yakın sonuçlar elde edilmiş, serbest trim ile deney sonuçları ile uyumlu fakat deney sonuçlarından yaklaşık daha küçük değerlerde sonuçlar elde edilmiştir.

Oluşturulmuş olan model baştan gelen ve dikliği 1/30'a kadar olan dalgalarda riskli bölgelerdeki yalpa genliklerinin tahmin edilmesinde kullanılabilecek bir modeldir. Modelin sakin su doğrultma momenti dağılımı temel alınarak oluşturulmuş olan modeller ile elde edilen sonuçlardan daha doğru sonuçlar vermesi beklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] **Grim, O.**, 1952, Rollschwingungen, Stabilitat und Sicherheit in Seegang, *Schiffstechnik*
- [2] **Wendel, K.**, 1954, Stabilitatseinbuben im Seegang und Durch Koksdeckslast, *Hansa*
- [3] **Haddara, M.R.**, “Effect of Forward Speed on the Roll Damping of Three Small Fishing Vessels”, *Journal of OMAE*, **116** 102-108, 1994.
- [4] **Ikeda, Y., Himeno, Y. and Tanaka, N.**, “A Prediction Method for Ship Roll Damping”, Report No. 00405 of Department of Naval Architecture, University of Osaka Prefecture, 1978.

- [5] **Pesman, E., Bayraktar, D. and Taylan, M.,** " Influence of Damping on the Roll Motion of Ships" 2nd *Intenational Conference on Marine Research and Transportation*, A5, Napoli (Ischia) Italy, 2007
- [6] **Feat, G.R., Jones, D.G. and Marshfield W.B.,** 1983, Capsizing with additional heeling Stochastic Criterion for highly nonlinear roll motion, *Trans. RINA*, **125**, 1-11
- [7] **Üçer,E.,**"Gemilerin Enine Stabilitésinin Matematiksel Yöntemlerle İrdelenmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi (doktora tezi),2007
- [8] **Bullian,G.,**"Development of Analytical Nonlinear Models for Parametric Roll and Hydrostatic Restoring Variations in Regular and Irregular Waves", Trieste Üniversitesi (doktora tezi),2006
- [9] **Nayfeh, A.H., Mook, D.T.,** “Nonlinear Oscillations”, John Wiley & Sons, Inc., 1979.
- [10] **Nayfeh, A.H.,** “Problems in Perturbation”, John Wiley & Sons, Inc., 1985.
- [11] **Bogoliubov, N.N., Mitropolsky, Y.A.,** “Asymtotic Methods in the Theory of Non-Linear Oscillations” Hindustan Publishing Corp., Delhi, 1961
- [12] **Nayfeh, A.H., Balachadran, B.,** “Applied Nonlinear Dynamics Analytical, Computational and Experimental Methods” John Wiley & Sons, Inc.,1995



BALONLA DENİZE İNDİRME

Hakan AKYILDIZ¹

ÖZET

Yapımı tamamlanan ve denize inme aşamasına getirilen gemiler çeşitli yöntemlerle denize indirilebilir. Klasik yöntemlerden farklı olarak, balonla denize indirme yöntemi de günümüzde uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, balonlar belirli bir sisteme göre gemi altına yerleştirilir. Gemi, tamamen balonların üstüne oturduktan sonra ilk hareket verilerek denize inme işlemi gerçekleştirilir. Balonla denize indirme yöntemi yeni bir yöntem olduğu için gerekli fiziksel koşulların sağlanması, gemi ve balon hazırlıklarının en iyi şekilde tamamlanması güvenli bir iniş açısından son derece önemlidir. Güvenliğin ön planda tutulması koşulu ile, yöntemin getirdiği kolaylıklar ve ekonomik avantajlar bu yöntemin giderek daha fazla tercih edileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Denize indirme, balon, basınç, kızak yapısı.

1. Giriş

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmelerle beraber, Gemi İnşaatı sektöründe de klasik denize indirme yöntemleri yanında yeni bir yöntem olan balonla denize indirme yöntemi uygulanmaya başlanmıştır. İlk olarak Çin’de kullanılan ve Sun Juxiang tarafından geliştirilen bu teknolojinin temel malzemesi balonlardır. Bu yöntemle, gemiler kızak ve kızak yapısına gerek kalmadan çok kısa sürede denize indirilebilmektedir. Oldukça ekonomik olan ve gemi altına yerleştirilen balonlarla gerçekleştirilen bu yöntem ilk olarak Karadeniz Tersanesi’nde başarıyla uygulanmış ve daha sonra da çeşitli tersanelerde uygulama alanı bulmuştur. Böylece, gelecekte bu yöntemin daha çok yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

¹ Doç. Dr. İ.T.Ü Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fak. Maslak-İstanbul. akyildiz@itu.edu.tr

Balonla denize indirme yöntemi, küçük ve orta ölçekli tersanelerin verimliliğini sınırlandıran sabit denize indirme kızaklarının olumsuzluklarının önüne geçerek zamandan ve iş gücünden tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca, operasyonlarda esneklik ve ekonomik fayda sağlayan bu yöntem güvenli bir denize indirme yöntemi olarak gemi inşaatı sektöründe umut verici teknolojik bir gelişme şeklinde değerlendirilebilir.

Balonla denize indirme yönteminin temel malzemesi balonlar olduğu için balonun yapısının ve teknik özelliklerinin iyi bilinmesi oldukça önemlidir. Ayrıca, denize iniş aşamalarında uyulması gereken kuralların ve standartların iyi anlaşılması güvenli iniş için hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada, gemilerin kısa sürede, güvenli ve ekonomik olarak denize indirilmesi için gereken kurallar ve standartlar incelenmiş ve sunulmuştur.

2. Denize indirme işleminde uyulması gereken kurallar

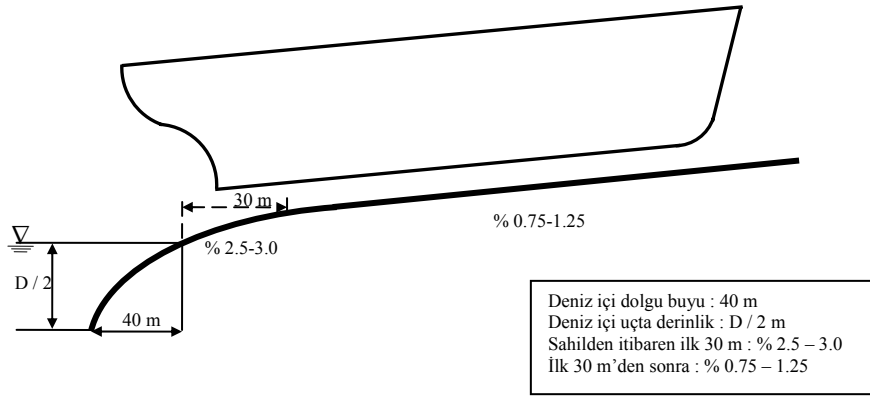
Balonla denize indirme yönteminde belirli bir standart oluşturmak amacıyla, Çin’de, “ Ship Repair Technology Division of Sea-going Ship Standardization of China.” tarafından “CB/T 3837-1998” kurallar kitapçığı yayınlanmıştır. Bu standartlar, yöntemin güvenli bir şekilde uygulanmasındaki gereksinimlerle, ilgili ekipmanları ve ölçüm yöntemlerini içermektedir.

2.1 Denize iniş öncesi hazırlıklar ve uyulması gereken kurallar

Bu yöntemde, temel amaç, kızak ister düz olarak kurulsun ister eğimli olarak gemileri mümkün olan en kısa sürede ek bir masrafa gereksinim duyulmadan denize indirmektir. Yapımı ve dış kaplama boyası biten bir gemide, balonla denize iniş için öncelikle alınması gereken önlemler vardır. Özellikle kızak eğimi ve deniz içi dolgular en fazla önem taşıyan unsurlardır. Balonla denize indirme yönteminde, ideal kızak eğimi % 0.75 ila % 1.25 arasında olmalıdır. Ayrıca, kızığın son 30 m’inde ek bir eğimin olması da pratik açıdan yararlı olacaktır (eğimin % 3 civarında olması ek bir yarar sağlar). Ancak, Türkiye’deki mevcut tersaneler bu gereksinimlere göre inşa edilmemiş olduğundan ve genel olarak kızak eğimleri % 5 civarında olduğundan ek tedbirler alınmak suretiyle balonla denize indirme yöntemi uygulanabilir. Geminin güvenli bir şekilde denize inebilmesi için, gemi üzerinde, kızakta ve kullanılacak araçlarda aşağıda tanımlanmış olan çeşitli hazırlıkların tamamlanmış olması gereklidir[1].

- 1) Dizayn su hattının altında kalan alanlar için tüm çalışmalar tamamlanmış ve kontroller yapılmış olmalıdır.
- 2) Gemi yüzeyinde kesinlikle çapak, kaynak artıkları ve benzeri pürüzlülükler bulunmamalıdır.
- 3) Bütün dış kaplama kaynaklarının kontrolü ve sızdırmazlık testi yapılmış olmalıdır.
- 4) Gemi ana boyutları ve bunlara göre yerleştirilmiş kana rakamaları kontrol edilmelidir.
- 5) Geminin iniş sırasında, iniş hattından sapmaması ve dümen altına girecek balonların patlama riskini azaltmak için dümen sabitlenmelidir.

- 6) Kızak yüzeyi üzerinde balonlara zarar verebilecek inşaat demirleri, demir parçaları ve sivri beton parçaları temizlenmelidir.
- 7) Kızak yolu yatay yönde pürüzsüz hale getirilmeli ve kot farkı 80 mm'yi aşmamalıdır. Ayrıca, kızak yolunun yük taşıma kapasitesi uniform olmalıdır.
- 8) Gemi iniş yolu, sıkıştırılmış kum zemin ya da beton zemin vb. olabilir. Ancak, zeminin dayanma kapasitesi en az balonların çalışma basınçlarının iki katı olmalıdır.
- 9) Kızak yolu eğimli düz, eğrisel ya da bunların kombinasyonu şeklinde olabilir. Ayrıca, eğim geminin boyutlarına göre saptanmalıdır ve genel olarak 1/7 değerinden büyük olmamalıdır. Balonla denize indirme yöntemi düz zeminlerde de uygulanabilen bir yöntem olmasına rağmen kızak eğiminin % 0.75 – 1.25 arasında olması tercih edilmelidir(Şekil 1).



Ş

Şekil 1. Balonla denize indirmede kullanılacak ideal kızak yapısı.

- 10) Kızak boyu deniz içinde de belli bir mesafe devam etmelidir. Kızak sonu deniz derinliğinin minimum D/2 olması gereklidir. Aksi takdirde iniş sırasında geminin kıç tarafı mastoriyi geçmeden karaya oturabilir ve gemi askıda kalabilir.
- 11) Gemi altında, vinç rayları gibi kaldırılamayacak tipte yapılar varsa bu alanlar çakıl ile doldurularak balonların rahat dönmesi sağlanmalıdır.
- 12) Balonlar yerleştirilmeye başlamadan önce kompresör vanalarının gemi çevresi boyunca yerleştirildiğinden emin olunmalıdır. Gerekli durumda havası indirilen balonun acil olarak şişirilmesi gerekebilir.
- 13) Gemi baş tarafına, balonlar şişirildikten sonra gemiyi tutmak için kaynatılan mapaların montaj ve kaynağının sağlam olduğuna dikkat edilmeli, gerekirse mapa kaynaklarının UT sinin bakılmasına dikkat edilmelidir.

- 14) Mapalara bağlanacak halatların 50 mm den aşağı olmamalıdır. Yeni halat kullanılmasına özen gösterilmesi gerekmektedir.
- 15) Takaryalar gemi altından çekilirken takarya yerleri gözden geçirilmeli, herhangi bir çapakla karşılaşılırsa taş motoru ile temizlenmelidir.
- 16) Geminin baş ırgat donanımı kesinlikle çalışıyor vaziyette olmalıdır.

2.2 Balonla ilgili kurallar

Balonla denize indirme yönteminin temel malzemesi balonlar olduğu için balonun yapısının ve teknik özelliklerinin iyi bilinmesi oldukça önemlidir. Balonun ham maddesi kauçuk olup üzerinde güçlendirilmiş naylon katmanlar bulunur. Gerilme dayanımı ≥ 205.8 N/pc' dir. Balon, katmanların birbiri üzerine tek tek sarılması yöntemi ile üretilir. Şekil 2'de denize indirmede kullanılan bir balon görülmektedir.



Şekil 2. Denize indirmede kullanılan balon.

Balonlar ile ilgili teknik gereksinimler aşağıda özetlenmiştir[2]:

- a) Balonlar CB/T düzenlemelerine göre kontrolden geçmeli, her kullanımdan önce yüksüz hava dolum testi yapılmalıdır. Bu test, balon çapına karşı gelen çalışma basıncının 1.25 katı iç basınçla yapılmalıdır.
- b) Kullanılacak balon sayısı genellikle şu formülle hesaplanır:

$$N = K_1 \times \frac{W \times g}{C_B \times R \times L_d} + N_1$$

Burada;

N: Balon sayısı

K_1 : Sabit bir sayı, 1.2~1.3

W: Gemi iniş ağırlığı (ton)

g: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

C_B : Blok katsayısı

R: Birim boya düşen en büyük kuvvet (kN/m)

- L_d : Orta kesitte gemi ve balonun temas uzunluğu
 N_1 : Değiştirilecek olan balon sayısı. 2~4 arasında olabilir.
- c) Balonların merkezleri arası uzaklık, geminin yapısal mukavemeti dikkate alınarak ve balonların çarpışması ya da üst üste binmesi engellenecek şekilde aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$\frac{L}{N-1} \leq 6$$

$$\frac{L}{N-1} \geq \frac{\pi D}{2} + 0.5$$

Burada; L: Gemi boyu (m)

N: Balon Sayısı

D: Nominal balon çapı(m)

Düşey prizmatik katsayısı düşük olan ya da baş ve kık formları narin olan gemilerde, yukarıdaki formüllerde kullanılan gemi boyu, narin olan baş ve kık kesitlerin boyu çıkartılarak kullanılabilir. Yapısal mukavemet açısından özel durumu olan gemilerde balonlar arası mesafe ihtiyaçlara göre belirlenebilir.

- d) Balonlar mümkün olduğu müddetçe tek sıra halinde dizilir; ancak genişliği çok fazla olan gemilerde, bu genişliği karşılayabilmek için 2 sıralı dizim yöntemi kullanılabilir.
- e) Deplasmanı ve blok katsayısı küçük olan römorkör ve balıkçı tekneleri gibi gemilerde hareket halinde iyi bir stabilite sağlamak amacıyla balonların ucu geminin iki tarafından uzatılabilir. İki taraftan uzatılan kısımlar minimum balon çapı uzunluğu kadar olmalıdır.

2.2.1 Balonların performansa göre sınıflandırılması

Tablo 1-Tablo 3, balon üreten bir Çin firmasının kataloglarından alınmış olan, farklı boyutlardaki balonlar için performans ve güvenli çalışma koşullarına göre balonların sınıflandırması verilmiştir[3].

Tablo 1. Balon tipleri ve çalışma basınçları

TİP	ÇALIŞMA BASINCI					
	D= 0.8 m (D=2.62 ft)	D= 1.0 m (D=3.28 ft)	D= 1.2 m (D=3.94 ft)	D=1.5 m (D=4.92 ft)	D= 1.8 m (D=5.90 ft)	D= 2.0 m (D=6.56 ft)
CL-3	0.13 Mpa (18.85 psi)	0.10 Mpa (14.50 psi)	0.09 Mpa (13.05 psi)	0.07 Mpa (10.15 psi)	0.06 Mpa (8.70 psi)	0.05 Mpa (7.25 psi)
CL-4	0.17 Mpa (24.66 psi)	0.13 Mpa (18.85 psi)	0.11 Mpa (15.95 psi)	0.09 Mpa (13.05 psi)	0.08 Mpa (11.60 psi)	0.07 Mpa (10.15 psi)
CL-5	0.21 Mpa (30.46 psi)	0.17 Mpa (24.66 psi)	0.14 Mpa (20.31 psi)	0.11 Mpa (15.95 psi)	0.09 Mpa (13.05 psi)	0.08 Mpa (11.60 psi)
CL-6	0.25 Mpa (36.26 psi)	0.20 Mpa (29.01 psi)	0.17 Mpa (24.66 psi)	0.13 Mpa (18.85 psi)	0.11 Mpa (15.95 psi)	0.10 Mpa (14.50 psi)

Tablo 2. Farklı tiplerdeki balonların farklı basınçlarda birim boya düşen taşıma kapasiteleri.

ÇAP	ÇALIŞMA YÜKSEKLİĞİ	BİRİM BOYA DÜŞEN TAŞIMA KAPASİTESİ (ton/m)			
		CL-3	CL-4	CL-5	CL-6
D = 0,8 m (D = 2,62 ft)	0,5 m (1,640 ft)	6,87	8,9768	11,08576	13,21
	0,4 m (1,312 ft)	9,15	11,96496	14,78848	17,60
	0,3 m (0,984 ft)	11,45	14,96432	18,48	22,01
	0,2 m (0,656 ft)	13,73	17,9536	22,18272	26,40
D = 1,0 m (D = 3,28 ft)	0,6 m (1,968 ft)	7,04	9,15264	11,97616	14,09
	0,5 m (1,640 ft)	8,80	11,43744	14,96432	17,60
	0,4 m (1,312 ft)	10,56	13,72336	17,9536	21,13
	0,3 m (0,984 ft)	12,33	16,01936	20,95296	24,64
	0,2 m (0,656 ft)	14,09	18,30416	23,95232	28,17
D = 1,2 m (D = 3,94 ft)	0,7 m (2,296 ft)	7,92	9,68016	12,32784	14,96
	0,6 m (1,968 ft)	9,50	11,61328	14,78848	17,95
	0,5 m (1,640 ft)	11,09	13,55872	17,25024	20,95
	0,4 m (1,312 ft)	12,68	15,49184	19,71088	23,94
	0,3 m (0,984 ft)	14,26	17,42608	22,18272	26,93
	0,2 m (0,656 ft)	15,84	19,3592	24,64448	29,93
D = 1,5 m (D = 4,92 ft)	0,9 m (2,952 ft)	7,39	9,50432	11,62448	13,73
	0,8 m (2,624 ft)	8,63	11,08576	13,55872	16,02
	0,7 m (2,296 ft)	9,86	12,67952	15,49184	18,30
	0,6 m (1,968 ft)	11,09	14,26096	17,42608	20,60
	0,5 m (1,640 ft)	12,33	15,84352	19,3592	22,89
	0,4 m (1,312 ft)	13,56	17,42608	21,30464	25,17
	0,3 m (0,984 ft)	14,79	19,00752	23,23776	27,46
	0,2 m (0,656 ft)	16,02	20,60128	25,172	29,99

Tablo 3. Farklı tiplerdeki balonların farklı basınçlarda birim boya düşen taşıma kapasiteleri.

ÇAP	ÇALIŞMA YÜKSEKLİĞİ	BİRİM BOYA DÜŞEN TAŞIMA KAPASİTESİ (ton/m)			
		CL-3	CL-4	CL-5	CL-6
D = 1,8 m (D = 5,90 ft)	1,1 m (3,608 ft)	6,90	9,86608	11,09696	13,55
	1,0 m (3,280 ft)	7,88	11,2728	12,67952	15,48
	0,9 m (2,952 ft)	8,88	12,67952	14,26096	17,43
	0,8 m (2,624 ft)	9,86	14,08512	15,84352	19,36
	0,7 m (2,296 ft)	10,84	15,49184	17,42608	21,30
	0,6 m (1,968 ft)	11,82	16,89856	19,00752	23,24
	0,5 m (1,640 ft)	12,81	18,31536	20,60128	25,17
	0,4 m (1,312 ft)	13,80	19,6672	22,18272	27,11
	0,3 m (0,984 ft)	14,79	20,23616	23,76528	29,05
D = 2,0 m (D = 6,56 ft)	0,2 m (0,656 ft)	15,77	22,52432	25,34784	30,98
	1,2 m (3,936 ft)	7,04	9,86608	11,2728	14,09
	1,1 m (3,608 ft)	7,92	11,09696	12,67952	15,84
	1,0 m (3,280 ft)	8,80	12,32784	14,08512	17,60
	0,9 m (2,952 ft)	9,68	13,55872	15,49184	19,36
	0,8 m (2,624 ft)	10,56	14,78848	16,89856	21,13
	0,7 m (2,296 ft)	11,44	16,01936	18,30416	22,89
	0,6 m (1,968 ft)	12,33	17,25024	19,71088	24,64
	0,5 m (1,640 ft)	13,21	18,48	21,1176	26,40
	0,4 m (1,312 ft)	14,09	19,73328	22,5344	28,16
	0,3 m (0,984 ft)	14,96	20,98544	23,94112	29,92
	0,2 m (0,656 ft)	15,84	22,5344	25,36912	31,69

2.3 Vinç ile ilgili kurallar

Vinçler, bir ucu gemi başına mapalarla tutturulmuş olan telleri sıkarak gemiyi karaya sabitlemeye yardımcı olur. Kimi zaman iniş için ilk hareket, vinçlerin telleri yavaş yavaş bırakmasıyla sağlanır.

- Genel olarak, dönme hızı 9-13 m/dk olan yavaş vinçler kullanılır.
- Kayma kuvveti ve vincin çekme kuvveti aşağıdaki şekilde bulunur (Şekil 3.).

$$F_c = W \times g \times \sin \alpha - \mu \times W \times g \times \cos \alpha + W \times \frac{V}{T}$$

$$F \geq \frac{K \times F_c}{N_c \times \cos \beta}$$

F_c : Gemiye etkiyen kayma kuvveti (kN)

α : Kızak eğimi (derece)

μ : Sürtünme katsayısı

V : Geminin hareket hızı (m/s)

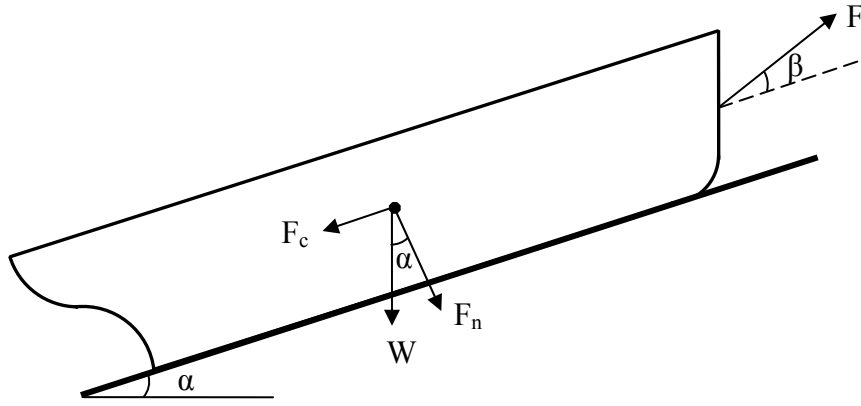
T : Vincin frenleme süresi (s)

F : Vinç telinin çekme kuvveti (kN)

K : Emniyet katsayısı ($k=1.2-1.5$)

N_c : Çekme teli sayısı

- β : Vinç teli ile kızak eğimi arasındaki açı (6 dereceden büyük olmamalıdır).
- c) Vincin uyguladığı çekme kuvveti, gemi hızının 6 m/dak'dan büyük olmasını önleyecek şekilde ayarlanmalıdır. Eğer geminin ağırlığı 200 tondan az ise iniş hızı kontrollü olarak artırılabilir.
- d) Vinç teli yeterince dayanıklı olmalı, kontrolleri düzenli olarak yapılmalıdır. Gerekğinde yenilenmelidir.
- e) Operasyonlarda eğitimli vinç operatörleri görevlendirilmelidir.



Şekil 3. Gemiye kızak üzerinde etkiyen kuvvetler.

2.4 Hava kompresörü

- Balonların toplam hacmi, hava dolumu için gereken zaman ve basınca göre kompresör tipi ve kapasitesi seçilir.
- Kompresörün gaz tankı uygun basınç sınırlandırıcı valf kullanılmalıdır.
- Balonlar yerleştirilmeye başlamadan önce kompresör vanalarının gemi çevresi boyunca yerleştirildiğinden emin olunmalıdır. bazı durumlarda havası indirilen balonun acil olarak tekrar şişirilmesi gerekebilir.
- Eğer birden fazla balon için aynı kompresör kullanılacaksa dağıtım manifoldu kullanılmalıdır.

2.5 Balonların bakım-tutumu

Balonlar, onarılamayacak kadar büyük hasarlara maruz kalmadıkları sürece ortalama 10-15 kez kullanılabilirler. Balon dış duvarında önemli bir hasar tespit edildiğinde zaman geçirmeden onarılmalıdır. Hasar bölgesine genelde sıcak yamalama işlemi uygulanır.

Balon başlarına takılan basınç ölçerler ve balon kapakları her iniş öncesi kontrol edilmelidir. Hava kaçakları sonucu yaşanacak herhangi bir inme inişi riske atabilir. Balonların uygun koşullarda saklanabilmesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gereklidir:

- a) Balon, havası indirildikten sonra uygun şekilde katlanarak, oda sıcaklığında ve nemsiz bir ortamda muhafaza edilmelidir. Böylece, çürümesi engellenmiş olacaktır.
- b) Asit-alkalin çözeltileri ve petrol bazlı kimyasallarla uzun süre temasından kaçınılmalıdır.
- c) Balon üzerinde ağır malzemelerin bulundurulmamasına özen gösterilmelidir.

3. Balonla denize indirme işlemi

Gereken hazırlıklar tamamlandıktan sonra balonların gemi altına yerleştirilmesi belirli kurallar çerçevesinde yapılır. Gemi altına konacak balonlar mümkünse tek sıra halinde ve hareket yönüne dik olarak yerleştirilmelidir. Gemi formuna bağlı olarak balonlar iki sıra halinde de düzenlenebilir. Bu durumda, iki sıra halindeki balonlar arası mesafe 0.5 m'den küçük olmamalıdır. Geminin her iki tarafından çıkacak olan balon uçları ise balonun çapından büyük olmalıdır. Balon yerleşimi öncelikle orta kesimden başlar. Gemi altındaki takaryalar arasına yerleştirilen balonlar 2-3 bar arası havayla şişirilir. Genel olarak, gemi altında takaryalar yerindeyken, gerçekte yerleştirilmesi gereken balon sayısının yarısı kadar balon yerleştirilerek şişirilir (Şekil 4).



Şekil 4. Balonların şişirilmesi ve kontrolü

Yerleştirilen balonlar şişirilince gemi balonlar üstüne oturarak takaryalar boşa çıkar. Takaryaların kaldırılması işleminde, önce enine yönde merkezde bulunan bloklar sonra iskele ve sancak taraftaki bloklar kaldırılmalıdır. Bu durumda, geminin balonlar üzerine ani düşmesinden sakınılmalıdır. Gemi hareket etmeden önce, son dakika kaldırılmak üzere serbest olarak duran bloklar geminin her iki tarafına yerleştirilmelidir. Böylece, takaryalar

üstüne halat bağlanarak kepçe ya da forklift yardımıyla balonlara temas etmeden dışarı alınır. Her takarya hattına, gemi altından çıkarıldıktan sonra yeni bir balon konulmalıdır.

Takaryalar çıkarıldıkça gemi sadece balonlar üzerinde duracağından baş taraftan gemi halatlarla sağlam bir yere bağlanmalı, geminin denize kayması önlenmelidir. Takaryalar çıkarıldıktan sonra balonlar 2-3 bar arası hava ile zeminin durumuna göre şişirilmelidir. Bu şişirilme esnasında balonlarda herhangi bir kaçak tespit edilirse patlak balonlar yenisi ile değiştirilmelidir.

Boyu 122 metre, genişliği 14 metre olan bu kimyasal tanker için toplam 18 adet 10 metrelik balon yerleştirilmelidir. Ayrıca başta 1 adet, kıçta 1 adet ve paralel gövdede 3 adet 16 metrelik balon kullanılarak iniş sırasında geminin iskele yada sancağa kaymasının önüne geçilmesi gereklidir. Gemi, 3 derece meyile sahip kızak üzerindeyken balonlar yerleştirilmeli ve balonlara eşit oranda hava basılmalıdır. Bu arada, balon başlarının aynı hizada olmasına özen gösterilmelidir. Böylece, gemi iniş hattından sapmayacaktır (Şekil 5).



Şekil 5. Gemi balonlar üzerinde otururken

Eğer gemi düz bir zeminde kurulmuş ise; tüm balonlar eşit miktarda şişirildikten sonra gemi altındaki balonlara biraz daha hava verilerek geminin eğiminin 1-1,5 dereceye gelmesi sağlanır. Böylece, gemi uygun hızda suya inecektir.

Kızak eğimini hesaplamak için, önce kıç tarafta kaide ile zemin arasındaki yükseklik ölçülür. Daha sonra, baş tarafta kaide ile zemin arasındaki yükseklik ölçülür ve böylece verilen eğimin doğruluğu teyit edilir. Eğer eğim, sadece baş taraftaki balonlara fazla basınç verilerek yapılırsa, paralel gövdedeki ve kıç taraftaki balonlara fazla yük bineceğinden balonların patlama riski artar. Bu yüzden, istenen eğim geminin kıç tarafındaki balonlar hariç geri kalan tüm balonlara belli değerde hava verilerek sağlanmalıdır.

Gemi balonlar üzerine oturduktan sonra baş taraftan bağlı olan geminin yükü sadece halatlara biner. İniş öncesi çevre güvenliği alındıktan sonra, baş taraftaki halat (bu halat 4000 tondan büyük gemiler için 2 halata çıkarılmalıdır) şalama ile kesilerek geminin denize inişi başlamış olur. Yaklaşık 30-40 saniye arası süren bu inişte geminin baş tarafı suya girdikten sonra ve altındaki balonlar gemi yüzeyinden kurtulduktan sonra çapalar

bırakılarak geminin hızının yavaşlaması sağlanır. Geminin suya girdiği noktada bulunan balonlar ile yüzmeye başladığında baş tarafta bulunan balonlar yüksek basınca dayanacak şekilde seçilmelidir (Şekil 6). Daha sonra, römorkörler gemiyi tutarak geminin sabitlenmesini sağlarlar. Özellikle çapaların denize aynı anda atılması gereklidir.



Şekil 6. Geminin balonla denize indirilişi.

4. Sonuç ve öneriler

Balonla denize indirme yöntemi, gemileri en kısa sürede ve güvenli olarak denize indirebilme olanağı sağlayan bir yöntemdir. Dolayısıyla, bu teknolojik gelişme gelecek yıllarda daha da yaygınlaşarak tersanelerimize ekonomik anlamda faydalar sağlayacaktır. Bir gemiyi balonla denize indirme işlemi için öncelikle eğimi düşük olan kızaklara gereksinim duyulur. Bu tip kızakların inşa maliyeti ve tamamlanma süreleri daha büyük eğimli kızaklara göre oldukça düşüktür. Böylece, zaman ve ekonomi açısından tasarruf sağlanmış olur. Ayrıca, işlerin önceden tamamlanıp bir an önce üretime geçme olanağı vermesi açısından da bir avantaj sağlar. Balonla denize indirme yönteminde, geminin bloklar üstüne inşası tamamlandıktan sonra sistematik şekilde yerleştirilen balonlar şişirilerek geminin denize indirilmesi sağlanmaktadır. Bu işlem en fazla 1 ila 3 günü kapsadığından gemi sahibi açısından da bir zaman tasarrufu sağlanmış olur. Klasik kızak sisteminin yalnız bir kullanıma izin verdiği ve buna karşı balonların iyi korunabildiği sürece 10-15 kez gemi inişi için kullanılabileceği düşünülürse, bu yöntemin ilk kullanımdan sonra tersaneyi kâra geçireceği açıktır.

Geminin denize indirilmesi işleminde enine stabilitenin oldukça önemli olduğunu biliyoruz. Klasik kızak sitemine nazaran balonla denize indirme yönteminde yükün balonlar tarafından tüm gemi genişliği boyunca taşındığı düşünülürse, geminin enine stabilitesi açısından da bir kazanç sağlanacağı görülmektedir.

Balonla denize indirme yönteminde, gemi ağırlığının omurga bloklarından balonlara iletilmesi esnasında hem balonların hem de geminin güvenliği açısından ani hareketlerden

kaçınıp geminin büyük sarsıntılara maruz kalmasını önlemek oldukça önemlidir. Geminin kıç tarafının suya girişi sırasında tipping gibi tehlikeli durumların yaşanmaması için kızak eğiminin çok iyi ayarlanması ve deniz içi dolgunun gerektiği gibi yapılması çok önemlidir. Tipping'i önlemek için gerektiğinde baş tarafa balast alınabilir. Geminin kıç tarafı suya girip yeterli sephiye oluştuktan sonra baş tarafın ani çarpmalarını önlemek için de baş tarafta ek balon kullanılabilir. Özellikle kıç ve baş bölgeleri daha narin olan gemilerde, özel eklemeler yaparak yükün dengeli yayılması sağlanabilir. Sonuç olarak, balonla denize iniş işlemini yöneten personelin eğitilmiş ve tecrübeli olması alınabilecek önlemlerin en önemlisi olacaktır.

Kaynaklar

- [1] **Akyıldız H.** Launching, Ship Theory Lecture Notes, 2007.
- [2] **CB/T 3837-1998** “Technological Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-Bags, Shipbuilding Industry Standard”, China State Shipbuilding Corporation, 1998.
- [3] **Akkuş Ö.** “Balonla denize indirme”, Bitirme Ödevi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 2008.



BAKIM ONARIM TERSANESİ YER SEÇİMİ KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Burak Ömer SARAÇOĞLU¹, Barış BARLAS², Yalçın ÜNSAN³, Mustafa İNSEL⁴, İsmail
H. HELVACIOĞLU⁵

ÖZET

Bu makalenin ve çalışmanın amacı sistematik bir şekilde gemi bakım onarım tersaneleri için yer seçimi kriterlerinin belirlenmesidir. Bu çalışma ile yeni bilimsel bir yöntem geliştirilmiş ve bu yönteme bağlı olarak yer seçimi kriterleri için karar verme sistemi temellendirilmiştir. Bulunan bazı kriterler detaylı olarak açıklanmış ve hiyerarşi şekli çizilmiş ve sunulmuştur. Bulunan bu kriterler öncelikle danışmanlara, yöneticilere ve son olarak yatırımcılara farkındalık ve analiz için yardımcı olacaktır. Ayrıca çeşitli yer alternatiflerinin değerlendirilmesi sırasında kullanılabilecek ve nihai yer seçiminde de ana hedeflerin ulaşılmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gemi bakım onarım;Gemi İnşaatı;Yer seçim; Tesis seçimi; Tersane.

1. Giriş

Diğer endüstri tesislerinde olduğu gibi gemi bakım onarım tersanesi inşaatı ve kuruluşu için yer seçimini etkileyen üç ana unsur bulunmaktadır. Bunlar çevresel, sosyal ve teknik unsurlar olarak sınıflandırılabilir. Bu unsurlar herhangi bir endüstriyel veya turistik tesisin kurulması sırasında, tesisin başka bir yere taşınması sırasında ve tesisin genişlemesi ya da büyümesi sırasında tesis yeri seçimlerinde her sektörde farklı derecelerde önemlidir. Herhangi bir sektörde bir tesis yer seçimi yapılacağı sırada dört önemli aşama karşımıza çıkmaktadır. Bu aşamalar yer seçimi kriterlerinin herhangi bir yöntem veya sistematik ile belirlenmesi, yer alternatiflerinin belirlenmesi, belirlenen unsurlara göre seçeneklerin analizi ve son olarak seçeneklerin değerlendirilmesi ve seçimi aşamalarıdır.

^{1,2,3,4,5} İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 34469 Maslak İstanbul.

Nükleer santraller, termik santraller, barajlar, lojistik merkezler, antrepo ve depolar, demiryolu istasyonları ve terminalleri, konteyner limanları, yeni gemi inşa tersaneleri ve bakım onarım tersaneleri gibi farklı sektörlerde bir çok tesis, tesis yer seçimi karar yöntemlerine göre analiz edilmeli ve konumlandırılmalıdır. Bu şekilde sistematik bir yaklaşım yeni gemi inşa tersaneleri yer seçimi kriterlerinin belirlenmesi için [1]'de verilmiştir. Bu çalışmada aynı yaklaşım bakım onarım tersaneleri için geliştirilecektir.

2. Bakım Onarım Tersaneleri

Bir endüstriyel ya da endüstriyel olmayan uygulamada, tesis yeri seçimi çalışmasının yapabildiği için yeni kapasite ihtiyacının, ek kapasite ihtiyacının veya mevcut kapasitenin yer değiştirilmesi ihtiyacının farkına varılması gereklidir. Gemi inşaatı sektörümüzde geçmiş orta dönemli sürece bakıldığında yeni gemi inşaatı, gemi bakım onarım (özellikle yenileme (refit) ve değişim (conversion)) ve gemi taşımacılık sektöründe değişen pazar koşullarına bağlı olarak pazar patlaması diye tanımlanabilecek bir hızlı büyüme atılımı yaşanmış ve bakım onarım tersanesi ve yeni gemi inşaatı tersane alanlarının belirlenmesi ihtiyacı yalnızca ülkemizde değil aynı zamanda bütün dünyada görülmüştür.

Coğrafi konum avantajı geminin seyir rotasına yakınlık olarak tanımlanabilir. Böyle bir durumda gemi zaman alıcı tamir tersanesine gitme işlemi için zaman harcamayacaktır. Önemli bakım-onarım tersanelerinin çoğu yoğun deniz trafiği hatlarına yakın şekilde belirlenmiştir. Gemi bakım onarımları 4 ayrı grup olarak incelenirse coğrafi konumun her bir bakım onarım için etkisi daha net anlaşılabacaktır.

a) *Kaza sonrası bakım onarım ihtiyacı*: Genelde yoğun deniz trafiği hatlarında ve tehlikeli sularda olan çatma, çarpışma ve karaya oturma gibi kazalar gemi bakım onarım talebinin fazla olmasına sebep olmaktadır. Kaza sonucu olmayan yapısal hasarlar (non accidental structural failure), batma (foundering) kötü deniz koşullarının bulunduğu deniz hatları civarında oluşmaktadır. Yangın ve patlama ise trafik ile ilgili olmayan ancak tanker trafik hatları üzerinde yoğunlaşmış kazalar olarak ortaya çıkmaktadır. Küçük hasarlar ile geminin rotasının alıkonulmadığı az ciddi kazalarda Doğu Asya % 27,7 ile en yoğun bölge olup bu bölgeyi % 22,4 ile Kuzey Avrupa, % 16,86 ile Akdeniz izlemektedir. Onarımın kaçınılmaz olduğu ciddi kazalarda ise en tehlikeli bölge % 25,56 ile Kuzey Avrupa, onu izleyen % 19,35 ile Akdeniz ve % 13,13 ile Doğu Asya gelmektedir. Akdeniz'de kazaların en yoğun olduğu bölgeler Yunanistan, Türkiye, İspanya, İtalya, Mısır olarak ortaya çıkmaktadır [2].

b) *Yıllık sörvey, havuzlama bakım onarımları*: Geminin karina kirlenmesi kaynaklı hız kayıplarının önlenmesi için yapılan havuzlama, bu havuzlama sırasında yapılan boya, bakım onarım işlemleri ve küçük tamirlerin istendiği yıllık sörvey sonrası yapılan bakım onarım faaliyetleri gemilerin kısa sürede yerine getirdikleri bir işlemdir. Bu nedenle gemi sahipleri gemilerin bu işlev sırasında normal rotalarının dışına çıkmadan, yakın bir bölgede yaptırılmasını istemektedir.

c) *Ara ve özel sörvey*: 5 Yılda bir yapılan özel sörvey (special survey) sonrasında gemi bünyesinde korozyona uğramış tekne, fonksiyonelliğini kaybetmiş ekipmanın değiştirilmesi

gerekmektedir. Dolayısı ile bu tip onarımlar daha çok sac işçiliği gerektirmekte ve uzun tersane zamanı almaktadırlar. Tersanelerde kalış süresi gemi sahibi için çok önemli olduğundan, teslim süresini en kısa tutabilen ve ucuz tersaneler tercih edilmektedir. Bu konuda Srdoc ve diğ. [3]'nin yaptığı gemi bakım onarım tersanelerinde kalite yönetimi ile ilgili makele önemlidir. Bununla birlikte, ticaret rotaları üzerindeki tersaneleri kullanma eğilimleri de yüksektir.

d) *Modernizasyon (refit) ve dönüştürme (conversion)*: Gemilerin donanım veya konstrüksiyon olarak yetersiz kaldıkları işlevlerini daha iyi yerine getirmeleri için modernizasyon onarımları yapılmaktadır. Özellikle yolcu gemileri ve offshore yapılarında modernizasyon oldukça sık rastlanan bir onarımdır. Geminin mevcut kurallara nedeni veya kargo problemleri ile yapısal olarak değiştirilmesi (conversion) büyük onarımlar arasında sayılmaktadır. Örneğin 2010 sonrasında çalışma imkanları bulunmayan VLCC gemilerinin 'capesize' dökme yük gemilerine dönüştürülmeleri günümüzde rastlanabilir bir onarım olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 1'de Tuzla'da bakım onarım tersanelerinden biri görülmektedir.



Şekil 1. Tuzla'da bakım onarım tersaneleri

Dünyanın farklı bölgelerinde bu konuda yeni gemi inşaatı ve bakım onarım tersanesi yer seçimi çalışmaları yapılmıştır. Örneğin yeni gemi inşaatı ve bakım onarım faaliyetlerinde dünya lideri olmayı hedeflemiş olan Çin Halk Cumhuriyeti bu konuda önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda Liaoning, Shandong, Jiangsu, Shanghai, Zhejiang, Guangdong ve Fujian eyaletleri sektörel gelişme için seçilmiş ve bu eyaletlerde de gemi inşaatı ve bakım onarım tersaneleri sanayi bölgeleri belirlenmiştir. Bu gibi çalışmalar bulunmasına rağmen irdeleme, inceleme ve araştırmalar sonunda yapılan çalışmaların pek azının bilimsel temellere dayanmış olduğu anlaşılmıştır. Gemi inşaatı ve bakım onarım sektörünün ötelenmiş küçük eğriler ile geçmişten günümüze artan eğilimde gelişme gösterdiği prensibine göre son küçük eğri yada çevrim 1990 yılından itibaren yaşanan ve toplam yeni gemi inşaatı sektöründe talep değerlerine dayalı olarak iki kattan daha fazla bir artımın var olduğu anlaşılmaktadır. Bu yeni gemi inşaatı patlaması bir sonraki çevrim olarak gemi onarım sektörüne belirli bir faz farkı ile yansiyacaktır. Bu bilgi

ışığında sektörün arz yönünde karşılanabilmesi için birçok işletme, firma ya da ülke yeni üretim ve üretim yönetimi modelleri geliştirmiş ve buna bağlı olarak yeni tersane yerleri belirlemiş ve bunlara ciddi yatırımlar yapmışlardır. Bazı firmalar ise tesislerini geliştirme, yenileme ve bu şekilde büyüme görüşlerine sahip olmuşlardır. Gemi bakım onarım operasyonlarının yönetiminin önemi son yıllarda artmıştır. Bu konuda Chryssolouris ve diğ. [4] ve Mourtzis [5]'in yaptığı çalışmalar önem arz etmektedir.

Herhangi bir tesis için yer seçimi kriterlerine bakıldığında, nesnel ve öznel kriterler olarak iki ana grup ile karşılaşılmaktadır. Tesis yeri seçimi çalışmaları yirmi seneyi aşan bir süredir önemli bir araştırma konusu olarak bilim insanlarının ilgisini çekmektedir. Fakat ilgi çekici unsur tesis yer seçimi kriterlerine odaklanan bir çalışma hemen hemen bulunmamaktadır. Bu geçmişe dayalı olarak özellikle vurgulanması gereken husus yapılan bu çalışmaların hiçbirisi tesis yeri seçimi kriterlerinin belirlenmesi için sistematik bir yöntem sunmamış olmasıdır.

Endüstriyel tesis yeri seçimi problemleri özellikle üç bilim alanında sıklıkla araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bunlar;

- Ekonomi ve bağlılı olan alt bilim dalları;
- Endüstri mühendisliği ve bağlılı olan alt bilim dalları;
- Jeoloji ve bağlılı olan alt bilim dalları. (Ghosh ve Harche, [6]).

Gemi bakım onarım sektörüne bakıldığında yatırımların büyük yatırımlar sınıfında yer aldığı görülmektedir. Büyük yatırımlarda finansal başarının sağlanması için önemli bir adım ise getirinin büyüklüğü ve zamanlamasıdır. Ayrıca maliyetlerin büyüklüğü ve maliyetlerin zamanlaması da önemli unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu hususlara bakıldığında bu hususların aslında yer ile direkt ilgili olduğu ve hatta iyi bir bilimsel çalışma ile bu büyüklüklerin yerin bir fonksiyonu olduğu ve bu fonksiyonunda formüle edilebileceği ortaya çıkar. Bundan dolayı gemi bakım onarım sektöründe finansal başarının sağlanabilmesi için en önemli unsurlardan bir tanesi tesis yer seçimidir. Herhangi bir tesis için tesis yer seçimi tesis performansını, işletme giderlerini, ürün teslim süresini ve ürün teslim performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Bir üretim firması göz önüne alındığında firma tedarikçilere yakınlık, çağımızdaki üretim modellerine ve üretim yönetim modellerine bakıldığında kritik bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu araştırma ve irdeleme çalışması ile gemi bakım onarım tersanesi yeri seçimi için karar yöntemlerinde kullanılacak bakım onarım tersanesi yer seçim kriterleri belirlenmiş ve özlü olarak sunulmuştur. Bu çalışmada sunulan bazı kriterler, bazı koşullarda ve bazı uygulamalarda kullanılmayabilir.

3. Yöntem

Bakım onarım tersanesi yer seçimi kriterlerinin bulunabilmesi için sistematik, kendine has özellikleri olan ve bilimsel temellere dayalı bir yöntem kullanılmalıdır. Bu yöntem sadece bakım onarım tersanesi yer seçimi için değil aynı zamanda genişletilmiş anlamda tüm tesis

yer seçimi problemleri için bazı farklılıklarla kullanılabilir. Bakım onarım tersanesi yer seçimi için geliştirilen yöntem üç aşamalıdır. Bunlar;

- Tanımlama ve tasarım aşaması,
- Veri toplama ve analiz aşaması,
- Analiz ve sonuç aşamasıdır.

İlk adım literatür çalışması olup, geçmişteki çalışmalardan genel olarak tesis yeri seçimi kullanılmış kriterlerin listelenmesi adımıdır. Benzeri bir literatür çalışması ve kullanılan kaynaklar [1]'de verilmiştir. Literatürde bulunan tüm çalışmalar içindeki tüm kriterler listelenmeli ve frekansları irdelenmelidir. Bu adım sayesinde genel olarak tesis yeri seçiminde hangi kriterlerin daha önce kullanıldığı ve hangi sıklık ile kullanıldığı elde edilir. Bu adımı müteakip listelenen ve frekansları bulunan her bir kriter için uzman görüşleri alınmalıdır. Uzman görüşü alınmasında kullanılan yöntem bu çalışmada derinlemesine görüşmeler olarak belirlenmiştir. Böyle bir çalışmada en uygun çalışma şekli farklı ticaret odaları, meslek odaları, üniversiteler, devlet kurumları ve özel kuruluşların uzmanlarının tek tek görüşlerinin alınmasıdır. Bu görüş almada uzaktan iletişim araçları da kullanılabilir.

Daha önce listelenmiş olan kriterler bu gibi kurum ve kuruluşlarda bulunan uzmanlar ile irdelenmeli, yeni bulunan kriterler varsa bunlar listelenmeli, bulunan bütün kriterler tanımları ve açıklamaları ile birlikte yazılmalı ve bir sorgu sayfası hazırlanmalıdır. Bu adımlar sırasında yorumların ve detayların elde edinilmesi için kullanılabilecek yöntemlerden biri veri bankacılığıdır. Bu adım süresince toplantılar ve görüşmeler yapıp bire-bir konuşmalar ile daha fazla bilgi edinilmelidir. Son adımda tüm elde edilen bilgiler bir tabloda toplanarak sıklık çizelgesi hazırlanır. Buna ek olarak en önemli hususlardan biri bu aşamada kriterlerin kategori irdelenmesine tabi tutulup birbiri ile bağıntısal (bir kriterin diğer kriteri etkilemesi) ilişkisi olup olmadığının araştırılmasıdır. Daha sonra tüm kriterler yazılır ve her bir kriterin detaylı açıklaması yapılır.

4. Bulgular

Bakım onarım tersanelerinin yer seçiminde kullanılmak üzere on adet ana yer seçim kriteri bulunmaktadır. Bunlar önem derecesine göre

- a. Rotalara yakınlık faktörü,
- b. Taşıma faktörleri,
- c. Enerji temin faktörleri,
- d. Genel alt yapı gereksinimi ve durumu faktörleri,
- e. Çevresel etki durum faktörleri,
- f. Vergilendirme ve finansman faktörleri,
- g. Hizmetler toplam göreceli tahminlendirilmiş durum faktörleri,
- h. Rekabetçilik durum faktörleri,
- i. Bölge özellikleri faktörleri,
- j. Toplumun (bölge halkının) tutumu ve önerilen tesise bakışıdır.

Yukarıda belirtilen bu ana kriterler kendi alt kriterlerine sahiptirler ve bu alt kriterlerin değerlendirmesi ana kriterin değerlendirilmesi anlamını taşımaktadır. Bakım onarım tersanesi yer seçimi kriterleri bir bütün olarak Tablo 1 ile sunulmuştur. Bu tabloda ayrıca

sunulması zaruri olan kriterin öznelliği yada nesnelliği bilgisi de verilmiştir ve bu bilgiye ek olarak kriterin büyüklüğünün artımı ile istemin artımı arasındaki bağda sunulmuştur.

Tablo 1. Yeni Gemi İnşaa Tersaneleri İçin Yer Seçim Kriterleri

Kriterin Adı	Nesnel/Öznel	Durum
C₀: Deniz Rotalarına Yakınsaklık		
C ₀₁ : Yükleme/Boşaltma Limanlarına Yakınsaklık	Öznel	↑
C ₀₂ : Deniz Taşıma Rotalarına Yakınsaklık	Öznel	↑
C₁: Taşıma		
C ₁₁ : Karayolu Ulaşımı/Taşıma Hizmetleri	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₁₂ : Havayolu Ulaşımı/Taşıma Hizmetleri	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₁₃ : Denizyolu Ulaşımı/Taşıma Hizmetleri	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₁₄ : Demiryolu Ulaşımı/Taşıma Hizmetleri	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C₂: Enerji Temin Faktörleri		
C ₂₁ : Elektrik İmkanları	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₂₂ : Doğalgaz İmkanları	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C₃: Genel altyapı gereklilik ve durum değerlendirmesi		
C ₃₁ : Doğasal faktörler		
C ₃₁₁ : Çökme/Yağış	Nesnel	↓
C ₃₁₂ : Rüzgar özellikleri	Nesnel	↓
C ₃₁₃ : Dalga özellikleri	Nesnel	↓
C ₃₁₄ : Doğal Afetlere Duyarlılık	Öznel	↓
• Derece büyüklük, ihtimal, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₃₂ : Temel Tesis Durumu/İmkanları		
C ₃₂₁ : Deniz Dolgusu Durumu/İmkanları	Öznel	↑
• İmkanlar, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₃₂₂ : Mendirek Durumu/İmkanları	Öznel	↑
• İmkanlar, ihtimaller, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₃₂₃ : Rıhtım Durumu/İmkanları	Öznel	↑
• İmkanlar, ihtimaller, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₃₂₄ : Liman Durumu/İmkanları	Öznel	↑
• İmkanlar, ihtimaller, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C₄: Çevre Durum Değerlendirmesi		
C ₄₁ : Çevresel Kirlilik Etki Değerlendirmesi		
C ₄₁₁ : Görsel Çevre Kirliliği Etki Tahminlendirmesi	Öznel	↓
• Derece büyüklük, ihtimal, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₁₂ : Gürültü Çevre Kirliliği Etki Tahminlendirmesi	Öznel	↓
• Derece büyüklük, ihtimal, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₁₃ : Atık Çevre Kirliliği Etki Tahminlendirmesi	Öznel	↓
• Derece büyüklük, ihtimal, genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		

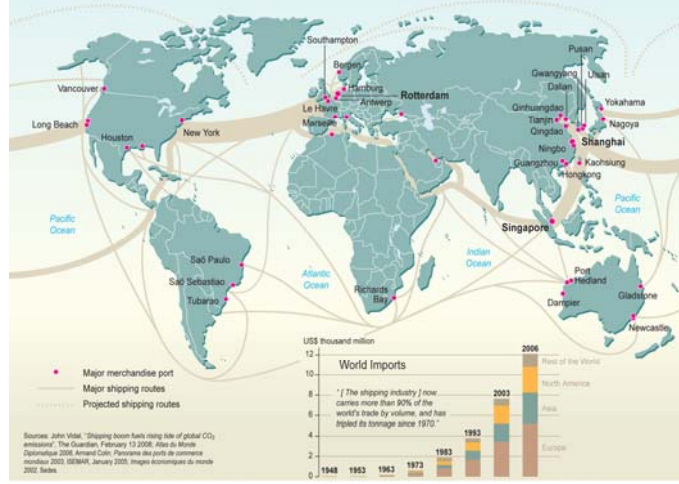
C ₄₂ : İş gücü		
C ₄₂₁ : İş gücü bulunabilirliği	Öznel	↑
• Bulunurluk uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₂₂ : Beyaz yaka iş gücü bulunabilirliği	Öznel	↑
• Bulunurluk uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₂₃ : Kalifiye iş gücü bulunabilirliği	Öznel	↑
• Bulunurluk uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₂₄ : Yarı-kalifiye iş gücü bulunabilirliği	Öznel	↑
• Bulunurluk uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₂₅ : Organizasyonel yapıdaki bölümlere gerekli iş gücü bulunabilirlik esnekliği	Öznel	↑
• Bulunurluk esnekliği ve kapsam ölçütü uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₂₆ : İş gücü maliyeti	Nesnel	↓
C ₄₃ : Kaynaklara Erişim/Yakınlık		
C ₄₃₁ : Tedarikçilere Yakınlık	Öznel	↑
• Yakınlık uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₃₂ : Taşaron Bulunurluğu	Öznel	↑
• Yakınlık uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₃₃ : Sanayi Merkezlerine Yakınlık	Nesnel	↑
C ₄₃₄ : Mevcut Sanayi Desteği Bulunurluğu	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₃₅ : Gemi İnşaatına Yönelik Yan Sanayi Bulunurluğu	Öznel	↑
• Bulunurluk, esneklik, olurluluk, kalite ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₃₆ : Üniversitelere Yakınlık	Nesnel	↑
C ₄₃₇ : Ar-Ge Merkezlerine Yakınlık	Nesnel	↑
C ₄₄ : Ortaklaşılık		
C ₄₄₁ : Barınma		
C ₄₄₁₁ : Sürekli Barınma Kapasitesi	Nesnel	↑
C ₄₄₁₂ : Geçici Barınma Kapasitesi	Nesnel	↑
C ₄₄₂ : İş Yapabilirlik Ortamı	Öznel	↑
• İş yapabilirlik uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₄₃ : Hastane ve Diğer Sağlık Kuruluş İmkanları	Nesnel	↑
C ₄₄₄ : Eğitim İmkanları		
C ₄₄₄₁ : İlk Öğretim Kurumları Bulunurluğu	Nesnel	↑
C ₄₄₄₂ : Mesleki Öğretim Kurumları Bulunurluğu	Nesnel	↑
C ₄₄₄₃ : Üniversite Bulunurluğu	Nesnel	↑
C ₄₄₅ : Nüfus	Nesnel	↓
C ₄₄₆ : Yaşam Standartları		
C ₄₄₆₁ : Gelir Düzeyi Durumu	Nesnel	↓
C ₄₄₆₂ : İşsizlik Oranı Durumu	Nesnel	↑
C ₄₄₆₃ : Asgari Geçim Düzeyi	Nesnel	↓
C ₄₄₆₄ : Nüfus Alabilirlik	Öznel	↑
• Kabul edebilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₄₄₇ : Politik Olumlu Durağanlık	Öznel	↑
• Genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C₅: Finans ve Vergilendirme		
C ₅₁ : Vergi Muhafiyet Durumu	Nesnel	↑
C ₅₂ : Yatırım Teşviki	Nesnel	↑
C ₅₃ : Bankacılık Hizmetleri Durumu	Nesnel	↑

C ₅₄ : Finansman Fonlama Durumu	Öznel	↑
• Bulunabilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C₆: Hizmetler Göreceli Durum		
C ₆₁ : Temiz (İçme Suyu) Su Kalite ve Fiyatı	Öznel	↑
• Bulunabilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₆₂ : Atık Su Toplama Kalite ve Fiyatı	Öznel	↑
• Bulunabilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₆₃ : Pis Su Toplama Kalite ve Fiyatı	Öznel	↑
• Bulunabilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₆₄ : Genel Elektrik Tedarik Kalite ve Fiyatı	Öznel	↑
• Bulunabilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₆₅ : Genel Doğal Gaz Tedarik Kalite ve Fiyatı	Öznel	↑
• Bulunabilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₆₆ : Emniyet ve Yangın Hizmetleri Kalitesi	Öznel	↑
• Bulunabilirlik, ihtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C₇: Rekabetçilik Durumu	Öznel	↑
• Genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C₈: Bölge Özellikleri		
C ₈₁ : Arazi		
C ₈₁₁ : Arazi sahipliği çeşitliliği	Nesnel	↓
C ₈₁₂ : Arazide genişleme imkanı	Öznel	↑
• İhtimal ve genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₈₁₃ : Arazi zemin durumu (kara)	Öznel	↑
• Genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₈₁₄ : Arazi zemin durumu (deniz)	Öznel	↑
• Genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		
C ₈₂ : Alan	Nesnel	↑
C ₈₃ : Altyapı ve inşaat birim fiyatları	Nesnel	↓
C ₈₄ : Kıyı uzunluğu	Nesnel	↑
C ₈₅ : Derinlik durumu	Nesnel	↑
C₉: Toplumun (bölge halkının) incelenen/önerilen tesise bakışı	Öznel	↑
• Genel durum uzman görüşü yöntemi ile irdelenmelidir.		

Daha açıklayıcı olması açısından Tablo 1 ile verilen kriterlerden bazılarını detaylı olarak anlatmak gerekmektedir.

C₀: Deniz Rotalarına Yakınsaklık (Öznel):

Güncel deniz rotalarına yakınlık gemi bakım onarım sektörü için önemli bir unsurdur. Bu unsur iki önemli özelliği içinde barındırır, bunlardan birincisi yükleme boşaltma limanlarına yakınsaklık ikincisi ise taşıma rotasına yakınsaklık. Özellikle bakım onarım faaliyetleri gemilerin klas ya da bayrak devlet kontrolleri için yapılacaksa yükleme boşaltma limanlarına yakınlık büyük bir avantaj sağlamaktadır. Patlamalar, çatışmalar ya da karaya oturmalar gibi diğer sebeplerden dolayı olan bakım onarım faaliyetleri için deniz taşıma rotalarına yakınsaklık önem arz etmektedir. Bu tür bir değerlendirme için dünya deniz taşımacılığı rotaları ve bu rotalara ait taşımacılık hacimleri ile ana limanların irdelenmesi gereklidir. Bu tür çalışmalar daha önce yapılmış ve raporlar ya da kitaplar halinde yayınlanmıştır. Bu tür çalışmalara en güzel örneklerden biri [7]'de sunulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Dünya Limanlar ve Deniz Taşıma Rotaları (Kaynak: VIDAL[7])

C₁₃: Demiryolu Ulaşımı/Taşıma Hizmetleri (Öznel Kriter):

Demiryolu ulaşımı/taşıması kara üzerindeki en ekonomik ulaşım ve taşıma aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle gemilerin bakım onarımı için gerekli olan ekipmanlar malzemeler ve diğer birçok unsur rahatlıkla kombine taşımacılık sistemleri ile arzu edilen bir bölgeden diğer bir bölgeye taşınabilir. Bu tür bir taşıma şeklinde en ekonomik ayak olan demiryolu ulaşımı bundan dolayı önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca sanayi atıklarının taşınması içinde en güvenli yol olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizin demiryolu ağı kuvvetlendikçe ekonomik kalkınmada artacaktır. Dünyada ve ülkemizde bakım onarım tersanesi yer seçimi kriterleri irdelendiğinde bu unsur için yapılması gereken demiryolu ağlarının haritalar aracılığı ile incelenmesi ve daha sonra bu ağlar ile ilgili teknik ve ekonomik bilgilerin elde edilmesidir. Ülkemizin demiryolu şebeke haritası Şekil 3 ile sunulmuştur.

Bu kritere göre ülkemizde İskenderun, Mersin, Aliağa, Bandırma, İstanbul, Zonguldak, Ereğli ve Samsun en avantajlı yerler olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3. TCDD Demiryolu Şebekesi (Kaynak: <http://www.dhmi.gov.tr/>)

C₃₁₄: Doğal Afetlere Duyarlılık (Öznel Kriter):

Doğal afetler hem ülkemiz hem de dünya için en önemli unsurlardan iridir. Bir yatırımın ilk büyüklüğünü ve hayatını etkileyen en önemli unsur doğal afetlerdir. Ayrıca doğal afetler insanların yaşam tarzlarını etkileyen ve biçimlendiren bir unsur olarak karşımıza çıkmıştır. Birçok doğal afet türü bulunmaktadır. Bunlardan bazıları toprak kayması, sel, deprem, volkanik patlama, tsunami, tornado, tayfundur. Ülkemiz açısından irdelendiğinde en büyük doğal afetlerden birinin deprem olduğu aşikardır. Hemen her bölgemiz için deprem ile ilgili bir geçmiş kayıt bulunmaktadır. Bu kayıtlar değerlendirme sırasında dikkatlice incelenmelidir. Ayrıca güncel verilere de ulaşılması önem arz etmektedir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Ülkemiz açısından bakıldığında da bakım onarım tersanelerinin sayısının artırılması ve özellikle büyük gemilere hizmet verebilecek yeni yerlerin bulunması önem arz etmektedir. Kuzeyimizde Karadeniz filosunu artırma planlarını tamamlamış ve 2020-2030 yılları için stratejik planını belirlemiş olan Rusya Federasyonu'na hizmet verebilecek, güneyimizde ise petrol boru hatlarını kullanan büyük tankerlere hizmet verebilecek bakım onarım tersanelerinin kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada bakım onarım tersanesi yer seçiminde kullanılabilecek kriterler irdelenmiştir. Bakım onarım tersanesi yer seçimi bir yatırımın en önemli aşamasıdır. İlk yatırımın büyüklüğü ile birlikte işletme giderleri gibi yaşam döngüsü boyunca karşımıza çıkan maliyetler ve gelirlerin tamamını etkiler. Yatırımcıların, kredi kuruluşlarının, yatırımcı gruplarının bu çalışmaları yaptırması önemli olmakla birlikte aslında bu sektörde yer almak isteyen devletlerin hükümetlerinin bu çalışmalarda bulunması bir ihtiyaçtır. Bu sektör ve diğer kıyı sektörleri ile birlikte yapılacak olan toplam büyük bir çalışma kıyıların etkin

kullanımına yardımcı olacaktır. Bu tür çalışmalar tam bir bütünleşiklik çalışmaları olup birbirleri ile koordineli olarak gerçekleştirilmelidir, ülkemiz ancak bu şekilde kıyılardan azami ölçüde yararlanabilecektir.

Günümüz koşulları bundan birkaç sene öncesine nazaran değişiklik göstermiş olmasına rağmen göz önüne alındığında sadece yeni gemi inşaa firmaları için değil aynı bakım onarım tersaneleri içinde büyük fırsatlar sunmaktadır. Özellikle bakım onarım tersaneleri için eşi bulunmaz bir fırsatlar bütünü ülkemiz için önümüzde durmaktadır. Finansal ve reel sektörlerdeki ekonomik kriz yeni gemi inşa sektörünü etkilese de kriz nedeniyle gemilerini bakıma almak isteyen veya daha karlı taşımacılık için gemilerine tadilat yapmak isteyen armatörlerin gemileri için gemi bakım onarım tersanesi yatırımları, atılım yapma ihtimali olan önemli sektörlerden biri olabilir. İşte bu önemli unsurlara bağlı olarak yatırımcıların bakım-onarım tersanesi işlevlerini yerine getirebilecek bir yer belirleme çalışmasına gitmesi faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Saraçoğlu, B.Ö., Helvacıoğlu, İ.H., Ünsan, Y., İnel, M ve Barlas, B. Yeni Gemi İnşaa Tersane Yer Seçimi Kriterlerinin Belirlenmesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi, GMO, Sayı: 176, Nisan 2008.
- [2] Odabaşı A.Y., İnel M., Üçer E. A Risk Assessment Comparison between Maritime Casualties and Port State Control Inspections in Europe (Paris MOU) within the period of 1998 to 2002, İTÜ/DTO/TL Raporu, 2005.
- [3] Srdoc A., Bratko I., Sluga A. Machine learning applied to quality management—A study in ship repair domain, Computers in Industry 58, pp.464–473, 2007.
- [4] Chrysosolouris, G., Makris, S., Xanthakis, V., Mourtzis, D. Towards the Internet-based supply chain management for the ship repair industry, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 17:1, pp.45-57, 2004.
- [5] Mourtzis, D. An integrated system for managing ship repair operations', International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 18:8, pp.721-733, 2005.
- [6] Ghosh A., Harche F. Location-allocation models in the private sector: progress, problems, and prospects, Location Science, 1, 1, pp.81–106, 1993.
- [7] Vidal, J. Shipping fuels rising tide of global CO2 emissions, The Guardian , 2008.



SERVOVALF VE HİDROLİK SİSTEMDEN OLUŞAN ELEKTROHİDROLİK BİR DÜMEN SİSTEMİNİN KONUM KONTROLÜ

Fevzi ŞENLİTÜRK¹, Fuat ALARÇİN²

ÖZET

Bu çalışmada dört yollu üç konumlu bir servovalf kullanılmış olup, hidrolik sistem elemanlarının matematiksel modeli de, akışkanın sıkıştırılabilirlik özelliği, süreklilik denklemi ve momentum denklemleri esas alınarak oluşturulmuştur. Türk Loydu makine kurallarına uygun olarak kabul edilen, çalışma basıncına göre dümen sistemine ait elemanların boyutları belirlenerek elektrohidrolik dümen sisteminin modellemesi yapılmıştır. Matematiksel modeli oluşturulan elektrohidrolik sistemin simülasyonunun gerçekleştirilmesinde MATLAB programının SİMULINK modülü kullanılmıştır. MATLAB programlama dili ile yazılan hidrolik güç iletim sisteminin simülasyonunda konum değişimi, PID (Oransal-İntegral-Türev) kontrolcü uygulanarak sistemin kapalı çevrim konum kontrolü gerçekleştirilmiştir ve simülasyon sonuçları grafik olarak irdelenerek ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Elektrohidrolik sistemler, elektrohidrolik dümen sistemleri, hidrolik silindir, servovalf, PID kontrol.

1. Giriş

Gemilerde kullanılan hidrolik sistem tasarımında, uygulamayı gerçekleştirmeden önce tasarım aşamasında sistem hakkında önceden bilgi sahibi olunması ve dinamik davranışının gözlenmesi için bilgisayar ortamında simülasyon çalışması yapmak hem işi

¹ Öğr. Gör., ZKÜ Alaplı MYO, 67850, Alaplı, Zonguldak. +90372 378 2005 (Tel), fsenliturk@karaelmas.edu.tr

² Yrd. Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. Böl., 34349, Beşiktaş, İstanbul, +90212 383 2862 (Tel), alarcin@yildiz.edu.tr

kolaylaştırmakta hem de zaman ve maliyet açısından büyük faydalar sağlamaktadır. Hidrolik güç iletimleri konusunda yapılan son çalışmalarda Becan ve diğerleri temel hidrolik konum kontrol sisteminin esneklik modülünün, silindirin her iki tarafındaki hacim değişimlerini dikkate alarak kontrol katsayıları belirlemişler ve esneklik modülü sabit olan modellerle karşılaştırma yapmışlardır [1]. Park vd., çalışmalarında elektrohidrolik fin servo sisteminin konum kontrolünde genetik algoritmayı kullanan bulanık mantıklı bir kontrolör (Fuzzy Logic Controller-FLC) tasarlamışlardır. Tasarlanan kontrolcünün etkinliğini, PID kontrolcü ile karşılaştırarak doğrulamışlardır. Yüksek mertebeden nonlinear sistemler için bulanık mantıklı kontrolcünün hızlı ve kesin cevaplar verdiğini ortaya koymuşlardır [2]. Zeb analitik metot kullanarak elektrohidrolik konum kontrollü servo sistemin matematiksel modelini oluşturmuştur. Servovalfin dinamik etkileri ihmal edildiğinde, elektrohidrolik konum kontrollü servo sisteminin transfer fonksiyonun üçüncü mertebe bir fonksiyon olduğunu belirtmiş ve sistem hassasiyetinin açık döngü kazancına bağlı olduğunu, daha büyük açık döngü kazançlarında daha küçük hataların elde edileceğini ortaya koymuştur [3]. Akkaya, Matlab programının Simulink modülünde hidrostatik iletim sistemlerindeki açılal hızlarda, Oransal-İntegral-Türev kontrolcünün ve Bulanık Kontrolcünün performansını incelemiştir. Sistemin kontrolünde esneklik modülünün (bulk modulus) etkisini de hesaba katmıştır. PID kontrolcünün değişen esneklik modülleri karşısında yetersiz kaldığını, buna karşın Bulanık Kontrolcünün açılal hız kontrolünde daha üstün olduğunu ortaya koymuştur [4].

Bu çalışmada, dört yollu üç ana konumlu servovalf ile denetlenen bir silindirden meydana gelen elektrohidrolik dümen sistemin modeli oluşturularak PID kontrolcü ile konum kontrolü gerçekleştirilmiştir.

2. Elektrohidrolik Valf Silindir Sisteminin Matematik Modeli

Gemi yekesini (M) hareket ettiren elektrohidrolik sistemin dinamik davranışı Şekil 1 esas alınarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [5]:

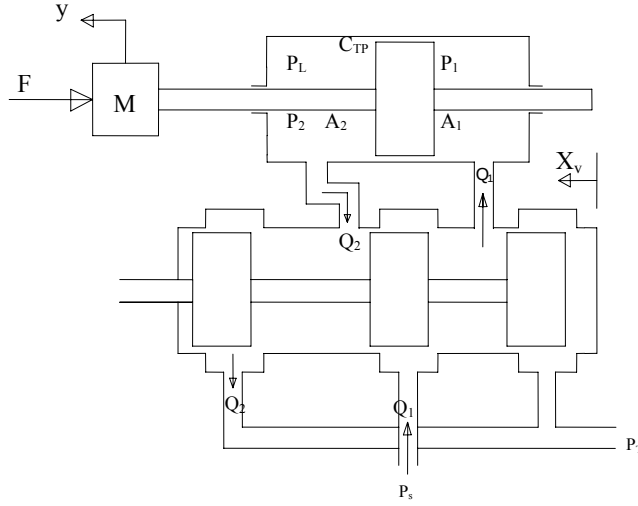
$$M \cdot \ddot{y} + \beta \cdot \dot{y} + F = P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 \quad (1)$$

$\frac{1}{\beta} \cdot dP = -\frac{dV}{V}$ olarak tanımlanan hacimsel elastiklik modülü, 1 nolu eşitlikte yerine

konulduğunda silindirin hareket yönüne bağlı debi denklemleri aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$Q_1 = A_1 \cdot \dot{y} + \frac{V_1}{\beta} \cdot \frac{dP_1}{dt} \quad \text{ve} \quad Q_2 = A_2 \cdot \dot{y} - \frac{V_2}{\beta} \cdot \frac{dP_2}{dt} \quad (2)$$

Burada V_1 silindirin 1. tarafındaki hacmi, V_2 silindirin 2. tarafındaki hacmi, $P_{1,2}$ sırasıyla silindirin 1. ve 2. tarafındaki basınçları ifade etmektedir.



Şekil 1. Hidrolik servomekanizma [5]

Debi denklemleri, dört yollu üç konumlu, negatif boşluklu servovalf karakteristiğine uygun olarak elde edilmiştir, [6]. Aşağıdaki denklemlerde ε valf konumunu, ψ ise boyutsuz negatif açıklığı göstermektedir. Bu çalışmada negatif açıklığın değeri 0,01, maksimum açıklığın %1' i olarak hesaplara katılmıştır, [7].

a) $\varepsilon \geq \psi$ için debi denklemleri (P_s silindirin birinci tarafında, P_t silindirin ikinci tarafına bağlı):

$$\begin{aligned} Q_1 &= k_1 (\varepsilon + \psi) \cdot \text{sign}(P_s - P_t) \sqrt{(P_s - P_t) \cdot \text{sign}(P_s - P_t)} \\ Q_2 &= k_2 (\varepsilon + \psi) \cdot \text{sign}(P_2 - P_t) \sqrt{(P_2 - P_t) \cdot \text{sign}(P_2 - P_t)} \end{aligned} \quad (3)$$

b) $-\psi < \varepsilon < \psi$ için debi denklemleri (Silindirin her iki tarafı kapalı, sadece sızıntı debileri var):

$$\begin{aligned} Q_1 &= k_1 (\varepsilon + \psi) \cdot \text{sign}(P_s - P_1) \sqrt{(P_s - P_1) \cdot \text{sign}(P_s - P_1)} \\ &+ k_4 (\varepsilon - \psi) \cdot \text{sign}(P_1 - P_t) \sqrt{(P_1 - P_t) \cdot \text{sign}(P_1 - P_t)} \\ Q_2 &= k_2 (\varepsilon + \psi) \cdot \text{sign}(P_2 - P_t) \sqrt{(P_2 - P_t) \cdot \text{sign}(P_2 - P_t)} \\ &+ k_3 (\varepsilon - \psi) \cdot \text{sign}(P_s - P_2) \sqrt{(P_s - P_2) \cdot \text{sign}(P_s - P_2)} \end{aligned} \quad (4)$$

c) $\varepsilon \leq -\psi$ için debi denklemleri (P_t silindirin birinci tarafında, P_s ikinci tarafında bağlı):

$$\begin{aligned} Q_1 &= k_4 (\varepsilon - \psi) \cdot \text{sign}(P_1 - P_t) \sqrt{(P_1 - P_t) \cdot \text{sign}(P_1 - P_t)} \\ Q_2 &= k_3 (\varepsilon - \psi) \cdot \text{sign}(P_s - P_2) \sqrt{(P_s - P_2) \cdot \text{sign}(P_s - P_2)} \end{aligned} \quad (5)$$

Bu durumda k_1, k_2, k_3, k_4 kullanılan negatif boşluklu servovalfin karakteristiklerinden elde edilen valf sabitleridir.

3. Dümen Dinamik Denklemleri ve Durum Değişkenleri

Genelleştirilmiş momentum denklemi göz önünde bulundurularak hidrolik silindirin dinamik davranış denklemi aşağıdaki gibi yazılır [1].

$$\ddot{y} = -\frac{\beta}{M} \cdot v + \frac{A_1}{M_1} \cdot P_1 - \frac{A_2}{M} \cdot P_2 - \frac{F}{M} \quad (6)$$

(2) nolu eşitlikteki debi denklemlerinden $\frac{dP_1}{dt}$ ve $\frac{dP_2}{dt}$ çekilirse aşağıdaki denklem takımı elde edilir:

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{\beta}{A_1 \cdot Y} (Q_1 - A_1 \cdot \dot{Y}) \quad (7)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{\beta}{A_2 (L - Y)} (A_2 \cdot \dot{Y} - Q_2) \quad (8)$$

Bu denklemlerde Y terimi toplam yerdeğiştirmesi (m), L ise toplam stroku (m) göstermektedir.

Durum değişkenleri;

$$X_1 = Y, X_2 = \dot{Y}, X_3 = P_1, X_4 = P_2$$

(6), (7) ve (8) bağıntılarından durum denklemleri :

$$\dot{X}_1 = X_2 \quad (9)$$

$$\dot{X}_2 = (X_3 \cdot A_1 - X_4 \cdot A_2 - \beta_v \cdot X_2 - F)/M \quad (10)$$

$$\dot{X}_3 = \frac{\beta}{A_1 \cdot X_1} (Q_1 - A_1 \cdot X_2) \quad (11)$$

$$\dot{X}_4 = -\frac{\beta}{A_2 (L - X_1)} (Q_2 - A_2 \cdot X_2) \quad (12)$$

4. Elektrohidrolik Dümen Sisteminin Simülasyonu

Bir gemiye ait dümen silindirinin özellikleri dikkate alınarak sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu dümen silindirinin karakteristik özellikleri saptanırken çalışma basıncının 18.5 N/mm^2 , ana dümen silindirinin yekeye bağlandığı noktadan dümen rodu eksenine olan mesafe (Ana dümen silindiri moment kolu) 40 cm ve toplam dümen momenti de 11000 kgm olduğu kabul edilmiştir. Sistemin konum kontrolü PID kontrol algoritmali kapalı çevrim olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin simülasyonu için aşağıdaki tablolarda verilen değerler kullanılmıştır.

Tablo 1. Hidrolik Silindir Parametreleri

F(N)	$P_s (\text{N/mm}^2)$	$\beta (\text{N/m}^2)$	$y_{ref} (m)$	Q(lt/dak.)
275000	18,5	$1,4 \cdot 10^9$	0,4	24

Tablo 2. Valf Sabitleri

$k_1 \left(m^3 / s \sqrt{(N/m^2)} \right)$	$k_2 \left(m^3 / s \sqrt{(N/m^2)} \right)$	$k_3 \left(m^3 / s \sqrt{(N/m^2)} \right)$	$k_4 \left(m^3 / s \sqrt{(N/m^2)} \right)$
$1,3416 \times 10^{-6}$	$1,3416 \times 10^{-6}$	$0,2683 \times 10^{-6}$	$0,2683 \times 10^{-6}$

5. Elektrohidrolik Sistemin PID Algoritmali Konum Kontrolü

Seyir karakteristiğinin iyileştirilmesi için birçok kontrol metodu önerilmesine karşın gemi hidrolik devrelerinde yaygın olarak PID kontrol algoritması kullanılmaktadır [8].

PID modern kontrol teorisinin ortaya çıkışından bu yana en çok kullanılan kontrol algoritmalarının başında gelir. Bu kontrolcü, oransal (P=Proportional), integral (I=Integrative) ve türevsel (D=Derivative) işlevleri ifade eden kelimelerin baş harfleri ile adlandırılır.

P: kontrolcüsü

$$G_k(s) = K_p \quad (13)$$

PD: kontrolcüsü

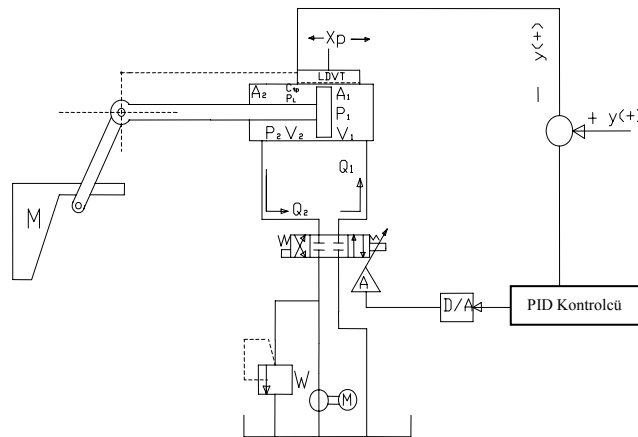
$$G_k(s) = K_p + K_D s \quad (14)$$

PID: kontrolcüsü

$$G_k(s) = K_p + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (15)$$

Tablo 3'te görüldüğü gibi Kp, Kd, Ki katsayıları Ziegler-Nichols metodu ile tespit edilmiştir.

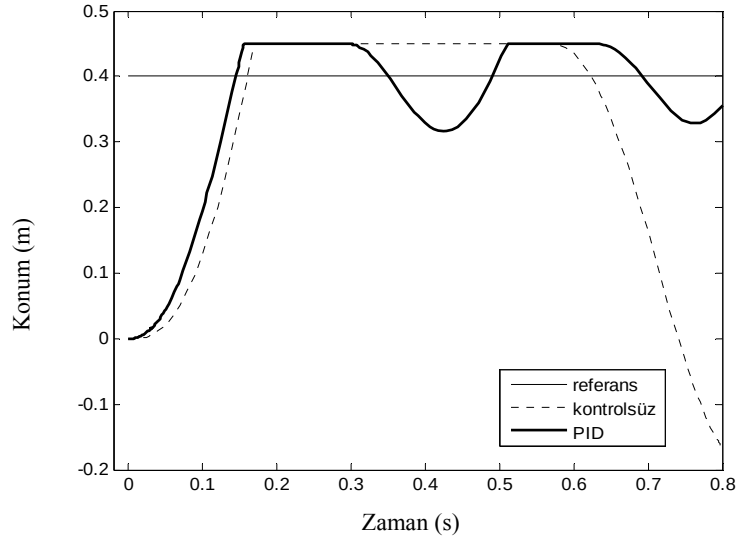
Kontrol	K	T _i	T _d	T _i
P	0,5 K _u			P _u
PI	0,45 K _u	1/1,2 P _u		1,4 P _u
PID	0,6 K _u	0,5 P _u	P _u /8	0,85 P _u



Şekil 2. Elektrohidrolik servo sistemin PID algoritmalı fiziksel modeli

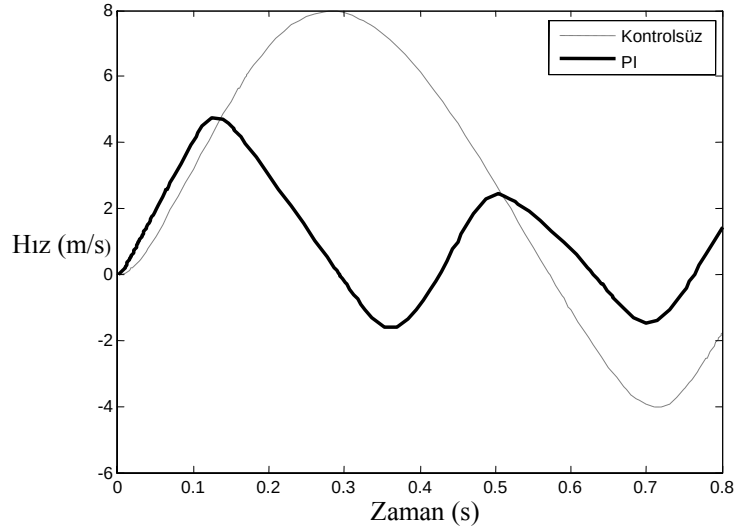
5. Simülasyon Sonuçları

Simülasyon çalışmalarında nümerik yöntemler ile elektrohidrolik dümen sisteminin konum değişimi PID kontrol metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dümenin davranışının incelenmesi sırasında zaman düzlemi dikkate alınmıştır. Simülasyon sonuçları Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir.



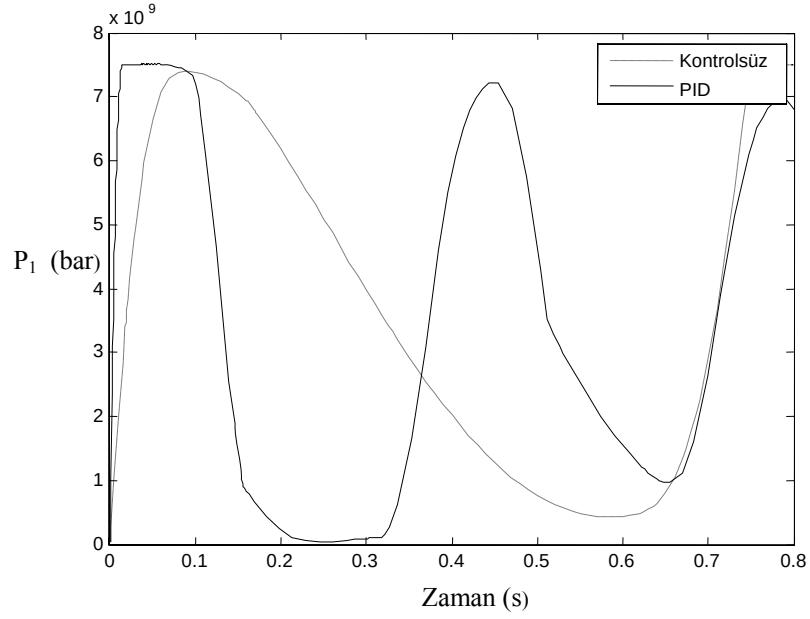
Şekil 3. Dümen açısı değişimi

Şekil (3)'te gösterilmiş olan hidrolik sistemde referans değerinde konumlanması istenen dümen hidrolik silindirisinin piston hareketi değeri ölçülerek hata değeri düzeltilmesi yapılmıştır. Hidrolik dümen modeli üzerinde yapılan simülasyonlar sonucunda konum zaman değişiminde yerleşme süresi PID kontrolcü ile daha kararlı hale getirilmiştir. Model alınan gemi hidrolik dümen silindirisinin pistonu PID kontrolcü ile yapılan simülasyon sonuçlarından da görüldüğü gibi 0.6 saniyede referansa yerleşmektedir.

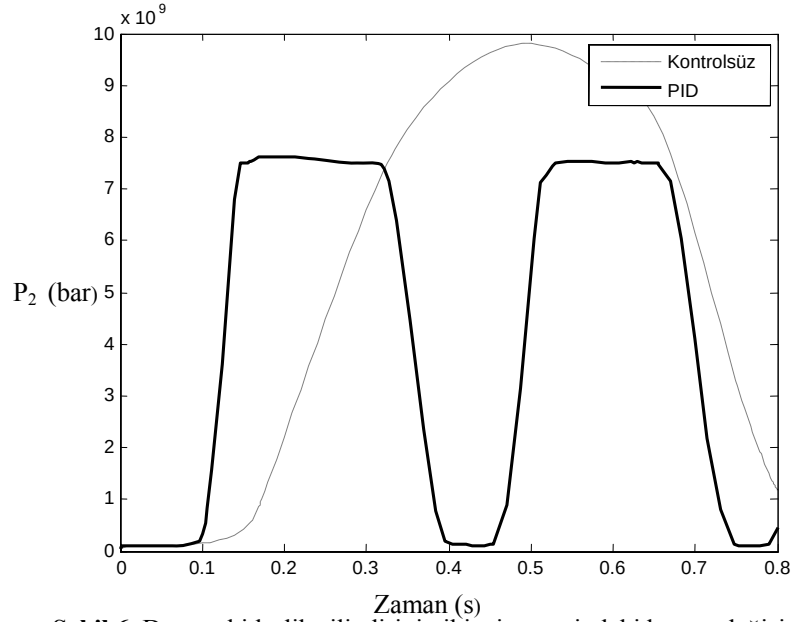


Şekil 4. Dümen hızının değişimi

Dümen açısı hız değişimi Şekil 4’te görülmektedir. Dümen yekesi 4 m/s hızla 0,5 derecelik hata ile dengelenmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6’da hidrolik silindirin dümen hareketi sırasında iki farklı yüzeyindeki basınç değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5. Dümen hidrolik silindirinin birinci yüzeyindeki basınç değişimi



Şekil 6. Dümen hidrolik silindirinin ikinci yüzeyindeki basınç değişimi

6. Sonuçlar

Bu çalışmada dört yollu üç konumlu servovalf ve hidrolik silindirden oluşan elektrohidrolik bir dümen sisteminin MATLAB Simulink modülü kullanılarak dinamik davranışı incelenmiştir. Elektrohidrolik dümen silindir pistonunun hata değerini azaltmak için PID kontrolcü kazanç değerleri Ziegler-Nichols metodu ile bulunmuştur. Uygulamalar sonucunda PID kontrolcünün etkisi yerleşme zamanı ve hata değişimini azalması bakımından kontrolsüz durumdan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Referans değere göre piston konumlandırma % 1 hata ile yaklaşık olarak 0.8 saniyede sabitlendiği görülmüştür.

Kaynaklar :

[1] Becan, M. R., Kuzucu, A. ve Kutlu, K., (1998), “Hidrolik Konum Kontrol Sistemlerinin Gerçeğe Yakın Benzetimi”, Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences, 125-130, İstanbul, Türkiye.

[2] Park, Y.J., Lee, S.Y. and Cho, H.S., (1999), “A Genetic Algorithm-Based fuzzy Control of an Elektro-Hydraulic Fin Position Servo System”, IEEE International Fuzzy systems Conference Proceedings, August 22-25, 1999, Seoul, Korea.

[3] Zeb, J., (2003), “Mathematical Modeling of a Position Control Elektrohydraulic Servo-System”, 2nd International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology”, June 16-21 2003, Bhurban, Pakistan.

[4] Akkaya, A.V., (2001), Bir Hidrolik Sistemin Dinamik Özelliklerinin Simulasyonu, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[5] İstif, İ. ve Kutlu, K., (2004), “Oransal Valf Kontrollü Hidrolik Silindir Sisteminin Konum Kontrolü”, İTÜ Dergisi / d Mühendislik, Cilt:3, Sayı:2-3-4-5, 77-86.

[6] McCloy, D. and Martin, H.R., (1980), “Control of Fluid Power: Analysis and Design”, Ellis Horwood, England, Second Edition.

[7] Akkaya, A. V., Boğuçlu, M. ve Öztürk, R., (2002), “Bir Hidrolik Sistemin Dinamik Davranışlarının Benzetimi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul.

[8] Alarçın, F., (2005), Gemi Hareketlerinin Dinamik Analizi ve Adaptif Yaklaşımlarla Kontrolü, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[9] Ogata, K. (1990) Modern Control Engineering. New Jersey, Prentice-Hall



GEMİ ÇERÇEVESİNİN MUKAVEMET HESAPLARINDA SINIR KOŞULLARININ SONUÇLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Çağan DİYAROĞLU¹, Erkin ALTUNSARAY²

ÖZET

Bu çalışmada gemi inşaatı ve deniz teknolojisi mühendisliği eğitiminde, gemi çerçevesinin mukavemetinin incelenmesi amacıyla kullanılan klasik yöntemlerde, sınır koşullarının değişmesine bağlı olarak sonuçların değiştiği gösterilmiştir. Bu amaçla örnek bir gemi çerçevesinin mukavemeti, değişik sınır koşulu durumlarında Cross yöntemiyle hesaplanmıştır. Sonra aynı problem sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan ANSYS paket programı yardımıyla çözülmüştür. Sınır koşullarının farklı modellenmesine bağlı olarak sonuçların değiştiği gösterilmiştir. Böylece karşılaşılan problemlerin çözülmesi kadar modellenmesinin de önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmanın konuyla ilgilenen öğrencilere ve mühendislere yararlı olması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Gemi çerçevesi mukavemet hesapları, Cross yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi, ANSYS

¹ Arş.Gör., Y.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü, 34349 Beşiktaş İstanbul, Tel:0.212.3832862, Faks:0.212.2364165, e-posta: cdiyar@yildiz.edu.tr

² Arş.Gör., Y.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü, 34349 Beşiktaş İstanbul, Tel:0.212.3832853, Faks:0.212.2364165, e-posta: erkina@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Gemi inşaatı ve deniz teknolojisi mühendisliği eğitiminde gemi çerçevesinin mukavetinin incelenmesinde belirli kabuller yapılmaktadır. Gemi bünyesi kiriş ve levhalardan oluşan bir sistemdir. Gemi kirişleri mütemadi kirişler (tülaniler, boyuna posta ve kemeler, stringerler v.s.) ve çerçeveler (enine posta, kemere ve döşek sistemi) halindedir [1]. Gemi orta kesidi enine mukavemet hesabında problem sürekli hiperstatik kiriş sistemi olarak ele alınıp Cross, Clapeyron, Sabit Noktalar gibi değişik klasik yöntemlerle hesaplanmaktadır. Bu yöntemlerin uygulamaları değişik kaynaklarda gösterilmiştir [1,2,3]. Ayrıca Kani yönteminin de bir gemi çerçevesi problemine uygulanması yapılmıştır [4].

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle sonlu elemanlar gibi sayısal çözüm yöntemleri, paket programların içinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu programların avantajı karmaşık mühendislik problemlerinin kısa zamanda yaklaşık çözümlerinin elde edilmesidir. Sonlu elemanlar yönteminin gemi inşaatı sektöründeki uygulamaları çeşitli kaynaklarda bulunmaktadır [5].

Bu çalışmada bir konteyner gemisinin orta kesiti Cross ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Problem iki farklı sınır koşulu durumunda ele alınıp, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Yapının Statik Olarak İncelenmesi

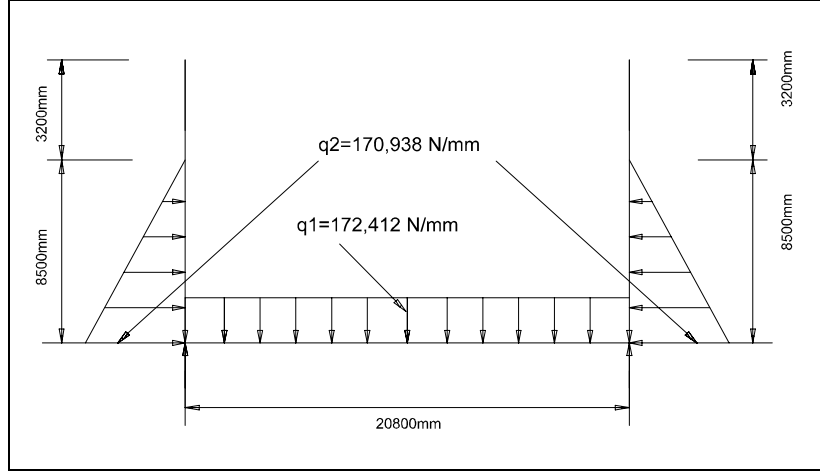
Bu çalışmada ana boyutları Tablo1’de verilen konteyner gemisinin orta kesidi incelenmiştir.

Tablo 1. Ana Boyutlar

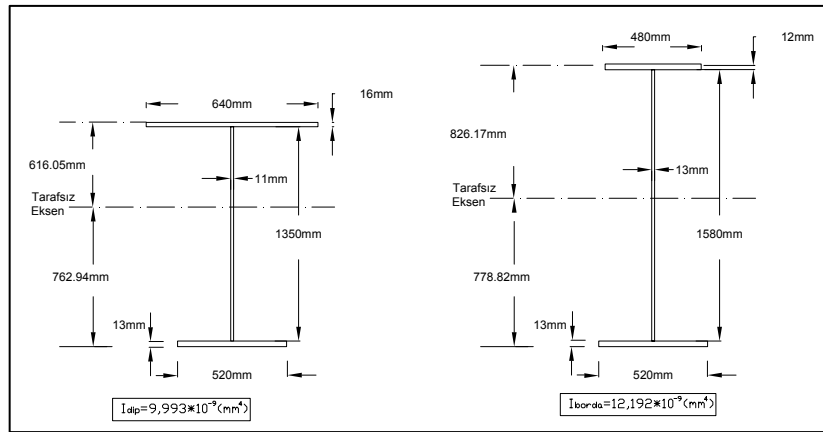
Tam Boy (L_{OA})	140,50 m
Kaimeler Arası Boy (L_{BP})	126,80 m
Genişlik (B)	20,80 m
Derinlik (D)	11,70 m
Su Çekimi (T)	8,50 m

Yapıya etki eden hidrostatik yük 170,938 N/mm, iç dip yükü 343.35 N/mm’dir. Dibe etki eden net yük ise 172,412 N/mm olarak hesaplanmıştır. Yapının temsili orta kesit resmi ve üzerindeki yük dağılımı Şekil 1.’ de, ayrıca profil özellikleri ise Şekil 2’ de gösterilmiştir.

İlk olarak geminin orta kesitinin tamamının birlikte değerlendirildiği durum, daha sonra geminin orta simetri ekseninden bölündüğündeki durum incelenmiştir. Bu durumlar Tablo 2.’de gösterilmiştir. Problem hiperstatik kiriş problemi şeklinde ele alınıp Cross ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak çözülmüştür.



Şekil 1. Gemi Orta Kesitinin Yükleme Durumu



Şekil 2. Profil özellikleri

Tablo 2. Problemin Modellenme Durumları

Durum	Cross	SEY
1	Tam Çerçeve	Tam Çerçeve
2	Yarım Çerçeve	Yarım Çerçeve

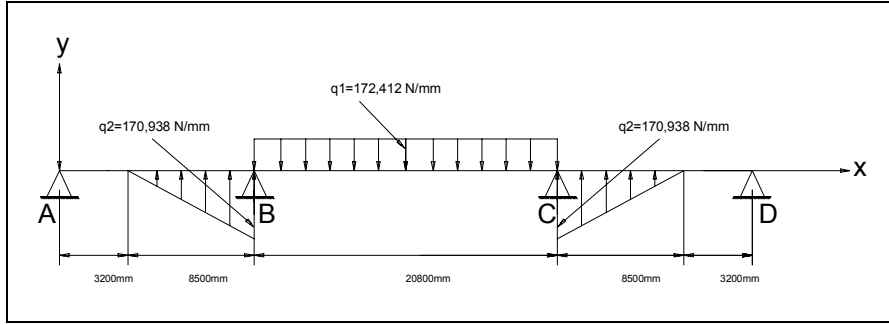
Cross yönteminde iki mesnet arasında kalan her bir kiriş parçası mesnetlerden ayrılmış kirişlermiş gibi düşünülür. Daha sonra her bir düğüm noktasındaki düğüm momentleri belirlenir [1]. Böylece kirişlerdeki moment dağılımı kolayca oluşturulur.

Sonlu elemanlar yönteminin anlamı, sınır ve başlangıç değer problemlerinin yaklaşık çözümlerini, problemin tanım bölgesinin alt bölgelere bölündüğünü kabul etmek ve her bir sonlu eleman üzerinde yaklaşım fonksiyonlarını çıkarmaktır [6]. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi esasına dayalı ANSYS paket programı kullanılmıştır. Yapının modellenmesinde Beam189 kiriş elemanı kullanılmıştır. Bu eleman uzayda bir boyutlu bir çizgi elemandır. Bu çizginin, en kesit özellikleri belirtilerek Timoshenko kiriş teorisine göre davranması sağlanır [7].

2.1 Tam Çerçevenin İncelenmesi (1.Durum)

2.1.1 Cross Yönteminin Uygulanması

Bu durumda, geminin orta kesiti yükleme durumu ve mesnet koşulları Şekil 3.'te gösterildiği gibi alınarak Cross yöntemiyle çözülmüştür.



Şekil 3. Tam Çerçeve Durumu

Hesaplamalarda dağıtma katsayıları $m_{B1} = 0,7648$ $m_{B2} = 0,2351$ bulunmuştur.

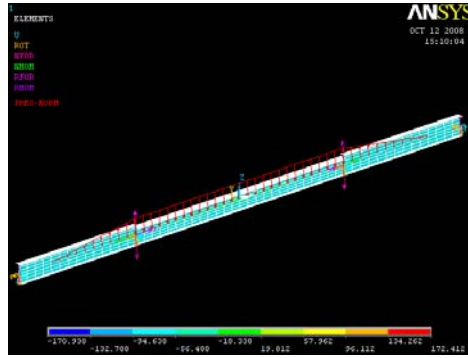
Tablo 3. 1.Durum Cross Hesap Tablosu

B	
0,7648	0,2351
1099786671	6216027307
-5595831502	-1719982475
-4496044831	4496044831

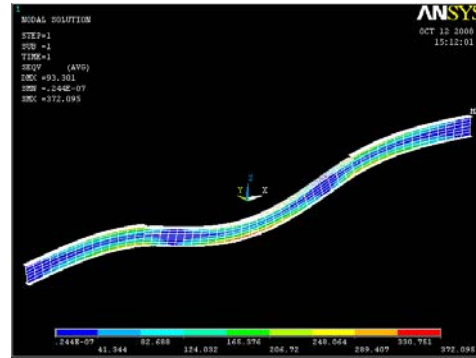
Sonuç olarak düğüm noktalarındaki moment değerleri $M_b = M_c = -4\,496\,044\,831$ Nmm bulunmuştur. Kirişteki moment dağılımından maksimum gerilme değeri ise $\sigma_{maks.} = 368,598$ MPa olarak bulunmuştur.

2.1.2 SEY' in Uygulanması

Problemın ANSYS' te oluşturulan modeli ve çözümü sonucunda oluşan gerilme dağılımı Şekil 4a. ve Şekil 4b.' de gösterilmiştir. Maksimum gerilme değeri Şekil 4b.' de görüldüğü gibi $\sigma_{maks.} = 372,095$ MPa olarak bulunmuştur.

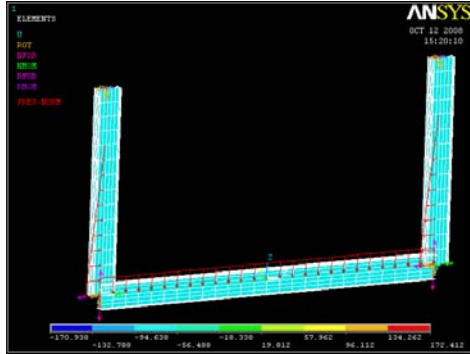


Şekil 4a. Model

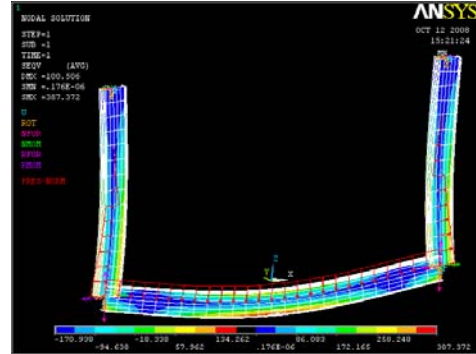


Şekil 4b. Gerilme Dağılımı

Daha sonra problem ANSYS' te Şekil 5a.' da gösterildiği gibi modellenmiştir. Problemın ANSYS' teki çözümü sonucunda oluşan gerilme dağılımı Şekil 5b.' de gösterilmiştir. Maksimum gerilme değeri Şekil 5b.' den görüldüğü üzere $\sigma_{maks.} = 387,372$ MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 5a. Model

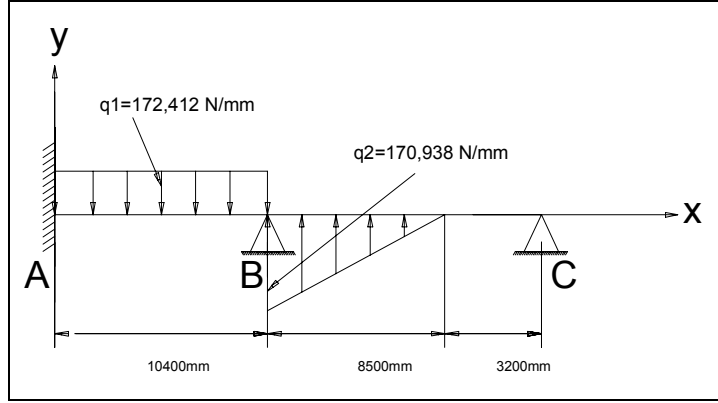


Şekil 5b. Gerilme Dağılımı

2.2 Yarım Çerçevenin İncelenmesi (2.Durum)

2.2.1 Cross Yönteminin Uygulanması

Bu durumda, geminin orta kesiti yükleme durumu ve mesnet koşulları Şekil 6.'da gösterildiği gibi alınarak Cross yöntemiyle çözülmüştür.



Şekil 6. Yarım Çerçeve Durumu

Hesaplamalarda dağıtma katsayıları $m_{B1}=0,5515$ $m_{B2}=0,4485$ bulunmuştur.

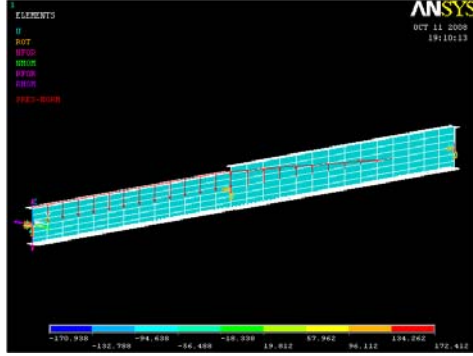
Tablo 4. 2.Durum Cross Hesap Tablosu

A	B	
	0.5515	0.4485
1 554 006 827	-1 554 006 827	-1 099 786 671
731 735 429	1 463 470 857	1 190 322 640
2 285 742 255	-90 535 969	90 535 969

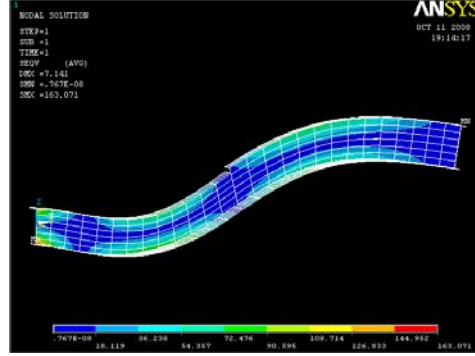
Sonuç olarak düğüm noktalarındaki moment değerleri $M_a = -2 285 742 255$ Nmm, $M_b = -90 535 969$ Nmm bulunmuştur. Kirişteki moment dağılımından maksimum gerilme değeri ise $\sigma_{maks.} = 174.507$ MPa olarak bulunmuştur.

2.2.1 2.Durum

Problemin ANSYS'te oluşturulan modeli ve çözümü sonucunda oluşan gerilme dağılımı Şekil 7a. ve Şekil 7b.' de gösterilmiştir. Maksimum gerilme değeri Şekil 7b.' de görüldüğü gibi $\sigma_{maks.} = 163,071$ MPa olarak bulunmuştur.

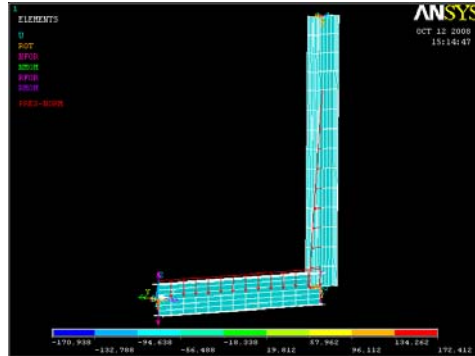


Şekil 7a. Model

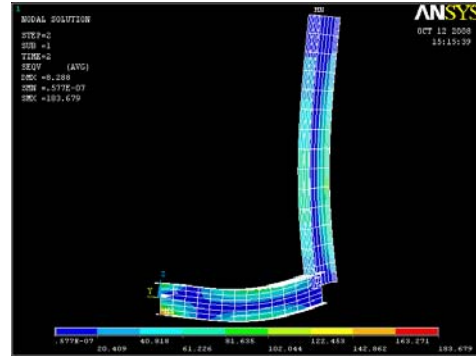


Şekil 7b. Gerilme Dağılımı

Daha sonra problem ANSYS’ te Şekil 8a.’ da gösterildiği gibi modellenmiştir. Problemin ANSYS’ teki çözümü sonucunda oluşan gerilme dağılımı Şekil 8b.’ de gösterilmiştir. Maksimum gerilme değeri Şekil 8b.’ den görüldüğü üzere $\sigma_{maks.} = 183,679$ MPa olarak bulunmuştur



Şekil 8a. Model



Şekil 8b. Gerilme Dağılımı

3. Sonuçlar

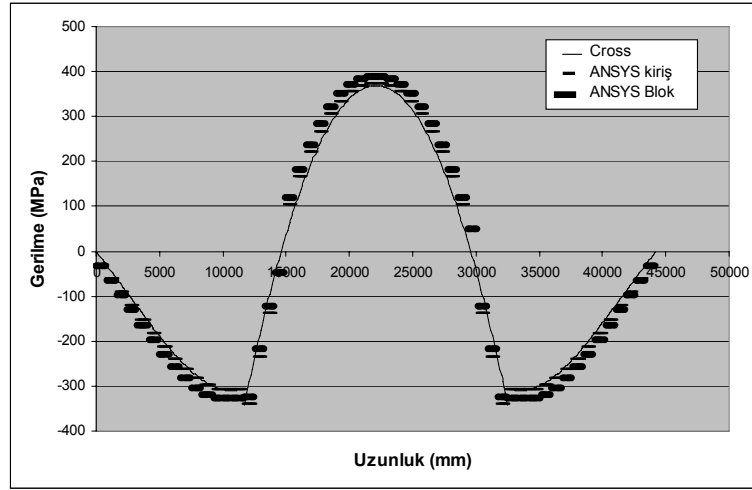
Çalışmada hesaplanan tüm durumlar için bulunan maksimum gerilme değerleri Tablo 5.’te birlikte verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi Cross ve SEY ile bulunan maksimum gerilme değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır.

Ayrıca kirişteki gerilme dağılımları tam çerçeve durumu için Şekil 9.’da, yarım çerçeve durumu için ise Şekil 10.’da gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi kiriş üzerindeki gerilme dağılımları her iki yöntemde de yakın sonuçlar vermektedir. Şekil 9.’da problem tam çerçeve olarak ele alınıp çözülmüştür. Şekil 10.’da ise yarım çerçeve durumunda modellenip çözülmüştür. Gerilme değerlerinin iki farklı modellemeye farklı sonuçlar

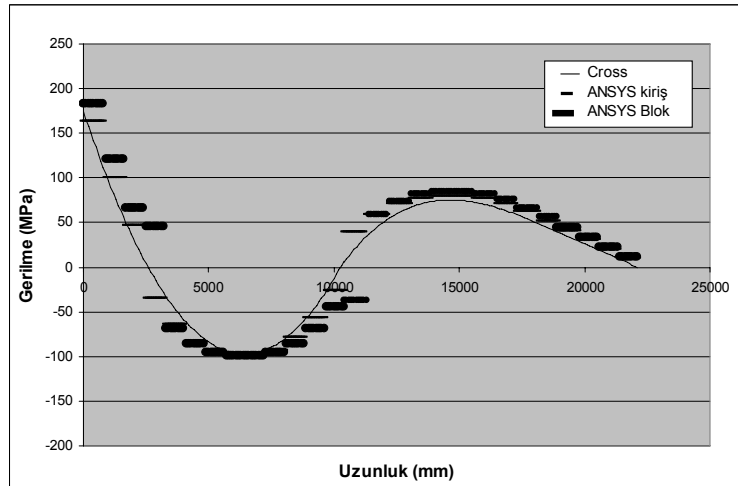
verdiği gösterilmiştir. Problemin modellenmesine bağlı olarak sonuçlar değişebileceği için, çalışmanın gerçek duruma en yakın koşullarda modelinin oluşturulması ve deney çalışmalarıyla uygun modelin belirlenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir. Böylece gerçeğe daha uygun modelleme biçiminin hangisi olacağı anlaşılmış olabilecektir.

Tablo 5. Maksimum Gerilme Değerleri

Durum	Cross (Gerilme-MPa)	SEY (Gerilme-MPa)	
1(Tam Çerçeve)	368.598	372,095	387,372
2(Yarım Çerçeve)	174.507	163,071	183,679



Şekil 9. Tam Çerçeve Durumu Gerilme Dağılımı



Şekil 10. Yarım Çerçeve Durumu Gerilme Dağılımı

Teşekkür:

Çalışmamıza sağladığı katkılardan dolayı Sayın hocamız Yrd.Doç.Dr.İsmail Bayer'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar :

- [1] Savcı M., Gemi Kirişleri Mukavemeti, İ.T.Ü., 1988
- [2] Aykurt V., Cross Metodu Mütemadi Kiriş ve Çerçevelere Tatbiki, Üçler Basımevi, İstanbul, 1946
- [3] Çakıroğlu A., Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metodları, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1984
- [4] Akçay A.F., Hiperstatik Kiriş ve Çerçevelerin Yaklaşık Çözüm Yöntemleri, Gemi ve Deniz Teknolojisi, S:172, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, Nisan 2007
- [5] Ergin A., Bayraktarkatal E., Ünsan Y., Sonlu Elemanlar Metodu ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları Seminer Kitabı, Yapım Matbaacılık Ltd., İstanbul, 2000
- [6] Moaveni S., Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1999
- [7] Release 11.0 Documentation for ANSYS, 2007
- [8] Timoshenko S., Cisimlerin Mukavemeti Kısım 1 Elemanter Teori ve Problemler, Çevirenler: İnan M ve Sönmez F., Cihan Matbaası, Ankara, 1971



TÜRKİYE DENİZ BİLGİ SİSTEMİ (DeBiSi) YAKLAŞIMI

¹Caner GÜNEY, ²Ceren BİLGİN GÜNEY, ³Fatma YONSEL, ⁴Rahmi Nurhan ÇELİK

ÖZET

Yeryüzünün % 70'inden fazlasının suyla kaplı olması ve dünya ticaretinin % 85'inin deniz yoluyla gerçekleştirilmesi, ülkelerin ekonomik kalkınmalarında, dünyaya açılmalarında, entegrasyonlarında ve buna bağlı olarak ilerlemelerinde denizcilik sektörünün önemini ortaya koymaktadır. Üç tarafı denizlerle çevrili, uluslararası deniz ulaşım yollarının kavşağında bulunan bir jeo-stratejik coğrafi konuma ve 8333 km ile Avrupa'nın en uzun kıyı çizgisine sahip Türkiye, içinde bulunduğu denizciliğin gelişmesine uygun şartlara rağmen bu avantajını pek kullanamamaktadır. Bu avantajlardan yararlanabilmenin koşullarından bir tanesi de denizcilik sektöründe gerekli mekansal politikaların oluşturulması ve bu politikalar kapsamında mekansal çözümlerden nasıl yararlanılacağına stratejilerinin belirlenmesidir. Bir başka ifade ile denizcilik sektörünün faaliyetlerini, deniz-kıyı-kara mekansal bilgi entegrasyonuna olanak tanıyan bir mekansal altyapı üzerinde mekansal bilişim teknolojilerini kullanarak gerçekleştirmesini sağlamaktır.

Anahtar kelimeler: Mekansal Bilgi Sistemi, Deniz Bilgi Sistemi, E-Navigasyon, Bütünleşik Kıyı Alanları Yönetimi, Kombine Taşımacılık

¹ Dr., İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalı, guneycan@itu.edu.tr, Tel: 0212 285 6560

² Yük. Müh., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, bilgincer@itu.edu.tr, Tel: 0212 285 6466

³ Doç. Dr., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, fyonsel@itu.edu.tr, Tel: 0212 285 6402

⁴ Doç. Dr., İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalı, celikn@itu.edu.tr, Tel: 0212 285 3822

1. Giriş

Bu çalışma, Türkiye denizcilik sektörüne yönelik olarak modüler yapıda geliştirilmesi önerilen Deniz Bilgi Sistemi (DeBiSi) ile onun temel bileşenleri ve bu bileşenlerin sistem içerisindeki rollerinin neler olduğu üzerinedir. DeBiSi bütünsel bir sistem olarak diğer bir ifadeyle kıyı yönetimi için kıyı bilgi sistemi, Türkiye kıyılarındaki deniz emniyeti ve güvenliği ile deniz trafiğinin yönetimi için seyir bilgi sistemi, deniz ve kıyı canlı türleri için deniz ekolojisi bilgi sistemi, limanların yönetimi için liman bilgi sistemi, vb. sistemleri kapsayan Türkiye için en üst seviyede, ulusal bir sistem olarak tasarlanmaktadır. Önerilen bütünsel sistemin ana bileşeni Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS, Geospatial Information System-GIS) olarak da isimlendirilebilecek olan Mekansal Bilgi Sistemi'dir. Mekansal sorgulamaların, analizlerin, modellemelerin yapılabilirdiği, sonuçlarını farklı şekillerde görselleştirilebildiği ve karar-destek sistemi olarak kullanılabilen Mekansal Bilgi Sistemleri günümüzde mekansal çözümler için kullanılan en önemli paylaşım aracıdır.

Mekansal Bilgi Sistemi yaklaşımı, mekansal verinin kullanıldığı her sektöre uygulanabilmektedir. Denizcilik sektörü de her türlü eşya ve canlının taşınması, kıyıların sürdürülebilir yönetilmesi gibi birçok mekana dayalı faaliyete sahiptir. Çalışma kapsamında kullanılacak “çok boyutlu deniz/kıyı mekanı” tanımının kavramsal çerçevesi, Türkiye'nin kıyılarını ve bu kıyıların etkisinde ve ardında kalan kıyı bölgelerini, kara sularını, kıta sahanlıklarını, açık denizlerdeki serbest deniz ticaret yollarını ve çok sayıda göl/lagün ve akarsu kıyı alanları ile birlikte limanları, tersaneleri, su ürünü çiftliklerini, deniz taşıtlarını vb. içermektedir.

2. Ulusal e-Navigasyon Stratejisinin Geliştirilmesinde Mekansal Yaklaşımlar

Seyir emniyeti ve deniz güvenliğini arttırmak amacıyla, Uluslararası Denizcilik Örgütü (*International Maritime Organization, IMO*) öncülüğünde, SOLAS (*Safety of Life at Sea*) ve MARPOL (*International Convention for the Prevention of Pollution From Ships*) kural ve tavsiye kararları bağlayıcılığında gemilerin takibinin ve izlenmesinin gerekliliği kabul edilmiş ve bu amaca uygun olarak tüm dünyada “e-Navigasyon (*e-Navigation, eNav*)” stratejisi geliştirme konusunda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Seyir emniyeti ve deniz güvenliği bir başka ifadeyle denizde can, mal ve çevre güvenliği konularından en çok etkilenen bölgelerden biri de Türkiye'nin Boğazlar bölgesidir. Her iki boğaz, darlıkları, gemilerin seyir esnasında sıkça rota değiştirdikleri keskin dönüşleri, kuvvetli akıntıları, şiddetli rüzgar yoğun sis gibi değişken hava şartları, yoğun yolcu ve yük taşımacılığundan kaynaklanan karmaşık ve zor trafik yapıları, geçiş yapan gemilerin miktar, büyüklük ve taşıdıkları (kimyasal ve diğer tehlikeli madde) yüklerin her geçen gün artması nedeniyle Türkiye'nin en tehlikeli noktaları durumundadır. Ayrıca, İstanbul'da yaşayan 10 milyonu aşkın insanın her an deniz trafiğinden

kaynaklanabilecek büyük tehlikelerle karşı karşıya olması tehlikenin önemini daha da arttırmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı dünyanın en dar ve tehlikeli uluslararası doğal su yollarından biri olarak gösterilen İstanbul ve beraberinde Çanakkale Boğazı'nda düzenli, güvenli ve hızlı bir trafik akışının sağlanacağı, seyir yardımcı olunacağı ve deniz kazalarının asgari seviyeye indirileceği bir trafik yönetimi gerçekleştirmek ve geçişleri kontrol edebilmek amacıyla “Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH) Sistemi” 30 Aralık 2003 tarihinde kullanıma açılmıştır. [1]

Bir e-Navigasyon uygulaması olan TBGTH sisteminin etkin ve verimli çalışabilmesi için Boğazlarda seyreden tüm deniz taşıtlarının anlık konum ve hızlarının belirlenmesi ve izlerinin “Elektronik Seyir Haritası (*Electronic Navigational Chart, ENC*)” üzerinde görüntülenmesi gerekmektedir. Buradan hareketle kıyıda bulunan istasyonlarda Boğaz trafiğinin kontrol ve yönetilmesi “Elektronik Seyir Haritası Gösterim ve Bilgi Sistemi (*Electronic Chart Display and Information System, ECDIS*)” konsolu üzerinden gerçekleştirilmektedir. Boğazlardan geçiş yapan deniz taşıtları da kendi ECDIS konsolları ya da başka bir “Elektronik Seyir Haritası Gösterim Sistemi (*Electronic Chart System, ECS*)” aracılığıyla ENC'ler üzerinde gördükleri kendi izlerine ve TBGTH sisteminden gelen bilgilere göre rotalarını ayarlayıp güvenli bir geçiş yapabilmektedir. TBGTH ilk olarak “Gemi Trafik İzleme Sistemi (*Vessel Traffic Services, VTS*)” olarak kurulmuş, ilerleyen zaman içerisinde gelişen e-Navigasyon uygulamalarına paralel olarak “Otomatik (Gemi) Tanımlama Sistemi (*Automatic Identification System, AIS*)” ile geliştirilmiştir [1].

e-Navigasyon stratejisi deniz kazalarına neden olan insan hatalarını en düşük seviyeye indirmeye yönelik olarak geliştirilmektedir. e-Navigasyon şemsiyesi altındaki uygulamalar ve teknolojiler sağladıkları kolaylıklarla etkin bir şekilde tüm dünyada kullanılmaktadır. Türkiye kıyılarında ve özellikle Boğazlar bölgesinde de deniz trafiğinin elektronik sistemlerle kontrolü ve yönetimi trafik hizmetlerinin daha kaliteli ve az hata ile verilmesini, trafik akış emniyet ve verimliliğinin artırılmasını sağlamaktadır. Ancak, gelişen mekansal bilgi ve iletişim teknolojilerinin her zamankinden çok daha fazla miktarda navigasyon, ulaşım ve deniz trafik bilgilerini sunabiliyor olmaları beraberinde bu verilerin ve bilgilerin entegrasyonu, analizi ve paylaşımı gibi sorunları da ortaya çıkarmaktadır. Gerek seyir halindeki gemilerde gerekse kıyıdaki merkezlerde deniz trafiği gibi dinamik bir olguya ait tüm bu veri ve bilgileri gelişen teknolojilerle birlikte depolayabilecek, yorumlayabilecek, modelleyebilecek, analiz edip sonuçları görselleştirebilecek ve karar-verme süreçlerinde kullanılacak bütünleşik bir araca gereksinim bulunmaktadır. Denizcilik sektörünün farklı beklentilerine yönelik olarak bu çalışma kapsamında önerilen araç mekansal bilgi sistemi tabanlı “Seyir Bilgi Sistemi (SeyirBİS)”dir. SeyirBİS (*Navigation Information and Application System based on GIS*) deniz Navigasyon, deniz trafik vb. sistemlerin mekansal bilgi sistemi üzerinden entegre edildiği bir bütünleşik sistem olarak önerilmektedir. İnternet üzerinden 7 gün 24 saat erişilebilecek olan SeyirBİS; topoğrafik, batimetrik, jeolojik, morfolojik, oşinografik, meteorolojik verilerle deniz

taşıtlarının rotaları ve taşıtların özellikleri gibi farklı nitelik ve yapıdaki verileri zaman-mekansal veritabanlarında saklayacak, mekansal sorgulama ve analizlerin yapılmasına ve sonuçların iki ve üç boyutlu haritalarda görselleştirilip karar-destek süreçlerinde kullanılmasına olanak tanıyacak yapıda tasarlanmaktadır.

Her ne kadar Boğazlarda seyir emniyeti ve deniz güvenliğine yönelik olarak gerçekleştirilen e-Navigasyon uygulamaları, yapılacak olası hataları öngörüp tedbir alabilmeyi olanaklı kılacaksa da, her zaman belirli bir ölçüde riskin de var olacağı kabul edilip bu riskin nasıl yönetileceği üzerine çalışma yapılmalıdır. SeyirBİS, riski doğuran tehlikelerin belirlenmesinde ve değerlendirilmesinde, nasıl mücadele edileceğine karar verilmesinde ve mücadele yönteminin uygulanmasında, diğer bir ifadeyle riskin yönetilmesinde kullanılabilir. Örneğin yoğun trafiğe, güçlü yüzey akıntılara ve kıvrımlı yapıya sahip İstanbul Boğazı'nda bir deniz kazasının oluşması ya da bir deniz aracının yangın, mekanik, dümen kitlenmesi gibi nedenlerden dolayı sıklıkla arızalanan gemilerin tehlike riski yarattığı durumlarda, yerleşimin yoğun ve kıyıya yakın olduğu da dikkate alındığında riskin tolerans gösterilemeyecek ölçüde yüksek olduğu görülmektedir. İstenmeyen bu durumlar yaşandığında deniz aracının yardım istemesi AIS ve ECDIS sayesinde çok pratik hale getirilmiştir. ECDIS konsolunda tek tuşa basılması halinde, hangi geminin yardım istediği, sorunun ne olduğu, koordinatları gibi bilgiler tek mesajla anında ilgili merkezlere ulaşmaktadır. Bu andan sonra can ve mal güvenliği, deniz kirlenmesi ve diğer ekonomik kayıpları asgariye indirmek ve deniz trafiğinin en kısa zamanda güvenle devamını sağlamak amacıyla arama-kurtarma ve kurtarma-yardım faaliyetlerinin daha hızlı ve etkin planlanmasında ve gerçekleştirilmesinde SeyirBİS kullanılabilir. Bu şekilde, riskin azaltılması ya da tehlikenin gerçekleşikten sonraki sonuçlarının etkilerini ortadan kaldırması sırasında neler yapılabileceği SeyirBİS kullanılarak planlanabilir.

Bunun dışında aşağıdaki ve benzeri sorgulamalar, analizler ve karar-destek uygulamaları SeyirBİS kullanılarak gerçekleştirilebilir.

- Liman kontrol botları, acil müdahale, kurtarma ve yangın söndürme gemileri ile römorkörlerin Boğazların güvenliğine katkıda bulunmak için afet öncesi, süresince ve sonrasına yönelik planlanmaları ve simülasyonları gerçekleştirilebilir.
- Deniz kazalarındaki artışın boğazdan geçen gemilerin boylarında ve tonajlarındaki artış ile ilişkili olup olmadığı analiz edilebilir.
- Deniz taşıtlarının rotalarının planlanması ve optimizasyonu, en kısa seyir güzergahı planlanması, otomatik rota önerme uygulamaları gerçekleştirilebilir.
- Önceden yapılan seyir planlarına değişen hava koşulları, liman durumları, mevcut deniz trafiği ve mevcut kazalar gibi parametreler göz önünde bulundurularak alternatifli rotalar üretilebilir. Tehlikeli yük taşıyan gemi geçişlerinde görülen artışa yönelik alternatif tehlikeli eşya ulaşım yolları yukarıdaki ve benzer parametreler hesaba katılarak geliştirilebilir.
- Boğazlar bölgesinde herhangi bir yerde yapılacak Marmaray gibi mühendislik uygulamaları, su altı arkeolojik çalışmalar, batık çıkarma, karaya oturma, deniz

kazaları vb. durumlar geçici olarak ENC'lere işlenebilir. Buna göre, yeni rota ve trafik düzenlemeleri yapılabilir.

- Trafik analizleri yapabilmek ve trafik modelleri üretebilmek için veritabanında bulunan önceki zamana ait veriler ile gerçek zamanlı veriler birleştirilerek trafik analizleri yapılabilir ve trafik modelleri üretilir.
- ECDIS, AIS, radar vb. sistemlerden gelen navigasyon ile ilgili verilerin farklı ölçeklerde kullanımında, sunumunda ve entegrasyonunda oluşan görselleştirme ve genelleştirme gibi kartografik sorunların çözümü gerçekleştirilebilir.

Seyir emniyeti ve deniz güvenliği ile e-Navigasyonun gelişimi açısından, AtoN (*Aids to Navigation*) uygulamalarının önemi her geçen gün artmakta ve buna paralel olarak bu konularda büyük gelişmeler yaşanmaktadır. SeyirBİS'in alt sistemlerinden biri olan “Seyir Yardımcıları Bilgi Sistemi”, Türkiye kıyılarında bulunan AtoN donanımlarının yönetimi ve sürekliliği konularında kullanılabilir. Öncelikle kıyılarda bulunan mevcut AtoN donanımlarının yerleri, özellikleri ve ışıklı seyir yardımcılarının görüş mesafeleri gibi bilgiler sistemin temel haritasına işlenir. Böylece, bu bilgiler kullanılarak mevcut AtoN planlamasının yeterliliğini analiz edilebilir. Eksik görülen yerlere yönelik olarak (özellikle Boğazlarda tehlikeli olan bölgeler göz önünde tutularak) yeni AtoN donanımlarının en optimal yerlerinin tasarımı gerçekleştirilebilir. Sorunlu olan AtoN donanımları belirlenir ve bu bilgileri o bölgelerden geçecek gemilere ulaştırılması sağlanabilir.

AtoN donanımları 2 boyutlu ENC'ler üzerinde gösterilmekle birlikte bu gösterimler gerçek AtoN donanımının şeklini, verdiği ışık, ses ya da radyo mesajlarının görsel efektlerini ve çevresiyle olan etkileşimlerini yansıtmamaktadır. Bu nedenle Seyir Yardımcıları Bilgi Sistemi içerisinde sanal gerçeklik tekniği ve dinamik efektler kullanılarak AtoN donanımlarının 3 boyutlu olarak üretilmesi planlanmaktadır. Bu şekilde 3 boyutlu olarak üretilen AtoN donanımları, deniz dibini ve sahil topoğrafyasını entegre bir şekilde 3 boyutlu gösteren temel deniz haritalarına (*3D nautical chart*) yerleştirilebilecektir. Kanallar, köprüler, limanlar, liman olanakları gibi 3 boyutlu deniz ve kıyı yapıları, gemi vb. yüzen yapılar ile meteorolojik ve oşinografik parametrelerin dinamik efektlerinin de bu haritaya eklenmesi ile kullanıcılar 3 boyutlu mekansal uygulamalarını daha güvenilir ve gerçekçi biçimde gerçekleştirebilecektir.

3. Kombine Taşımacılığın Planlanması ve Yönetiminde Mekansal Yaklaşımlar

“Kombine taşımacılık (*intermodal transportation*)” olarak adlandırılan, deniz, hava, demir ve kara yollarının bütünleşmesi ile ortaya çıkan çoklu taşımacılık sistemi, kapıdan kapıya taşımacılık şeklinde tüm dünyada giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Kombine taşımacılığın öneminin lojistik ve taşımacılık alanında giderek artması, üç tarafı denizlerle çevrili, uluslararası deniz ulaşım yollarının kavşağında bulunan jeo-stratejik coğrafi konuma sahip Türkiye için büyük bir fırsattır. Bu nedenle, ülke genelinde deniz ve diğer ulaşım

yollarının planlanmasında, altyapılarının geliştirilmesinde ve yönetiminde mekansal teknolojilerinin kullanılması, taşımacılık sektörünün dünya pazarından alacağı payın artırılmasında büyük önem taşımaktadır.

Bu nedenle, öncelikle ülkenin tüm modlardaki ulaşım sistemlerinin doğru ve güvenilir bir temel harita üzerine işlendiği, mekansal sorgulama ve analizler ile karar-destek süreçlerinin gerçekleştirilebildiği bir mekansal bilgi sistemi projesi geliştirilmelidir. Sonrasında aşağıdaki ve benzeri yaklaşımlara bu sistem kullanılarak çözümler geliştirilebilir.

- Halihazırda mevcut deniz, hava, demir ve kara yollarının dağılımı, birbirleri ile olan mekansal ilişkileri analiz edilip, bunların nasıl bütünleştirilebileceği tasarlanabilir. Örneğin limanların geri bağlantı yolları ile olan ilişkilerinin mekansal analizleri yapıp, limanların demir yolu ağıyla bağlantılı olması, ana kara yolu ağı üzerinde olmaları ve uluslararası hava alanlarına yakın olarak planlanmaları sağlanabilir.
- Deniz yoluyla iç, dış ve transit taşımacılığın nasıl geliştirileceği üzerine planlamalar yapılabilir. Örneğin, transit taşımacılığın geliştirilmesi için nerelere konteyner üssü kurulabileceğinin mekansal analizleri yapılabilir.
- Limanların taşımacılık açısından yönetimlerinde mekan bilgisinin etkin olarak kullanıldığı çözümler uygulanabilir. Buna örnek olarak rıhtım atama probleminin çözümü verilebilir. Bununla birlikte, liman su derinlik bilgileri, yapılacak hidrografik ölçümler ve üretilecek elektronik batimetrik haritalarla güncel tutularak, deniz taşımacılığındaki gelişmelere paralel olarak yeni nesil konteyner gemilerin yavaşmalarına uygun çözümler geliştirilebilir.
- Kombine taşımacılıktaki kargo teslimatının dinamik yapısının izlenememesinden kaynaklanan artan bekleme süreleri, kaybolan kargolar gibi sorunlar; anlık, doğru, güncel zaman-mekansal veriler ile filo takip ve yönetim sistemleri kullanılarak çözümlenebilir. Böylece, gemi-demir yolu, gemi-kamyon gibi transferlerin koordinasyonu gerçekleştirilerek transit olarak ülkeye gelen ve limanlarımıza boşaltılan konteynerlerin gideceği ülkeye gitmesi, kargo dağıtım yer ve zamanlarının gösterimi gibi servislerin sunulması sağlanabilir.
- Seyir emniyeti, deniz güvenliği ve çevresel sorumluluklar dikkate alınarak, kabotaj hattında yolcu ve yük taşımacılığına uygun gemi tipleri ve elverişli hatlar belirlenerek gerekli yatırımların planlanması ve işleyişin yönetimi sağlanabilir.
- İstanbul özelinde şehir içi ulaşımının mümkün olduğunca deniz yoluna gerçekleştirilmesi ve deniz yolcu taşımacılığının nasıl arttırılabileceği üzerine tasarımlar yapılabilir.

4. Bütünleşik Kıyı Alanlarının Yönetiminde Mekansal Yaklaşımlar

Kıyı ve kıyı bölgelerinin hem ekonomik hem de çevresel değerlere sahip olması, kıyıdan yararlanma isteğini artırmaktadır. Bunun sonucu olarak da hemen her ülkede nüfus kıyılarda yoğunlaşmaktadır. Bir Akdeniz ülkesi olan Türkiye, Marmara Denizi, Akdeniz, Ege Denizi,

Karadeniz kıyı alanları ve çok sayıda göl/lagün ve akarsu kıyı alanları ile tam bir kıyı ülkesi konumundadır. Bu alanlarda yerleşim, deniz trafiği, turizm, tarım, ormancılık, endüstri, ulaşım ve diğer ekonomik eylemler her yıl hızlı bir biçimde artmakta ve nüfus artışının yarattığı baskılar, denetimsiz kentleşme, turizmin gelişmesinden kaynaklanan olumsuz etkiler Türkiye kıyı ve deniz alanlarındaki zengin doğal ve kültürel varlıkları yok edip birçok çevre sorununu da beraberinde getirmektedir.

Bazı dallarda kısmi planlamalar yapılsa bile otorite ve kullanan sektörlerin çokluğu nedeniyle kıyı alanları bilinçsiz bir şekilde kullanıma açılmakta, buna karşın çok daha etkin bir şekilde kullanım fırsatları geri dönülemeyecek bir şekilde kaybolmaktadır. Tüm sahil belediyeleri kıyı planlanması yapmaya çalışmakta, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı çevre koruma planlarında sahillere müdahale etmekte, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı balık üretimi ve avlanma yerleri planları yapmaktadır. Kültür ve Turizm Bakanlığı ise en büyük yetkili olarak turizm yerleri için tahsisler yapmaktadır. Ayrıca Çevre Bakanlığı ile Denizcilik Müsteşarlığı da ağırlıklı olarak söz sahibidirler. Bu yetki ve sorumluluk karmaşası nedeni ile Türkiye kıyı alanları verimli kullanılamamakla birlikte yanlış ve gelişmiş güzel kullanım nedeniyle sektörler birbiri ile çatışmaktadır.

1992 Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı sonucunda yayınlanan beş ana belgeden biri olan “Gündem 21” ile başlayan ve Birleşmiş Milletler Akdeniz Eylem Planı’nın yasal çerçevesini oluşturan Barselona Sözleşmesi kapsamında Ocak 2008’de kabul edilmiş olan “Akdeniz Bütünleşik Kıyı Bölgeleri Yönetimi Protokolü”ne kadar devam eden süreçte, “Bütüncül Kıyı Alanları Yönetimi (BKAY, *Integrated Coastal Zone Management, ICZM*)” konusunda global ölçekte birçok ilke, politika ve uygulama geliştirilmiştir. Bütüncül Kıyı Alanları Yönetiminin ana ilkelerinin ve bu ilkelerin gerektirdiği yönetim modelinin belirlendiği “kıyı alanlarının korunması, bütünleşik yönetimi ve sürdürülebilir gelişimi” başlığı altındaki düzenleme, kıyı devletlerini kendi ulusal yetki alanlarına giren kıyı ve deniz kaynaklarının bütünleşik yönetimi ve sürdürülebilir gelişimini sağlamakla görevlendirmektedir. [2, 3] Bu yaklaşımın Türkiye üzerine yansımaları olmuş ve örnek oluşturabilecek nitelikteki bazı uygulamalar farklı kurum ve kuruluşlarca birbirinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. Ancak dünya üzerinde geliştirilen bu yaklaşımların beklentileri karşılayacak nitelikte siyasi, sosyal ve teknik açılardan Türkiye üzerine izdüşümleri olmamış, ulusal Bütünleşik Kıyı Alanları Yönetimi stratejileri üretilmemiş, yasal ve kurumsal yapı henüz oluşturulamamıştır. Kısacası, Türkiye’de kıyı ve deniz alanlarına yönelik bütünleşik kıyı yönetimi anlayışı gerçekleştirilememiştir.

Yukarıda ifade edilen sebeplerden dolayı, ulusal ve yerel düzeyde, kıyı ve deniz kaynaklarının bütünleşik yönetimi ve sürdürülebilir gelişiminin sağlanmasına yönelik olarak kullanılabilecek, kıyı ve deniz alanları ile ilgili kurum ve kuruluşlar arasında eş güdüm sağlayarak planlama ve karar-verme süreçlerinde yararlanılabilecek bir araç olan mekansal bilgi sistemi tabanlı “Türkiye Kıyı Bilgi Sistemi (KıyıBİS, *Coastal Information System*)” yaklaşımı bu çalışma kapsamında önerilmektedir. Mekansal bilgi sistemi tabanlı KıyıBİS’de, her bir kurum ya da

kuruluşun yetki alanının mekansal tanımlamasının yapılabilecek olması, aynı alan için birden fazla kurumun koyacağı katkıların sisteme girilebilecek olması ve “çok boyutlu kıyı mekanı” kavramı kullanılarak kıyı ve deniz alanları ile ilgili olarak farklı uzmanlıklardan gelen görüşlerin birleştirilebilecek olması sayesinde, Türkiye kıyılarından sürekli ve dengeli yararlanabilmeye yönelik kıyı alanları planlanması ve yönetimi kurumlar arası çatışma ve yetki karmaşası yaşanmaksızın gerçekleştirilebilir.

Her bir kurum ya da kuruluşun kendi bünyesinde kapalı bilgi sistemi yaklaşımıyla geliştirdiği çözümler, kurumların bütünsel çözümler üreteceği yerlerde tıkanacaktır. Ancak deniz-kıyı-kara entegrasyonunu sağlayan ortak bir mekansal altyapı üzerinde ve KıyıBİS gibi merkezi bir sistem altında geliştirilecek mekansal projeler ve uygulamalarla bütünsel karar-verme süreçleri gerçekleştirilebilir. “Çok boyutlu kıyı mekanı” kavramı kıyının etkisi altında bulunan ya da kıyıyı etkileyebilen ekonomik, sosyal ve fiziksel özellikler doğrultusundaki plan bölgeleri ve ekolojik özellikler doğrultusundaki havzalar ve sulak alanlar olarak tanımlanabilir. “Çok boyutlu kıyı mekanı” yaklaşımı açık denizde, kıyıya yakın yerlerde, kıyıda ve karada deniz-kıyı-kara koordinat entegrasyonunun ve sonucunda mekansal bilgi uyumunun sağlanması için önerilmektedir. Bunun için mekansal veri altyapılarının karadan açık denize doğru genişletilmesi çalışmaları yapılmalıdır. Böylece kara ve deniz kadastrounun entegrasyonu problemine yönelik çözüm süreci de başlamış olacaktır.

Açık deniz ve kıyı bölgesi unsurlarının nitelik ve niceliklerinin, mekana ve zamana bağlı olarak analiz edilebilme ve karar-destek süreçlerinde kullanılabilmesi için öncelikle KıyıBİS’in temel altlıklarına ve zaman-mekansal veritabanlarına aşağıdaki mekansal veriler doğru ve güvenilir şekilde girilmelidir.

- Kıyıdan başka bir yerde bulunması anlamlı olmayan ticari ve yolcu limanları, turizm amaçlı yat limanları, yelken okulları, yat kulüpleri, tersaneler, balast suyu ve gemi atık alım tesisleri, balıkçı barınakları gibi mevcut kıyı yapıları,
- Deniz alanlarındaki petrol platformları ve bu platformlara bağlı boru hatları, balık çiftlikleri gibi su ürünleri tesisleri vb. mevcut açık deniz yapıları,
- Deniz taşımacılığı güzergahları, denizden uluslararası giriş ve çıkış kapıları, fenerler, haberleşme ve radar sistemleri,
- Canlı deniz kaynakları ile kıyı ve denizsel koruma alanları,
- Yat çekek ve bağlama yerleri, yat demirleme yerleri gibi turizm bölgeleri,
- Hidrografik haritalar, kıyı kenar çizgileri, kıyı kenar çizgilerinin bozulduğu ve ihlal edildiği yerler, mülkiyet bilgilerini yansıtan kara ve deniz kadastro bilgileri, imar planları vb. mekansal bilgiler.

Mevcut bu bilgiler ve mekansal bilgi sistemi teknolojisi kullanılarak, ilk önce açık deniz, kıyı ve kıyının etkisinde kalan art bölgeleri de içeren alanlar genel olarak planlanmalı ve makro ölçekte “Türkiye Kıyıları Master Planı” üretilmelidir. Sonrasında, bu stratejik plan üzerinde hangi bölgelerin hangi sektörlerce ne şekilde verimli ve sürdürülebilir olarak kullanılacağı ana

hatları ile belirlenmelidir. Türkiye kıyı bölgeleri doğal kaynaklar, kültürel özellikler gibi birçok konuda benzerlik ya da farklılıklar göstermektedir. Master plan yapılırken bunlar göz önüne alınmalı, kıyı alanlarının temel fonksiyon bölgelendirmeleri hem sahip olduğu kendi iç dinamiklere hem de diğer kıyı bölgeleri ile olan mekansal ilişkilere göre yapılmalıdır. Yeni belirlenen fonksiyonlar ile birlikte temel fonksiyon haritaları üretilmelidir. Ancak geniş kapsamlı yönetim stratejileri, kıyı alanlarında mekana özgü problemlerin çözümüne her zaman cevap vermeyebilir. Bu durumda bölgeye özgü problemlerin çözümü için bölgesel ve yerel ölçeklerde ayrıntılı yerleşim düzeni ve arazi kullanım planları hazırlanmalı ve kıyı koruma alanları belirlenmelidir.

KıyıBİS kullanılarak yapılabilecek mekansal uygulamalara aşağıdakiler örnek olarak verilebilir:

- Yapılan master planlarına aykırı olacak şekilde inşa edilen tatil köyleri, turistik tesisler, yazlık siteler vb. yapıların kontrolü ve tespiti. Rant yaratmak amacıyla yapılan arsa düzenlemeleri yerine, kıyının ve havzanın taşıma kapasitesi, kıyı topoğrafyası, kıyı kaynakları, kıyı ekosistemi, iklimsel özellikler ve bunların etkileşimlerinin dikkate alınarak kıyı kentleşmesinin uzun erimli planlamalarının yapılması. Kıyı çevrelerin yanlış sanayileşmesi ve yapılaşması sonucunda olan düzensizliklerin nasıl ıslah edileceğinin planlanması ve kurtarma çalışmalarının uygulanması.
- Kıyı alanlarında oşinografik, iklimsel, topoğrafik, arazi kullanımı gibi veriler kullanılarak kıyı erozyonu, sel gibi oluşabilecek doğal afet risklerinin değerlendirilmesi ve modellenmesi. Üretilen modellerde olası bir sel felaketinden nasıl korunulabileceğinin planlanması.
- Tersane, liman, marina, balıkçı barınağı, termik santral, rafineri, LPG, LNG, enerji ve petrokimya tesisleri gibi yeni yapılacak kıyı yapıları için en optimal yerlerin belirlenmesi. Örneğin yapılması planlanan yeni bir yat limanı için öncelikle çevredeki mevcut yat limanlarının kapasitelerinin ve niteliklerinin belirlenmesi. Buna bağlı olarak yeni yapılacak marinada özellikle mevcutlarda bulunmayan altyapı ve üstyapı gereksinimlerinin tespit edilmesi. Ayrıca, yeni yat limanları için en uygun yerler belirlenirken deniz turizm bölgeleri, su altı arkeolojik alanlar, kıyıya yakın arkeolojik kazı yerleri, su sporu olanakları ve kıyı bölgelerinde yaşayan halkın sosyal ve ekonomik yapısı verilerinin karar-verme süreçlerine dahil edildiği mekansal analizlerin yapılması.
- Denizin içinde ve dibinde bulunan canlı ve cansız zenginliklerin (petrol, doğalgaz, ve deniz ürünlerinin) tespiti ve koruma alanlarının belirlenmesi. Koruma alanları belirlendikten ve çevrelerindeki tampon bölgeler tanımlandıktan sonra balıkçılığın ve deniz ürünü yetiştiriciliğinin geliştirilmesinin planlanması. Yetiştirme tesislerinin yerlerinin seçimi ve bunların kısa sürede seyir ve hidrografi haritalarına işlenmesi.
- Avlanan balıkların istatistiksel verileri kullanılarak avcılık gücünün tespiti. Aşırı avlanma, deniz kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin balık potansiyeli ve çeşitliliği üzerindeki olumsuz etkilerinin analiz edilmesi.

- Balıkçı teknelerinin izlenerek hangi barınakların, hangi sıklıkta kullanıldıklarının belirlenmesi. Barınakların rıhtımlı ve rıhtımsız tekne kapasiteleri, ana dalgakıran ve tali dalgakıran boyları, rıhtım özellikleri, iskele tipi, genişlik ve uzunlukları, alt yapı ve üst yapı durumları, kara-hava-demiryolu bağlantıları, en yakın deniz tesisine mesafesi bilgilerinin barınakların konum bilgileri ile entegre edilmesi ve balıkçılık sektörüne hizmet edecek yeni kıyı yapılarının bu verileri de kullanarak planlanması.
- Gemi kaynaklı kirlilik ile marina, çekek yeri ve tersaneler gibi kara kökenli kirlleticiler nedenleriyle oluşan deniz kirliliğinin izlenmesi. Kimyasal, petrol ya da yağ sızıntılarının deniz çevresine etkisinin neler olabileceğinin analiz edilmesi. Yapılacak yeni gemi atık tesislerinin yerlerinin belirlenmesi.

5. Denizcilik Sektöründeki Mekansal Bilgi Sistemlerinin ve Uygulamaların Arakesiti: DeBiSi

E-navigasyon, deniz güvenliği, deniz emniyeti, kıyı yönetimi, çevre koruma, arama-kurtarma, sürdürülebilir balıkçılık, denizin içinde ve dibinde bulunan canlı ve cansız zenginliklerin aranması gibi denizcilik sektörünün tamamına yönelik bir çerçeve sistem olarak bu çalışma kapsamında önerilmekte olan DeBiSi, denizcilik sektörünün sorunlarına mekana dayalı bilgi yönetimi çözümü kavramını getiren mekansal bilgi sistemi tabanlı bir bilgi sistemi yaklaşımıdır. DeBiSi (*Integrated and Adaptive Marine Information System*), Türkiye'nin denizcilik sektöründe kullanılmakta olan birbirinden farklı nitelikteki mekansal, zamansal ve tematik verilerini ilişkili bir şekilde depolayan, bu verileri kullanarak gereksinim duyulan konularda mekansal sorgulamalar, analizler, görselleştirmeler, simülasyonlar yapılmasına olanak sağlayan bir karar-destek sistemi olarak tasarlanmaktadır.

DeBiSi, Türkiye deniz ve kıyıları ile ilgili her türlü veri ve bilgilerin bulunabileceği ya da nasıl ulaşılacağına yollarının tanımlandığı ulusal düzeydeki ilk adres olarak planlanmaktadır. Kullanıcı daha ayrıntılı bilgiye ulaşmak istediğinde DeBiSi onu alt sistemlerine yönlendirecektir. Her alt seviye geçişte daha ayrıntılı bilgilere ulaşılmaktadır. Bu şekilde, DeBiSi ile hem ulusal seviyede ülkenin bütününe yönelik denizcilik sektörü analizleri hem de daha alt seviye bilgi sistemleri bileşenleri ile daha özele yönelik bölgesel veya yerel analizler yapılabilecektir. Bu şekilde karar-verme süreçleri daha rasyonel olarak gerçekleştirilebilecektir. DeBiSi Türkiye kıyıları ve denizleri ile ilgili birçok bilgiye kullanıcıların mümkün olduğunca kolay ve hızlıca ulaşabilmeleri için İnternet üzerinden hizmete sunulacaktır. Böylece operasyonel karar-verme süreçlerinde de gerçek zamanlı bilgi erişimine olanak tanınmış olacaktır.

E-navigasyon, kombine taşımacılık ve bütünleşik kıyı yönetimi gibi denizcilik ve denizle ilgili sektörlerde mekansal bilgi teknolojilerinden yararlanılabileceği birçok uygulama alanı ve bu alanlara yönelik geliştirilmiş birçok bilgi sistemi mevcuttur. Burada önemli olan birbirinden

bağımsız olarak geliştirilen bu sistemlerin entegrasyonunu, sistemler arasında veri ve bilgi paylaşımını ve karar-verme süreçlerinde bütünlük bir yaklaşımla bu sistemlerin arakesitlerinden yararlanılmasını sağlayabilmektir. Bu nedenle DeBiSi modüler yapıda tasarlanmıştır. Böylece DeBiSi'nin bir parçası olan KıyıBİS; Havza Bilgi Sistemi, Balıkçı Barınakları Bilgi Sistemi, Yat Limanları Bilgi Sistemi gibi alt seviyedeki kıyı bilgi sistemleri ile desteklenebilir ve bu alt sistemler arasında veri ve bilgi değişimi kolaylıkla sağlanabilir. Örneğin yeni yapılacak balıkçı barınaklarının yerleri tasarlanırken, DeBiSi diğer bir alt sistemi olan SeyirBİS'in bir alt seviyesindeki Seyir Yardımcıları Bilgi Sisteminden deniz fenerleri ile bilgiler Balıkçı Barınakları Bilgi Sistemine kolaylıkla aktarılabilir. Bu şekilde farklı büyük ve yüklü veritabanlarındaki verilerin birleştirilebilmesi ve birlikte değerlendirilebilmeleri gerçekleştirilerek, daha bütünlük yaklaşımların ve koordineli yönetim stratejilerinin üretilmesi sağlanabilir.

Mekansal Bilgi Sistemi projelerinde veri bileşeni toplanması, depolanması ve entegrasyonu bakımından çok fazla zaman, emek ve maliyet gerektiren önemli bir bileşendir. Jeodezik, topoğrafik, hidrografik, oşinografik, jeolojik, morfolojik, meteorolojik, demografik vb. veriler değişik kurum ve kuruluşların elinde ve farklı yapılarda bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaların tümünün sistematik bir şekilde düzenlendiği ortak veri tabanlarına genellikle rastlanılmamaktadır. Hiç şüphesiz verilerin sadece elde edilmesi değil, kolayca ulaşıp, veritabanları aracılığıyla özellikle de iki ve üç boyutlu haritalar üzerinde görselleştirilerek kullanılabilir hale getirilmesi de son derece önemlidir. Merkezi idareler, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve üniversiteler arasında DeBiSi üzerinde mekansal teknolojiler kullanılarak kurulacak işbirliği ve eş güdüm sayesinde veriler ve çözümler paylaşılabilecek ve birçok kazanım elde edilebilecektir. Tekrar tekrar farklı kurum ve kuruluşlarca aynı ölçülerin yapılmasını engellemek için veriler bir kez yüksek çözünürlükte elde edilip sisteme girilecek ve kullanıcılar istediklerinde bu veri ve bilgilere ulaşarak kendi uygulama alanlarında amaçlarına uygun farklı çözünürlüklerde kullanabileceklerdir.

Temiz sularda güvenli, emniyetli, sürdürülebilir denizcilik yaklaşımındaki DeBiSi'nin sunduğu veri ve bilgi grupları arasında

- tehlikeli/riskli alanların, sınırlı/yasak alanların, güvenlik alanlarının, inşa alanlarının, çevresel olarak duyarlı alanların, demirleme yerlerinin, liman servislerinin ve benzeri bilgilerin ve etkileşimli özelliklerin bulunduğu çevrimiçi elektronik harita hizmeti,
- hidrografik, meteorolojik ve oşinografik koşullar, su derinlik bilgileri,
- deniz trafiği bilgileri, navigasyon destek, rota belirleme ve izleme hizmetleri,
- gerçek zamanlı liman video görüntüleri, liman tarife ve yönetmelikleri, liman tasarımı, liman güvenlik planları, liman-acentra erişim bilgileri,
- acil iletişim bilgileri, tesisler, kolaylıklar, hizmetlerle ilgili bilgiler, duyurular, denizle ilgili olaylar, haberler, etkinlikler vb. bilgiler bulunmaktadır.

DeBiSi aşağıdaki ve benzeri sorulara yanıt verebilecek şekilde tasarlanmaktadır:

- Türkiye deniz ve kıyılarının çevresel durumu güncel olarak ne durumdadır?
- Deniz kirliliğinin arttığı veya azaldığı yerler nerelerdir?
- Türkiye deniz ve kıyılarının koruma alanları ve hassas bölgeleri nerelerdir?
- Deniz canlı türlerinin tehlikede olduğu bölgeler ve/veya korunduğu bölgeler nerelerdir? Bu canlılar nerelerde hangi yöntemlerle korunmaktadır?
- Deniz ve kıyıların dengesinin bozulmasında etkili türler nerelerde görülmektedir?
- Deniz suyu sıcaklık değişiminin türler üzerindeki etkisi nerelerde en çok hissedilmektedir?
- Doğal yaşam alanları ile etkileşim halindeki kıyı sosyal yaşamı ve denizcilik faaliyetleri ne durumdadır?
- Denizcilik sektöründeki ekonomik gelişmelerin, doğal ve kültürel mirasların korunması konularında çalıştığı yerler nerelerdir?
- Yakın gelecekte yapılaşmaya açılacak kıyı bölgeleri nerelerdir?
- Nerelerde hangi çeşit deniz ulaşım yöntemleri uygulanmaktadır?
- Boğazlar bölgesindeki trafiğin mevcut durumu nedir? Geçen sene bu zaman ile karşılaştırıldığında yoğunluğundaki değişim ne kadardır?
- Belirli bir zaman diliminde, örneğin 2008 senesi içerisinde, 8000 km'yi aşan kıyı şeridinde hangi nedenlerle ve nerelerde acil yardım çağrıları alınmıştır? Bu zaman diliminde nerelerde kazalar olmuştur?
- Türkiye kıta sahanlığında gemi kurtarma, batık çıkarma, deniz kazısı, deniz doldurma gibi çalışmalar nerelerde yapılmaktadır? Deniz deşarj hatları ve su altı enerji boru hatları nerelerden geçmektedir?

6. Mekansal Veri Edinme Teknolojileri

Çalışma kapsamında sözü edilen tüm bu mekansal uygulamaların önerilen mekansal bilgi sistemi tabanlı bilgi sistemleriyle gerçekleştirilebilmesi için öncelikle doğru, güvenilir ve çözünürlüğü yüksek mekansal verilere ve bu verilerden üretilmiş iki ve üç boyutlu haritalara gereksinim vardır. Türkiye'de ifade edilen bu tür mekansal ve mekana dayalı verilerin sınırlı olmasından dolayı, ilk olarak bu veriler mekansal teknolojiler kullanılarak toplanmalı ve belirli aralıklarla sürekli güncellenmeleri için gerekli altyapılar oluşturulmalıdır. Mekansal veriler genel olarak jeodezik ölçmeler, deniz ölçmeleri, uydu ve fotogrametrik teknikler ile mevcut haritaların dijitalleştirilmesi ile elde edilir ve farklı türdeki bu veriler mekansal bilgi sistemlerinde entegre edilerek kullanılır.

KıyıBİS için temel altlık olarak vektör formatındaki 1/1000 ölçekli dijital fotogrametrik haritalar ve raster formatındaki 1/5000 ölçekli ortofotolar kullanılabilir. Spektral (Landsat MMS, Landsat ETM+, Spot) ve/veya geometrik (IKONOS, Quickbird, OrbView-3, GeoEye-1) çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri ve dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak kıyı

alanlarında meydana gelen zamansal-mekansal arazi kullanım değişimleri ve arazi örüntüsünde meydana gelen fiziksel değişiklikler ya da gemi kökenli kirlilikler (RADARSAT) kolaylıkla saptanabilmektedir. Gece gündüz her türlü hava şartında çalışabilen, yüksek çözünürlüklü bir radar teknolojisi olan “Yapay Açıklıklı Radar (*Synthetic Aperture Radar, SAR*)” görüntüleme tekniğinin enterferometrik yaklaşımlarla üçüncü boyutta da doğruluğu yüksek veri elde edilmesi sağlanmaktadır. “Enterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (*Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR*)” olarak isimlendirilen ve SAR görüntülerini kullanan teknik özellikle herhangi bir bölgeye ait yüksek çözünürlükte ve doğrulukta dijital yükseklik modeli (*Digital Elevation Model, DEM*) üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu şekildeki mekansal değişimler de mekansal bilgi sistemlerine aktarılarak mekansal bilgi olarak başka sorgulamalarda, analizlerde ve yeni haritaların üretilmesinde kullanılabilir.

SeyirBİS için kullanılacak temel altlıklar, değişik ölçme yöntem ve teknikleri ile elde edilebilir. GPS ve echosounder ölçme tekniklerinin birlikte kullanıldığı hidrografik ölçmeler ile batimetrik veriler elde edilebilir. Bu verilerden, deniz haritaları ile deniz dibi topoğrafyasının ve arazi modellerinin üç boyutlu ve büyük ölçekli olarak üretilmesinde yararlanılır. Marmaray gibi su altı ve üstündeki sabit deniz yapıları inşası projelerinde yüksek doğruluk ve hassasiyette sahip bu veriler etkin olarak kullanılabilir. Bu şekilde üretilen deniz haritaları ile elektronik seyir haritalarının birleştirilmesi, derinliklerin eş yükselti eğrileri ve derinlik seviyelerinin farklı tonlarla görselleştirilmesi ve bunlara deniz akıntı bilgilerinin eklenmesi ile SeyirBİS'e uygun doğru ve güvenilir altlıklar üretilebilir. Tekrarlanarak yapılacak bu ölçmelerle deniz topoğrafyasının değişimi izlenebilir ve güncel derinlik bilgileri kullanıcıların hizmetine sunulur. Örneğin bu şekilde tonajları ve büyüklükleri gittikçe artan gemilerin Boğazlardan geçişlerinin planlanmasında sistemin, güncel ve güvenli derinlik değerlerine sahip hidrografik haritalara olan gereksinimi karşılanabilir. Kıyıya yakın alanlarda hidrografik verilerin elde edilmesinde, kıyı jeolojisinin, profillerinin, arazi kullanımının ve bitki örtüsünün haritalanmasında hem maliyet açısından uygun olması hem de yüksek çözünürlüklü veri sağlamasından dolayı kullanılan bir diğer ölçme yöntemi de LiDAR (*Light Detection And Ranging*) tekniğidir. LiDAR tekniğinin su derinliği ve/veya su berraklığı gibi nedenlerden dolayı kullanılmadığı alanlarda yüksek çözünürlüklü sonar ve echosounder gibi su akustiği sistemleri kullanılır (*sub-bottom profiler, multi-beam echosounder, side-scan sonar*).

GPS ölçme tekniği denizciler için en hızlı ve en doğru konum belirleme, navigasyon ve hız ölçme yöntemi olup denizcilik sektöründe birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Açık denizde doğru konum, hız ve yön bilgileri her ne kadar deniz taşıtının hedefine en güvenli, ekonomik ve zamanında ulaşması açısından önemli ise de, özellikle yoğun limanlara giriş ve çıkışlarda (liman navigasyonunda) ve su geçitlerinde yani daha zor manevra yapılan ve kaza olma riski daha yüksek olan yerlerde daha fazla öneme sahiptir. Bu durumda klasik GPS ile konum belirlemeye göre daha yüksek bir doğruluk sağlayan “Farklarla GPS (*Differential GPS, DGPS*)” tekniği kullanılmaktadır. Tek bir GPS alıcısı ile belirlenecek konumdaki hata miktarı ± 20 metreye kadar çıkabilmektedir. Bu da Boğazlarda seyreden bir gemi için önemli bir hata

miktardır. DGPS tekniği uygulandığında bu değer ± 1 metreye kadar dűşürűlebilmektedir. Denizciler ve oşinograflar GPS tekniğini ayrıca su altı ۆlçmelerinde, şamandıra yerleştirmelerinde, riskli seyir güzergahlarının ve yerlerinin belirlenmesinde ve haritalanmasında da artan bir şekilde kullanılmaktadır. Ticari balıkçı filoları da optimum balık avlama yerlerini belirlemede, balık göçlerini izlemede ve av yasaklamalarına uyum göstermede GPS tekniğinden yararlanmaktadır.

Sistemin herhangi bir nedenle ۆrneđin terörist ataklarla planlı olarak sinyalleri/frekansları bozarak yayının bozulması ya da istemeden oluşabilecek sinyal parazitleri gibi nedenlerle GPS sinyallerinin her zaman kullanıma hazır olma ۆzelliđi sağlanamayabilir yani sistemin hizmet dışı kalabilme olasılığı vardır. Bu nedenle e-Navigasyonun sürekliliğini sağlamak için ikinci bir bağımsız, bűtűnleyici, farklı bir yapıda alışan PNT (*Position, Navigation and Time*) servisi gerekmektedir. GLONASS ya da GALILEO gibi uydu navigasyon sistemleri alternatif PNT sistemleri olabilir. Ancak, ne GLONASS mevcut durumundan dolayı tek başına GPS'in sağladığı hizmeti sağlayabilir ne de GALILEO hizmet vermeye başlamıştır. GALILEO hizmet vermeye başlasa bile hizmet alanının Avrupa merkezli olması Avrupa dışındaki seyirlerde yine hizmet dışı kalma durumunu yaratacaktır. Bu durumda uydu navigasyon sistemleri birbirine alternatif sistemler olarak değil birbirini bűtűnleyici sistemler yani GNSS (*Global Navigation Satellite System*) olarak yorumlanmaktadır. GNSS'den elde edilecek konum bilgisinin kalitesinin arttırılması için WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN gibi (*space-based augmentation systems, SBAS*) sistemler, DGNSS mesajlarını RTCM SC104 protokolű üzerinden yaymak için geliştirilmişlerdir. Uydu bazlı konum belirleme sistemlerine alternatif olabilecek sistem yer bazlı radyo navigasyon sistemi, ۆzellikle de eLoran'dır. Bu teknikte kıyıda dLoran referans istasyonlarına gereksinim bulunmaktadır ve dLoran istasyonlarından gelen bilgiler kullanılarak konum doğruluğu ± 10 metre ve altında olarak elde edilebilmektedir. Diđer bir alternatif de yine ± 10 metre ve altında konum doğruluğuyla konum bilgisi sağlayan gyro tabanlı inersiyal seyir sistemleridir (*Inertial navigation System, INS*).

Deniz taşıtlarındaki bűtűnleřik seyir sistemi (*Integrated Navigation System, INS/IBS*) seyir sırasında bu kadar çok konum ve navigasyon verisi sağlayan mekansal veri edinme teknolojileri (GPS1, GPS2, INS1, INS2, Loran-C, SBAS, Radar/ARPA) arasından sağladığı doğruluğa (*accuracy*) ve doğruluk bilgisindeki azalmaların/değişimlerin nedenlerine, elde edilen farklı verilerin sürekliliği ve tutarlılığı gibi parametrelere göre uygun mekansal veri kaynağını seçebilir. Ancak, meteorolojik/oşinografik veriler, trafik yoğunluğu, manevra parametreleri, tehlike durum/uyarı mesajları, ENC dűzeltmeleri gibi gerek kendi alıcılarından, gerekse kıyıda bulunan istasyon ve merkezlerden daha birçok veride sisteme gelmektedir. Bu durumda deniz taşıtındaki seyirden sorumlu personelin navigasyon ile ilgili doğru kararlar verebilmesi için mekansal bilgi sistemi tabanlı olması ۆnerilen ek bir karar-destek sistemine gereksinim duyar. Her ne kadar GNSS ve DGNSS en yűksek doğruluğa sahip konum verisini tedarik etsede seyir esnasında değişken durumlara göre hangi mekansal veri edinme teknolojisinin en kaliteli ve gűvenilir konum bilgisini sağladığını, mevcut bu teknolojiler arasında nasıl bir ۆnceliklendirme

yapılması gerektiğini bu karar-destek sistemi belirler. Örneğin, GPS tekniği ile seyrine devam eden bir gemi, GPS hizmeti devre dışı kaldığında, geminin karar-destek sistemi GPS devreye girene kadar INS tekniğini en kaliteli konum bilgisini veren sistem olarak kabul edip seyrine onunla devam edebilir. Ayrıca, İstanbul Boğazı'nın fiziksel verileri, karşıdan gelen gemilerin özellikleri ve yerel akıntıların olası değişimleri kullanılarak belirlenen kaza riski en az olan rotada yeni konum belirleme tekniğinden kaynaklanacak sürüklenme riskleri önceden belirlenip, sürüklenmesi durumunda karşılaşılabilecek tehlikelere, maruz kalacağı yeni akıntılara ve trafik durumuna göre seyirden sorumlu personelin alacağı kararlara destek olabilir.

Bunların haricinde gemi ve yat gibi yüzen yapıların inşası, onarımı ve yenilenmesi gibi gemi inşa sektörüne yönelik olarak da jeodezik, endüstriyel ve yersel fotogrametrik ölçme teknikleri ile üç boyutlu lazer taramaları (*3D laser scanning*) kullanılmaktadır.

7. Sonuç

Gerek ulusal gerekse uluslararası alanlarda faaliyet gösteren Türkiye Denizcilik Sektörünün, yakın ve uzak gelecekteki politikalarına ve bu politikalara yönelik stratejilerine ulaşması yolunda yardımcı olacak gerekli mekansal çözümlerin oluşturulması bu çalışmanın asıl amacını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda deniz ekosistemine yönelik çevresel sorumluluklar, deniz canlıları ve kıyıdaki sosyal yaşamlar göz önünde bulundurularak deniz ticaretinin, ulaşımının ve diğer denizcilik sektörü uygulamalarının sürdürülebilir kalkınması ve Türkiye Denizcilik Sektörünün tüm bileşenlerinin gereksinimlerinin karşılanması için Deniz Bilgi Sistemi (DeBiSi) yaklaşımı önerilmiştir. DeBiSi ve alt sistemleri, farklı nitelikteki ve yapıdaki denizcilik ile ilgili verileri ve bilgileri bir araya getirerek, farklı kurum ve kuruluşların ya da bireysel kullanıcıların kullanımına sunacak şekilde tasarlanmıştır. Önerilen bu yaklaşım, deniz ve denizcilik ile ilgili farklı seviyedeki kullanıcılar arasındaki paylaşım ve işbirliğinin oluşmasına katkı sağlayarak, kamunun yararına alınacak kararlarda etkin ve verimli karar-verme süreçlerinin oluşumuna altlık teşkil edecektir.

Kaynaklar:

- [1] Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH) Tanıtımı, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, <http://www.kiyiemniyeti.gov.tr/vts/>
- [2] Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı Raporu, Rio de Janeiro, Brezilya, 3-14 Haziran 1992, Birleşmiş Milletler Yayınları, A/CONF.151/26 (Cilt 1)
- [3] Akdeniz Bütünleşik Kıyı Bölgeleri Yönetim Protokolü (*Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean*), Madrid, İspanya, 21 Ocak 2008, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Akdeniz Eylem Planı (MAP), http://www.pap-thecoastcentre.org/itl_public.php?public_id=24&lang=en



BALAST SUYU ARITIMINDA ALTERNATİF YÖNTEMLER

Ceren BİLGİN GÜNEY¹, Fatma YONSEL²

ÖZET

Günümüzde istilacı türlerin gemilerle taşınmasını engellemek amacı ile yaygın olarak kullanılan ve IMO tarafından önerilen tek geçerli yöntem balast suyu değişimi metodudur. Ancak bu yöntem yabancı türlerin transferini engellemede yeterli değildir ve gemilerin güvenliği açısından da tehlikeler içermektedir. Özellikle son dönemde hız kazanan çalışmalar ile geliştirilen teknolojilerden bazıları gemilerde uygulanabilirlik açısından umut vericidir. Ancak biyolojik çeşitlilik, gemi tip ve balast sularının değişkenliği, gemi rotalarına bağlı olarak öncelikli organizmaların farklılık göstermesi standart bir sistemin önerilmesini imkansızlaştırmaktadır. Bu durum kurulacak sistemin esnekliğini ve hedef alınan organizma yelpazesinin genişletebilmek amacı ile bir kaç basamaktan oluşacak kombine sistemler kurulması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Balast suyu, Arıtım, Elektrokimyasal pil, Klor dezenfeksiyonu

1. Giriş

Gelişen gemi inşa teknolojisi sayesinde dünya ticaretinin %80'den fazlası deniz yolu ile gerçekleşirken her yıl 10 milyar ton balast suyunun da ticari ürünlerin yanı sıra gemiler ile yer değiştirdiği tahmin edilmektedir. Gemilerin güvenli olarak seyretmeleri için gerekli olan balast suları, bu yer değiştirme esnasında, istilacı türlerin istem dışı taşınmalarında çok büyük bir

¹ Yük. Müh., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, bilgincer@itu.edu.tr, Tel: 0212 285 6466

² . Dr., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, fyonsel@itu.edu.tr, Tel: 0212 285 6402

öneme sahiptir [1; 2; 3]. Avrupa'daki navigasyonel ve komşu sularda tespit edilen yabancı türlerin %22.3'ünün balast suları nedeni bu bölgelere geldiği tespit edilmiştir [3]. Potansiyel istilacı türlerin balast suları ve sedimanı ile yeni ortamlara taşınması çevre, ekonomi ve insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Örneğin, 1980'lerin başında Karadeniz'e NW Atlantik gemisinin balast suyu ile geldiği düşünülen taraklı denizanası türü olan *Mnemiopsis leidyi*, Karadeniz ve Azak Denizi'ndeki balıkçılığa büyük darbe vurmuştur [2;4;5]. Başka taşıyıcıların yanı sıra balast suları ile de taşınan farklı yapı ve zehirlilik derecelerine sahip olan zararlı mikro-alg türleri, balık ve kabuklu deniz hayvanlarını doğrudan etkilerken bunları tüketen insanlarda da cilt alerjisinden solunum bozukluğuna, sindirim sistemi rahatsızlıkları gibi bir çok hastalığa yol açmaktadır [6]. Ayrıca Asya'dan Latin Amerika kıyı sularına balast suları ile ulaştığı tahmin edilen ve koleraya neden olan *Vibrio cholerae* [7] bakterileri gibi insan sağlığını tehdit eden birçok bakteriyel ve viral patojen de balast suları ile yer değiştirmektedir [4;8].

Balast suları ve sedimanı ile yeni bölgelere taşınan potansiyel istilacı türlerin neden olduğu tehlike IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü) tarafından 1990'ların başından beri gündeme getirilmesine rağmen ancak 14 Şubat 2004 tarihinde "Gemilerin Balast Suları ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi"nin düzenlendiği bir diplomatik konferans ile tamamlanmış ve üye ülkelerin imzasına açılmıştır. Sözleşme dünya ticaret filosunun % 35'ini temsil eden 30 ülkenin onayından 12 ay sonra yürürlüğe girecektir (Güncel durum için: www.imo.org). Bu sözleşmenin yürürlüğe girmesiyle gemiler, yaş ve balast suyu kapasitelerine bağlı olarak farklı senelerde, sözleşmede yer alan Balast Suyu Performans Standartlarını sağlamak durumunda kalacaklardır [9] (Tablo 1).

Tablo 1. Balast Suyu Yönetmeliği [10]

	İnşa tarihi	Balast Suyu Kapasitesi	Uygulanacak Kural	Uygulama Tarihi
Yeni Gemiler	2009 ve sonrası	$Kap. < 1500 m^3$	D-2	2009 ve sonrası
		$1500 m^3 \leq Kap. \leq 5000 m^3$	D-2	2009 ve sonrası
	2012 ve sonrası	$Kap. > 5000 m^3$	D-2	2012 ve sonrası
Mevcut Gemiler	2009'dan önce	$Kap. < 1500 m^3$	D-1 veya D-2	2016'ya kadar
		$1500 m^3 \leq Kap. \leq 5000 m^3$	D-1 veya D-2	2014'e kadar
	2012'den önce	$Kap. > 5000 m^3$	D-1 veya D-2	2016'ya kadar

Gemilerin yaş ve balast suyu kapasitelerine göre uymaları gereken olan ve Tablo 1’de belirtilen IMO kuralları aşağıda açıklanmıştır:

Kural D-1 Balast suyu değişimi standardı [9]

1. Balast Suyu değişimi icra eden gemiler, bu kurala uygun olarak, Balast Suyu değişimini hacimsel olarak %95 verimlilikle yerine getirmelidirler.
2. Pompalama metoduyla balast suyu değişimi yapan gemiler için, pompalama birinci paragraftaki standartları karşılayacak şekilde her bir balast tankının hacminin üç katı olarak yapılacaktır. Geminin en az hacimsel oranda %95’ini değiştirildiğini göstermesi halinde üç kattan az pompalama kabul edilebilir.

Kural D-2 Balast suyu performans standardı [9]

Bu standarda göre deşarj edilebilecek balast suyu ile ilgili limitler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Kural D-2’nin özeti

Organizma		Birim Hacimdeki İzin Verilen Yaşayabilir Organizma Miktarı
Organizma boyu $\geq 50 \mu\text{m}$		<10 adet / m^3
$50 \mu\text{m} >$ Organizma boyu $\geq 10 \mu\text{m}$		<10 adet / ml
İnsan sağlığı ile ilgili standartlar	Toxigenic Vibrio Chlorae (Serotip O1 ve O 139)	<1 *cfu/100ml (zooplankton örneklerinde ıslak ağırlık olarak 1 cfu/g’ dan az)
	Escherichia coli	<250 *cfu/100 ml
	Intestinal Enterococci	<250 *cfu/100 ml

* colony forming unit: koloni oluşturma birimi

Son yıllarda balast suyu arıtımı ile ilgili farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Seçilecek yöntem için de IMO bazı kriter belirlemiştir. Bu kriterlere göre yeni yöntem gemi ve mürettebat açısından güvenli olmalı, getirdiği çözümden daha büyük çevresel zararlara yol açmamalı, gemi dizaynına ve işletmeciliği ile uyumlu olmalı, uygun maliyetli olmalı ve balast suyunda mevcut olan sucul canlıları/patojenleri öldürmeli, gidermeli veya pasif hale getirebilmelidir [11].

2. İstilacı Türlerin Gemilerle Taşınmasını Engellemek İçin Mevcut Yaklaşımlar

İstilacı türlerin balast suyu ile transferini engellemek için gerçekleştirilen çalışmaların çoğu geleneksel içme suyu, atık su ve havuzlarda kullanılan arıtma veya dezenfeksiyon yöntemlerinin balast suyuna uygulanmasını temel almaktadır. Balast suyu arıtımında karşılaşılan en önemli problem ise deniz suyunun değişken karakteristiği ve hedef alınan organizmaların çeşitliliğidir. Bu çalışmada, önerilen balast suyu arıtımı ve yönetimi yöntemlerinden öne çıkan bazılarına yer verilmiştir.

2.1. Balast Suyu Değişimi

Balast suyu ile taşınan yabancı zararlı organizmaların önlenmesinde bir çok ülke (örn: ABD, Avustralya, Yeni Zelanda, Şili ve İsrail) tarafından kabul edilen [12] ve IMO tarafından da önerilen tek geçerli yöntem “balast suyu değişimi” metodudur. Gemilerin çoğunda ekstra bir boru sistemine ihtiyaç duyulmadan bu yöntem uygulanabilmektedir. Balast suyu değişimi, değişim için uygun bölgelerde, balast tanklarının önce boşaltılıp tekrar doldurulması ile gerçekleştirilebileceği gibi, pompalama metoduyla tanktaki su boşaltılırken aynı anda yeni su alınarak tanklarda mevcut suyun sürekli seyreltilmesi şeklinde de gerçekleştirilebilmektedir.

Balast suyu değişiminin özellikle tank diplerinde kalan, deşarj edilemeyen su ve balast sedimanı nedeni ile yabancı türlerin transferini engellemede yeterli olmadığı [13;14] çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Hacimce %95’lik balast suyu değişiminin sağlanabilmesi için balast suyunun üç kez boşaltılıp doldurulması veya pompalama yöntemi kullanılacaksa tank hacminin üç katı kadar suyun tanka basılması gerekmektedir [15;16]. Dinamik bir ortamda gerçekleştirilen balast suyu değişimi hava ve deniz koşullarına bağlı olarak gemi güvenliği açısından da riskler taşımaktadır [17;13]. Bununla birlikte hacimce %95 balast suyu değişimi sağlansa dahi, bu organizmaların %95’inin de her zaman yer değiştireceği anlamına gelmemektedir [16] hatta bazı durumlarda balast suyu değişimi metodu, değişimin gerçekleştirildiği bölgede mevcut olan organizmalara bağlı olarak, tanklarda mevcut organizmalardan daha zararlı olanlarının tanka alınıp yerleşmelerine de sebep olabilmektedir. Büyük gemilerde bu yöntemle ilgili diğer bir problemse balast suyu değişimi için harcanacak zamandır, bazı gemilerde bu işlem 1-3 gün gerektirebilmektedir [16].

2.2 Filtrasyon

Balast suyunun alımı esnasında belirli boyutların üzerindeki organizmaların balast tanklarına alınmasını engellemek için kullanılan filtrasyon sistemleri küçük boyutlardaki organizmalar için uygun değildir. Makro boyutlardaki zooplankton ve fitoplanktonlarda %95-90 başarı elde edilebiliyorken mikro boyutlardaki planktonlarda elde edilen başarı ancak %70-80 civarındadır [18]. Bu yöntem bakteri ve virüslerin bertaraf edilmesi için de uygun değildir. Filtrasyon sistemlerinde hedef organizmaların boyutu küçüldükçe alt yapı maliyeti ve limanda bekleme

süresi artmaktadır. Filtrasyon, balast suyu yönetiminde ancak ön işlem olarak kullanılabilen bir yöntemdir.

2.3 Balast Suyunu Isıtarak Arıtma

Potansiyel istilacı türlerin balast suyu ısıtılarak etkisizleştirilmesi veya öldürülmesi, balast suyunun organizmaların metabolik faaliyetlerini yerine getiremeyecek kadar ısıtılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin uygulanabilirliği seyir esnasında balast suyunu ısıtacak miktarda ısının varlığına bağlıdır. Isı arıtımı uygulamaları için genellikle gemi ana makinesinin veya yardımcı makinelerin soğutma suyu sistemindeki ısıdan faydalanılması önerilmektedir.

Her organizma için öldürücü sıcaklık değişmekle birlikte balast suyunda hedef alınan bir çok organizma için 40-45 °C yeterli bir sıcaklıktır [15]. Ancak balast suyunun bu sıcaklığa çıkmasını sağlamak için gereken enerji oldukça yüksektir. Sıcaklık düşürüldükçe verim alınabilmesi için bekleme süresinin uzaması gerekmektedir. Örneğin 40 °C’de 8 dakikalık bir süre yeterliken [7] 35 °C’de verim alınabilmesi için balast suyunun bu ısıda en az 20 saat süre ile tutulmasını gerektirmektedir [19]. Ancak gemicilik açısından bakıldığında uzun süreli ısıtma, kısa süreli ısıtmaya göre daha uygulanabilir bir yöntemdir [17]. Özellikle büyük balast suyu kapasiteli gemilerde istenilen sıcaklığa erişmek için bağımsız bir ısı kaynağına ihtiyaç duyulacak, bu da maliyetleri arttıracaktır.

Balast suyunun ısıtılması sonunda gemi üzerinde meydana gelebilecek ısısal gerilmeler [7] ve ısıtılan suyun deniz ortamına deşarj edilmesi durumunda sebep olacağı çevresel etkiler [19] göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli problemlerdir.

2.4 UV Radyasyonu

Etkisi organizmaların cinsine bağlı olarak değişen bu yöntemin verimliliği suyun berraklığı ve bulanıklığı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle filtrasyon işleminin ardından kullanılması önerilmektedir. Ayrıca bazı türlerin UV’ye maruz kalmalarının ardından tekrar iyileşmelerini engellemek amacıyla karanlıkta bekletilmeleri gerekmektedir [20;17], türe bağlı olarak değişen gerekli bekleme süresi bazı durumlarda seyir süresini aşabilmektedir. Kullanılan UV aralığı genellikle organizmaları etkisizleştirmesine veya öldürmesine rağmen bazı mikro-organizmalarda mutasyon riski göz önünde bulundurulmalıdır [18].

2.5 Dezenfektan Olarak Klor Kullanılması

Klorla dezenfeksiyon, büyük miktarlardaki sularda mevcut olan istenmeyen organizma ve bakterileri öldürmek için tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Dezenfeksiyon için gereken klor dozu mevcut organizmaların cinsine bağlıdır [21]. Tüm dezenfektanlarda olduğu gibi temas süresi, pH ve sıcaklığın yanı sıra mevcut hazır klorun konsantrasyonu ve

cinsi dezenfeksiyon oranı üzerinde etkilidir [22]. Bununla birlikte klor bazı organik maddelerle reaksiyona girerek kanserojen bileşikler oluşturabilir, bu nedenle özellikle ötrofik bölgelerde düşük dozlarda kullanılması gerekmektedir [23].

Klor dezenfeksiyonunda önemli bir rol oynayan serbest klor gibi dezenfektanların gemi üzerinde elektrolitik olarak üretiminin gaz halindeki klor ve konsantre hipoklorit çözeltisi kullanımına göre güçlü avantajları mevcuttur. Özellikle deniz suyu gibi tuz ihtiva eden suların dezenfeksiyonunda dışardan kimyasal eklenmesine ihtiyaç duyulmayacak olmasının yanı sıra bu tip kimyasalların taşınması ve kullanılması esnasında karşılaşılabilecek problemler de bertaraf edilmiş olur [24; 25].

2.6 Balast Suyu Arıtımında Çoklu Sistemler

Son yıllarda balast suyu arıtımı için bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen balast sularında istenmeyen tüm canlılar üzerinde etkili olabilecek bir yöntem bulunamamıştır. Özellikle biyolojik çeşitliliğin çok olması, gemi tip ve balast sularının değişkenliği, gemi rotalarına bağlı olarak öncelikli organizmaların farklılık göstermesi gibi sebepler bir tek standart sistemin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle farklı teknolojilerin bir arada kullanıldığı çoklu sistemler ile hedef alınan organizma yelpazesinin genişletilmesi, ve bu sistemlerin de gemilerin tiplerine ve rotalarına bağlı olarak farklı şekillerde kullanılabilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

3. BaWaPla-Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi İçin Bir Çoklu Sistem

Bir Avrupa Birliği 6. Çerçeve Projesi olan BaWaPla - Sürdürülebilir Balast Suyu Yönetimi Tesisi (Sustainable Ballast Water Management Plant), Türkiye'nin yanı sıra Almanya, İngiltere, İspanya, Fransa, Norveç, Portekiz ve İsrail'den farklı konularda uzmanlaşmış bir çok kuruluşun ortak olduğu bir araştırma geliştirme projesidir (www.bawapla.com). Avrupa Birliği tarafından finanse edilen (kontrat no: 031529) ve balast suyu arıtımı için farklı teknolojilerin bir arada kullanılacağı bir sistem geliştirmeyi amaçlayan proje 15 Kasım 2006'da başlamıştır ve halen devam etmektedir.

Projede geliştirilecek sistem, bilinen arıtma yöntemlerinden UV ve filtre sistemlerinin yanı sıra deniz suyundan hipokloröz asit (HOCl) içeren dezenfektan üretmek üzere geliştirilecek bir elektrokimyasal pili kapsamaktadır. Sistemin her bir bileşeni IMO ve MEPC (Deniz Çevresini Koruma Komitesi) tarafından işaret edilen farklı tipteki organizmaları hedef alacaktır. Filtre ile yapılacak ön arıtma büyük organizmaların ve askıda katı maddenin giderimini sağlayacak, ardından UV uygulaması ile kalan organizmalar inaktive edilecek ve balast tanklarının klor ile dezenfeksiyonu da balast suyunun deşarja uygunluğunu kesinleştirecektir.

Bu projenin denizcilik sektörüne yönelik ana hedefi IMO sözleşmesinin yürürlüğe girmesi ile gemilerden istenilecek olan gemi üzerinde güvenli ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir balast

suyu yönetiminin sağlanmasıdır. Bunun yanı sıra sistemin farklı amaçlarla üretilmiş gemiler için adapte edilebilecek şekilde tasarlanması projenin önemli hedefleri arasındadır. Ayrıca balast tanklarının temizleme ve tanklarda biriken çamurun atılma maliyetlerinin düşürülmesi de projede amaçlanmaktadır.

Projenin deniz çevresi açısından en önemli hedefi öncelikli olarak IMO ve rehberlerince işaret edilen organizmaların transferini engelleyecek bir sistem kurmaktır. Kurulacak bu sistemin çevresel açıdan uygulanabilirliğinin olması ve otomatik kontrol ile sistemin kendi kendine çalışması projenin hedefleri arasındadır.

Sonuç olarak BaWaPla kapsamında yeni gemi dizaynının bir parçası olarak tasarlanan bu entegre sistem, işletim esnasında gemilerin çevresel uyumluluğunu sağlayacaktır. Sistemin son basamağında balast suyu arıtımını tamamlayacak HOCl gibi aktif maddelerin alışılmış biçimde klor gazı kullanımı yerine deniz suyu kullanılarak gemi üzerinde üretilmesi, bu maddeler için ayrı bir depolama alanı ihtiyacını da ortadan kaldıracaktır. Bu sistem halen kullanılan veya üretim aşamasındaki gemilere de uygulanabilecektir.

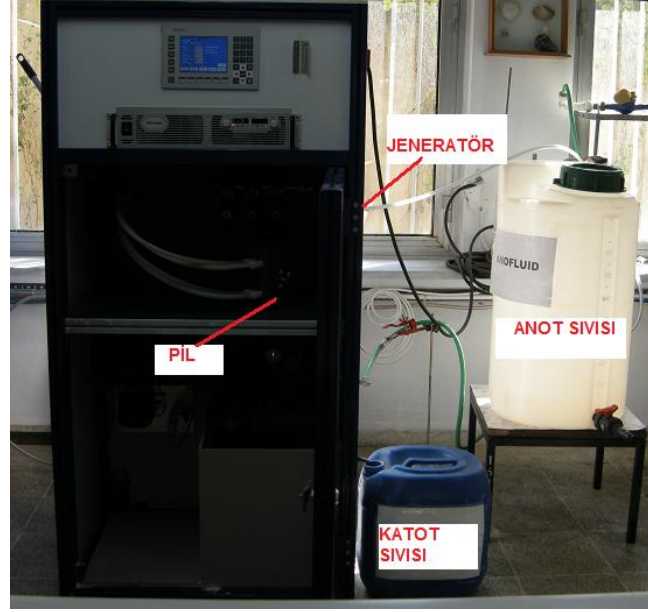
3.1 BaWaPla Projesinde Elektrokimyasal Uygulama Aşaması Konusunda İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi'nde Yapılan Çalışmalar

Projenin elektrokimyasal uygulama kapsamındaki en önemli hedefi deniz suyu ile çalışan ve çevreye zararlı her hangi bir yan ürün üretmeden, HOCl içeren dezenfektan üretecek elektrokimyasal pillerin üretilmesi ve geliştirilmesidir. Üretilen dezenfektanın yarılanma ömrünün tespiti, zararsız deşarjının sağlanması, korozyon riskinin incelenmesi de projenin diğer hedefleri arasındadır.

İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, deniz biyolojisi ve kimyası, deniz teknolojisi ve gemi inşaatı, makine ve üretim mühendisliği ve denizcilik endüstrisinden bir çok uzmanın yer aldığı bu projede elektrokimyasal hücre (pil) geliştirilmesi ve optimizasyonu konusunda aktif olarak görev almaktadır. Deniz Teknolojisi açısından bir yenilik olacak olan bu pil ile deniz suyundan dezenfektan olarak gemide (*onboard*) klor elde edilmesi ile maliyet düşürülürken, klorun taşınması ve saklanması esnasında karşılaşılabilecek güvenlik ve mekan kısıtlaması problemleri de bertaraf edilecektir.

Bu çerçevede İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi İlham Artüz Deniz Bilimleri laboratuvarında farklı teknik özelliklerde 5 farklı elektroliz hücre (pil) ile yapılan çalışmalar devam etmektedir. Elektroliz hücre deneyleri proje ortaklarından LVPG International GmbH (Almanya) tarafından sağlanan test sistemi ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 1). Söz konusu sistem standart bir elektroliz hücre ile halen yüzme havuzları, tavuk çiftlikleri gibi tesislerde doymuş NaCl su çözeltisinin elektrolizi ile klor ihtiva eden dezenfektan bir sıvı üreten bir

jeneratör olarak kullanılmaktadır. Bu sistem proje kapsamında deniz suyu elektrolizinde kullanılmak üzere geliştirilmektedir.



Şekil 1. Test Sistemi

Normal sıcaklık ve basınç koşullarında element halinde bulunan, yeşil-sarı renkte, havadan daha ağır zehirli bir gaz olan klor (Cl_2) su içerisinde hipokloröz asit (HOCl), hipklorit iyonu (OCl) ve kloraminler şeklinde bulunur. Serbest hazır klor olarak adlandırılan kipokloröz asit (HOCl) ve hipoklorit iyonunun (OCl) dezenfektan olarak etkisi bağlı hazır klor olarak adlandırılan kloraminlere kıyasla oldukça yüksektir. BaWaPla projesi kapsamında geliştirilmekte olan elektroliz hücre, deniz suyunun elektroliz edilmesi ile serbest klor bakımından zengin bir dezenfektan üretmektedir. Genel olarak elektroliz hücrelerde kutupların kısa süreliğine ters çevrilmesi ile elektrotlar üzerinde zamanla oluşan birikintilerin giderilmesi amaçlanır. Ancak projede geliştirilen hücrede kutupların ters çevrilmesi ile temizliğin yanı sıra, her iki akım yönünde uzun süreli dezenfektan (anot ve katot sıvıları) üretimi hedeflenmektedir.

Proje, laboratuvar boyutlarında uygulanan sistemin gemi üzerinde uygulanabilir boyutlara taşınıp, filtrasyon ve UV sistemleriyle birlikte kullanılarak optimize edilmesi ile tamamlanacaktır.

4. Sonuç

Gemilerin güvenli olarak seyretmeleri için gerekli olan balast suları yabancı istilacı türlerin istem dışı taşınmalarında önemli bir paya sahiptir. Bu türlerin yer değiştirmesi çevre ve insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra balıkçılık bölgelerini bozmakta, sahil endüstrilerinde biyolojik çökelti (fouling) oluşturmakta, kıyı ekonomilerini ve halk sağlığını tehdit edebilecek hale gelmektedir. Bu türlerin küresel maliyeti yılda on milyarlarca Euro'yu bulmaktadır. [26]

Yabancı istilacı türlerin balast suları ile transferini engellemek için bir çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Balast suyu arıtımı için yapılan çalışmalarda karşılaşılan en önemli problem deniz suyunun değişken karakteristiği ve gemi rotalarına bağlı olarak öncelikli organizmaların farklılık göstermesidir. Bu problemler hedef alınan organizmaların tümü üzerinde etkili olabilecek standart bir yöntemin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bir kaç basamaktan oluşacak kombine sistemler, kurulacak sistemin esnekliğini ve hedef alınan organizma yelpazesini genişletecektir.

Balast suları ve balast tanklarında biriken sediman ile taşınan zararlı organizmalar bir çok uluslararası kuruluşun ve ülkenin gündeminde yer almaktadır. 2009'dan sonra yürürlüğe girmesi beklenen "Gemilerin Balast Suları ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi"ne taraf olunması, denizcilik konusundaki sorumluluklarını IMO rehberliğinde yerine getiren ülkemizde de gündemde olan bir konudur. Sözleşmeye taraf olunmasa dahi sözleşmede yer alan "Bu sözleşmeye taraf olmayan devletlerle ilgili olarak, taraflar, bu devletlerin gemilerine bu sözleşmenin gereklerinden daha az etkin olmayan muamelede bulunacaklardır" [9] hükmü taraf devletlerin limanlarına giren gemileri bağlayacaktır. Ayrıca Avrupa Birliği Komisyonu'nun Haziran 2006'da Birliğin denizcilik politikalarını belirlemek üzere yayınladığı "Yeşil Kitap"da sözü edilen balast suyu yönetimi programlarının desteklenmesi gerektiği hususu adaylık sürecinde ülkemizdeki denizcilik sektörünü yakından ilgilendirmektedir [27].

Balast suyu ve tanklarda biriken sedimanın neden olduğu çevresel sorunların yanı sıra, bu probleminin denizcilik sektörüne getireceği ekonomik maliyetler ve yasal yükümlülükler nedeni ile bu konuda yapılacak çalışmaların yakından takip edilmesi gerekliliği açıktır.

Kaynaklar

- [1] Olenin S., Gollasch S., Jonušas S., Rimkutė I., 2000, En-route investigation of plankton in ballast water on a ship's voyage from Baltic Sea to Open Atlantic Coast of Europe, Internat. Rev. Hydrobiol., 85, 5-6, 577-596
- [2] Occhipinti-Ambrogi A., Savini D., 2003, Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystems, Marine Pollution Bulletin 46: 542-551

- [3] Gollasch S., 2006, Overview on introduced aquatic species in European and navigational and adjacent waters, *Helgol Mar. Res* (2006) 60: 84-89
- [4] Bax N., Williamson A., Aguero M., Gonzalez E., Geeves W., Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity, *Marine Policy* 27 (2003) 313–323
- [5] Knowler D., 2005, Reassessing the costs of biological invasion: *Mnemiopsis leidyi* in Black Sea, *Ecological Economics* 52 (2005) 187– 199
- [6] Van den Bergh J.C.J.M., ve diğ., 2002, Exotic harmful algae in marine ecosystems: an integrated biological–economic–legal analysis of impacts and policies, *Marine Policy* 26 (2002) 59–74
- [7] IMO, 1999, Focus on IMO, Alien invaders - putting a stop to the ballast water hitchhikers, IMO, International Maritime Organization, 25 Ağustos 1999 (www.imo.org)
- [8] Joachimsthal E.L., Ivanov V., Tay S.T.-L., Tay J.-H., 2004, Bacteriological examination of ballast water in Singapore Harbour by flow cytometry with FISH, *Marine Pollution Bulletin* 49 (2004) 334–343
- [9] IMO (International Maritime Organization) Convention, 2004, International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 13 Şubat 2004 (www.imo.org)
- [10] Pazouki K., ve diğ., 2008 Modelling, simulation and optimisation of an onboard ballast water treatment system, Internatioanl Conference on Biofouling and ballast Water Management, 5-6 Şubat 2008, Goa Hindistan
- [11] Globallast, 2001, Global Ballast Water Management Program, 1st International Ballast Water Treatment Standards Workshop Report, IMO London, 28-30 Mart 2001
- [12] USCG [United States Coast Guard], 2003, Regulatory Evaluation: Mandatory Ballast Water Management Program for U.S. Waters. Notice of Proposed Rulemaking USCG-2003-14273. StandardsEvaluation and Analysis Division (G-MSR-1), U.S. Coast Guard Headquarters, Washington, D.C.
- [13] Endresen Ø., ve diğ., 2004, Challenges in ballast water management, *Marine Pollution Bulletin* 48: 615-623
- [14] Drake L.A., Jenkins P.T., Dobbs F.C., 2005, Domestic and international arrivals of NOBOB (no ballast on board) vessels to lower Chesapeake Bay, *Marine Pollution Bulletin* 50 (2005) 560–565
- [15] Rigby, G., Hllagraeff G., Taylor, A., 2003, .Does Heat Treatment offer a superior ballast water treatment option?, 2nd Ballast Water Treatment R&D Symposium, IMO, London 21-23 July 2003

- [16] Gollasch, S., ve diğ., 2007, Critical review of the IMO international convention on the management of ships' ballast water and sediments, *Harmful Algae*, 6 (2007) 585-600.
- [17] Oemcke D., Mountfort D., 2001, Treatment of ballast water: Can we stop red tides arriving?, *NZWWA 2001 Annual Conference Papers*, 2001.
- [18] State Water Resources Control Board, 2002, Evaluation of Ballast Water Treatment Technology for Control of Nonindigenous Aquatic Organisms, California Environmental Protection Agency
- [19] Quilez-Badia, G., ve diğ., 2008, On board short time high temperature treatment of ballast water: A field trial under operational conditions, *Marine Pollution Bulletin*, 56, 127-135.
- [20] Gavand, R., M., ve diğ. 2007, Effects of sonication and advanced chemical oxidants on the unicellular green alga *Dunaliella tertiolecta* and cysts, larvae and adults of brine shrimp *Artemia salina*, A prospective treatment to eradicate invasive organisms from ballast water
- [21] Zhang, S., ve diğ., 2003, Effects of the chlorination treatment for ballast water, 2nd Ballast Water Treatment R&D Symposium, IMO, London 21-23 Temmuz 2003
- [22] Oğur R., Tekbaş Ö. F., Hasde M., 2004, Klorlama Rehberi (İçme ve Kullanma Sularının Klorlanması), Gülhane Askeri Tıp Akademisi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Ankara, 2004 .
- [23] Vianna da Silva, J.S., da Costa Fernandes, F., 2003, Use of chlorine for ballast water treatment, 2nd Ballast Water Treatment R&D Symposium, IMO, London 21-23 Temmuz 2003.
- [24] Kraft A. ve diğ., 1999, Electrochemical water disinfection Part 1: Hypochlorite production from very dilute chloride solutions, *Journal of Applied Electrochemistry*, 1999, 29 (861-868).
- [25] Kerwick M.I. ve diğ., 2005, Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection?, *Electrochimica Acta*, 2005, 50 (5270-5277).
- [26] Raaymakers S., 2003, Foreword , 2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium, Bildiriler Kitabı , IMO, Londra, 21-23 Temmuz 2003
- [27] Commission of The European Communities, 2006, Green Paper - Towards a future Maritime Policy for the Union: A European vision for the oceans and seas, Brussels, 2006, (<http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l66029.htm>)



GEMİ ÇELİK TEKNE AĞIRLIK DAĞILIMININ MODELLENMESİNDE BİR YAKLAŞIM: HACİMSEL ORANLAR YAKLAŞIMI

Ertekin BAYRAKTARKATAL¹, Alican KILINÇ²

ÖZET

Bu çalışmada bir geminin hacimsel oranlar yaklaşımı ile çelik tekne ağırlık dağılımının belirlenmesi uygulamalı olarak ele alınmıştır. Sonuçlar elde edilip, gerçek örnek gemilerin dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Sırasıyla gemi çelik tekne ağırlığı hakkında bilgi verilmiş, hacimsel oranlar yaklaşımı ile gemi çelik tekne ağırlığının dağılımı elde edilmiş ve gerçek çelik tekne ağırlıkları belli 4 adet örnek gemi kullanılarak karşılaştırmalı olarak arasındaki ilişki incelenmiş ve ön dizayn aşamasında kullanılmasının uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gemi, tekne ağırlığı.

1. Giriş

Bu çalışmada çelik tekne ağırlık dağılımının belirlenmesi için bir yöntem önerilecektir..Bu yöntem hacim – ağırlık ilişkisine dayanmaktadır. Hacimsel oranlar yaklaşımı sunulurken yöntem uygulamalı olarak ele alınmıştır.Yöntemin amacı ön dizayn aşamasında çelik tekne ağırlık dağılımının gerçeğe daha yakın tahmin edilip daha sağlıklı Boyuna Mukavemet hesabı yapabilmektir.

Yöntem ağırlık ve ağırlık dağılımları belli, inşa edilmiş dört adet gemi üzerinde uygulanarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sayısal örnekler için kullanılan gemilerin ana değerleri Tablo 1.1 de verilmiştir.

¹ . Dr., İ.TÜ. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, bayrak@itu.edu.tr , Tel: 0212 285 6422

²

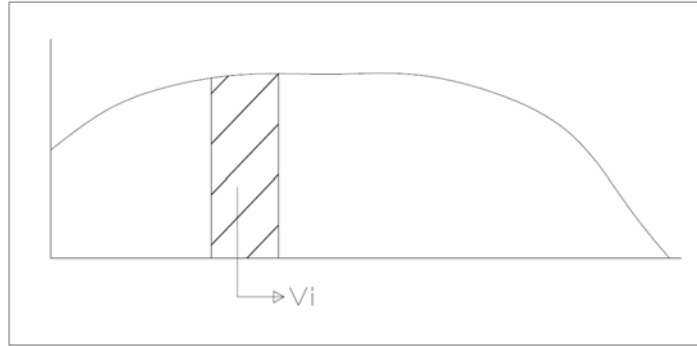
Tablo 1.1 Örnek Gemiler

GEMİ NO	LBP	B	D
1	77.305	15	7.2
2	94.144	16	8.2
3	94.828	16	9.7
4	134.7	21	10.6

2. Hacimsel oranlar yaklaşımı ile çelik tekne ağırlık dağılımının belirlenmesi

Hacimsel oranlar yaklaşımı, geminin ana güverteye kadar olan toplam hacminin toplam çelik ağırlığına oranlanmasına dayanır. Bu orandan faydalanılarak herhangi bir kesitteki dilim hacminin ağırlığı yaklaşık olarak elde edilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken konu ağırlığa dahil edilecek elemanların gemi boyunca sürekli karakterde olmasıdır. Bu nedenle hacimle çelik tekne ağırlığı arasında orana gidilmeden önce lokal karakterli elemanların ağırlığının örneğin enine perde, üst yapı vs. gibi toplam hesaplanan ağırlıktan çıkartılmasıdır. Bu yaklaşım, ön dizayn aşamasında önerildiği için bahsedilen bu ağırlık gruplarının ön dizayn aşamasında hesaplanması için deneyime ihtiyaç vardır.

İlk olarak toplam çelik tekne ağırlık dağılımı ampirik yöntemlerle veya benzer gemi mantığı ile belirlenir. Daha sonra en kesitleri alan eğrisi çizilir. En kesit alan eğrisinin her hangi bir diliminin hacmi V_i (Şekil 2.1) toplam hacim ise V_t , i diliminin ağırlığı W_i (Şekil 2.2) toplam ağırlık ise W_t olarak alınırsa aşağıdaki eşitlik yazılabilir.



Şekil 2.1 En kesit alan eğrisi

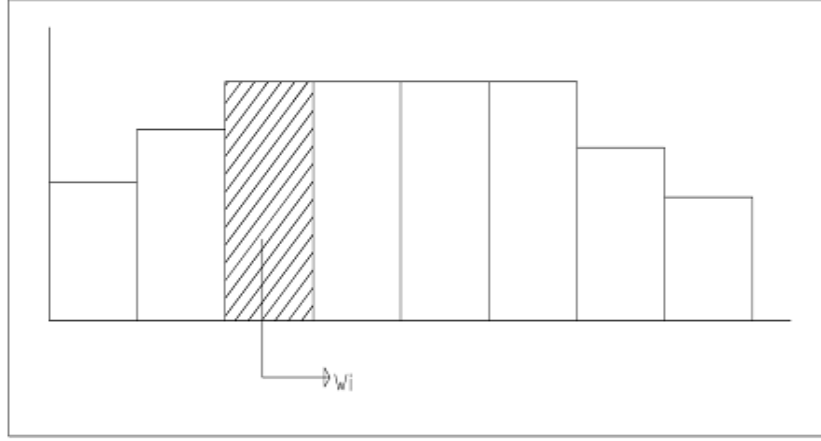
$$V_i/V_t = W_i/W_t$$

olup, bu eşitlikten faydalanılarak i diliminin ağırlığı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$W_i = (V_i W_t) / V_t$$

Ön dizayn aşamasında n aralıklı boyuna mukavemet hesabı yapılmak istenirse n adet dilim için yukarıda verilen bağıntı kullanılarak n adet W_i değeri bulunur. Dilim ağırlığının dilim kalınlığına bölünmesiyle de yayılı yük olarak yük dağılımı elde edilir (Şekil 2.2).

Unutulmaması gereken konu, yöntem uygulanırken yukarıda açıklandığı üzere üst yapı, kasaralar ve enine perdeler gibi lokal karakterli ağırlıkların ağırlık dağılımında yer almamasıdır. Bu bahsedilen ağırlıklar, ağırlık dağılımı elde edildikten sonra ilave edilebilir. Elde edilen ağırlık dağılımı geminin güverte yüksekliğine kadar olan kısmının ve buna gemi enine perdelerinin dahil olmadığı ağırlık dağılımıdır. Ön dizayn aşamasında ağırlık dağılımı hesabı yapılırken Bölüm 2 deki yöntemlerle hesaplanan toplam çelik tekne ağırlığından, üst yapı ve perdelerin ağırlıkları yaklaşık bir öngörü ile çıkartılmalıdır.



Şekil 2.2 Ağırlık dağılımı

3. Sayısal uygulamalar

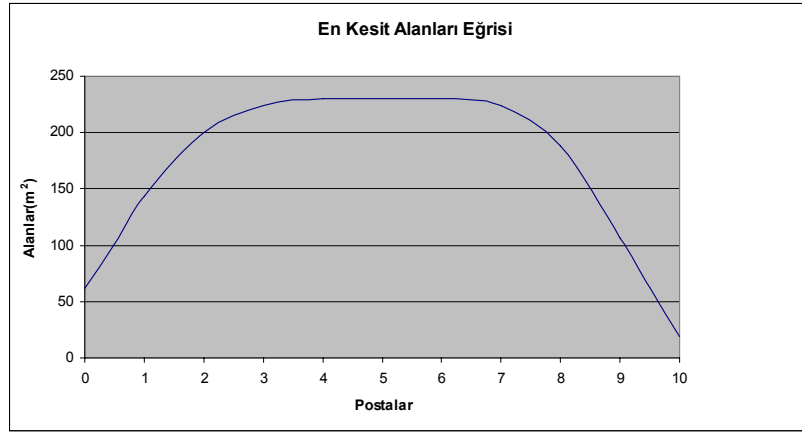
Bu bölümde bölüm 2 de anlatılan “hacimsel oranlar ile çelik tekne ağırlık dağılımının belirlenmesi” yönteminin uygulamalarına yer verilmiştir. Tablo 2 de verilen gemilerin gerçek ağırlık dağılımları ve toplam çelik tekne ağırlığı bilgilerinden yola çıkarak karşılaştırmalar yapılacaktır. Bu amaçla Gemi 3 için ayrıntılı bilgi verilecek diğer gemiler için ise sadece sonuçlar sunulacaktır.

Tablo 2 de verilen gemilerin hepsi üretim aşamasında Tribon M3, 3 boyutlu modelleme programı kullanılarak üretimi yapılmıştır. Gemiler hakkında işlenmiş toplam çelik ağırlığı ayrıca gemi 4 için elde edilen ekstra bilgiler programın birer çıktılarıdır ve oldukça güvenilirdir.

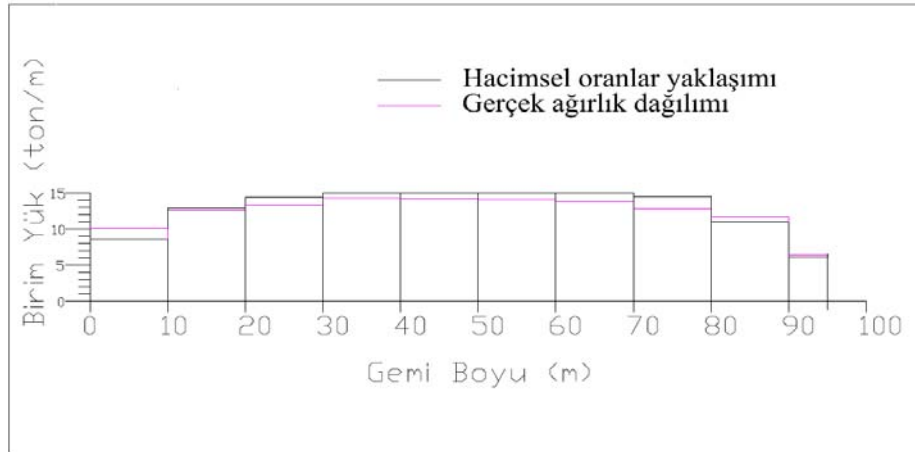
İlk adım enkesit alanları eğrisinin çizimidir. Gemi 3’ün ana güvertesine kadar enkesit alanlar eğrileri Şekil 3.1 de verilmiştir.

Daha sonra enkesit alanlar eğrisi gemi boyunca integre edilerek toplam hacim bulunur.

Gemi 3'ün ağırlık dağılımı belirlenirken, geminin gerçek çelik tekne ağırlığı kullanılarak ağırlık dağılımı karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 3.2). Ön dizayn aşamasında ise çelik tekne ağırlığı ampirik formüller veya diğer hesap yöntemleri ile yaklaşık olarak hesaplanabilir [1]. Bu aşamada ayrıca enine perde ve üstyapı gibi lokal karakterli ağırlık grupları da yaklaşık olarak hesaplanarak toplam ağırlıktan çıkartılır ve daha sonra dilim ağırlıkları (W_i) hesap edilir. Dilim ağırlıkları elde edildikten sonra hesaptan çıkartılan ağırlık grupları bulundukları bölgeye ilave edilirler.



Şekil 3.1 Gemi 3 en kesit alanları eğrisi



Şekil 3.2 Gemi 3 Ağırlık Dağılımı

Tablo 3.2 Gemi 3 Ofset Tablosu

Posta NO	WL0	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6
0	0	0	0	0.741	1.768	6.288	6.81
½	0	0.92	0.57	3.33	4.321	6.91	7.266
1	0.436	1.674	2.259	6.798	5.839	7.188	7.413
2	3.226	5.804	6.919	8	8	8	8
3	4.999	7.386	7.906	8	8	8	8
4	6.426	7.999	8	8	8	8	8
5	6.426	7.999	8	8	8	8	8
6	6.426	7.999	8	8	8	8	8
7	4.748	7.497	7.907	7.998	8	8	7.982
8	2.257	5.069	6.148	6.879	7.414	7.842	7.977
9	0.416	2.147	2.837	3.349	4.114	5.706	6.804
9 ½	0.087	1.304	1.677	1.749	1.915	3.404	4.917
10	0	0.514	0.989	1.164	0.52	0	1.828

Gemi 3 için toplam çelik ağırlığı **985 ton** (üst yapı ve kasara blokları ile enine perdelerin ağırlıklarının dahil edilmediği) olarak alınmıştır .Ana güverteye kadar toplam hacim ise 18288.14 m³ olarak hesaplanmıştır. Dilim uzunlukları ise Tablo 3.3 de verilmiştir. Bu dilimlere göre elde edilen dilim hacimleri ise Tablo 3.4 de verilmiştir.

Tablo 3.3 Gemi 3 Dilim Uzunlukları

Dilim	Gemi Kışından uzaklık (m)	
	Xmin	Xmax
1	0	10
2	10	20
3	20	30
4	30	40
5	40	50
6	50	60
7	60	70
8	70	80
9	80	90
10	90	94.8

Tablo 3.4 Gemi 3 Dilim Hacimleri

Dilim	$V_i(m^3)$
1	1011.6049
2	1830.3225
3	2155.2996
4	2274.9089
5	2333.6272
6	2250.9028
7	2210.4155
8	2119.9113
9	1474.7880
10	626.3613

Dilim hacimlerinin hesabından sonra hacimsel oranlar yöntemi ile her dilim için ağırlık hesabı Tablo 3.5 de verildiği gibi elde edilebilir.

Tablo 3.5 Her Dilimin ağırlık hesabı

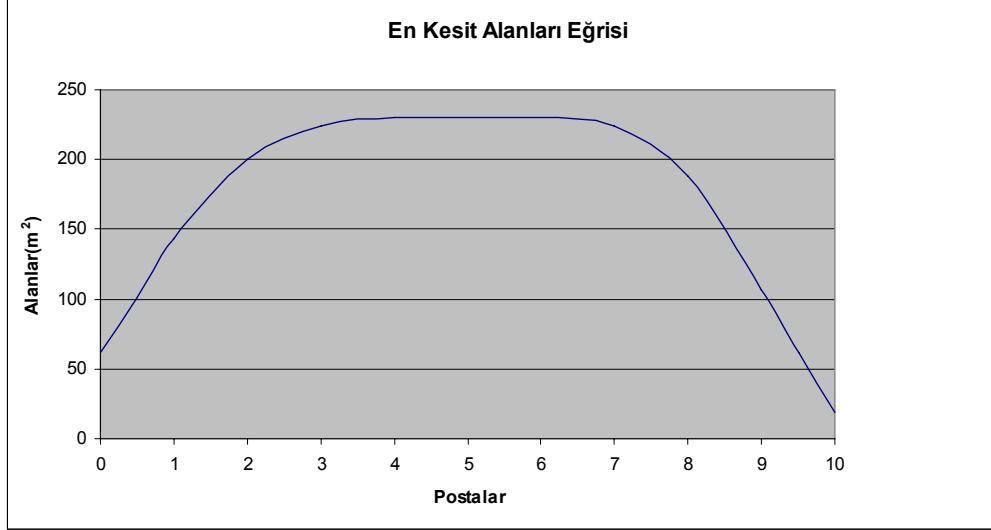
V_i	W_i
V_t	W_t
$W_i=$	$(V_i.W_t)/V_t$

Tablo 3.5 de W_t toplam çelik tekne ağırlığı (ön dizayn aşamasında ön görülen ağırlık) , V_i enkesit alanlar eğrisindeki dilimlerin her birinin hacmi, V_t ise enkesit alanlar eğrisinin gemi boyunca integrasyonu ile elde edilen toplam hacimdir. W_i ise i no'lu dilimin bulmaya çalıştığımız ağırlığıdır. Buna göre Gemi 3'ün W_i değerleri Tablo 3.6'daki gibi hesaplanmıştır.

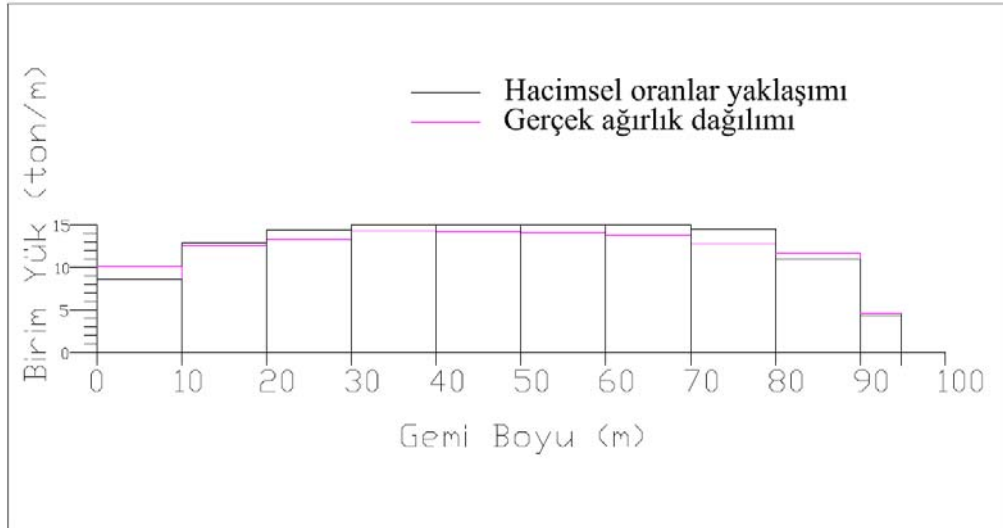
Tablo 3.6 Gemi 3 Dilim Ağırlıkları

Dilim	W_i (ton)
1	54.48508
2	98.58124
3	116.0845
4	122.5267
5	125.6892
6	121.2337
7	119.0531
8	114.1785
9	79.43214
10	33.73584

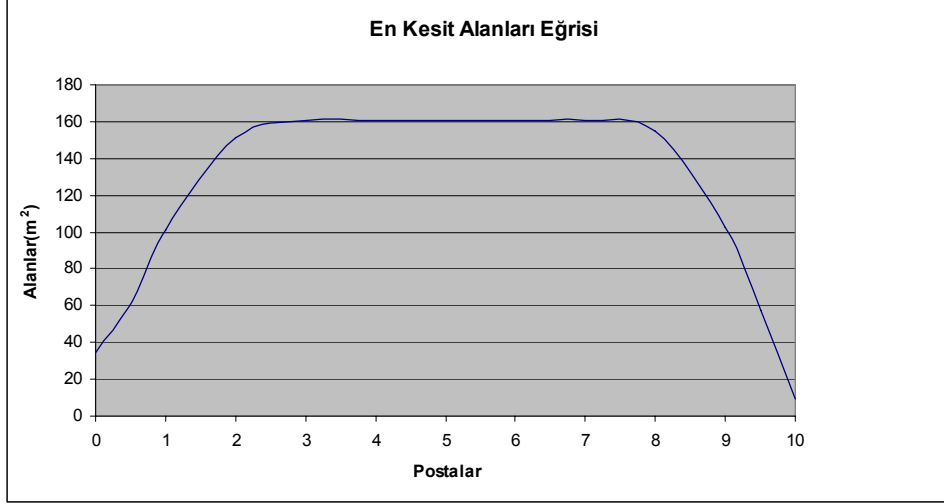
Diğer gemlerin en kesit alan eğrileri ile ağırlık dağılımları Şekiller 3.3-3.8’de verilmiştir.



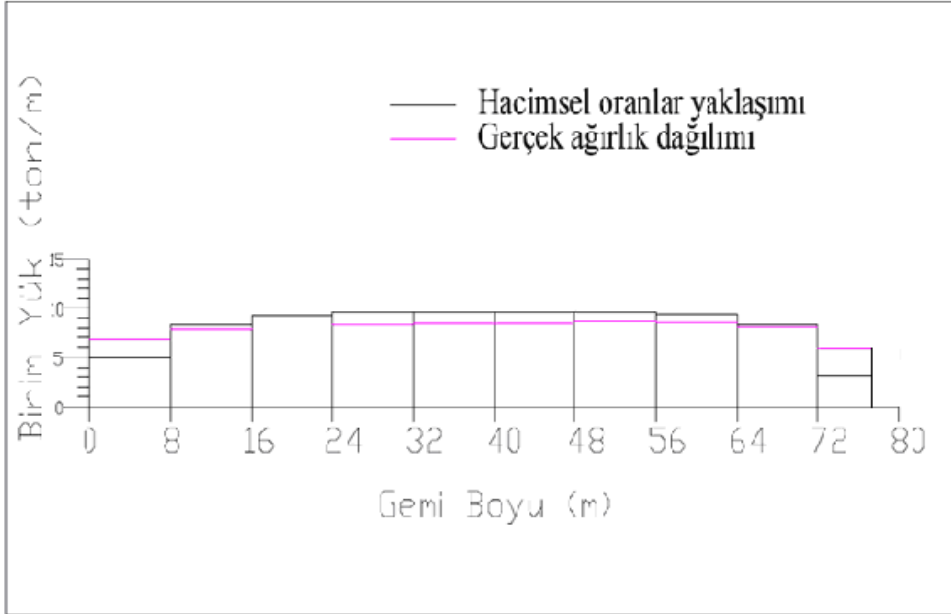
Şekil 3.3 Gemi 2 Enkesit Alanları Eğrisi



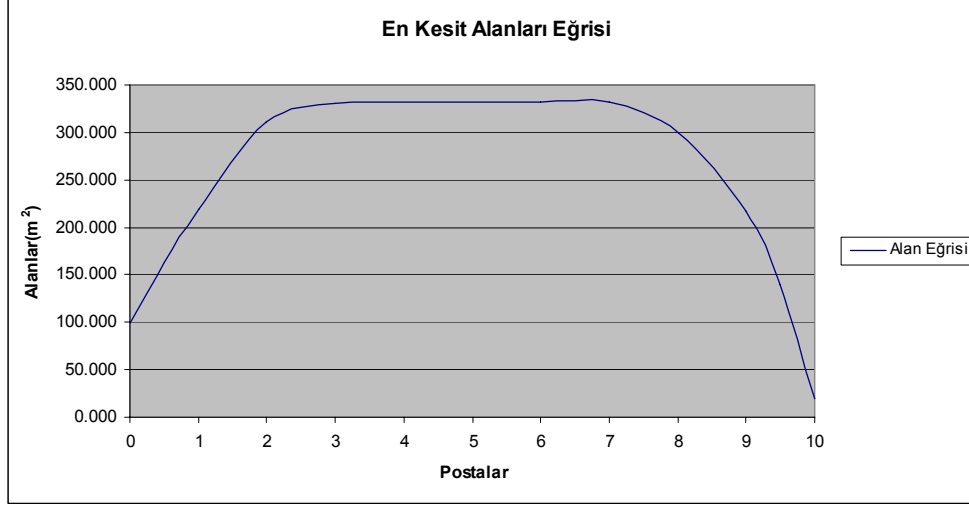
Şekil 3.4 Gemi 2 Ağırlık Dağılımı Eğrisi



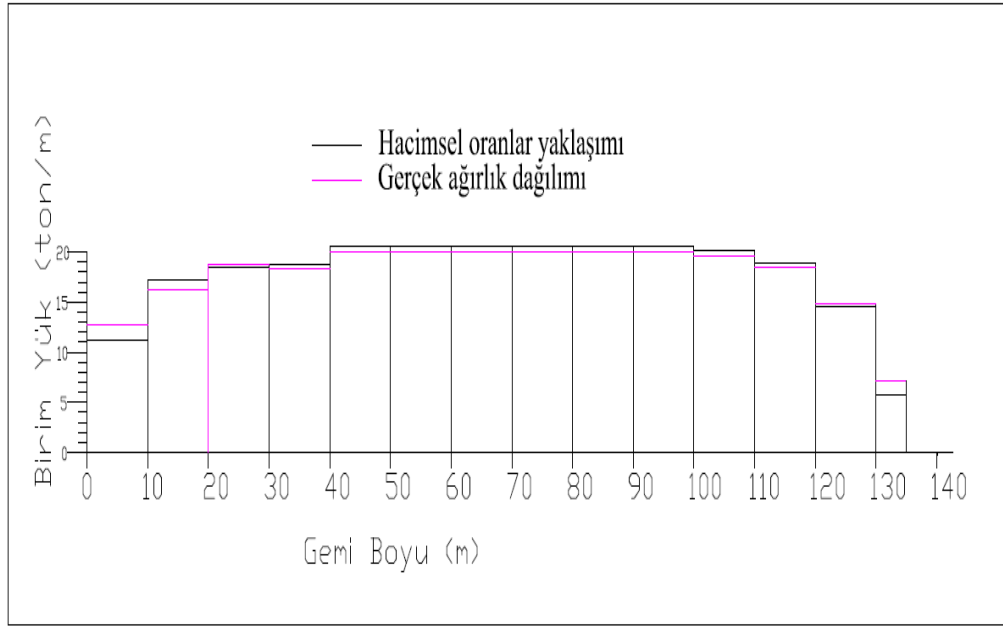
Şekil 3.5 Gemi 1 Enkesit Alanları Eğrisi



Şekil 3.6 Gemi 1 Ağırlık Dağılımı Eğrisi



Şekil 3.7 Gemi 4 Enkesit Alanları Eğrisi



Şekil 3.8 Gemi 4 Ağırlık Dağılımı Eğrisi

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Sonuç olarak karřılařtırılmalđ grafiklerden de görüldüğü gibi, hacimsel oranlar ile yaklaşımda bulunarak hesap edilen ağırlık dağılımlarının, gemilerin gerçek ağırlık dağılımlarına çok yakındır. Geminin değişen kesitleri ve hacimleri ile elik tekne ağırlık değişimi arasındaki ilişki görülmektedir.

Gerçek ve hacimsel oran yaklaşımı ile çizilen grafiklerden görülen, kı ve baş bölgelerinde ağırlık tahmininin gerçek ağırlık dağılımının küçük bir farkla altında çıktığıdır.

Bu farkın sebebi olarak gemilerde kı ve baş bölgelerde sık derin elemanların kullanılması ve klas kuruluşlarının kuralları dahilinde sac kalınlıklarındaki artış gösterilebilir. [2]

Ağırlık dağılımında baş ve kı bölgeleri için bir düzeltme faktörü kullanılarak daha hassas yaklaşımlar elde edilebilir.

Kaynaklar

- [1] Kadir Sarıöz, 1995, Gemi n Dizaynı, İstanbul Teknik Üniversitesi
- [2] Türk Loydu, 2006, Tekne Yapım Kuralları



GEMİLERİN DALGALAR ARASINDAKİ HAREKETİNİN İNCELENMESİ İÇİN BİR YÖNTEM: SIFIR HIZ HALİ

H. Barış KARAYEL¹, M. Barbaros OKAN²

ÖZET

Gemilerin dalgalar arasındaki hareketlerinin analizi önceleri gemi tasarımı açısından çok fazla önemsenmemiş ancak son 50 yılda batıda araştırmacıların dikkatini çekmiş ve giderek önem kazanmıştır. Günümüzde gemi inşa sanayimizdeki gelişmeler gözlemlendiğinde bu konunun Türkiye’de de ele alınmasının kaçınılmaz olduğu açıktır. Bu problemi teorik ve deneysel olarak iki yoldan incelemek mümkündür. İTÜ’de bazı sınırlayıcı varsayımlara dayanarak çalışan ve oldukça uygun sonuçlar veren bir program ve çok eski bir teknoloji ile çalışan bir dalga cihazı mevcuttu. TÜBİTAK desteği ile yapılan bir çalışmayla gemi hareketlerinin analizi için sınırlayıcı koşulların ortadan kaldırıldığı 3 boyutlu bir yöntem geliştirilmiş ve dalga cihazı ile hareket ölçme sistemleri güncellenmiştir. Bu tebliğde yeni geliştirilmiş olan program ve deneysel düzeneklerdeki güncellemeler tanıtılmakta ve bir Seri 60 formu için sıfır ileri hızda elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gemi hareketleri, Green fonksiyonu, Panel yöntemi

1. Giriş

Gemi hareketleri konusunda kayda değer ilk çalışmalar Frode ve Krylov tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarında gemilerin ince ve uzun yapılar olduklarını göz önüne alarak

¹ İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 0212 285 64 65, karayelhb@gmail.com

² Doç. Dr., İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 0212 285 65 15, okanmu@itu.edu.tr

ve gelen dalgaların geminin varlığından etkilenmediğini varsayarak gemi yüzeyi üzerindeki dinamik basınç alanının sadece bu dalgaların potansiyelinden hesaplandığını göstermektedirler. Froude-Krylov teorisi denen bu yaklaşım gemilerin dalgalar arasında hareket ederken denize aktardığı enerjiyi temsil eden yayılma ve gelen dalgaların geminin varlığı nedeniyle saçılması gibi etkileri içermemektedir. Bu yüzden yetersiz olan bu teoriyi geliştirmek için bir takım çalışmalar yapılmıştır. Önce teoriye yayılma olayındaki hareketin ivmesi ile orantılı olan ek su kütesinin etkisi ilave edilmiş daha sonra ise karşılaşma frekansı kavramı ortaya atılmıştır. Uzunca bir süre kullanılan bu teori, yayılma ve saçılma etkilerini hesaplayabilen yöntemlerin bulunması ile gelişerek bugün kullanılan şekle gelmiştir.

Froude-Krylov teorisinden sonra yapılan çalışmalar iki ve üç boyutlu çalışmalar olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Başlangıçta gemileri üç boyutlu olarak modellemek bilgisayar kapasitelerinin ötesinde olduğu için bazı varsayımlar kullanarak problemi mevcut bilgisayarlarda çözülebilir bir dizi iki boyutlu problemin toplamına indirgemek yoluna gidilmiştir. Daha sonraları bilgisayarların işlem ve hafıza kapasitelerinin artışı ile doğrudan üç boyutlu problemin çözümü için çeşitli programlar geliştirilmiştir.

Gemi hareketlerinin iki boyutlu analizi için üç farklı modelleme yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan ilki gemi genişliğinin gemi boyuna oranla çok küçük olduğu kabulünü yapan ince gemi yaklaşımıdır. İkinci kabul ise gemi draftının boyuna oranla çok küçük olduğu yassı gemi yaklaşımıdır. Üçüncü yaklaşım ise bu her iki yaklaşımdaki kabullerin geçerli olduğu narin gemi yaklaşımıdır. Bu üç modelleme yöntemi içinde en verimli olanı narin gemi yaklaşımı olmuştur. İlk defa Korvin-Krukovsky ve Jacobs tarafından yapılan bir çalışmada kullanılmıştır [1]. Bu çalışmada dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri incelenmiştir. Bu hareketlerin hidrodinamik analizi için ise de günümüzde de hala kullanılmakta olan dilim teorisi ilk defa kullanılmıştır. Salvesen, Tuck ve Faltinsen ile Ogilvie ve Tuck farklı yöntemler kullanarak dilim teorisini bir takım ekler yaparak bugün kullanılan hale getirmişlerdir [2, 3]. Dilim teorisi sayısal bir çözüm yöntemi olup her bir dilim için hidrodinamik katsayıları hesaplamaz. Başka yöntemlerle bulunan katsayıları gemi genelinde toplayarak en genel katsayıları bulmaya yarar. Bu yüzden katsayıların hesaplanması başka yöntemler ile gerçekleştirilir.

Gemi hareketleri probleminin iki boyutlu uzayda çözümü için gerekli olan hidrodinamik katsayıların bulunmasında üç farklı yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan ilki yarı dairesel kesitler kullanarak potansiyel teori ile hidrodinamik katsayıları hesaplayan Ursell'in yaklaşımıdır. Ancak yarı dairesel kesitlerin gemi formunu tamamen temsil edememesinden yetersiz kalmıştır. İkinci yöntem ise Ursell'in teorisi ile konform tasvir teknikleri kullanılarak elde edilen Lewis form yaklaşımıdır. Burada gemi formu Lewis formu denilen trigonometrik fonksiyonlarla temsil edilir. Üçüncü yöntem ise Frank'in close-fit yöntemidir [4]. Frank modellemeyi çizgi elemanlar yardımıyla yapmış hidrodinamik hesaplarda ise konform tasvir teknikleri yerine Green fonksiyonları yardımıyla potansiyel üzerine kaynak dağılımı teorisini kullanmıştır. Böylece hem modellemedeki sınırlamalar ortadan kalkmış hem de analizler gerçeğe yakın sonuçlar vermiştir. Ancak kullanılan Green fonksiyonu yüksek frekanslarda anormal sonuçlar vermektedir. İki boyutlu çalışmalarda yapılan

kabuller ve kullanılan çözüm yöntemleri Odabaşı ve Hearn tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir [5].

1970’li yıllardan itibaren iki boyutlu modellemelerin yetersizliğinden ve bilgisayarların da gelişimiyle birlikte üç boyutlu yaklaşımlar ön plan çıkmıştır. Geliştirilen yöntemlerde ağırlıklı olarak panel metodu kullanılmış ve problemin formülasyonunda iki farklı yol izlenmiştir. Geliştirilen ilk formülasyonlarda problem frekans uzayında ele alınmış ve bir dizi frekans için sonuçlar elde edildikten sonra Fourier dönüşümü ile zaman uzayına geçilmektedir. Bu formülasyonla ilk çalışmalar Faltinsen ve Michelsen [6] ile Hogben ve Standing [7] tarafından yapılmıştır. Her iki çalışmada ileri hız hali göz önüne alınmamıştır. Üç boyutlu çalışmalar içinde ileri hızı inceleyen kayda değer ilk çalışma Inglis ve Price’ın çalışması [8] olup ileri hareketler için Green fonksiyonları kullanılmışlar ve oluşan aşırı salınımları kontrol etmeyi başarmışlardır.

İlk zamanlarda frekans uzayında çalışmanın önemli bir nedeni de karışık denizlerde analizin nasıl yapılacağı konusunda geliştirilmiş bir yaklaşımın olmamasıydı. Ancak 1950’li yıllarda yazılan bir makale ile bu problemin çözümü konusunda bir adım atılmıştır. Bu makalelerinde St. Denis ve Pierson [9] karışık denizlerdeki hareketlerin düzenli dalgalarındaki hareketlerin süperpozisyonu ile elde edileceğini göstermişlerdir. Böylece bir dalga spektrumu vasıtasıyla düzenli dalgalarda elde edilen sonuçlardan karışık dalgalarındaki sonuçlara geçilebilmektedir.

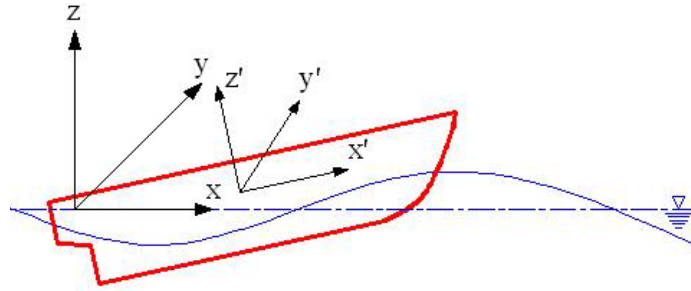
Üç boyutlu problemin çözümü için diğer formülasyon da zaman uzayında çözümdür. Bu yöntem ile ilgili ilk çalışma Liapis ve Beck tarafından yapılmıştır [10]. Zaman uzayında problemin çözümü her zaman aralığında hesapların tekrarlanmasından dolayı oldukça uzun sürmektedir. Bu yüzden uzun süre pek rağbet görmemiştir. Ancak zamanla bilgisayar kapasiteleri gelişip nonlineer etkilerin irdelenmesinin gündeme gelmesiyle bu incelemelere daha uygun olan zaman uzayında formülasyon daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır.

Buraya kadar ele alınan yöntemlerde daima gemi yüzeyindeki sınır koşulu dışındaki bütün koşulları sağlayan Green fonksiyonları kullanılmıştır. Üç boyutlu çözümlerde Green fonksiyonunun karakteri nedeniyle çözümlerde oldukça önemli salınım problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle Green fonksiyonlarının kullanımı dışında başka çözüm yöntemleri de geliştirilmektedir. Bunların arasında en kayda değer olanı sadece bölgedeki denklemi sağlayan Rankine kaynakları kullanıp diğer sınır yüzeylerine de kaynak dağıtıp bu sınırlardaki koşulları sağlayarak çözüme gitmeye dayanan sınır elemanları yöntemidir. Ancak bu yöntemle ilgili olarak yapılan çalışmalar henüz araştırma düzeyindedir.

Dünyada yapılan bu çalışmalar göz önüne alındığında Türk gemi inşaa sanayii için en uygun olan yaklaşımın frekans uzayında üç boyutlu panel yöntemi olduğuna karar verilmiştir. TÜBİTAK desteği ile böyle bir program geliştirilmiş aynı zamanda mevcut dalga cihazının demode kontrol teknolojisi güncellenerek deneysel çalışmalar için de olanak yaratılmıştır. Bu tebliğde yapılan çalışmalar anlatılacak ve bir örnek için elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

2. Teorik Çalışmalar

Gemi hareketleri problemi ele alınırken oluşturulan fiziksel modelde geminin rijit bir cisim gibi davrandığı varsayılır ve Şekil 1’de verilen iki farklı eksen takımı kullanılarak incelenir. Bunlardan ilki uzayda sabit olan xyz dik kartezyen eksen takımıdır. Diğeri ise geminin hareket merkezine bağlı olan ve sabit eksen takımına göre altı serbestlik dereceli hareket yapan x’y’z’ dik kartezyen eksen takımıdır. Fiziksel modelde, ayrıca, deniz suyunun viskozitesiz, sıkıştırılmaz ve çevrimsiz olduğu kabul edilerek akışkan hızlarının bir potansiyelden türetilmesi sağlanacaktır.



Şekil 1. Eksen takımları

Newton’un hareket yasalarından yola çıkarak bir geminin altı serbestlik dereceli hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir [11].

$$\sum_{j=1}^6 (m_{jk} + a_{jk}) \ddot{\xi}_k + b_{jk} \dot{\xi}_k + c_{jk} \xi_k = f_j^t \quad j=1,2,...,6 \quad (1)$$

Bu denklem sistemi gemiye etki eden atalet kuvvetleri ile çevreden gemiye etki eden hidrodinamik kuvvetlerin dengesini ifade etmektedir. Denklemin sol tarafında yer alan m_{jk} terimi kütle matrisi olup gemideki ağırlık dağılımına bağlı olarak

$$m_{jk} = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & Mz_c & 0 \\ 0 & M & 0 & -Mz_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Mz_c & 0 & I_4 & 0 & -I_{46} \\ Mz_c & 0 & 0 & 0 & I_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{46} & 0 & I_6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

şeklinde bulunabilir. Denklemdaki a_{jk} ve b_{jk} ise, yayılma problemi olarak bilinen, geminin hareketleri sonucu denize aktardığı enerji nedeniyle ortaya çıkan terimlerdir. Bu terimlerden ilki ivme ile orantılı kuvveti temsil eden ek su kütlesi, ikincisi de hız ile orantılı kuvveti temsil eden sönüm katsayısı olarak adlandırılırlar. Orta düzlemine göre geometrik simetri sergileyen bir form için

$$a_{jk} \text{ (ya da } b_{jk}) = \begin{bmatrix} a_{11}(b_{11}) & 0 & a_{13}(b_{13}) & 0 & a_{15}(b_{15}) & 0 \\ 0 & a_{22}(b_{22}) & 0 & a_{24}(b_{24}) & 0 & a_{26}(b_{26}) \\ a_{31}(b_{31}) & 0 & a_{33}(b_{33}) & 0 & a_{35}(b_{35}) & 0 \\ 0 & a_{42}(b_{42}) & 0 & a_{44}(b_{44}) & 0 & a_{46}(b_{46}) \\ a_{51}(b_{51}) & 0 & a_{53}(b_{53}) & 0 & a_{55}(b_{55}) & 0 \\ 0 & a_{62}(b_{62}) & 0 & a_{64}(b_{64}) & 0 & a_{66}(b_{66}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde olur. Bu matrislerin hesabı yayılma probleminin çözümüyle elde edilir.

Son olarak denklemin sol tarafındaki son terim olan c_{jk} ise hidrostatik doğrultma matrisidir. Bu terim, geminin yaptığı hareketler sonucu yerdeğiştirmelerle orantılı olan kuvvetlerle ilgilidir. Bu değerler gemi formu belli olduğundan hidrostatik bilgilerden kolaylıkla hesaplanır ve simetriden ötürü büyük bir kısmı sıfır olur. Matrisin sıfırdan farklı olan elemanları aşağıda verilmiştir [11].

$$c_{33} = \rho g A_{wp} \quad c_{35} = c_{53} = -\rho g M_{wp} \quad c_{44} = \rho g I_T \quad c_{55} = \rho g I_L \quad (4)$$

Hareket denkleminin sağ tarafında dalga kuvvetleri yer almaktadır. Dalga kuvvetleri iki kısma ayrılarak incelenebilir. Bunlardan ilki gelen dalganın geminin yüzeyinde oluşturduğu basınç nedeniyle ortaya çıkan Froude-Krylov kuvvetleridir ve bilinen bir dalga için kolayca hesaplanabilir [12]. İkinci bileşen gelen dalgaların geminin varlığından dolayı saçılmaya uğraması sonucu gemi yüzeyinde oluşan basınç nedeniyle ortaya çıkar ve hesaplanması saçılma probleminin çözümünü gerektirir.

Yayılma ve saçılma problemleri birer potansiyel problemidir. Her iki problemde de potansiyel deniz dibi, serbest su yüzeyi, ve radyasyon koşullarını sağlayan bir $G(x,y,z;\xi,\eta,\zeta)$ Green fonksiyonu ile gemi üzerine yayılmış $\sigma(\xi,\eta,\zeta)$ kaynak dağılımı cinsinden

$$\varphi(x,y,z) = \frac{1}{4} \iint_S \sigma(\xi,\eta,\zeta) G(x,y,z;\xi,\eta,\zeta) dS \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Böyle bir Green fonksiyonu

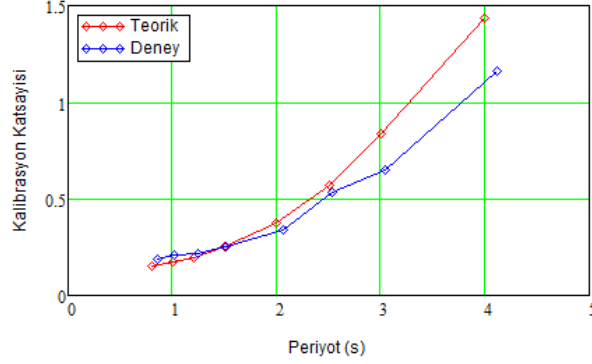
$$\begin{aligned}
G(x, y, z; \xi, \eta, \varsigma) = & \frac{1}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\varsigma)^2}} \\
& + \frac{1}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z+\varsigma+2d)^2}} \\
& + 2\nu_e \int_0^\infty \frac{ke^{-k(z+\varsigma)} J_0(kR)}{k-\nu_e} dk + i2\pi\nu_e e^{\nu_e(z+\varsigma)} J_0(\nu_e R)
\end{aligned} \tag{6}$$

formunda verilmiştir [13]. Problemin çözümü için gemi yüzeyindeki kaynak dağılımının gemi yüzeyindeki sınır koşulunu sağlayacak şekilde belirlenmesini yeterlidir.

Saçılma potansiyelinin analitik hesabı mümkün olmadığından sayısal bir yöntem kullanılır. Panel yöntemi olarak bilinen hesap tekniğinde gemi yüzeyi panellere ayrılır ve her panel üzerinde kaynak şiddetinin sabit olduğu varsayılır. Paneller üzerinde sabit olan kaynak şiddetleri panellerin merkezlerinde gemi yüzeyi sınır şartı sağlanacak şekilde belirlenir. İki yöntem arasındaki tek farklılık sınır gemi yüzeyindeki sınır koşulundan kaynaklanır ve yöntem iki probleme de aynı şekilde uygulanabilmektedir. Yöntemin uygulandığı Okan tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir [11].

3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar için İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi bünyesinde yer alan Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarındaki büyük model çekme havuzu kullanılmıştır. Havuz 160 m uzunlukta olup genişliği 6 m, derinliği ise 3.20 m'dir. Model gemiler havuz üzerinde yer alan bir araba vasıtasıyla çekilmektedir. Dalgalı deniz ortamını modelleyebilmek için havuzun sonunda bir dalga cihazı bulunmaktadır. Dalga cihazı çok eski bir teknoloji ile yapılmış olup sürekli arızalar vermesinden dolayı proje kapsamında mekanik kısmında iyileştirmelere gidilmiş, kumanda kısmı ise tamamen değiştirilerek dijital hale getirilmiş ve cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Dalga cihazı geometrik yapısından ve kontrol mekanizmasından dolayı belli bir periyot aralığında verimli çalışmaktadır. Yapılan teorik ve deneysel kalibrasyon çalışmalarının sonucunda bu periyot aralığının Şekil 2'de görüldüğü üzere 0.8 s ile 2.4 s olduğu görülmüştür.



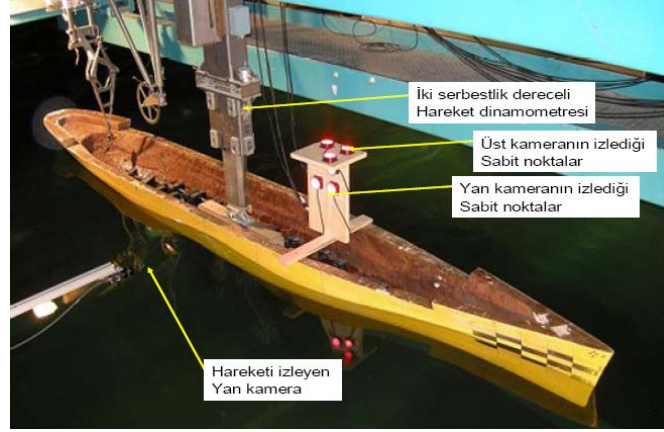
Şekil 2. Kalibrasyon değerlerinin karşılaştırılması

Üretilen dalgaların ölçümü için dalga problemleri kullanılmıştır. Bu problemler birbirinden izoleli iki iletken telden oluşmuş olup iki tel arasında oluşan akım farkı ile çalışmaktadır. Dalga cihazı, bulunduğu yerden havuz derinliğinin 4-5 katı bir mesafeye kadar sinüs dalgaları ile beraber hiperbolik dalgalarda ürettiğinden dolayı dalga problemleri, hiperbolik dalgaların sönmülebileceği bir mesafeye yerleştirilmiştir.

Havuzun yapısı gereği üretilen dalgalar havuzun her yerinde aynı olmayıp duvarlardaki sürtünme kayıpları nedeniyle dalgalar ilerledikçe bir miktar enerji kaybederler. Bundan dolayı gemi modeli dalganın ölçüldüğü yer olan dalga problemlerinin önüne konulmuştur. Model burada iki serbestlik dereceli hareketlere izin veren bir dinamometre ile model çekme arabasına bağlanmıştır.

Model deneylerinde hareket ölçümü hızlı kamera sistemi ile yapılmıştır. Kameralar modelin üzerinde yer alan noktaların zamana bağlı olarak hareketini takip ederek bu noktaların anlık koordinatlarını kaydeder. Bu noktalar kameranın rahatlıkla takip edebilmesi için parlak ledlerden yapılmıştır. Model üzerinde altı adet led bulunmaktadır. Bunlardan üçü model üzerinde düşey düzlemdeki bir plakanın üzerindedir ve bu plakaya dik doğrultudaki bir kamera ile izlenmektedir. Diğer üçü de yatay düzlemdeki bir plakadadır ve bu plakaya dik doğrultudaki diğer bir kamera tarafından takip edilmektedir (Şekil 3).

Normal şartlarda bir öteleme ve bir de dönme hareketi yapan model, gelen dalgaların havuzda bir miktar deforme olmasından dolayı hafif yalpa ve savrulma hareketleri de yapmaktadır. Bu hareketleri yapması sonucu yandan bakan kameranın derinlik algılaması bozulacağından üstteki kamera hatalara karşı bir önlem sağlamaktadır.



Şekil 3. Deney Düzeneği

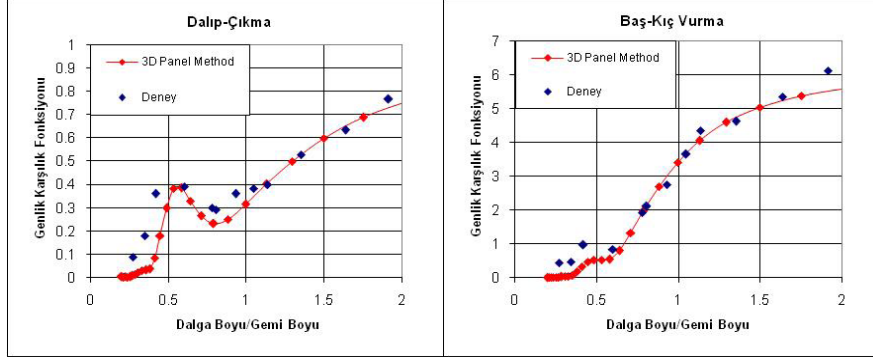
4. Bir Uygulama

Projenin teorik kısmı bittikten sonra FORTRAN programlama dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım blok katsayısı 0.60 olan bir seri 60 gemisine uygulanmıştır. Gemiye ait özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Seri 60 gemisi boyutları

L_{BP} [m]	4.064
L/B	7.50
B/T	2.50
C_B	0.60
Δ [Kg]	289
LCB (mastoriden % olarak)	1.5 (kıç)

Sıfır hız durumu söz konusu olduğu için Froude sayısı sıfır olup dalgaların gemiye baştan geldiği kabul edilerek dalga cephesi açısı (β), 180 derece olarak belirlenmiştir. Hazırlanan kod çalıştırılarak hareketlere ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca aynı modelin havuzda deneyleri yapılmıştır. Bu iki çalışmada da periyot aralığı 0.8 ile 2.2 s olarak belirlenmiştir. Programdan ve deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4 'de verilmiştir.



Şekil 4. Teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları

5. Sonuç

Bu projede sıfır hız durumu için bir program geliştirilmiş ve Seri 60 formu için sıfır hızda denenmiştir. Değişik dalga periyotları için yapılan hesaplar sonucu dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri için genlik karşılık fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen genlik-karşılık fonksiyonları deneysel sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Yapılan hesaplar özellikle genlik karşılık fonksiyonlarının dalga boyu ile gemi boyu oranının 0.5 civarında sergilediği maksimumlarını iyi bir hassasiyetle yakalamıştır. Dalga cihazı başarı ile çalıştırılmış ve hareketlerin ölçümleri yeni bir kamera sistemi kullanılarak doğru bir şekilde yapılmıştır. Bundan sonra;

- Program ileri hızları hesaplayacak şekilde geliştirilecek,
- Deneysel olarak ileri hızda hareket ölçmeleri yapılacak,
- Hesap ve ölçmeler altı serbestlik derecesini kapsayacak şekilde geliştirilecektir.

Teşekkür

Bu raporda anlatılmakta olan çalışma TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Gurubu tarafından desteklenen 106M481 Nolu ve ‘Gemilerin Dalgalar Arasındaki Hareketlerinin Analizi İçin Sayısal Bir Yöntem Geliştirilmesi: Teorik ve Deneysel Bir Çalışma’ adlı araştırma projesi kapsamında yürütülmüştür. Bu desteğinden ötürü TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Gurubuna teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] Korvin-Kroukovsky B. V., Jacobs W. D., Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves, Trans. SNAME, Vol 65, 1957, pp 590-632

- [2] Salvesen N., Tuck E. O., Faltinsen O., Ship Motions and Sea Loads, Trans. SNAME, Vol. 78, 1970, pp 250-287
- [3] Ogilvie T. F., Tuck E. O., A Rational Strip Theory of Ship Motions: Part I, The Univ. Of Michigan, Coll. Of Eng., Dept. Naval Arch. & Mar. Eng., Report No 013, 1969
- [4] Frank W., Oscillation of Cylinders in or Below the Free Surface of Deep Fluids, NSRDC Rep. No 2375, Washington DC, 1967
- [5] Odabaşı A. Y., Hearn G., Sea Keeping Theories: What is the Choice?, Trans. NECIES, Vol. 88, 1977, pp 1-32
- [6] Faltinsen O., Michelsen F. C., Motions of Large Structures in Waves at Zero Froude Number, Int. Symp. On the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, London, 1974, pp 91-106
- [7] Hogben N., Standing R. G., Wave Loads on Large Bodies, Int. Symp. On the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, London, 1974, pp 258-277
- [8] Inglis R. B., Price W. G., Calculation of the Velocity Potential of a Translating, Pulsating Source, Transactions RINA, Vol. 123, 1980, pp 163-175
- [9] St Denis M., Pierson W. J., On the Motion of Ships in Confused Seas, Trans. SNAME, Vol 69, 1953, pp 280-357
- [10] Liapis S. J., Beck R. F., Seakeeping Computations Using Time Domain Analysis, Proc. Of 4th International Symposium on Numerical Hydrodynamics, National Academy of Sciences, Washington DC, 1985, pp 34-55
- [11] Okan B., Gemilerin Düşük Hızlarda Hareketlerinin İncelenmesi İçin Sayısal Bir Yöntem. İ.T.Ü. Gemi İnşaatı Fakültesi Deniz Teknolojisi Bölümü Teknik Raporu No: TR 07/01, İstanbul, Haziran 2007.
- [12] Sabuncu T., Gemi Hareketleri, İTÜ Yayınları No: 1248, İstanbul 1983, pp 4-109
- [13] Wehausen J. V., Latoine E. V. Surface Waves, Handbuch der Physik Band IX, Part II, Springer Verlag, Berlin, 1960, pp 446-778



MEVCUT BİR TEKNENİN STABİLİTE PROBLEMLERİNİN ANALİZİ VE UYGUN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ

Sadık ÖZÜM¹, Bekir ŞENER², Hüseyin YILMAZ³

ÖZET

İnşa edilmiş teknelerde herhangi bir nedenle oluşmuş olan stabilite problemlerini çözmek için problemin iyi bir şekilde analizinin yapıp bu sorunlara cevap verecek çözümün ortaya koyulması gerekmektedir. Bu makalede stabilite problemi olan mevcut bir araştırma gemisinin durumu incelenmiştir. Mevcut projeler ve yapılan ölçümler ışığında bilgisayar ortamına aktarılan teknenin durumu tespit edilmiş ve belirtilen problemlerin kaynağı saptanmıştır. Problemlerin çözümüne yönelik yapılan çalışmalar sonrasında tekneye boy verilmesi kararlaştırılmıştır. Tekneye boy verme işlemi tamamlandıktan sonra yeni hal için durum tespiti yapılmıştır. Sonuç olarak teknenin ilk ve son durumu karşılaştırılmış ve uygulanan yöntemin etkisi ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Statik stabilite, doğrultucu moment kolu eğrisi

1. Giriş

Mevcut teknelerde herhangi bir nedenle, örneğin; dizayn hatası, uygunsuz imalat, kontrolsüz ağırlık artışı ve benzeri durumların sonucunda çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemlerin sonradan çözümü her zaman ek maliyet ve zaman kaybına neden olmaktadır. Fakat böyle bir problemi en optimum şekilde çözmek de özenli

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, sozum@yildiz.edu.tr

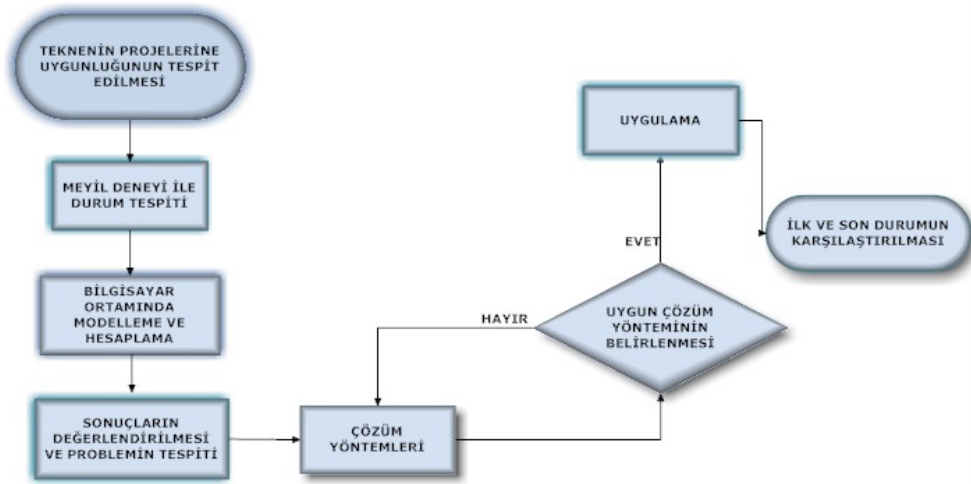
² Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, bsener@yildiz.edu.tr

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, hyilmaz@yildiz.edu.tr

bir çaba gerektirmektedir. Problem çok iyi bir şekilde analiz edilerek bu sorunlara cevap verecek en uygun çözümü ortaya koymak gerekmektedir.

Bu çalışmada mevcut bir teknenin stabilite değerlerinin analizi ve bu değerleri daha iyi duruma getirmek için önerilmiş çözüm ve bu çözüm sonrasında oluşan sonucun ilk durumla karşılaştırması anlatılacaktır. Çalışmada bahsedilecek olan tekne bir araştırma gemisi olup, açık sularda çalışabilmeyi amaçlamaktadır. Tekne hakkında belirtilen problemler doğrultusunda teknenin durum tespiti yapılmış ve problemin kaynağı belirlenmiştir. Daha sonra problemi gidermek için alternatif çözüm yöntemleri değerlendirilmiş ve bunlardan birisi uygulanmıştır. Sonuç olarak teknenin önceki ve sonraki durumu karşılaştırılarak uygulanan yöntemin etkisi irdelenmiştir. [1]

Tüm çalışmada izlenen yol Şekil 1'deki akış diyagramında gösterilmiştir.



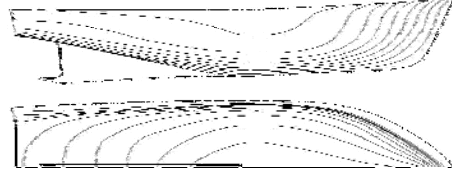
Şekil 1. Çalışma boyunca izlenen akış diyagramı

2. Mevcut Durumun Analizi

2.1 YUNUS Araştırma gemisi'nin ana boyutları

Şekil 2'de teknenin formu şematik olarak verilmiştir.

Tam Boy (L_{OA}) :	24 m
Kaimeler Arası Boy (L_{BP}) :	20 m
Su Hattı Boyu (L_{WL}) :	21,384 m
Genişlik (B) :	6,8 m
Derinlik (D) :	3,3 m
Su Çekimi (T) :	2,631 m
Deplasman (Δ) :	179,2 ton



Şekil 2. Teknenin profil ve su hattı resmi

2.2 Mevcut teknenin değerlendirilmesi

Bilgisayar ortamına aktarılan teknenin hidrostatik ve stabilite hesaplamaları yapılmıştır. Meyil deneyi yapılarak elde edilen boş tekne ağırlığı, LCG ve KG değerleri aşağıda gösterilmiştir.

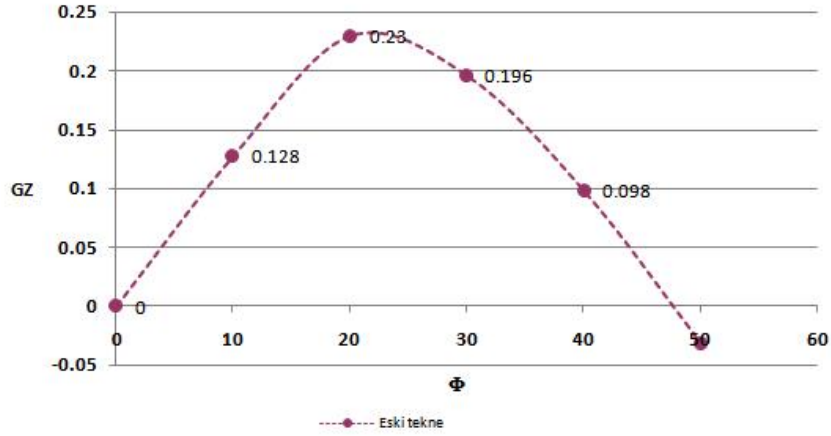
Boş Tekne :	132,904 ton
KG :	2,915 m
LCG :	-0,089 m (mastoriden başa)

Bu veriler ışığında teknenin denge durumuna ait sonuçlar Tablo 1'de belirtilmiştir. Tablo 1'de de görüldüğü üzere tekne başa trimlidir.

Tablo 1. Denge durumu (Tam yüklü durum)

Ağırlık Grupları	Miktar	Su Çekimi mastoride (m)	2,631
Boş Tekne	1	Deplasman (ton)	179,2
Mürettebat	1	Draft at FP m	2,671
Yakıt Tankı 1	100%	Draft at AP m	2,591
Yakıt Tankı 2	100%	Trim (+kıça) m	-0,079
Yakıt Tankı 3	100%	Blok Katsayısı	0,444
Yakıt Tankı 4	100%	LCB mastoriden (m)	-0,326
Yakıt Tankı 5	100%	LCF mastoriden (m)	-1,427
Yakıt Tankı 6	100%	KB m	1,706
Pis su tankı 1	100%	BMt m	1,714
Pis su tankı 2	100%	GMt düzeltilmiş (m)	0,702
Temiz su Tankı 1	100%	KMt m	3,420
Temiz su Tankı 2	100%	(TPc) (ton/cm)	1,144
Temiz su Tankı 3	100%	MTc ton.m	1,648
Toplam Ağırlık :	179,2 ton		

Tam yüklü durumda hesaplanan çeşitli açılardaki doğrultucu moment kolu eğrisi Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Teknenin tam yüklü haldeki GZ- ϕ eğrisi

Teknenin pozitif stabilite aralığının oldukça dar, doğrultucu moment kolu değerlerinin küçük ve dinamik stabilitesinin de zayıf olduğu Şekil 3'ten görülmektedir.

Yukarıda belirtilen değerler ve grafik sonucunda teknenin stabilitesinin yetersiz olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Tekne ağırlık hesaplarının ön dizayn aşamasında yeterli doğrulukta yapılmaması veya ağırlık merkezinin ön görülenden çok yüksek bulunması
- Tekne formunun amaca uygun olarak dizayn edilmemesi
- Tekneye sonradan ilave edilen kontrolsüz ağırlıklar

Bu ve bunun gibi muhtemel nedenlerden dolayı teknenin yetersiz stabilite parametrelerine sahip olduğu ve IMO stabilite kriterlerinin de bazılarını sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu açıdan teknenin açık denizlerde çalışmasının tehlikeli olacağı değerlendirilmiştir.[2]

3. Önerilen Çözüm Yöntemleri

3.1 Teknenin genişliğinin arttırılması

Genişlik artımına gitmek stabiliteyi pozitif yönde etkileyecektir. Fakat mevcut bir teknede genişliği arttırmak oldukça zor olmakla beraber çok fazla işçilik gerektirmektedir. Bu yöntem, uygulamadaki zorluklar açısından tercih edilmemiştir.

4.1 Yeni geminin ana boyutları ve ağırlık merkezinin koordinatları

Tam Boy (L_{OA}) :	31,850 m
Kaimeler Arası Boy (L_{BP}) :	27,850 m
Su Hattı Boyu (L_{WL}) :	29,215 m
Genişlik (B) :	6,8 m
Derinlik (D) :	3,3 m
Su Çekimi (T) :	2,445 m
Deplasman (Δ) :	252,2 ton

Boy verme işleminden sonra ağırlık merkezinin koordinatlarının belirlenmesi ve son deplasman hacminin elde edilmesi amacı ile yapılan meyil deneyi sonuçları aşağıdaki gibidir.

Boş Tekne _{yeni} :	186,118 ton
KG _{yeni} :	2,859 m
LCG _{yeni} :	0,025 m (mastoriden kıça)

5. Boy Verme İşleminin Sonraki Durum ve İlk Durumla Karşılaştırılması

5.1 Denge durumunun karşılaştırılması

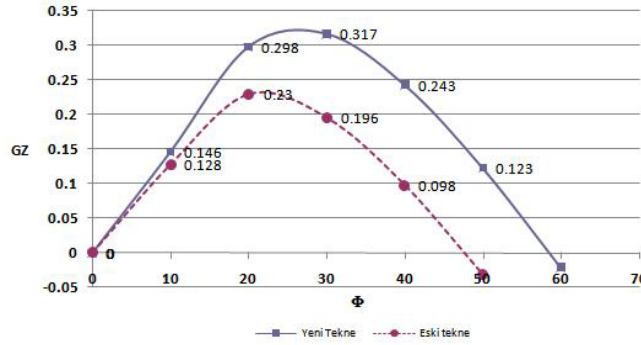
Tekneye boy verildikten sonraki denge durumuna ait sonuçlar Tablo2’ de gösterilmiştir. Tablo 2’de gösterildiği gibi boy verme işlemi ve kontrollü şekilde ağırlık çıkarılması sonucunda teknenin trim durumu daha istenilir bir düzeye ulaşmıştır.

Tablo 2. Yeni teknenin denge durumu (Tam yüklü durum)

Ağırlık Grupları	Miktar	Su Çekimi mastoride (m)	2,445
Boş Tekne	1	Deplasman (ton)	252,2
Mürettebat	1	Draft at FP m	2,470
Yakıt Tankı 1	100%	Draft at AP m	2,421
Yakıt Tankı 2	100%	Trim (+kıça) m	0,049
Yakıt Tankı 3	100%	Blok Katsayısı	0,491
Yakıt Tankı 4	100%	LCB mastoriden (m)	0,097
Yakıt Tankı 5	100%	LCF mastoriden (m)	1,399
Yakıt Tankı 6	100%	KB m	1,542
Pis su tankı 1	100%	BMt m	1,811
Pis su tankı 2	100%	GMt düzeltilmiş (m)	0,824
Temiz su Tankı 1	100%	KMt m	3,353
Temiz su Tankı 2	100%	(TPc) (ton/cm)	1,629
Temiz su Tankı 3	100%	MTc ton.m	3,351
Toplam Ağırlık=	252,2 ton		

5.2 Stabilite değerlerinin karşılaştırılması

Teknenin ilk ve son durumundaki doğrultucu moment kolu değerleri şekil 5'te karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



şekil 5. Teknenin ilk ve son durumundaki GZ-φ eğrisi

6. Sonuç

Bu çalışmada stabilite problemi olan mevcut bir araştırma gemisinin analizi yapılmıştır. Muhtemel zm nerileri değerlendirildiğinde tekneye boy verilmesi kararlaştırılmıştır. Bu işlem sonucunda mevcut araştırma gemisinin, boy vermeden önceki ve sonraki durumları incelendiğinde tespit edilen şikayetlerin büyük ölçüde giderildiği görülmektedir.. İlk olarak teknenin trim problemi çözülmüştür. Ayrıca tekne GZ-φ eğrilerinden de anlaşılacağı gibi açık denizler için daha güvenli hale getirilmiştir. Eklenen ağırlıktan daha fazla deplasman hacmi elde edildiği için fribord kazancı doğmuştur. Bu kazancın stabiliteye pozitif etkisi görülmektedir. Bunun dışında eklenen yaklaşık 8m'lik paralel gövde sayesinde i mekandaki hacim artışıyla personele daha rahat bir seyir imkanı sağlanmıştır. Teknenin boyunun artmasına ve ana makinenin değişmemesine rağmen teknenin maksimum hızında herhangi bir azalma gözlenmemiştir. Sonuç olarak bu çalışmada deniz taşıtları için stabilite parametrelerinin önemi vurgulanmaktadır. Bu nedenle tekne dizayn aşamasında iken stabilite değerleri ve onu etkileyen parametreler dikkatle kontrol edilmeli ve imalat bittikten sonra da dizayn aşamasında yapılan öngörüler dışına çıkılmamalıdır. Bu hem maliyetten hem de zamandan tasarruf etmeye imkan sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] zm, S., "Mevcut Bir Araştırma Gemisinin Durum Analizi ve Stabilitenin İyileştirilmesi", Proje, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Y.T.., Ocak 2007.
- [2] Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments - Resolution A749(18) and MSC.75(69). London, 2002.



İSTANBUL BOĞAZI'NDA İKİ TABAKALI AKIŞIN SAYISAL İNCELENMESİ

Serdar BEJİ¹, A.Cemil DİKİLİ², Barış BARLAS³

ÖZET

Bu çalışmada, derinlik integre edilmiş süreklilik ve momentum denklemleri kullanılarak tek ve iki tabakalı akıntılar sayısal olarak modellenmiş ve iki tabakalı hal için İstanbul Boğazı'na uygulanmıştır. Öncelikle, derinlik integrasyonu ile denklemlerin kartezyen koordinatlardaki en genel formları çıkarılmıştır. Tek ve iki tabakalı kararsız akış denklemlerinin sonlu farklarla sayısal çözümleri için yeni bir yaklaşım geliştirilerek örnek hesaplamalar ve testler yapılmıştır. İstanbul Boğazı'na ait genişlik ve su derinliği değerlerinin batimetrik haritalardan bilgisayara aktarılmasının ardından Boğaz'daki akıntılar derinlik integre edilmiş tek ve iki tabakalı akış denklemleri kullanılarak simüle edilmiştir. Genel olarak sonuçlar oldukça tatmin edicidir.

Anahtar kelimeler: İki tabakalı akış, sayısal çözüm, derinlik integre edilmiş denklemler, İstanbul Boğazı.

1. Giriş

İstanbul Boğazı, uluslararası öneme haiz bir iç su yolunun en kritik bölgesi olarak düşünülebilir. Yüksek düzeydeki uluslararası gemi trafiği ve özellikle ülkemizin en büyük şehri İstanbul'un boğazın iki yakasında yer alması buradan geçen gemilerin seyir emniyetini çok önemli

¹ Prof.Dr., İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fak., Maslak, İstanbul, sbeji@itu.edu.tr

² Y.Doç.Dr., İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fak., Maslak, İstanbul, dikili@itu.edu.tr

³ Y.Doç.Dr., İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fak., Maslak, İstanbul, barlas@itu.edu.tr

fax: 212 285 6454

kılmaktadır. Gemilerin seyir emniyetini etkileyen en önemli faktör, seyredilen bölgedeki akıntının şiddeti ve yönü olmaktadır. Bunun yanı sıra, herhangi bir deniz kazası durumunda boğaza yayılacak petrol veya kirleticilerin akıntılarla nerelere taşınacağını yaklaşık olarak da olsa kestirilebilmesi kirlilikle acil mücadele açısından büyük önem taşımaktadır. Bütün bunların ötesinde Karadeniz'e akan nehir ve akarsulardan kaynaklanan kirleticilerin boğaz yoluyla Marmara'ya ve Ege'ye taşınması da İstanbul Boğazı'ndaki akıntıların incelenmesinde çok sayıda neden olduğunu göstermektedir. Yirmibeş yıldan uzun bir süre önce TÜBİTAK Sualma Tesisleri Ünitesi için Çeçen ve diğ. [1] tarafından İstanbul Boğazı'nın iki tabakalı akışının hidrolik modellemesi konusunda hazırlanan rapor, günümüzde de en temel ve başarılı bir çalışma olarak yerini korumaktadır. Anılan çalışmada, boğaz geometrisi bilgisayar hesaplamalarını elverdiğince azaltacak şekilde basitleştirilmiş ve özel durumlar için hidrolik model analitik olarak çözülmüştür. Çalışmada verilen sonuçların bazıları günümüzde de daha karmaşık modellerin test edilmesi açısından kullanılmaktadır. Bilgisayar kapasitelerinin artmasıyla, İstanbul Boğazı'na ait iki tabakalı sayısal bir model Oğuz ve diğ. [2] tarafından geliştirilmiştir. Anılan model, bütün olarak Çeçen ve diğ. [1]'nin modelinden daha ayrıntılı olmasına karşın, Boğaz geometrisinde yine belirgin basitleştirmeler yapılmış ve Boğaz genişliği değişken fakat boy yönünde düz ve simetrik olarak modellenmiştir. Bu iki önemli çalışmanın yanı sıra İstanbul Boğazı konusunda pek çok araştırma olmasına karşın akıntıların modellenmesi üzerine anılan çalışmaların düzeyinde bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki akıntılar günümüz bilgisayar teknolojisi yardımıyla mümkün olduğunca gerçekçi bir geometri için sayısal olarak modellenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Oğuz ve diğ. [2]'ne benzer olarak derinlik integre edilmiş iki tabakalı akışa ait denklemler kullanılmıştır.

2. Derinlik İntegre Edilmiş Akış Denklemleri

Gözönüne alınan iki tabakalı akışı tanımlayan değişkenler ve koordinat sistemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Üst ve alt tabakalar için elde edilen dikey integre edilmiş süreklilik ve momentum denklemlerinde yatay hız bileşenlerinin dikey doğrultudaki değişimleri ihmal edilerek, ortalama değerleri kullanılır. Bunun için momentum denklemlerindeki ilk üç terimin açılmış halde yazılması ve o tabakaya ait süreklilik denkleminin uygun hız bileşeni ile çarpılmış halinin kullanılması gerekmektedir. Daha sonra toplam tabaka derinliklerini gösteren h_1 ve h_2 değişkenleri yerine, serbest su yüzeyinde ve ara yüzeyde ortalama tabaka kalınlıkları H_1 ve H_2 'den sapmaları ifade eden ζ_1 ve ζ_2 kullanılarak denklemler aşağıda verilen formlarda yazılabilir. Üst tabaka için süreklilik ve momentum denklemleri:

$$\frac{\partial(\zeta_1 - \zeta_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(H_1 + \zeta_1 - \zeta_2)u_1] + \frac{\partial}{\partial y} [(H_1 + \zeta_1 - \zeta_2)v_1] = \frac{Q_w}{\rho} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial u_1}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - f v_1 = N_h \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} \right) + \frac{(\tau_{sx} - \tau_{ix}) - Q_w u_1}{\rho_1 H_1} \quad (2)$$

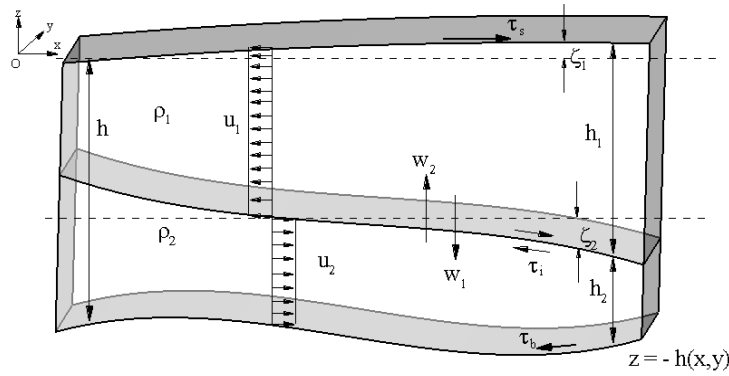
$$\frac{\partial v_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial v_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial v_1}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} - f u_1 = N_h \left(\frac{\partial^2 v_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_1}{\partial y^2} \right) + \frac{(\tau_{sy} - \tau_{iy}) - Q_w v_1}{\rho_1 H_1} \quad (3)$$

Alt tabaka için süreklilik ve momentum denklemleri:

$$\frac{\partial \zeta_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(H_2 + \zeta_2) u_2] + \frac{\partial}{\partial y} [(H_2 + \zeta_2) v_2] = -\frac{Q_w}{\bar{\rho}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial u_2}{\partial y} + g \frac{\partial \tilde{\zeta}}{\partial x} - f v_2 = N_h \left(\frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_2}{\partial y^2} \right) + \frac{(\tau_{ix} - \tau_{bx}) + Q_w u_2}{\rho_2 H_2} \quad (5)$$

$$\frac{\partial v_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial v_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial v_2}{\partial y} + g \frac{\partial \tilde{\zeta}}{\partial y} + f u_2 = N_h \left(\frac{\partial^2 v_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_2}{\partial y^2} \right) + \frac{(\tau_{iy} - \tau_{by}) + Q_w v_2}{\rho_2 H_2} \quad (6)$$



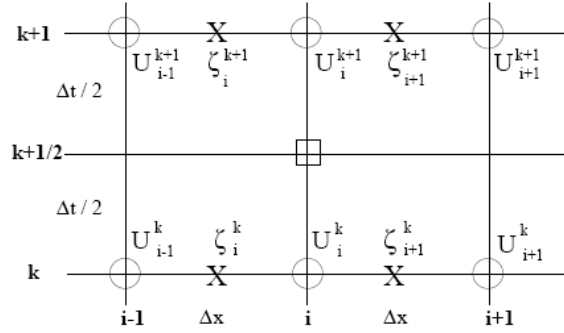
Şekil 1. Üç boyutlu ve iki tabakalı bir akışın genel görünüşü

Burada Q_w tabakalar arası net kütle debisi, $\bar{\rho}$ iki tabakanın ortalama yoğunluk değeri, r üst tabaka yoğunluğunun alt tabaka yoğunluğuna oranı ve $\tilde{\zeta} = r\zeta_1 + (1-r)\zeta_2$ dir. Bu çalışmada Mamayev [3] tarafından verilen $\rho = 1028.152 + 0.802(S - 35)$ bağıntısı kullanılmıştır. Burada S deniz suyunun tuzluluğunu göstermektedir. İki tabakalı bir akışta, tabakalar arasındaki

yoğunluk farkı keskin ve karışma düşük düzeydeyse, her iki tabakada da yoğunluğun farklı fakat sabit kaldığı varsayılır ve iki tabakanın az miktarda karışımından ötürü tabakalarda oluşan yoğunluk değişimi ihmal edilir. Bu çalışmada yoğunluğun her iki tabakada da sabit olduğu varsayılmıştır.

3. Sayısal Örnekler

Elde edilen hareket denklemlerinin İstanbul Boğazı sınırları ve batimetrisine uygun sayısal çözümlerinin elde edilebilmesi için uygun bir ayrıklaştırma ve sayısal çözüm yönteminin seçilmesi gereklidir. İntegre edilmiş denklemlerin ayrıklaştırılmasında iki zaman adımlı kaydırılmış Arakawa C-grid sistemi kullanılmış ve Şekil 2’de görüldüğü gibi formüle edilmiştir. Bu yaklaşım O’Brien-Hurlburt [5] yönteminin Arakawa C-grid sistemi üzerinde zamana göre Crank-Nicolson yaklaşımı ile gerçekleştirilen karma bir formülasyon olmaktadır. İstanbul Boğazı için sayısal çözüm yapmadan önce, en basit haldeki akış problemleri için denklemler ve sayısal çözüm yöntemi değişik koşullarda test edilmiştir. Tüm akış problemlerine (bir boyutlu ve tek tabakalı kararlı akış, bir boyutlu ve iki tabakalı kararlı akış, bir boyutlu ve tek tabakalı kararsız akış, bir boyutlu ve iki tabakalı kararsız akış) ait çözümler Beji ve diğ. [4]’de verilmektedir. Burada yalnızca bir boyutlu ve tek tabakalı kararsız akış, bir boyutlu ve iki tabakalı kararsız akışa ait iki örnek verilmektedir.

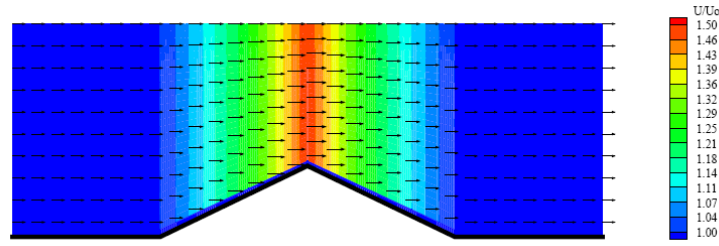


Şekil 2. Ayrıklaştırma sisteminin şematik gösterimi.

3.1 Bir boyutlu ve tek tabakalı kararsız akış

Bir boyutlu ve tek tabakalı kararsız akış denklemleri kullanılarak kararlı dengeye erişen bir durum Şekil 3’te görülmektedir. Kanal boyu $L=30000$ m, kanal genişliği $b=1000$ m, başlangıç

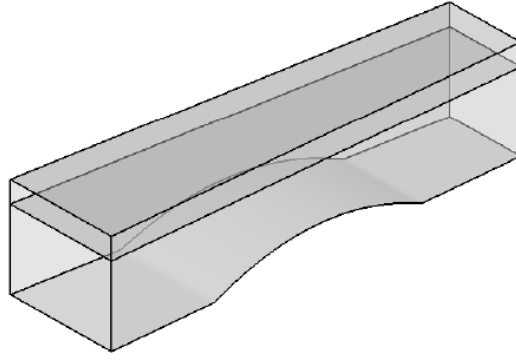
su derinliği $h=50$ m ve akıntı giriş hızı $u_0=1$ m/s alınmıştır. Dipteki üçgensel yükseltinin en üst noktasında su derinliği en düşük değeri olan 40 m'ye inmektedir.



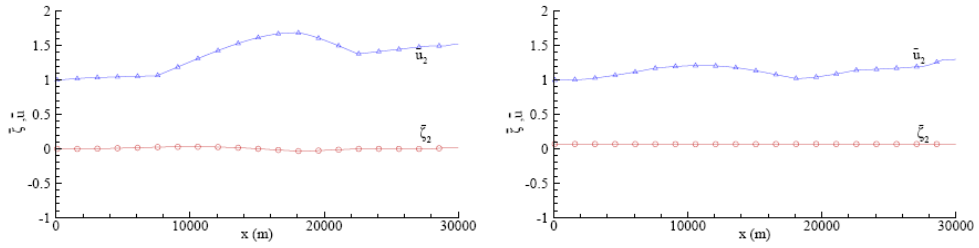
Şekil 3. Sabit kanal genişliği ve dipte üçgen bir yükselti için kararlı dengeye ulaşmış kararsız akış için kanal boyunca hızın değişimi.

3.2 Bir boyutlu ve iki tabakalı kararsız akış

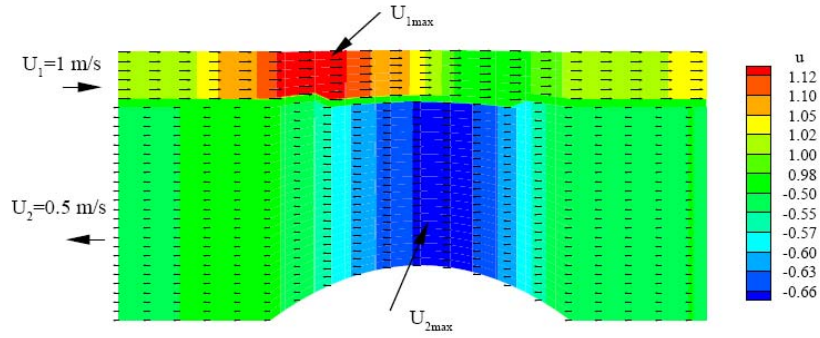
En genel formda verilen iki tabakalı akış denklemlerinde, yalnızca x yönündeki denklemler göz önüne alınarak ve tabakalar arasındaki gerilme değerleri ile eddy viskozite terimleri ihmal edilerek gerçekleştirilen bu simülasyonda İstanbul Boğazı'na ait boyutlar genelde korunarak, kanal boyu $L=30000$ m, başlangıç kanal genişliği $b_0=1000$ m ve kanal ortasındaki dip yükseltisi dışında kanal derinliği $h=70$ m olarak seçilmiştir. Sabit üst tabaka kalınlığı yine İstanbul Boğazı'na benzer olarak $H_1=15$ m ve değişken olabilen alt tabakanın maksimum kalınlığı $H_2=h-H_1=55$ m'dir. Kanal genişliği belirtildiği gibi $x=0$ 'da $b_0=1000$ m olarak başlamakta, 1/100 oranında azalarak kanal boyu olan 30000 m sonunda $b_L=700$ m genişlik değerine düşmektedir. Kanalın ortasında, toplam kanal uzunluğunun yarısı kadar bir bölgeyi kaplayan dairesel bir dip yükseltisi mevcut olup, bu yükseltinin kanalın tam ortasındaki en büyük değeri $h_0/5=14$ m'dir. Şekil 4'te kanalın üst ve alt tabakalarının sınırlarını ve dip batımetrisini gösteren perspektif bir görünüş verilmiştir.



Şekil 4. İki tabakalı akışta üst ve alt tabakanın perspektif görünüşü.



Şekil 5. İki tabakalı kararsız akışta üst tabakada (solda) ve alt tabakada (sağda) boyutsuz su seviyesi ile boyutsuz hızın değişimi.



Şekil 6. İki tabakalı kararsız akışta tabakalardaki hız değişimi.

İstanbul Boğazı'nda ölçülen üst ve alt tabakadaki akış hızlarından çok farklı olmayacak şekilde üst tabaka hızı $u_1=1$ m/s ve alt tabaka hızı $u_2=0.5$ m/s alınarak gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla iki tabakalı kararsız akışta üst tabakada (solda) ve alt tabakada (sağda) boyutsuz su seviyesi ile boyutsuz hızın değişimi ve iki tabakalı kararsız akışta tabakalardaki hız değişimi görülmektedir.

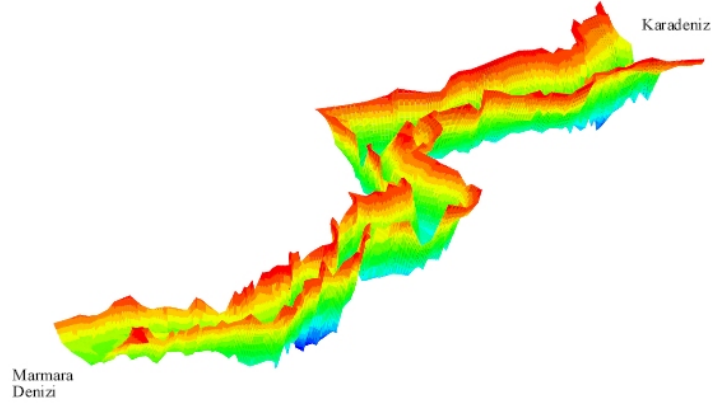
3.3 İstanbul Boğazı'nda akış

İstanbul Boğazı için bir boyutlu tek tabakalı ve bir boyutlu iki tabakalı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. İstanbul Boğazı için grid noktaları ve derinlikler T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan İstanbul Boğazı'na ait 2921-A ve 2921-B numaralı kuzey ve güney haritalarından elde edilmiştir. Haritalardan okunan toplam 1160 noktaya ait ham grid noktalarına ait batimetri verileri Beji ve diğ. [4]'de anlatılan yöntem kullanılarak, yüksek çözünürlükte grid noktaları ve batimetri haritaları elde edilmiştir. Şekil 7'de uydudan alınan bir fotoğrafta İstanbul Boğazı ve üretilen gridlerin yakın plan parçası ve Şekil 8'de İstanbul Boğazı batimetrisinin üç boyutlu perspektif görünüşü verilmektedir. İstanbul Boğazı'nın genişlikleri ve derinlikleri için haritalardan okunan veriler bir boyutlu simülasyonlara olanak verecek şekilde düzenlenmiştir. Bu amaçla, üst tabaka için harita üstünden okunan Boğaz genişlikleri temel alınırken, alt tabaka için ise yaklaşık olarak ara tabakanın ortalama derinliğine karşı gelen Boğaz genişlik değerleri belirlenmiştir. Bu yaklaşım önce Çanakkale Boğazı için Oğuz ve Sur [6] ardından da İstanbul Boğazı için Oğuz ve diğ. [2] tarafından kullanılmıştır. Çeçen ve diğ. [1] ise daha basit olarak her iki tabaka için de harita üstünden okunan üst tabaka değerleri almıştır. Üst tabaka için haritadan okunan veriler; alt tabaka için ise yüzeyden yaklaşık 20 m derindeki genişlik değerleri kullanılmıştır. Şekil 9, üst tabakaya $b_1(x)$ ve alt tabakaya ait genişlikleri $b_2(x)$ ve ortalama su derinliğini göstermektedir. Bir boyutlu simülasyonlarda kullanılan derinlik değerleri ise, Boğaz boyunca ortalama su derinliklerinin hesaplanmasıyla belirlenmiştir. İlk olarak, verilen denklemlerin Runge-Kutta integratörü ile sayısal çözümünden elde edilen tek boyutlu tek tabakalı kararlı akış yaklaşımı kullanılmış, üst ve alt tabaka simülasyonlarının ayrı ayrı gerçekleştirildiği hesaplamalarda, üst tabakanın Marmara Denizi çıkışında 15 m su derinliğine sahip olduğu ve bu derinliğin doğrusal bir değişimle Karadeniz çıkışında 55 m değerine ulaştığı varsayılmıştır. Alt tabaka içinse, tabakanın üst tarafının üst tabaka için kabul edilen eğimli hatta uygun değiştiği, alt tarafının ise Şekil 9 ile verilen Boğaz dibine ait batimetriyi izlediği varsayılmaktadır. Genişlik değerleri daha önce Şekil 8'de verilen değerlere uygun alınmakta olup, akıntı hızları Marmara Denizi çıkışında üst tabaka için yaklaşık 1.3 m/s ve alt tabaka için 0.3 m/s olacak şekilde belirlenmiştir. Bu koşullar altında üst ve alt tabaka için Boğaz boyunca hesaplanan hız değerleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Oğuz ve diğ. [2] tarafından yapılan bir boyutlu hesaplamalarda verilen akıntı hızı değerleriyle genel bir uyum olduğu gözlenmektedir. Ayrıntılarda olan farklılıkların temelde bir kaç nedeni vardır; öncelikle burada kullanılan hem Boğaz genişliği hem de su derinliği değerleri kaynak [2]'de kullanılan değerlerle aynı değildir.

Diğer önemli bir neden ise Şekil 10'da verilen hız değerlerinin iki tabaka arasında hiçbir etkileşim gözönüne alınmadan tamamen bağımsız tabakalar için elde edilen değerler olmalarıdır. İki tabakalı simülasyonda tabakalar arası etkileşim göz önüne alındığında sonuçların Oğuz ve diğ. [2] tarafında verilen sonuçlara daha yakın olduğu görülmektedir. Bir boyutlu ve iki tabakalı simülasyon için, kararlı akışa ait diferansiyel denklemler 4. mertebe Runge-Kutta sayısal integrasyon yöntemi ile Şekil 9'da gösterilen kanal genişlikleri ve su derinliği değerleri kullanılarak çözülmektedir. Akıntı hızları, bir önceki simülasyonda olduğu gibi üst tabaka için Marmara Denizi çıkışında $-x$ yönünde $u_1=1.3$ m/s ve alt tabaka için Karadeniz girişinde $+x$ yönünde $u_2=0.3$ m/s olarak alınmaktadır. Şekil 11 hesaplamalar sonucunda üst ve alt tabakaya ait akıntı hızı ve su seviyesi değerlerini göstermektedir. Bu grafik Şekil 10 ile kıyaslandığında üst tabakaya ait hız değerlerinde giriş bölgesindeki farklılıklar dışında önemli farklılıklar gözlenmemektedir. Bu farklılıkların nedeni ilk simülasyonda göz önüne alınmayan tabakalar arası etkileşimlerin bu simülasyonda hesaplamalarda yer almasıdır. Oğuz ve diğ.'nin [2] akıntı hızları için verdiği grafiklerle kıyaslandığında ise özellikle alt tabakada hesaplanan u_2 hızları için hesaplanan yerel tepe noktaları birebir örtüşmektedir.

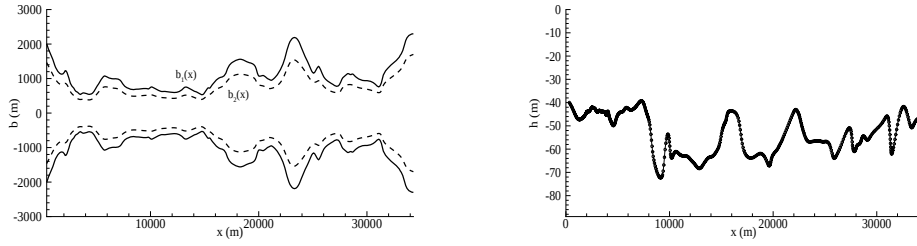


Şekil 7. İstanbul Boğazı'nın uydu fotoğrafı ve üretilen gridlerin yakın plan parçası.

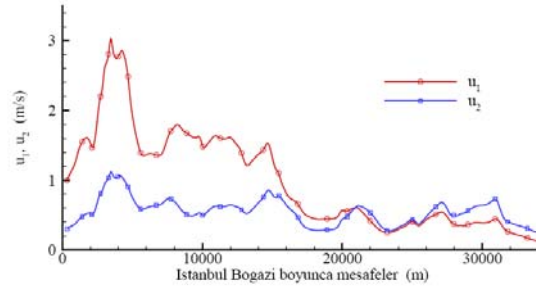


Şekil 8. İstanbul Boğazı batimetrisinin üç boyutlu perspektif görünüşü.

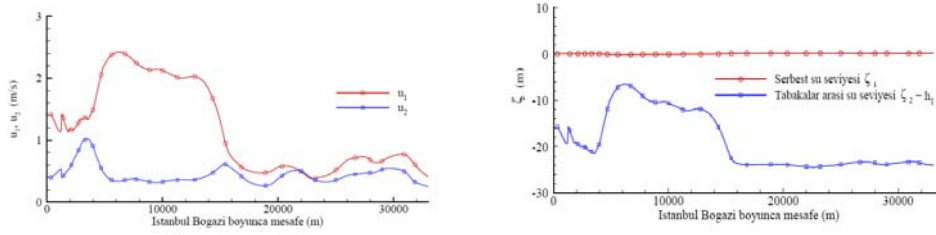
Şekil 11’de görülen yüzeydeki seviye değeri beklentilere uygun olarak Karadeniz çıkışına doğru hafifçe yükselmekte, tabakalar arası su seviyesi ise ciddi olarak düşmektedir. Yüzeydeki seviye yükselmesi Karadeniz çıkışında 16 cm olarak hesaplanmaktadır ki, bu değer genelde ölçülen değerlerle büyük bir uyum içindedir. Öte yandan, iki tabaka arasındaki seviye düşüşü 25 m civarında hesaplanmaktadır. Bu değer beklentilerin bir miktar altında olmakla beraber, bu farkın hassas olarak gelişen hidrolik sıçramanın başlangıç hız değerlerine sayısal etkiyle ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. İstanbul Boğazı’nda bir boyutlu hesaplamalarda üst tabaka $b_1(x)$ ve alt tabaka $b_2(x)$ için kullanılan genişlik (sol) ve ortalama su derinliği (sağ) değerleri.



Şekil 10. İstanbul Boğazı'nda üst ve alt tabaka için ayrı ayrı bir boyutlu hesaplamalar sonucu elde edilen akıntı hızı değerlerinin Boğaz boyunca değişimi.



Şekil 11. İstanbul Boğazı'nda bir boyutlu iki tabakalı hesaplamalar sonucu elde edilen üst ve alt tabakaya ait akıntı hızı (sol) ve su seviyesi (sağ) değerlerinin Boğaz boyunca değişimi

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, hesaplamalarda tasarruf sağladığı ve yeterince doğru sonuçlar verdiği kabul edilen derinlik integre edilmiş süreklilik ve momentum denklemleri kullanılmıştır. İstanbul Boğazı'na ait kıyı hatları ile su derinliği değerleri kullanılarak Boğaz'daki akıntılar derinlik integre edilmiş tek ve iki tabakalı akış denklemleri kullanılarak simüle edilmiştir. Sonuç olarak, gerek test simülasyonlarından, gerekse İstanbul Boğazı'na ait simülasyonlardan elde edilen değerler oldukça tatmin edicidir. Gelecekte, kararsız akış simülasyonlarına rüzgar etkisinin de dahil edilmesi yararlı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 105Y127 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Çeçen, K., Bayazıt, M., Sümer, M., Güçlüer, Ş., Doğusal, M., Yüce, H., İstanbul Boğazının Oşinografik ve Hidrolik Etüdü-I, TÜBİTAK Sualma Tesisleri Ünitesi, Kesin Rapor No: 24, İTÜ İnşaat Fakültesi, Hidrolik ve Su Kuvvetleri Kürsüsü, (1981).
- [2] Oğuz, T., Ozsoy E., Latif, M.A., Sur, H.I., Ünlüata, Ü., Modeling of Hydraulically Controlled Exchange Flow in the Bosphorus Strait, J. of Physical Oceanography, 20(7), 945-965, (1990).
- [3] Mamayev, O.I., Temperature-Salinity Analysis of World Ocean Waters. Elsevier, Amsterdam, (1975), 374s.
- [4] Beji, S., Dikili, A.C., Barlas, B., İstanbul Boğazındaki Akıntıların Sayısal Modellenmesi, TÜBİTAK ÇAYDAG Rapor No:105Y127, Ankara, (2008).
- [5] O'Brien, J.J., Hurlburt, H.E., A numerical model for coastal upwelling, J. of Phys. Oceanogr., 2, 14-26, (1972).
- [6] Oğuz, T., Sur, H.I., A two-layer model of water exchange through the Dardanelles Strait, Oceanologica ACTA, 12(1), 23-31, (1989).



BULANIK KARAR VERME YÖNTEMİ VE ÇOK NOKTADAN BAĞLI SİSTEMLERDE UYGULANMASI

Ayhan MENTEŞ¹, İsmail H. HELVACIOĞLU²

ÖZET

Bu çalışmada, çok noktadan bağlı bir tanker-şamandıra sisteminin seçimi üzerine bulanık çok öz-nitelikli karar verme (FMADM) uygulaması verilecektir. Buradaki amaç, değişik çevre yüklerine maruz kalan bir tanker-şamandıra sistemi için en uygun bağlama şeklinin bulunmasıdır. Tanker-şamandıra sisteminin dizaynında ilk yatırım maliyeti, bakım-tutum-işletme maliyeti, bağlama sayısı ve şekli, halat açısı, tanker yer değiştirme miktarı vb. gibi dizayn alternatif ve öz-niteliklerini hesaba katan, matematik modellere dayanan, petrol yükleme-boşaltma gibi kullanım amacına bağlı özellikleri kapsayan bir FMADM yöntemi ile çözüm karar destek sistemi geliştirilmiştir. Önerilen FMADM yönteminin ana yapısı ve çerçevesini oluşturan bir ön bilgi verilmiş olup, vaka çalışması üzerinde uygulaması verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karar Verme; Grup Karar Verme; Bulanık Küme; Bulanık Çok Öz-nitelikli Karar Verme; Tanker Palamar Bağlama Sistemleri.

1. Giriş

Endüstride pek çok işlem sürecinde etkin karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Karar Verici (DM), geliştirilmiş olan karar algoritmalarını kullanarak ya da yeni algoritmalar geliştirerek üretimin her aşamasında mevcut alternatifler arasından doğru seçimler yapabilmek için etkin kararlar vermek zorunda kalır.

Çok kriterli karar verme (MCDM); çok öz-nitelikli karar verme (MADM) ve çok amaçlı karar verme (MODM) olarak ikiye ayrılmaktadır. MADM eldeki çoklu ve çelişen öz-niteliklerle tanımlanan alternatifler arasında tercih yapma esasına dayanırken, MODM birbirleriyle çelişen amaçlar kümesiyle en iyi alternatifini dizayn etmeye çalışır.

¹ Y.Müh., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 34469 Maslak İstanbul.
mentesh@itu.edu.tr, Tel: (212) 285 63 93

² Doç. Dr., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 34469 Maslak İstanbul.
email: ismailh@itu.edu.tr, Tel: (212) 285 63 91

Bir problemin çözümünde kullanılan karar matrisindeki oranların bulanık olduğu durumlarda, mevcut MADM yöntemleri yetersiz kalacağı için, bulanık sayıları hesaba katan FMADM yöntemleri kullanılır. Bulanık mantık; çok karmaşık, tanımlamalarında belirsizlik içeren ve geleneksel yöntemlerle oluşturulamayan sistemlerin elde edilmesine ve çözülmesine olanak sağlar.

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında Zadeh [1] tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek bir çok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir bilim dalı olmuştur. Bulanık mantık temelde, insan düşünüş tarzını örnek alır. Günlük hayatta sıklıkla kullandığımız yüksek, biraz yüksek, çok yüksek gibi sözel terimler üzerine kurulmuştur.

Tanker-şamandıra bağlama sistemi dizaynında, gerek bağlama tipi, gerekse bölgedeki çevresel koşulların bilgisinden başlayarak, bağlanan tankerin deniz davranışının belirlenmesi, dizayn metodlarının uygulanması, malzeme seçimi, bakım ve bölge operasyonlarının tanımlamasına kadar pek çok bulanık faktör etkili olmaktadır. Bulanık mantığı içine katan bir yaklaşım, pek çok belirsizliğin olduğu tanker – şamandıra bağlama sistemlerinde ideal bağlama sistemi seçimi için uygun olacaktır.

Gemi ve deniz yapıları bağlama sistemlerinde bulanık mantık yeni bir kavramdır. Literatürde, mühendislikte modern yöntemler adı altında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yamamoto ve Mooroka [2] yarı batık platformların dinamik yerleştirme sistemi üzerinde bulanık kontrolü uygulamıştır. Liu ve diğerleri [3] ve Ren ve diğerleri [4], FPSO sisteminin emniyet analizini, tahmini ve kesin muhakeme yöntemleriyle modellemiştir. Carbono ve diğerleri [5], çevre yüklerinin etkisindeki yüzen bir yapının bağlama hatları dağılımını genetik algoritma kullanarak modellemiş, cismin yer değiştirme miktarını minimize etmeye çalışmıştır. Simoes ve diğerleri [6], derin su kabulü altında yüzen üretim, depolama ve boşaltma gemisi (FPSO) ve servis gemisine gelen bağlama kuvvetlerinin hesabı için sinir ağları simülatörü kullanmıştır. Shafieefar ve Rezvani [7], yüzen platformların bağlama dizaynının optimizasyonu için genetik algoritmayı kullanmıştır.

Bu çalışma şu kısımlardan oluşmaktadır: İkinci bölümde, bulanık karar verme ve kullanılacak yöntem hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü bölüm, çevresel yüklerin hesabını ele almaktadır. Dördüncü bölüm yöntemin uygulanma aşamalarını, son bölüm ise çalışmanın özetini ve bundan sonraki yapılacakları ifade etmektedir.

2. Bulanık Çok Öz-nitelikli Karar Verme (MADM)

Bulanık ortamda karar mekanizması; Bellman ve Zadeh [8] tarafından, amaçların ve belirsizliklerin doğada bulanık olduğu bir karar süreci olarak belirlenmiştir. Amaç ve belirsizlikler, sınırları net olmayan alternatif grupları oluşturmaktadır.

Genelde belirli bir amaca sahip çok öz-nitelikli karar verme problemleri, bir alternatif kümesi için alternatiflerin sıralanması ve/veya bir alternatifin seçimini esas alır. Sınıflandırma değişen derecede öneme sahip sayısal sözel veya bulanık değişkenler atılarak yapılır.

2.1. Üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonu veya karakteristik fonksiyon, E evrensel kümesine ait bir x elemanın, A alt kümesine ait olma derecesini veren bir fonksiyondur ve $\mu_A(x)$ ile gösterilir. $\forall x \in E$ için $\mu_A(x) \in [0,1]$ olmaktadır. $\mu_A(x)$, bulanık alt küme veya bulanık küme olarak adlandırılır. Bulanık kümenin üyelik dereceleri, kesin bir kümedeki yalnızca 0 (ait değil) veya 1 (ait) değerlerini sadece almamakta, bunlardan başka 0 ve 1 arasındaki ara değerler de üyelik derecesi olabilmektedir.

2.2. Bulanık sayılar

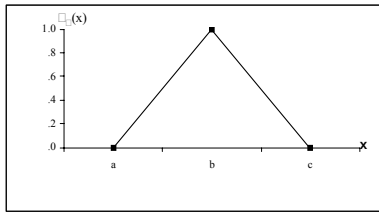
En çok kullanılan bulanık sayılar üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar olarak verilir. Bunlara ait formüller aşağıda verilmiştir.

Üçgensel bulanık sayılar: Üçgensel bulanık sayılar üç elemandan oluşan (a, b, c) şeklinde ifade edilen sayılardır (Şekil 1.a). Üçgensel bulanık sayı üyelik fonksiyonu;

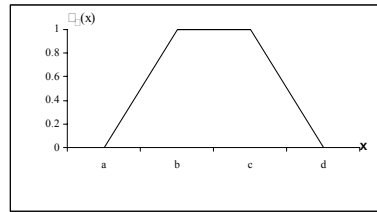
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x < c \\ 0 & , x > c \end{cases} \quad (1)$$

Yamuksal bulanık sayılar: Yamuksal bulanık sayılar dört elemandan oluşan (a, b, c, d) şeklinde ifade edilen sayılardır (Şekil 1.b). Yamuksal bulanık sayı üyelik fonksiyonu;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x < b \\ 1 & , b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c \leq x < d \\ 0 & , x \geq d \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 1.a Üçgensel bulanık sayı



Şekil 1.b Yamuksal bulanık sayı

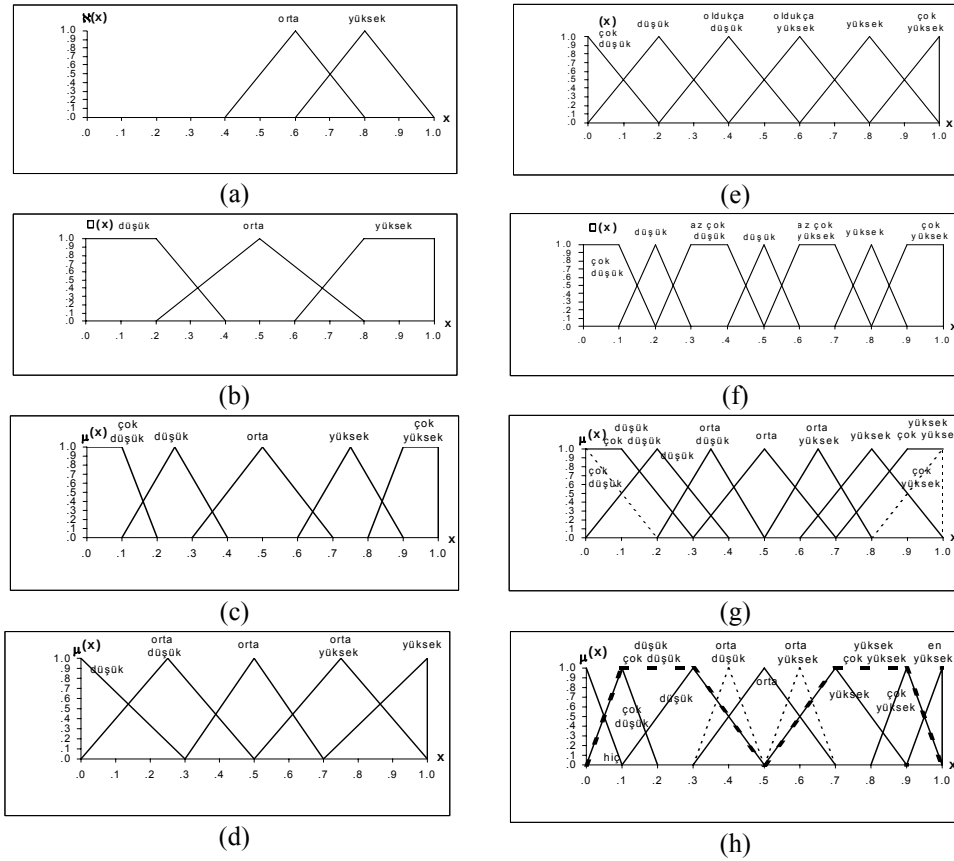
2.3. CHEN ve Hwang yöntemi [9]

Chen ve Hwang [9], MADM problemlerini, bulanık mantık çevresinde, hızlı ve etkili bir şekilde çözen, hesapsal zorlukların olmadığı bir yaklaşım kullanmışlardır.

Bu yöntem problemleri iki aşamada çözer. İlk aşamada, bulanık veri sayısal puanlara dönüştürülür. İkinci aşamada, klasik MADM yöntemleri, alternatifler arasında bir sıralama yapmak için kullanılır.

2.3.1. Sözel terimlerin bulanık sayılara dönüştürülmesi

Sayısal terimleri, onlara karşılık gelen bulanık sayılara dönüştürmek için, dönüşüm ölçeği kullanılır (Şekil 2.a – 2.h). Bu dönüşüm ölçeği Wenstop [10], Bass ve Kwakernaak [11], Efstathiou ve Rackovic [12], Bonissone [13], Efstathiou ve Tong [14] ve Chen [15] in çalışmalarında değişiklik yaparak veya sentezleyerek elde edilmiştir.



Şekil 2 Dönüşüm ölçekleri

Bu sistemin temel prensibi, DM'lar tarafından verilen tüm sözel terimleri içeren ölçeği kullanarak, sözel terimi içeren şekli bulanık sayıları ile birlikte seçmektir. Örneğin, karar verici orta, çok yüksek terimlerini versin. Şekil 2.c deki ölçek, bu terimleri içerdigi için kullanılır. Aynı şekilde karar vericinin orta, yüksek terimlerini verdiğini varsayalım. Bu iki terimi tüm ölçekler içermesine rağmen biz en basit ölçek olan Şekil 2.a' daki ölçeği seçeriz. Eğer (orta, yüksek, en yüksek) terimleri kullanılırsa, bu üç terimi içeren tek ölçek Şekil.2.h' daki olmaktadır. Şekil 2' de görüldüğü gibi, sekiz ölçekteki terim sayısı en az iki (Şekil 2.a), en fazla onbir olmaktadır (Şekil 2.h).

Evrende kullandığımız sözel terimler, $U = \{\text{en yüksek, çok yüksek, yüksek- ...}\}$ olmaktadır. Dönüşüm ölçeğinde karar matrisinde kullanılan terimler, problemin doğasına göre uygun bir şekilde ifade edilebilmektedir. Örneğin, fiyat bir öz-nitelik ise, buna uygun terimler {aşırı derecede pahalı, çok pahalı,..., oldukça ucuz,..., aşırı derecede ucuz} olarak uygulanabilir. Veya boyut bir öz-nitelik ise, buna uygun terimler {aşırı derecede küçük, çok küçük,..., orta,..., orta genişlikte} olmaktadır. Öz-nitelik tipleri için, aşırı anlamlarını ifade etmek için ikili kelime grupları bulabiliriz, yüksek ve düşük, iyi ve kötü, küçük ve geniş,... gibi.

2.3.2. Bulanık sayıları sayısal puanlara dönüştürmek

Bulanık sayılarını sayısal puanlarına dönüştürmek için bulanık sıralama yaklaşımını kullanmıştır, [9]. Bulanık sayı M 'nin, sayısal puanlarının hesaplanması şu şekilde yapılır. Verilen bir maksimize etme ve minimize etme sistemi;

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1 - x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (4)$$

M ' nin sağ puanı (right score) aşağıdaki denklemden bulunur.

$$\mu_R(M) = \sup_x [\mu_M(x) \wedge \mu_{\max}(x)] \quad (5)$$

M ' nin sol puanı (left score) da aşağıdaki denklemden bulunur:

$$\mu_L(M) = \sup_x [\mu_L(x) \wedge \mu_{\min}(x)] \quad (6)$$

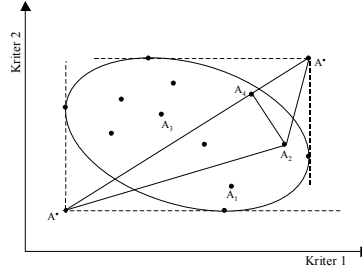
M 'nin toplam puanı (total score) aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$\mu_T(M) = [\mu_R(M) + 1 - \mu_L(M)] / 2 \quad (7)$$

2.4. Klasik MADM yöntemi kullanılarak seçimin yapılması

Gerçek sayılara dönüştürülmüş karar matrisi, klasik MADM yöntemlerinden TOPSIS yöntemi kullanılarak en iyi alternatifi seçimi yapılır.

Bir MADM probleminde m adet alternatif ve bu alternatiflerin çözümünde kullanılan n adet öz-nitelik, m noktalı ve n boyutlu bir uzay sistemi olarak düşünülebilir. Hwang ve Yoon [16] tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution) yöntemi seçilen alternatifin, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak mesafede olmasını esas alır (Şekil 3).



Şekil 3. İki boyutlu uzayda pozitif ideal-negatif ideal çözümlere Öklit mesafeleri

3. Gemiye Etkiyen Çevresel Yükler

Tanker-şamandıra sisteminde, tanker üzerinde etkili olan rüzgâr, akıntı ve dalga kuvvetlerinin hesabında aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

3.1. Rüzgâr, akıntı kuvvet ve momentleri

Rüzgâr, akıntı yük ve momentlerinin hesabında OCIMF [17]' in ampirik formülleri kullanılmıştır.

3.2. Birinci dereceden dalga kuvvet ve momentleri

Birinci dereceden kuvvetlerin ve momentlerin hesabında aşağıda verilen ampirik formüllerden yararlanılmıştır, Barltrop [18].

Boyuna Froude Krylov kuvveti;

$$F_x = B\rho g \frac{H}{2} \int_{-T}^0 e^{kz} dz \left(\cos\left(\frac{-\pi L}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right) - \cos\left(\frac{\pi L}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right) \right) \quad (8)$$

Enine Froude Krylov kuvveti;

$$F_y = L\rho g \frac{H}{2} \int_{-T}^0 e^{kz} dz \left(\cos\left(\frac{-\pi B}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right) - \cos\left(\frac{\pi B}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right) \right) \quad (9)$$

Ek su kütlesi;

$$F_A = \frac{1}{2} L \rho \pi T^2 e^{-kT} \frac{2\pi^2 H}{T^2} \quad (10)$$

Froude-Krylov Savrulma Momenti;

$$F_{\theta k} = \frac{H}{2} \rho g \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} e^{kz} dz \left[\cos \left(2\pi \left(\frac{x \cos \theta - \frac{B}{2} \sin \theta}{\lambda} \right) \right) - \cos \left(2\pi \left(\frac{x \cos \theta + \frac{B}{2} \sin \theta}{\lambda} \right) \right) \right] x dx \quad (11)$$

Ek su kütlesi momenti;

$$F_{\theta a} = \rho \pi \frac{T^2}{2} e^{-k\frac{T}{2}} \left(\frac{2\pi^2 H}{T^2} \right) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \sin \left(2\pi \frac{x \cos \theta}{\lambda} \right) x dx \sin \theta \quad (12)$$

Toplam moment;

$$F_{\theta} = F_{\theta k} + F_{\theta a} \quad (13)$$

Burada,

B , L , T sırasıyla gemi genişliği, boyu ve draftı, H dalga yüksekliği, λ dalga boyu, g yerçekimi ivmesi, ρ deniz suyu yoğunluğudur.

3.3. İkinci dereceden dalga sürüklenme kuvveti

İkinci dereceden daimi dalga sürüklenme kuvvetlerinin hesabında Pinkster [19]' in önerdiği formül kullanılmıştır.

$$F_{daimi} = 2 \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) \left[\frac{F^{(2)}}{\zeta_a^2} \right] d\omega \quad (14)$$

Burada,

$S_{\zeta}(\omega)$ deniz spektrumu, ζ_a dalga genliği, $F^{(2)}$ ikinci dereceden kuvvet bileşeni olup, formül şu şekilde basitleştirilebilir.

$$F_{daimi} = \rho g B_s \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) R^2(\omega) d\omega \quad (15)$$

Burada,

B_s karakteristik genişlik, $R(\omega)$ ise sürüklenme katsayısıdır.

4. Uygulama

Bu çalışmada; Marmara Denizi' nin doğusunda kurulacak bir tesiste, çevresel yüklere maruz kalan bir çok noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemleri için en güvenli yükleme-boşaltma işlemi yapacak bağlama alternatifi seçimi konusu ele alınmıştır.

Tanker-şamandıra bağlama sisteminde beş alternatif söz konusudur. Bunlar;

- İki noktadan bağlı sistem,
- Üç noktadan bağlı sistem,
- Dört noktadan bağlı sistem,
- Beş noktadan bağlı sistem,
- Altı noktadan bağlı sistem.

4.1. Çevre koşullarının belirlenmesi

Çevre koşullarının belirlenmesinde Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'nin yayınladığı Rüzgâr – Deniz – Ölüdeniz ve Dalga Atlası [20] ve Türkiye Kıyıları Rüzgâr ve Derin Deniz Dalga Atlası [21] kullanılmıştır.

4.1.1. Tesis yeri ve yerleşimi

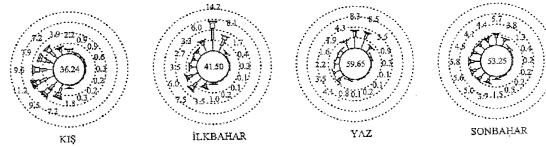
Tanker-şamandıra sistemi uygulama bölgesi olarak Marmara denizinin doğusu seçilmiş, sistemi etkileyen çevre koşullarını belirlemek için koordinatları en yakın olan istasyon verileri alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan koordinat Yalova açıkları olan (40.71° N, 29.29° E) noktasıdır.

4.1.2. Rüzgâr karakteristikleri ve dalga iklimi

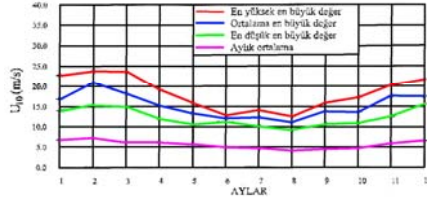
Tanker-şamandıra sisteminin yerleştirileceği bölgedeki rüzgâr ve dalga şartlarının mevsimlik değişimleri Şekil 4 - 9' da verilmiştir.



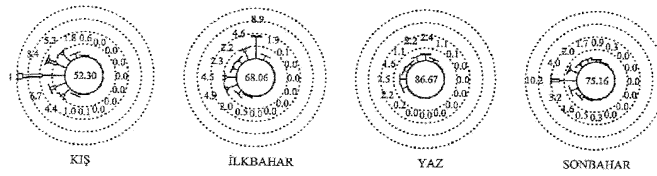
Şekil 4. Rüzgâr iklim belirleme pozisyonu 40.71° N, 29.29° E [21]



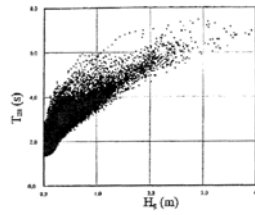
Şekil 5. Mevsimsel rüzgâr gülleri [21]



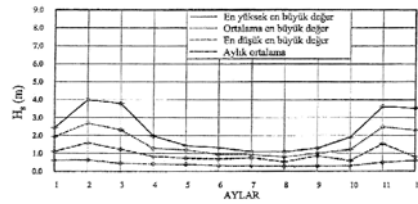
Şekil 6. Aylık ortalama ve en yüksek rüzgâr hızları [21]



Şekil 7. Mevsimsel dalga gülleri [21]



Şekil 8. Dalga yüksekliği dalga periyodu ilişkisi [21]



Şekil 9. Aylık ortalama ve en yüksek/düşük dalga yükseklikleri [21]

Bu verilere göre en yüksek rüzgâr hızı 45 knot ve etken yön dilimi GGB-GB ve ikinci yön dilimi B'dir. Yıllık en büyük belirgin dalga yüksekliği olarak $H_s = 4$ m olup, etken yön dilimi B-BKB olmaktadır.

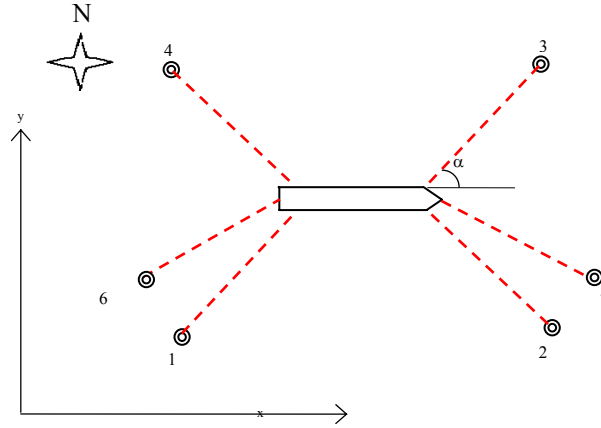
Hakim rüzgâr ve dalga yönünün değişkenliği göz önünde tutularak simülasyon çalışmalarında farklı rüzgâr-dalga-akıntı yön kombinasyonları da hesaba katılmıştır.

4.2. Akıntı özellikleri

Akıntı yönleri için Seyir Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığının [20] akıntı haritalarından yararlanılmış, körfez içinde kıyıya paralel ve saat ibrelerinin tersi yönünde 0.5 knot'luk devamlı bir yüzey akıntısının olduğu görülmüştür. Ancak bu akıntının yönü ve şiddeti etken dalga ve rüzgâr etkisiyle değişebilmekte rüzgâr kaynaklı rüzgâr yönünde yüzey akıntısı baskın olabilmektedir. 1.5 knot yüzey akıntısı kabulü ve akıntı yönünün rüzgâr yönüne paralel alınması hesaplarımızda güvenli tarafta kalmamızı sağlayacaktır.

4.3. Koordinat sistemi ve şamandıraların yerleşimi

Şekil 10' da global ve gemi bazlı koordinat sistemi ile şamandıraların yerleşimi görülmektedir.



Şekil 10. Global - gemi bazlı koordinat sistemi ve şamandıraların yerleşimi

4.4. Tanker-şamandıra sisteminin matematik modellenmesi

Tankerlerin sisteme bağlanmaları sırasında şamandıralar ile gemi arasındaki bağlama halatının boşunun alındığı ve şamandıranın ön gergili olduğu kabul edilmiştir. Bağlamanın gevşek olması durumunda tankerin sistem içindeki hareketleri öngörülenden çok daha fazla olabilecektir.

Tankerlerin bağlandıkları şamandıraların çevresel yüklerin etkisi altındaki yerdeğiştirme miktarı, tankere kıyasla çok düşük kaldığı için ihmal edilmiştir.

Tankerin genel karakteristikleri Tablo 1' de verilmiş olup, yükleme durumu (yük, balast) ve konumuna göre, rüzgâr, akıntı hızlarına ve dalga yüksekliğine bağlı olarak tanker – şamandıra sistemi hesaplarında kullanılacak değerler Tablo 2' de verilmektedir.

Tablo 1 Hesaplamalarda kullanılan tankerin genel karakteristikleri

Deadweight	DWT (ton)	70,000
Deplasman	Δ (ton)	88,480
Tam boy	L_{OA} (m)	242.0
Su hattı boyu	L_{WL} (m)	232.5
Genişlik	B (m)	38.1
Yüklü su çekimi	$T_{yüklü}$ (m)	13.0
Balast su çekimi	T_{balast} (m)	6.7
Boyuna kesit alanı (yüklü)	A_{YF} (m ²)	2611
Enine kesit alanı (balast)	A_{YB} (m ²)	4136
Enine kesit alanı (yüklü)	A_{XF} (m ²)	683
Enine kesit alanı (balast)	A_{XB} (m ²)	923

Hesaplamalarda tanker – şamandıra sisteminde beş farklı şamandıra sistemi incelenmiştir:

İki şamandıralı sistem (1 ve 2 nolu şamandıra)

Üç şamandıralı sistem (1, 2 ve 4 nolu şamandıra)

Dört şamandıralı sistem (1, 2, 3 ve 4 nolu şamandıra)

Beş şamandıralı sistem (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu şamandıra)

Altı şamandıralı sistem (1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu şamandıra)

Çevre yüklerinin etkisi altındaki tanker-şamandıra bağlama sisteminde, bağlama halatlarına gelen maksimum gerilme değerlerini hesaplamak için, şamandıra sistemine bağlı halatların tanker ile yaptığı tüm açı değişimleri için hesap yapılmıştır.

Tablo 2 Tanker-şamandıra sisteminde olası senaryolar

Yükleme	Yön	Rüzgâr (knot)	Akıntı (knot)	Karakteristik Dalga Yük.
Yüklü/Balast	Batı	10, 20, 30, 40, 45	0.5, 1.0, 1.5	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Yüklü/Balast	Güney	10, 20, 30, 40, 45	0.5, 1.0, 1.5	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Yüklü/Balast	GüneyB	10, 20, 30, 40, 45	0.5, 1.0, 1.5	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Yüklü/Balast	Doğu	10, 20, 30, 40, 45	0.5, 1.0, 1.5	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Yüklü/Balast	KuzeyD	10, 20, 30, 40, 45	0.5, 1.0, 1.5	1.0, 2.0, 3.0, 4.0

4.5. Çevresel yüklerin ve bağlama hat gerilmelerinin hesabı

Tablo 1’de geometrik özellikleri verilen tanker için rüzgâr, akıntı, dalga kuvvetleri ve momentlerinin hesabı yapılmıştır. Tablo 2’ de verilen senaryolar için her bir bağlama hattına gelen yükler hesaplanmıştır. Tanker- şamandıra sisteminde karşılaşılan en büyük hat gerilme değerleri Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3. Maksimum hat gerilmeleri (kN)

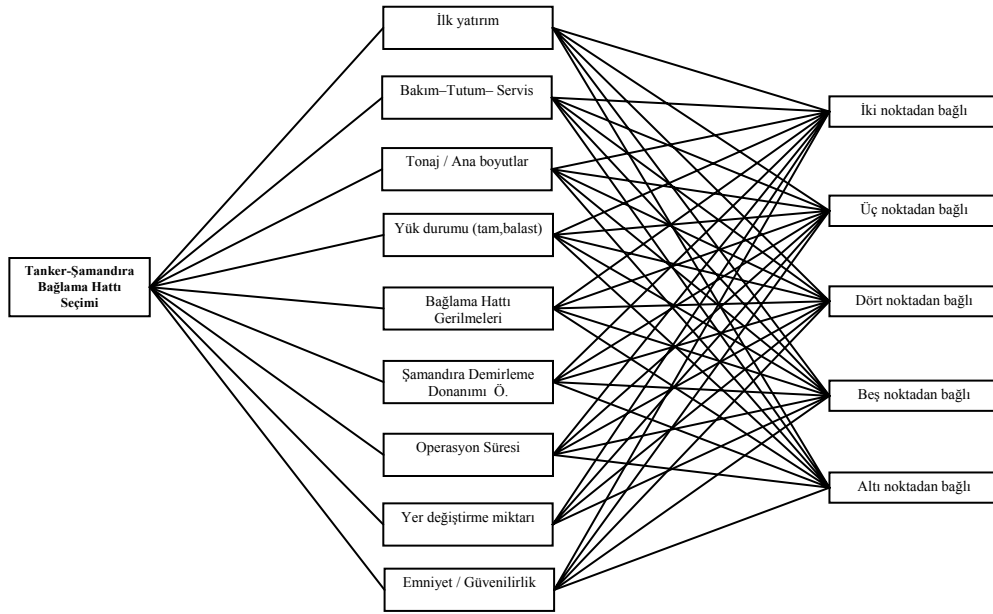
		Şamandıra Numarası					
		1	2	3	4	5	6
Dalga ve Rüzgar Yönleri	Bati	2 şamandıra	440	0	-	-	-
		3 şamandıra	220	0	-	220	-
		4 şamandıra	220	0	0	220	-
		5 şamandıra	220	0	0	220	0
		6 şamandıra	110	0	0	220	0
	Güney	2 şamandıra	207	181	-	-	-
		3 şamandıra	207	181	-	0	-
		4 şamandıra	207	181	0	0	-
		5 şamandıra	207	91	0	0	91
		6 şamandıra	104	91	0	0	91
	G.bati	2 şamandıra	150	135	-	-	-
		3 şamandıra	150	135	-	0	-
		4 şamandıra	150	135	0	0	-
		5 şamandıra	150	68	0	0	68
		6 şamandıra	75	68	0	0	68
	Doğu	2 şamandıra	0	490	-	-	-
		3 şamandıra	0	490	-	0	-
		4 şamandıra	0	245	245	0	-
		5 şamandıra	0	123	245	0	123
		6 şamandıra	0	123	245	0	123
	K.doğu	2 şamandıra	135	150	-	-	-
		3 şamandıra	0	184	-	122	-
		4 şamandıra	0	0	184	122	-
		5 şamandıra	0	0	184	122	0
		6 şamandıra	0	0	184	122	0

4.6. Alternatif Senaryolar ve öz-niteliklerin seçimi

Tanker-şamandıra sistemindeki beş farklı şamandıra sistemi, uygulamalarda kullanacağımız alternatifler olup, bu alternatifler için öz-nitelikler türetilmiştir. Öz-nitelikler seçilirken, birbirlerinden bağımsız olmalarına, diğer öz-niteliklerin bir nedeni veya sonucu olmamalarına dikkat edilmiştir. Buna göre 9 adet öz-nitelik elde edilmiştir. Bunlar;

Öz-niteliklerin tespiti ile birlikte elde edilen hiyerarşi ağacı Şekil 11’ de görülmektedir. Ayrıca öz-niteliklerin özellikleri Tablo 4’ da çıkartılmıştır.

İlk yatırım maliyeti (C1)
 Bakım – tutum – servis (C2)
 Tonaj / ana boyutlar (C3)
 Yük durumu (tam,balast) (C4)
 Bağlama hattı gerilmeleri (C5)
 Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)
 Operasyon süresi (C7)
 Yerdeğiştirme miktarı (C8)
 Emniyet / güvenilirlik (C9)



Şekil 11 Karar Hiyerarşisi

Tablo 4 Öz-niteliklerin Özellikleri

Öznitelikler	Değerlendirme şekli	Öz-nitelik şekli
C1	Sayısal	Maliyet
C2	Bulanık	Maliyet
C3	Sayısal	Fayda
C4	Sayısal	Fayda
C5	Sayısal	Maliyet
C6	Bulanık	Maliyet
C7	Bulanık	Maliyet
C8	Sayısal	Maliyet
C9	Bulanık	Fayda

4.7. FMADM' in uygulanması

Tanker-şamandıra sisteminde kriterlerin ikili karşılaştırması ve her bir alternatif için kriter ağırlıklarının tespiti için, anketler hazırlanmış ve bağlama sistemi konusundaki uzmanlardan bu anketlere cevap vermeleri istenmiştir. Hazırlanan anketin geri dönüşümleri tam tamamlanmamış olup, mevcut sonuçlarla hesap yapılmış ama okuyucuyu yanlış yönlendirmemesi için bu çalışmada yer verilmemiştir. Bu bölüm, yazılmış olan bir Fortran programına, uzmanlardan elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin giriş verisi olarak eklenmesi ve beş alternatif arasından en iyi alternatifin hesaplanmasından oluşmaktadır.[9], [16]. Program m sayıda alternatif ve n sayıda kriter arasından seçim yapabilecek bir yapıya sahiptir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada çok noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemi dizaynı ve bulanık çok öz-nitelikli karar verme yöntemi ele alınmıştır. Beş farklı bağlama sistemi için, petrol yükleme-boşaltma terminalinin çevre koşulları dikkate alınarak sistem dizaynı üzerinde etkili olan öz-nitelikler tespit edilmiştir. Sistem modellenerek sistem üzerinde etkili olan çevre yükleri ve her bir bağlama hattına gelen gerilme değerleri hesaplanmıştır. Çok noktadan bağlı sistemlere, bulanık çok öz-nitelikli karar verme yöntemlerini uygulamayabilmek için gerekli olan algoritma oluşturulmuştur. Alternatif ve öz-niteliklerin ikili karşılaştırma matrisleri değerlerini hesaplamak için anket yöntemi kullanılmıştır. Bu yazıda, çalışmanın ana hatları ve oluşturulan yapı taşları verilmiş olup seçilen uygulama örneği üzerindeki çalışmalar sürmektedir.

Kaynaklar

- [1] Zadeh, L.A. Fuzzy Sets, Information and Control, 8, pp. 338-353, 1965.
- [2] Yamamoto, M., and Mooroka, K. Dynamic Positioning System of Semi-Submersible Platform Using Fuzzy Control. J. of the Braz. Soc. Of Mech. Sci. & Eng. , Vol. XXVII, No.4/449, 2005.
- [3] Liu, J., Bo-Yang, J., Wang, J., Sii, H.-S., and Wang, Y.-M. International Journal of General Systems, Vol.33, pp. 183-204, April-June 2004.
- [4] Ren, J., Jenkinson, I., Sii, H. S. , Wang, J., Xu, D. L. and Yang ,J. B. An Offshore Safety Assessment Framework Using Fuzzy Reasoning and Evidential Synthesis Approaches. Journal of Marine Engineering & Technology (IMarEST)(A6), pp. 3-16, 2005.
- [5] Carbono, A. J. J., Menezes, I. F. M., and Martha, L. F. Mooring pattern Optimization Using Genetic Algorithms. 6th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization, Rio de Janerio, Brazil, 30 May – 03 June 2005.
- [6] Simoes, M. G., Tiquilloca, J. L. M., and Morishita, H. M. Neural-Network-Based Prediction of Mooring Forces in Floating Production Storage and Offloading

- Systems, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 38, No.2, March/April 2002.
- [7] Shafieifar, M., Rezvani, A. Mooring Optimization of Floating Platforms Using a Genetic Algorithm. *Ocean Engineering* 34, pp. 1413-1421, 2007.
 - [8] Bellman, R. E. , and Zadeh, L. A. Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Sci.* 17(4), pp. 141-164, 1974.
 - [9] Chen, S. J., Hwang, C. L. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York, 1992.
 - [10] Wenstop, F. Fuzzy Set Simulation Models in a System Dynamic Perspective. *Kybernetes* 6, pp. 209-218, 1976.
 - [11] Bass, S., and Kwakernaak, H. Rating and ranking of multiple-aspect alternatives using bulanık sets. *Automatica* 13, pp. 47-58, 1977.
 - [12] Efstathiou, J., and J. Rackovic, V. Multiattribute decision making using a fuzzy heuristic approach. *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics, SMC-9*: 326-333, 1979.
 - [13] Bonissone, P. P. A Fuzzy Sets Based Linguistic Approach: Theory and Applications. In: Gupta M. M., Sanches, E. (eds) *Approximate Reasoning in Decision Analysis*. North Holland, pp 329-339, 1982.
 - [14] Efstathiou, J., and Tong, R. Ranking Fuzzy Sets Using Linguistic Preference Relations. In: *Proc. 10th International Symposium on Multiple-Valued Logic*, Northwestern University, Evanston, 1980.
 - [15] Chen, S. M., A new Approach to handling Fuzzy Decision –Making Problems. In: *Proc. 18th International Symposium on Multiple-Valued Logic*, Computer Society Press, Palma de Mallorca, Spain, 1988.
 - [16] Hwang, C. L., and Yoon, K. P. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, 1981.
 - [17] OCIMF, *Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs*, Second Edition, London, 1994.
 - [18] Barltrop, N. D. P. *Floating Structures: A guide for design and analysis*. The centre of Marine and Petroleum Technology, Publication 101/98, Volume I, 1998.
 - [19] Pinkster, J. A. Mean and Low Frequency Wave Drifting Forces on Floating Structures, *Ocean Engineering*, Vol.6, pp. 593-615, 1979.
 - [20] Rüzgar-Deniz-Ölüdeniz ve Dalga Atlası. Seyir Hidrografî ve Oşinografî Dairesi Yayınları, Çubuklu, 1984.
 - [21] Özhan, E., Abdalla, S. *Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi/MEDCOAST, ODTÜ, Ankara, 455 sayfa*, 2002.



RİJİT DİKDÖRTGEN BİR TANKTA AKIŞKAN ÇALKANTISININ SAYISAL İNCELENMESİ

Barış BARLAS¹, Hakan AKYILDIZ²

ÖZET

Tamamen sıvıyla dolu bir tankın yapmış olduğu hareketler rijit cisim hareketleridir. Eğer tank kısmi doluyorsa, içinde serbest yüzey etkisi oluşur ve tankın herhangi bir rijit hareketinden sıvı çalkantısı meydana gelir. Bu çalışmada, çalkantı problemi sayısal olarak çözülmüştür. Kullanılan dalga modeli, lineer olmayan karışık dalgalar için sığ derinliklerde geçerli olan sığ su dalga modelidir. Süreklilik ve momentum denklemleri sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Konum ve zamana ait tüm türevler ikinci mertebeden sonlu farklarla ifade edilmiştir. Simülasyonlarla elde edilen dalga profilleri, teorik olarak verilen değerlerle karşılaştırıldığında, bu çalışmada ortaya konan sayısal model, çalkantı simülasyonunu başarıyla simüle etmekte olup, uygulamada kullanım açısından yararlı olabilecek düzeydedir.

Anahtar kelimeler: Sıvı çalkantısı, dikdörtgen tank, akışkan kuvvetleri, sayısal çözüm, harmonik hareket.

1. Giriş

Kısmi dolu tanklardaki sıvı hareketi, eğer tankın salınım frekansı doğal frekansa yakın bir değer alırsa tanka büyük yükler getirebilmektedir. Bu olay çalkantı (sloshing) olarak adlandırılmaktadır. Sıvı çalkantısı, su ve akaryakıt taşıyan kara tankerlerinde, sıvı yük taşıyan gemilerin yük tanklarında, deprem yüklerine maruz kalmış sıvı depolama tanklarında, sıvı yakıtla tahrik olan füze sistemlerinde oluşabilir. Oluşan bu çalkantı hareketi tank duvarlarına

¹ Y.Doç.Dr., İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fak., Maslak, İstanbul, barlas@itu.edu.tr

² Doç.Dr., İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fak., Maslak, İstanbul, akyildiz@itu.edu.tr

çarpma şeklinde büyük kuvvetler uygular. Genel olarak, çalkantı hareketinin genliği tank hareketinin frekans ve genliğine, sıvı derinliğine ve özelliğine, tankın geometrisine bağlıdır. Tank salınım yaptıkça, salınımın frekansına ve tankın derinliğine bağlı olarak, değişik türde dalgalar oluşur. Bu dalgalar; duran, ilerleyen dalga, hidrolik sıçrama ve bunların kombinasyonlarından oluşurlar. Ayrıca çalkantı halindeki sıvıda iki tür dinamik basınç oluşur; ani basınç ve ani olmayan normal akışkan basınçları.

Hareketli bir tankdaki sıvı çalkantı problemi bir çok araştırmacı tarafından analitik, nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Analitik çalışmalarda genellikle, sıvı hareketi küçük genlikli, tank rijit ve ideal sıvı kabulü ile lineer teori kullanılmıştır. Tank geometrisi olarak dikdörtgen, silindirik, küresel, konik ve halkalı yapıya sahip tanklar ele alınmış, özellikle tankın yatay ve ilerleme doğrultusundaki öteleme hareketleri ile yatay eksen etrafındaki dönme hareketleri incelenmiştir. Ayrıca, tank geometrisinden kaynaklanan, lineer olmayan etkiler nedeniyle özellikle yatay tank hareketinden oluşan sıvı çalkantısı, araştırmacıları deneysel çalışmalara da yöneltmiştir. Bu çalışmalar ayrıntılı olarak İbrahim ve diğ. (2001)'de ele alınmıştır [1]. Yakın zamanda yapılan nümerik ve deneysel çalışmalara örnek olarak Akyıldız ve Ünal, 2005 ve 2006 verilebilir [2,3]. Bu çalışmalarda, perdeli ve perdesiz tank düzenlemeleri yapılarak tank duvarlarında oluşan basınçlar nümerik ve deneysel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, değişik fiziksel parametreler sistematik olarak değiştirilerek ve dikdörtgenler prizması içine çeşitli perde elemanları yerleştirip değişik konfigürasyonlarda deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yine benzer bir çalışmada, iki ve üç boyutlu dikdörtgen bir tankta sonlu farklar yöntemiyle ve ani çarpmaları da içerecek şekilde analiz edilmiştir (Kim 2001) [4]. Ayrıca, Sames ve diğ. (2002), sıvı çalkantısı problemini hem dikdörtgen hem de silindirik tanklarda incelemişlerdir [5]. Kim ve diğ. (2007) sıvı yük taşıyan gemilerde hareket esnasında oluşan sıvı çalkantısının ikincil etkilerini incelemek amacıyla sayısal bir model kurmuşlardır [6].

Sayısal çalkantı modellerinin geliştirilerek yaygın biçimde çeşitli problemlere uygulanmasının yaklaşık altmış yıllık bir geçmişi vardır. Bu modeller iki boyutlu potansiyel akım modellerinden, üç boyutlu RANSE modellerine kadar çok çeşitli yaklaşımları kapsamaktadır. Üç boyutlu hal ve büyük hesaplama bölgeleri için lineer olmayan dalga probleminin genel çözümü günümüz gelişmiş bilgisayarlarını dahi zorlamaktadır. Bu çalışmada izlenen yöntemin üstünlüğü, kullanılacak olan dalga modelinin derinlik boyunca integre edilmiş olması sebebiyle en genel dalga koşullarını makul bilgisayar kapasiteleriyle simüle edebilmesidir.

2. Matematiksel Formülasyon

Şekil 1'de görüldüğü gibi $(X,Z)=(0,-d)$ ekseninde dönme hareketi yapan bir tanka ait değişkenler:

$$\dot{U}(t) = d\dot{\Omega} \quad (1)$$

$$\dot{W}(t) = -d\Omega^2 \quad (2)$$

$$\Omega(t) = \dot{\theta} \quad (3)$$

$$\theta = \theta_0 \cos \omega t \quad (4)$$

şeklinde verilebilir. Burada θ açısal yerdeğiştirme, θ_0 hareketin genliği ve ω açısal frekanstır.

Sabit bir eksen merkezine göre mutlak ivme

$$\vec{A} = \vec{U} + \vec{a}^* \quad (5)$$

$$\vec{a}^* = \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} + 2\vec{\Omega} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{Q}}{\partial t} \times \vec{r} + \vec{Q} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r}) \quad (6)$$

şeklinde verilebilir. Burada $\vec{a}^*$ tankın içerisindeki akışkan hareketine ait ivmedir. Şu halde hareketli koordinat sisteminde akışkan parçacığına etki eden dış kuvvet iki boyutlu olarak aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$F_x = -g \sin \theta - \ddot{\theta} z - \dot{\theta}^2 x - d(\ddot{\theta} \sin \gamma - \dot{\theta}^2 \cos \gamma) - \dot{U}_x - 2\dot{\theta} w \quad (7)$$

$$F_z = g \cos \theta + \ddot{\theta} x - \dot{\theta}^2 z + d(\ddot{\theta} \cos \gamma - \dot{\theta}^2 \sin \gamma) - \dot{U}_z + 2\dot{\theta} u \quad (8)$$

Üç boyutlu ifade ise,

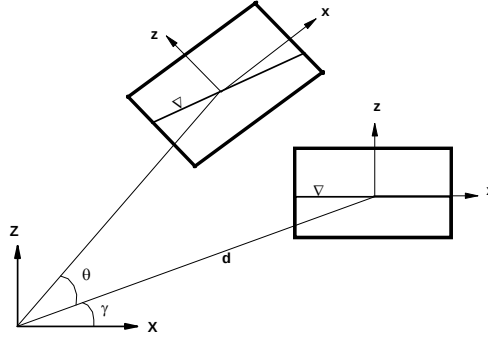
$$F_x = a_{0x} - (\omega_y^2 + \omega_z^2)x - (\dot{\omega}_z - \omega_x \omega_y)y + (\dot{\omega}_y + \omega_x \omega_z)z - 2\omega_z \dot{y} + 2\omega_y \dot{z} \quad (9)$$

$$F_y = a_{0y} - (\omega_x^2 + \omega_z^2)y + (\dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y)x - (\dot{\omega}_x - \omega_y \omega_z)z + 2\omega_z \dot{x} - 2\omega_x \dot{z} \quad (10)$$

$$F_z = a_{0z} - (\omega_x^2 + \omega_y^2)z - (\dot{\omega}_y - \omega_x \omega_z)x + (\dot{\omega}_x + \omega_y \omega_z)y - 2\omega_y \dot{x} + 2\omega_x \dot{y} \quad (11)$$

Burada, hareketli eksen takımına göre, Euler açıları cinsinden açısal hız vektörü;

$$\omega = (\dot{\theta} \cos \psi + \dot{\phi} \sin \psi \sin \theta) \mathbf{i} + (\dot{\phi} \sin \theta \cos \psi - \dot{\theta} \sin \psi) \mathbf{j} + (\dot{\psi} + \dot{\phi} \cos \theta) \mathbf{k} \quad (12)$$



Şekil 1. Hareketli koordinat sistemi.

Bu çalışmada kullanılan dalga modeli, lineer olmayan karışık dalgalar için sığ derinliklerde geçerli olan uzun dalga veya sığ su dalga modelidir. Bu model, temelde üç boyutlu olan genel dalga problemini, derinlik yönünde integre ederek ve yatay hız vektörünün derinliğe bağımlılığını sabit alarak iki boyutlu bir probleme indirgemektedir. Kartezyen koordinatlarda viskoz olmayan bir akışkana ait süreklilik ve momentum denklemleri:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (13)$$

x-momentum,

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - F_x \quad (14)$$

y-momentum,

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - F_y \quad (15)$$

z-momentum,

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - F_z \quad (16)$$

olarak verilmektedir. Tankın dibinde $w(x,y,0,t)=0$ dır. Serbest yüzeyde kinematik ve dinamik sınır koşulları yazılırsa,

$$w(x, y, H, t) = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u(x, y, H, t) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v(x, y, H, t) \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (17)$$

$$P(x, y, H, t) = 0 \quad (18)$$

x- ve y- yönlerindeki boy ve hız büyüklükleri z- yönüne göre daha büyük olduğu kabul edilirse, z- yönündeki momentum denklemi,

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho F_z \quad (19)$$

şeklini alır. z- yönünde integre edilirse,

$$P(x, y, z) = \rho F_z (H(x, y) - z) \quad (20)$$

elde edilir. (13-15) denklemleri z- yönünde su sütunu boyunca integre edilir,

$$\int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial u}{\partial x} dz + \int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial v}{\partial y} dz + \int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial w}{\partial z} dz = 0 \quad (21)$$

$$\int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial u}{\partial t} dz + \int_{-h}^{\zeta} u \frac{\partial u}{\partial x} dz + \int_{-h}^{\zeta} v \frac{\partial u}{\partial y} dz + \int_{-h}^{\zeta} w \frac{\partial u}{\partial z} dz = -\frac{1}{\rho} \int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial P}{\partial x} dz - \int_{-h}^{\zeta} F_x dz \quad (22)$$

$$\int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial v}{\partial t} dz + \int_{-h}^{\zeta} u \frac{\partial v}{\partial x} dz + \int_{-h}^{\zeta} v \frac{\partial v}{\partial y} dz + \int_{-h}^{\zeta} w \frac{\partial v}{\partial z} dz = -\frac{1}{\rho} \int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial P}{\partial y} dz - \int_{-h}^{\zeta} F_y dz \quad (23)$$

(20) denklemi ve (18)'de verilen serbest su yüzeyi sınır koşulu uygulanırsa, elde edilen denklemler sıg su denklemleridir. Süreklilik,

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + H \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + H \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (24)$$

x-momentum,

$$\frac{\partial}{\partial t} (uH) + \frac{\partial}{\partial x} \left(uuH + F_z \frac{H^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (uvH) = -HF_x \quad (25)$$

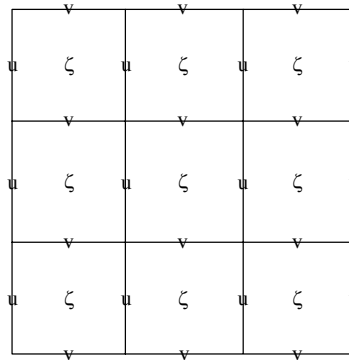
y-momentum,

$$\frac{\partial}{\partial t}(vH) + \frac{\partial}{\partial x}(uvH) + \frac{\partial}{\partial y}\left(vvH + F_z \frac{H^2}{2}\right) = -HF_y \quad (26)$$

Burada $\vec{u}(u, v)$, $z=0$ 'da yatay hız vektörü, w , $z=0$ 'da hızın düşey bileşenidir. ζ herhangi bir anda ve konumda su yüzeyi deformasyonu, $H(x,y) = \zeta + h(x,y)$; $h(x,y)$, $z=0$ serbest su seviyesinden ölçülen su derinliğidir.

3. Nümerik Formülasyon

Süreklilik ve momentum denklemleri sonlu farklar yöntemi kullanılarak kaydırılmış Arakawa-C grid üzerinde ayrıklaştırılmıştır. Şekil 2'de verildiği gibi, serbest su yüzey deformasyonu ζ grid merkezlerinde ($i=1/2$, $j=1/2$), u hız bileşeni ($i=1$, $j=1/2$)'de, v hız bileşeni ($i=1/2$, $j=1$)'de hesaplanmakta ve hafızada tutulmaktadır. Konum ve zamana ait tüm türevler ikinci mertebeden sonlu farklarla ifade edilmiştir. İlk aşamada, verilen hesaplama bölgesinde ağlama yapılmakta ve daha sonra, herbir zaman adımı için program bilinmeyenleri hesaplamaktadır. Sırasıyla, x-momentum denklemi kullanarak u hız bileşenleri, y-momentum denklemi kullanarak v hız bileşenleri ve nihayet süreklilik denklemi kullanarak serbest su yüzeyi dalga deformasyonu değerleri elde edilmektedir. Hızların hesaplanması aşamasında oluşan tridiagonal matris Thomas algoritması kullanılarak çözülmektedir. Momentum denklemlerinin sağ tarafında yer alan ve yeni zaman adımına ait terimlerin hesaba katılması iteratif bir şekilde çözülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu iterasyon sayıları, iki iterasyon arasındaki farkın yüzey deformasyonu için bütün noktalarda 10^{-5} 'ten büyük olmaması koşulu kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Kaydırılmış grid sisteminde kullanılan temel değişkenlerin konumu

4. Sayısal Örnekler

Yapılan tüm simülasyonlarda grid noktaları arasındaki mesafe, çalkantı sonucunda oluşan dalgaları modelleyebilecek kadar küçük seçilmiştir. Tankın duvarlarında, duvar sınır koşulu uygulanmaktadır: Duvarda akışkan parçacığının hızı tankın hızına ($u = U_0$) eşittir.

4.1 İki boyutlu çalkantı

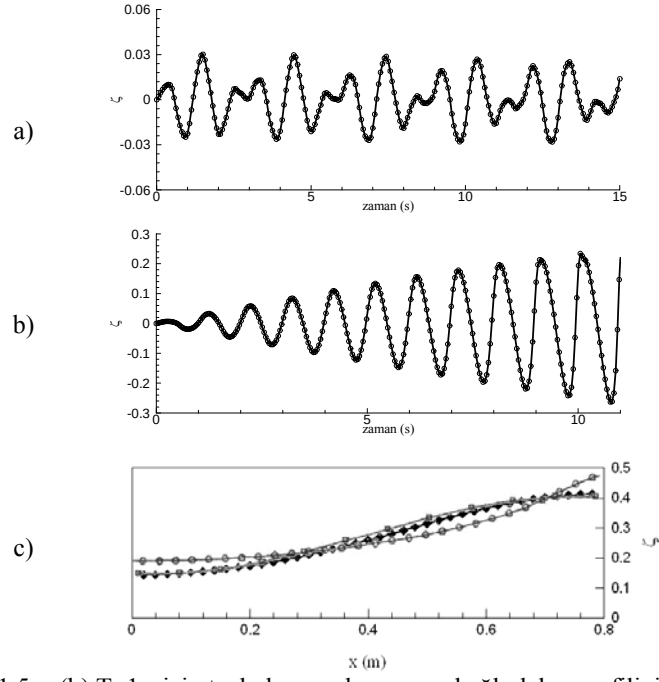
İki boyutlu sayısal çalkantı hesaplamalarında kullanılan tankın boyutları 0.8mx0.54m (LxT) olmak üzere seçilmiştir. Zaman adımı $\Delta t=0.0125$ s, açısal dönme açısı $\theta_0=0.573^\circ$ alınmıştır. Gridler x- ve y- yönlerinde 40x1'dir.

Şekil 3(a)'da periyod $T=1.5$ s için tankın duvarında ($x=0$) zamana bağlı dalga profilinin görünüşü, Şekil 3(b)'de periyod $T=1$ s için tankın duvarında ($x=0$) zamana bağlı dalga profilinin görünüşü, Şekil 3(c)'de $T=1$ s için $t=5.4$ s'deki anlık dalga profili verilmiştir. Şekil 3(c)'de (o) Kim'in RANSE ile sayısal çözümü [4], ($\square$) Faltinsen'in analitik çözümü [7], ($\blacklozenge$) ise bu çalışmada kullanılan yöntemle hesaplanan sayısal değerlerdir. Şekil 3(c)'den görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan sığ su denklemleri, iki boyutlu çalkantı problemini başarılı bir şekilde modellemektedir.

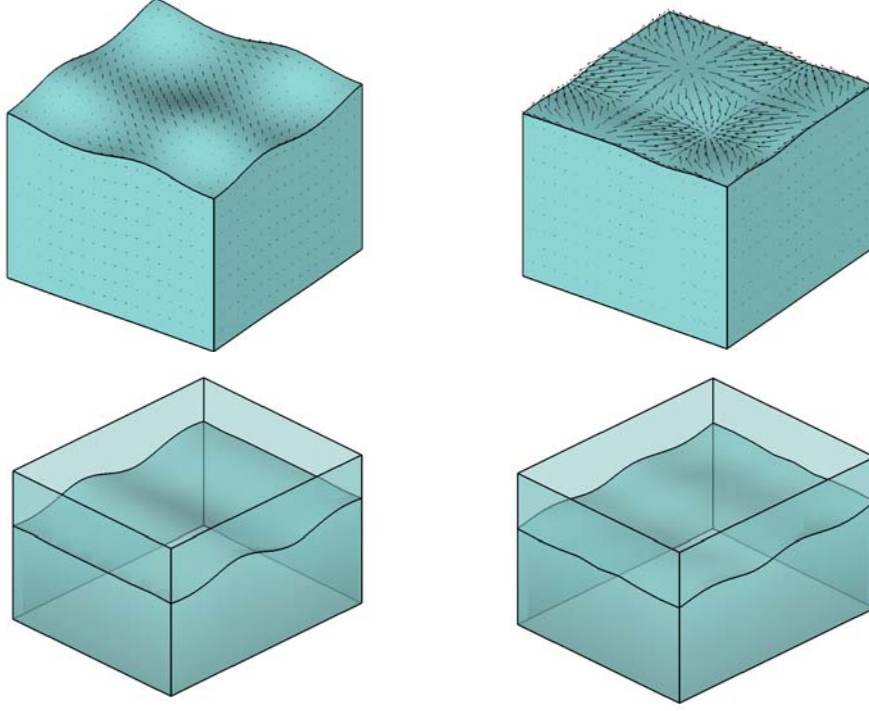
4.2 Üç boyutlu çalkantı

Üç boyutlu sayısal çalkantı hesaplamalarında kullanılan tankın boyutları 4mx4mx1m (LxBxT) olmak üzere seçilmiştir. Şekil 4'te x-yönünde açısal dönme yapan üç boyutlu çalkantının genel görünüşü $t=1.2$ (sol) ve $t=3.6$ (sağ) s için verilmiştir. Periyod $T=1.5$ s, $\Delta t=0.0125$ s, açısal dönme açısı $\theta_0=1^\circ$ alınmıştır. Gridler x- ve y- yönlerinde 60x10'dur.

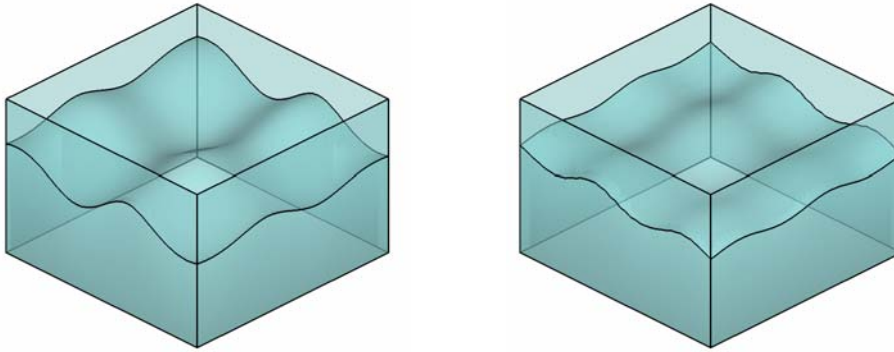
Şekil 5'te x- ve y- yönlerinde açısal dönme yapan üç boyutlu çalkantının genel görünüşü $t=1.2$ (sol) ve $t=3.6$ (sağ) s için verilmiştir. Periyod $T=1.5$ s, $\Delta t=0.0125$ s, x- yönünde açısal dönme açısı $\theta_0=1^\circ$, y- yönünde açısal dönme açısı $\theta_0=1.5^\circ$ alınmıştır. Gridler x- ve y- yönlerinde 40x40'tır. Şekil 6'da x- ve y- yönlerinde açısal dönme yapan üç boyutlu çalkantıya ait hesaplanan hız vektörlerinin görünüşü $t=2.5$, $t=3$, $t=3.5$ ve $t=4$ s için verilmiştir.



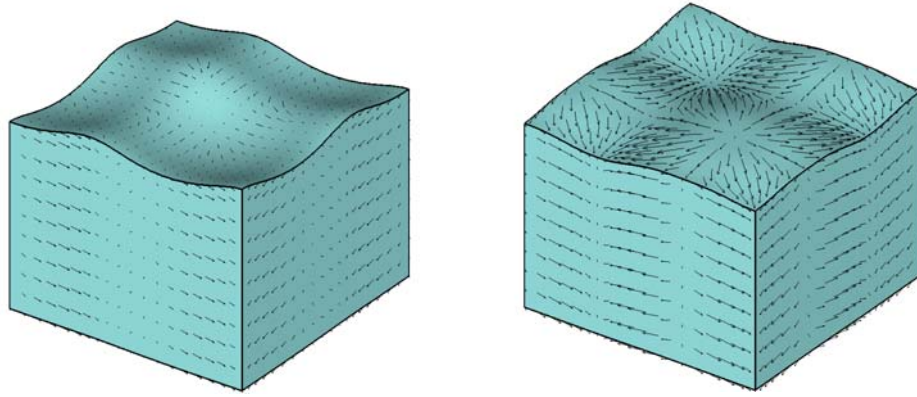
Şekil 3 (a) $T=1.5$ s, (b) $T=1$ s için tank duvarında zamana bağlı dalga profilinin görünüşü. (c) $T=1$ s için $t=5.4$ s'deki anlık dalga profilinin durumu (o) [4], ($\square$) [7], ($\diamond$) hesaplanan.



Şekil 4. x-yönünde açısal dönme yapan üç boyutlu çalkantının genel görünüşü $t=1.2$ (sol) ve $t=3.6$ (sağ) s. (Gridler 60×10), $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ tank boyutları, $h_0=1$ m (su derinliği).



Şekil 5. x- ve y- yönlerinde açısal dönme yapan üç boyutlu çalkantının genel görünüşü $t=1.2$ (sol) ve $t=3.6$ (sağ) s. (Gridler 40×40), $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ tank boyutları, $h_0=1$ m (su derinliği).



Şekil 6. x- ve y- yönlerinde açısal dönme yapan üç boyutlu çalkantıya ait hız vektörlerinin görünüşü $t=2.5$, $t=3$, $t=3.5$ ve $t=4$ s. (Gridler 40×40), $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ tank boyutları, $h_0=1$ m (su derinliği).

5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Tamamen sıvıyla dolu bir tankın yapmış olduğu hareketler rijit cisim hareketleridir. Eğer tank kısmi doluyorsa, içinde serbest yüzey etkisi oluşur ve tankın herhangi bir rijit hareketinden sıvı çalkantısı meydana gelir. Tankın içindeki bu sıvı hareketi, mühendislik açısından oldukça önemlidir. Tank içinde taşınan sıvının hareketleri sonucu, tankın yan duvarlarında çarpma sonucu yüksek lokal basınçlar oluşur. Bu basınçlardan meydana gelen kuvvet ve yatırma momentleri, tankın bulunduğu aracın dengesini bozabilir ve neticede önemli hasarlar doğabilir.

Bu çalışmada, kısmî dolu ve kapalı tankların içindeki sıvı çalkantı hareketleri incelenmiştir. Tank hareketinden dolayı oluşan zorlamalar, hareketin başlamasından itibaren harmonik kabul edilmiştir. Tank ve buna bağlı olarak akışkan hareketleri iki ve üç boyutlu ele alınmıştır. İncelenen bölge ise kapalı ve kısmi dolu olan rijit dikdörtgen şeklinde bir tank olarak düşünülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışmada, farklı bir yaklaşımla sıvı çalkantısı problemi nümerik olarak çözülmeye çalışılmıştır. Bunun için kısmi dolu kapalı tanklar kullanılmıştır. İki ve üç boyutlu etkiler ele alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan sığ su denklemleri, literatürde bulunan iki boyutlu analitik ve sayısal modellerle karşılaştırılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

Kaynaklar

- [1] İbrahim, R.A., Pilipchuk, V.N., Ikeda T., 2001. Recent advances in liquid sloshing dynamics, Applied Mechanical Review, 54(2), pp. 133-199.

- [2] Akyıldız, H., Ünal, E., 2005. Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid sloshing, *Ocean Engineering*, 32, 1503-1516.
- [3] Akyıldız, H., Ünal, E., 2006. Sloshing in a three-dimensional rectangular tank: Numerical simulation and experimental validation, *Ocean Engineering*, 33, 2135-2149.
- [4] Kim, Y., 2001. Numerical simulation of sloshing flows with impact load, *Applied Ocean Research*, 23. pp. 53-62.
- [5] Sames, P.C., Marcouly, D. and Schellin, T.E., 2002. Sloshing in rectangular and cylindrical tanks, *Journal of Ship Research*, Vol 46, No.3, 186-200.
- [6] Kim, Y.H., Nam, B.W., Kim, D.W., Kim, Y.S. 2007. Study on coupling effects of ship motion and sloshing, *Ocean Engineering*, doi:10.1016/j.oceaneng.2007.03.008.
- [7] Faltinsen, O.M., 1978. A numerical nonlinear method of sloshing in tanks with two-dimensional flow, *Journal of Ship Research*, Vol. 22, No:3, 193-202.



AKIM AYRILMASINA BAĞLI ENERJİ KAYIPLARI İÇİN PRATİK

BİR UYGULAMA : GİRDAP YAPICILAR

U. Oral ÜNAL¹ Ömer GÖREN²

ÖZET

Sınır tabaka ayrılması, özellikle dolgun cisimler etrafındaki akışı değiştirerek büyük miktarda enerji kaybına yol açan bir olaydır. Buna bağlı olarak, hidro-aerodinamik pek çok aracın performansı akım ayrılmasının yeri tarafından kontrol edilmektedir. Böylece akım ayrılmasının kontrolü temel bir araştırma konusu olmasının yanı sıra ekonomik açıdan da önemli bir mühendislik problemi olarak görülmektedir. Akım ayrılmasının önlenmesi ya da geciktirilmesi için kullanılan pek çok akış aracı bulunmasına karşın; pasif *girdap yapıcılar*, pratik kullanım biçimleri, düşük maliyetleri ve performansları ile diğerleri arasında öne çıkan en etkili yöntemlerdendir.

Konunun deneysel ve hesaplamalı olarak incelenmesi ve akışı en iyi modelleyen türbülans modelinin seçilmesi amacıyla bir doktora çalışması yürütülmüştür. Çalışmada dolgun cisimleri temsil etmek üzere dairesel silindir kullanılmıştır.

Bu makalede söz konusu doktora çalışmasında elde edilen bazı deneysel/sayısal veri ve karşılaştırmalara yer verilmiştir

Anahtar kelimeler: Akım ayrılması, girdap yapıcılar, dairesel silindir

1. Giriş

Yıllar önce, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında, deneysel akım görüntüleme tekniklerinden yararlanarak bir girdap yapıcı dizaynı yapılmıştır. Bu çalışmayı derinleştirmek, deneysel analizleri nitel ölçümlerden nicel ölçümlere kaydırmak ve hesaplamalı viskoz analizlerle bir karşılaştırma yaparak bu hadiseye en uygun türbülans modelini ortaya koymak suretiyle uluslararası literatüre de katkıda bulunmak amacıyla doktora seviyesinde bir araştırma yürütülmüştür. Burada, söz konusu doktora çalışmasının bazı bulguları yalınlaştırılarak özetlenmektedir.

¹ Dr., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, ounal@itu.edu.tr

² Prof. Dr., İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, ogoren@itu.edu.tr

Sınır tabaka ayrılması özellikle dolgun cisimler etrafındaki akışı değiştirerek büyük miktarda enerji kaybına yol açan bir olaydır. Buna bağlı olarak, hidro-aerodinamik pek çok aracın performansı akım ayrılmasının yeri tarafından kontrol edilmektedir. Böylece akım ayrılmasının kontrolü temel bir araştırma konusu olmasının yanı sıra ekonomik anlamda da önemli bir mühendislik problemi olarak görülmektedir. Akım ayrılmasının çeşitli aktif ya da pasif yöntemlerle kontrol edilebilmesi mümkündür. [1] akım ayrılması ve kontrol teknikleri hakkında geniş bir inceleme sunmaktadır. Akım ayrılmasının engellenmesi ya da geciktirilmesi için kullanılan en etkili yöntemlerden biri pasif girdap yapıcılarıdır. Girdap yapıcılar, neden oldukları sınır tabaka içine gömülen girdaplardan dolayı oluşan makro ölçekteki hareketler ile duvar yakınındaki akışın yeniden düzenlenmesini sağlamaktadırlar. Basit geometrilere sahip girdap yapıcılar uygulanabilirliklerinin yüksek ve maliyetlerinin düşük olması sayesinde oldukça avantajlı ve yaygın biçimde kullanılan akış araçlarıdır. [2] ve [3] girdap yapıcılar ile ilgili kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. Girdap yapıcıların ayrılmayı geciktirme mekanizmaları momentum transferine dayanmaktadır. Akış yönünde belirli bir açıyla durmakta olan girdap yapıcılar uç kısımlarından itibaren akış yönünde helisel bir hız dağılımına neden olurlar [1]. Bu hareket, sınır tabakanın içerisinde, ters basınç gradyanı ve duvar kayma gerilmesi nedeniyle yavaşlamış ve enerjisini kaybetmiş akışkan zerreciklerinin dışarıdan gelen ve serbest akım hızına ve dolayısıyla yüksek momentuma sahip akışkan zerrecikleri ile yer değiştirmelerini sağlamaktadır. Bunun bir sonucu olarak sınır tabakadaki momentum seviyesinde yükselme olmaktadır. Böylece sınır tabaka içerisindeki akışın, ters etkilere karşı daha dayanıklı olması ve akış yönünde daha uzun süre hareket edecek enerjiyi bulabilmesi sağlanmış olur. Bunun bir sonucu olarak akım ayrılması geciktirmektedir.

Öte yandan, dolgun cisimlere muhtemelen en iyi örneği dairesel silindir geometrisi teşkil etmektedir. Dairesel silindir, yüzey eğriselliği, yüksek ters basınç gradyanı, kuvvetli akım ayrılması, ayrılma noktasının salınımı, kararsız iz bölgesi ve girdap salgılanması, serbest akım türbülansı, yan oranı, boy/çap oranı gibi akış parametrelerine yüksek duyarlılık, girdap caddesi oluşumu, rejimden rejime bütünüyle değişen akış yapısı gibi kompleks bir akıştan beklenen tüm nitelikleri sunmasına bağlı olarak yaklaşık bir asırdır hidro-aerodinamik alanda araştırmacıların temel konularından birisi olmuştur. Dairesel silindir etrafındaki akışın temelde Reynolds sayısına bağlı olarak pek çok farklı ve kompleks rejim yapısı sergilemesinden dolayı karakteri hakkında genel bir kabuldense söz edilmesi mümkün değildir. Bu durum akış rejimlerinin ve birbirleriyle olan ilişkilerinin ayrı ayrı değerlendirilmelerini gerektirmektedir. [4], [5], [6] ve [7], dairesel silindir etrafındaki akış rejimlerinin temel karakteristiklerini ve rejimler arası geçişleri etkileyen Reynolds sayısı dışındaki faktörleri geniş kapsamlı biçimde ele almaktadırlar.

Bu çalışmada akış yönündeki pasif girdap yapıcıların dairesel silindir etrafındaki akışa etkisi incelenerek, akışkanlar mekaniğindeki iki önemli alan bir araya getirilerek ele alınmaktadır. Böylece girdap yapıcıların dolgun bir cisim ile etkileşim mekanizması hakkında bilgi birikimi edinilmesi ve hidrodinamik alanda gemiler etrafındaki akışın girdap yapıcılar vasıtasıyla iyileştirilmesine yönelik dizayn çalışmalarına temel teşkil etmesi amaçlanmıştır.

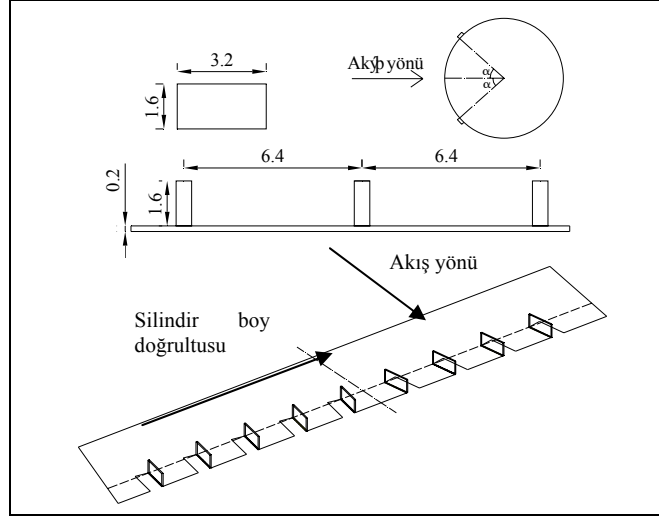
3. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmadaki amaç, akış yönündeki girdap yapıcıların dairesel silindir etrafındaki akışa olan etkisinin incelenmesidir. Dairesel silindirin iz bölgesinde görülen zamana bağlılık ve girdap salgılanması; belirli bir düzlem üzerindeki anlık akış alanının bir seri ölçüm ile zamana bağlı şekilde oluşturulmasına izin veren ve düzlemsel ölçme biçimi ile girdap yapıları, gerilme dağılımı gibi genel akış topolojisinin belirlenmesi için çok uygun bir ölçüm sistemi olan DPIV (Digital Particle Image Velocimeter) ile görüntülenmiştir. Çalışma, Newcastle Üniversitesi, School of Marine Science and Technology Bölümü bünyesinde bulunan Emerson Kavitasyon Tüneli'nde gerçekleştirilmiştir. Tesis ve kullanılan PIV sistemi hakkındaki detaylı bilginin sırasıyla [8] ve [9]'dan elde edilmesi mümkündür. Deneysel çalışma, 1.6 mm yüksekliğindeki girdap yapıcıların silindir çevresine dört farklı açıda yerleştirildikleri vakalar ve girdap yapıcı içermeyen yalın silindir vakası ile birlikte toplam beş ayrı vakanın silindirin boyuna doğrultusunda orta düzleminde iz bölgesini içeren bir alanda iki boyutlu olarak gerçekleştirilen DPIV ölçümlerini kapsamaktadır.

3.1 Deney koşulları ve ölçüm düzeneği

Pek çok teknik faktörün bir arada değerlendirilmesi sonucunda [9], 70 mm çapında bir dairesel silindir ve sınır tabaka kalınlığı mertebesinde 1.6 mm yüksekliğinde konvansiyonel tipte dörtgen kesitli girdap yapıcılar kullanılması ve Reynolds sayısının 41300 olarak belirlenmesi uygun görülmüştür. Deneylerin tümünde 70 mm çapında, 800 mm yüksekliğinde, 5 mm et kalınlığına sahip pleksiglas malzemeden üretilmiş içleri boş, dairesel kesitli silindirik borular kullanılmıştır. Girdap yapıcıların yükseklik/boy oranları ile girdap yapıcılar arasındaki mesafe ile yükseklik oranı sırasıyla 0.5 ve 4 olarak belirlenmiştir. Silindirler tüm deneylerde, test edildikleri kavitasyon tünelinin tabanına dik doğrultuda, merkezleri tünelin ölçüm bölümünün akımın geliş yönündeki başlangıcından 1.6 m uzaklığa ve tünelin eni doğrultusunda tam ortaya gelecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Tüm ölçümler silindirin yüksekliği doğrultusunda tam ortada, tabandan 0.4 m yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Ölçüm alanının boyutları silindir çapına göre, X ve Y doğrultusunda sırasıyla, 2.6D ve 0.9D'dir. Şekil 1'de ölçüm düzeneğinin şematik bir görünüşü ve kullanılan koordinat sistemi görülmektedir.

Girdap yapıcılar belirli bir eksene göre simetrik olarak Şekil 1'de görüldüğü gibi akış yönüne ± 10 derece açı yapacak şekilde seçilmişler ve 0.2mm et kalınlığına sahip, 50mm genişliğindeki şerit halinde paslanmaz çelik malzemeden kesip katlama biçiminde Türkiye'de üretilmişlerdir. Farklı vakalar için, girdap yapıcılar silindirin boyu doğrultusunda ilk durma noktasıyla α derece açı yapacak şekilde Şekil 1'de en üstte sağda görüldüğü gibi akış yönünde, simetrik biçimde yerleştirilmişlerdir. Girdap yapıcıların yerleştirileceği α açıları, ayrılma çizgisine olan mesafe göz önüne alınarak sırasıyla 50, 60, 65 ve 70 derece olarak belirlenmiş ve söz konusu vakalar, sırasıyla, VG1650, VG1660, VG1665 ve VG1670 olarak kodlanmıştır. Yalın silindir vakası ise VG0000 biçiminde geçmektedir.



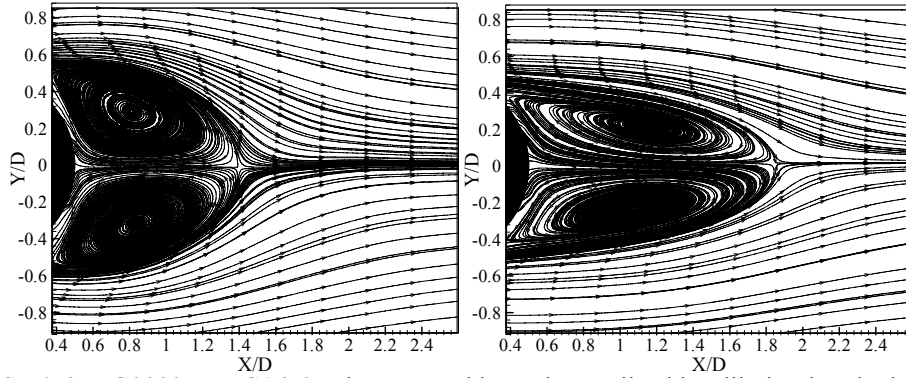
Şekil 1. Girdap yapıcıların şematik görüntüsü (Ölçüler milimetredir.)

3.2 Deneysel Çalışma Sonuçları

PIV görüntülerinden elde edilen akış alanlarının analizi, Reynolds Ayırıştırması, Sabit Faz Ayırıştırması ve Uygun Dikey Ayırıştırma (POD, Proper Orthogonal Decomposition) olmak üzere, üç ayrı türbülanslı akış alanı ayırıştırma tekniği ile detaylı biçimde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu ayırıştırma teknikleri ve uygulamaları ile ilgili bilgi [9]'da sunulmuştur. Bu makalede, konunun ele alınışının basitleştirilebilmesi ve kısa tutulabilmesi amacıyla yalnızca Reynolds Ayırıştırması'ndan elde edilen veriler olabildiğince özlüce derlenmiştir.

Şekil 2'de, VG0000 ve VG1670 vakaları için Reynolds ortalaması alınarak elde edilen akım hatları yer almaktadır. Yalın silindir için elde edilen kısa ve kalın iz bölgesi literatür ile uyumludur [10]. Akım hatları, girdap yapıcıların, silindirin yakın iz ve girdap oluşum bölgesinde yapmış oldukları etkinin nitelik olarak çok açık bir görüntüsüdür. Girdap yapıcılı vakada iz bölgesinin bariz biçimde uzadığı ve kalınlığının ciddi miktarda azaldığı görülmektedir. Ayrılma noktasından nispeten daha uzağa yerleştirilmiş girdap yapıcıların etkileri arasında büyük farklar görülmezken girdap yapıcıların yerleştirildikleri açının artarak ayrılma noktasına yaklaşması ile etki ani bir artış göstermektedir. Yalın silindir için ölçümlenen iz kapanma boyu 1.393 [11] ile uyum içerisindedir. Girdap yapıcı konum açısının 70 dereceye yükseltildiği VG1670 vakasında iz kapanma boyu l_c , %33 ve merkez yatay eksen üzerinde hızların minimum oldukları noktanın silindir merkezine olan uzaklığı l_U , %45 civarında artış göstermektedir. Akış yönündeki hız salınımlarının maksimum değerine ulaştığı noktanın silindir merkezine olan uzaklığı girdap oluşma boyu (l_f) olarak

tarif edilmektedir [12]. Buna göre, ölçülen l_f değerlerinin, girdap yapıcı konumlarının ayrılma çizgisine yaklaştırılmaları sonucunda iz kapanma boyuna uyumlu şekilde artış gösterdikleri görülmektedir. Girdap oluşma noktası, VG1670 vakasında VG0000 vakasına göre %44 kadar akış yönünde ötelenmektedir.



Şekil 2. VG0000 ve VG1670 vakası Reynolds ortalaması ile elde edilmiş akım hatları

Reynolds sayısının mevcut değerin üzerine çıkarılması ve giderek yükseltilmesi sonucunda sınır tabakada türbülansa geçiş ayrılma noktasına kadar varmaktadır [13]. Reynolds sayısının daha da yükselmesi, sınır tabakada türbülansa geçişi başlatmış olur. Sınır tabakanın türbülansa geçmesi ile birlikte ayrılma noktasının yavaşça akış yönünde ilerlemeye başladığı bilinmektedir [4]. Bununla birlikte girdap oluşma boyunda da artış görülmektedir. Tablo ve grafiklerden elde edilen sonuçlar bu olay ile benzerlik sergilemektedir. Girdap oluşma boyunun artması ve global ortalama akım hatlarında görüldüğü gibi iz bölgesinin narinleşmesi net biçimde akım ayrılmasının gecikmesine işaret etmektedir.

Akış yönündeki hız profillerinden momentum korunumu ilkesinden yola çıkarak çok kabaca da olsa bir direnç katsayısı değeri hesaplamak mümkündür. Hesaplanan değerin sağlıklı olabilmesi için hız azalmasının çapraz akış yönünde tamamlanmış olması ve profillerin kararlı hale gelmiş olmaları gerekmektedir. $X/D \geq 1.5$ için maksimum değerlerin DPIV'den alınan görüntünün dışında kalmasından dolayı bu durum bu çalışmadaki ölçüm alanı için tam olarak geçerli olmasa da, en azından bir yaklaşım yapabilmek amacıyla $X/D=2.0, 2.4$ ve 2.6 kesitlerinde momentum kalınlığı hesaplanmış ve elde edilen değerlere göre hesaplanan tahmini direnç katsayısı C_D ile birlikte Tablo 1'de sunulmuştur. Direnç katsayısını, D silindir çapı ve L silindir boyu olmak üzere,

$$C_D = \frac{\text{Direnç}}{D \cdot L \cdot \rho \cdot U_\infty^2 / 2} = \frac{L \cdot \rho \cdot U_\infty^2 \cdot \theta}{D \cdot L \cdot \rho \cdot U_\infty^2 / 2} \quad (1)$$

şeklinde hesaplamak mümkündür. Burada momentum kalınlığı,

$$\theta = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U}{U_{\infty}} \left(1 - \frac{U}{U_{\infty}} \right) dY \quad (2)$$

olmaktadır.

Tablo 1. Yaklaşık Momentum Kalınlığı θ ve Direnç Katsayısı C_D

	θ (mm) (X/D=2.0)	θ (mm) (X/D=2.4)	θ (mm) (X/D=2.6)	C_D
VG0000	25.0	25.8	25.8	≈ 0.738
VG1650	18.2	20.0	20.0	0.570
VG1660	17.1	18.6	18.6	0.532
VG1665	14.7	17.9	18.1	0.518
VG1670	9.0	15.7	16.8	0.481

Tablo 1’den değerlerin X/D arttıkça belirli bir değere yakınsamış olduğu görülmektedir. Bu, en azından sonuçların kendi içerisinde tutarlı olduğunu işaret etmektedir. En az yakınsama VG1670’te mevcuttur. Akım ölçüm bölgesi sınırların içerisinde henüz kararlı hale geçememiştir. Direnç değerleri genel anlamda, içinde bulunulan akış rejimine göre beklenenin oldukça altında bulunmuşsa da, girdap konum açısı arttıkça dirençteki düşüş miktarı çok barizdir. Hesaptaki belirsizliği de düşünerek, tek tek yüzde vermek çok doğru olmasa da, genel olarak direnç değeri girdap yapıcıların etkisiyle % 30 civarında düşmektedir.

Deneyisel çalışmanın sonuçları ile ilgili nispeten daha kapsamlı bilgi için [14] incelenebilir.

4. Hesaplamalı Çalışma

Yapılmış olan sayısal çalışmada akış yönündeki girdap yapıcıların dairesel silindir etrafındaki akışa olan etkisi hesaplamalı olarak incelenmektedir. Hesaplar, yalın silindir (VG0000) ve girdap yapıcıların silindir yüzeyine ilk durma noktasına göre 50 derece açı ile yerleştirildikleri girdap yapıcılı (VG1650) vakaları kapsamaktadır. Akış alanı, sıkıştırılamaz Reynolds-Ortalaması-Alınmış Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanılarak, iki ve üç boyutlu biçimde, zamana bağlı olarak (URANS), günümüzde hidro-aerodinamik uygulamalarda hem akademik alanda hem de mühendislik platformunda iyi tanınan ve yüksek performansları nedeniyle sıkça kullanılan dört ayrı türbülans modeli ile modellenmiştir. Hesaplamalı çalışmadaki amaç, yalın ve girdap yapıcılı silindir etrafındaki akışın, deneyisel çalışmada yer almayan yanlarının da ortaya konabilmesi ve bu karmaşık akışı en iyi şekilde modelleyen türbülans modelinin çalışmada ele alınan tek denklemlilik (Spalart-Allmaras) ve iki denklemlilik (Realizable k- ϵ , Wilcox k- ω , Shear-Stress-Transport k- ω) türbülans modelleri arasından seçilmesidir. Türbülans modelleri ile ilgili geniş bilgi [9]’dan elde edilebilir. Bu makalede, konunun ele alınışının basitleştirilebilmesi ve kısa

tutulabilmesi amacıyla elde edilen verilerden yalnızca bir kaç örnek verilmiştir. Bunun yanı sıra, türbülans modellerinin performansları ile ilgili detaylardan bahsedilmeyecek, yalnızca türbülanslı, zamana bağlı akışın hesaplamalı olarak deneysel çalışmaya uyumlu biçimde elde edilebilmesi ile ilgili karşılaştırmalara yer verilecektir.

Hesaplamalı çalışma ticari bir akış çözücü yazılım olan FLUENT ile zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Yüksek Başarımlı Hesaplama Laboratuvarında ve Ulusal Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezinde bulunan iki ayrı çok işlemcili küme sisteminde yürütülmüştür.

3.1 Hesaplama süreci koşulları

URANS ve türbülans değişkenlerinin ayrıklaştırılması sonlu hacim metodu, hız ve basınç arasındaki eşleştirme, bir basınç-düzeltilme algoritması olan PISO [15] ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplama bölgesinin çıkış sınırında akışın gelişimini tamamlamış olduğu varsayılmıştır. Buna göre çıkış sınırında tüm değişkenlerin sınıra normal yöndeki (X yönü) gradyanları sıfır olarak alınmış, çıkış sınırındaki koşulların öndeki akımı etkilemediği kabul edilmiştir. Sınırdaki değerler bölge içindeki değerlerden ekstrapolasyon yapılarak elde edildiklerinden, sürekliliğin sağlanabilmesi için ayrıca buradaki akının girişekine eşit olacağı şekilde kütle dengelemesi yapılmaktadır. Y ve Z doğrultularındaki sınırlarda, hızların sınırlara dik bileşenleri ve tüm değişkenlerin sınırlara dik gradyanları sıfır olarak alınmıştır. Bu koşulları sınırları kayan bir duvar gibi nitelendirmek de mümkündür. Deneysel çalışmada kullanılmış olan ortalama hızın yanı sıra ölçülmüş olan türbülans şiddeti ve boy ölçeği, giriş sınırında kullanılmış olan değerlerdir [9]. Hesaplamalarda başlangıç değerleri olarak tüm akış alanında hız bileşenleri ve basınç sıfıra eşit olarak alınmıştır. Bölgede başlangıçtaki türbülans değişkenleri dağılımı giriş sınırında kullanılan değerler ile belirlenmiştir. Hesaplamalar ortalamaların alındığı 2000 zaman adımı hariç toplam 10000 adım boyunca yapılmıştır. Bu süre yaklaşık 50 girdap salgılanma periyoduna karşılık gelmektedir. Çözüm algoritmasının uygulanması sonucu elde edilen lineer denklem sistemlerinin çözümü Gauss-Seidel iteratif algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Çözümün yakınsamasının hızlandırılması ve iyileştirilmesi amacıyla Algebraic Multigrid (AMG) [16] hızlandırması kullanılmıştır.

Zaman ortalamalarının sağlıklı olabilmesi için 5 girdap salgılanma periyodu (1000 zaman adımı) boyunca global ortalamalar alınmış ve ardından global ortalama değerler kullanılarak yine 5 girdap salgılanma periyodu boyunca RMS ve diğer bileşenler elde edilmiştir. Tüm ortalama işlemleri FLUENT'in "kullanıcı-tanımlı-fonksiyon" [16] özelliğinden yararlanılarak yazılımın içinde çalıştırılan bir program vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

3.3 Ağ Örgüsü

Türbülanslı bir akışın hesaplamalı olarak çözülmesinde ağ örgüsünün oluşturulmasına özen gösterilmesi ve detayların titizlikle üzerinde durulması gerekmektedir. Özellikle "içeri alma", "aralıklılık" gibi türbülans karakteristiklerinin yüksek olduğu duvar cidarlarının

modellenmesi başlı başına büyük bir güçlük doğurmaktadır. Uygulanan türbülans modellerinin de duvar cidarları için belirlenmiş olan ele alınış prosedürleri mevcuttur. Dairesel silindirin ise, basit geometri yapısının sağlamış olduğu avantaj, etrafındaki akımın -daha önce bahsedildiği gibi- son derece kompleks yapıda olmasından dolayı büyük ölçüde kaybolmaktadır. Yalın silindir için titizlikle meydana getirilen üç boyutlu ağ örgüsü yapısı 3402000 elemandan oluşmaktadır. Üç boyutlu ağ örgüsü iki boyutlu olarak yapılan duyarlılık analizi neticesinde belirlenen ağ örgüsü temel alınarak oluşturulmuştur.

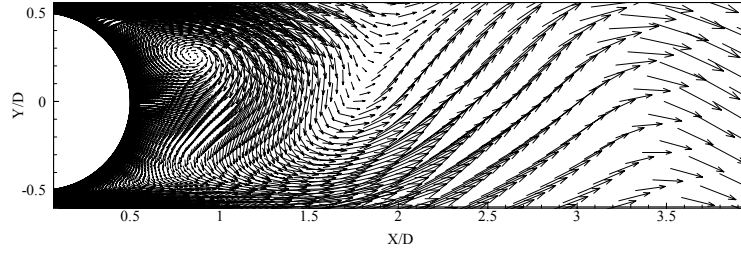
Üç boyutlu girdap yapıcı vakanın ağ örgüsü yalın silindire göre çok daha karmaşıktır. Geometri kesitinin Z eksenine boyunca aynı olmaması, üç boyutlu yapının iki boyutlu ağ örgüsünden türetilmesini olanaksız kılmaktadır. Girdap yapıcıların doğru şekilde modellenemeleri ekstra özen gerektirmektedir. Zira girdap yapıcıların sınır tabaka kalınlığı mertebesinde yükseklik ve boya sahip olmaları, bulundukları bölgedeki ağ örgüsünü çok hassas hale getirmektedir. Girdap yapıcıların sınır tabakasını ya da et kalınlıklarını ihmal ederek iki boyutlu şekilde modellenmeleri suretiyle yapılan çalışmaların yetersiz sonuçlar verdiği bilinmektedir [17]. Girdap yapıcı vaka için, diğer vakalarda olduğu gibi blok-düzenli ve birbiriyle örtüşmeyen tipte ağ örgüsü oluşturulmuştur. Düzenli yapıdaki ağ örgüsünün hazırlanabilmesi için hesaplama bölgesi 40'tan fazla sayıda alt hacim ve yüzeylere bölünerek gruplandırılmıştır. Zorunlu olarak birbirleriyle örtüşmeyen ağların kesiştiği yüzeylerin hepsi ara yüzey olarak belirlenip, buralardaki akı geçişi için interpolasyon yapılması sağlanmıştır. Sözü edilen biçimde oluşturulan ağ örgüsü 5546000 adet altı yüzeyli hacim elemanı içerecek şekilde oluşturulmuştur.

3.4 Hesaplamalı Çalışma Sonuçları

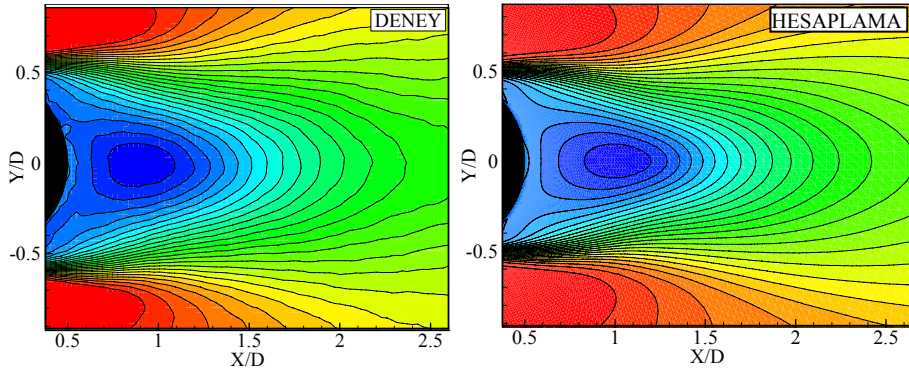
Hesaplamalı çalışma sonucunda yalın silindir etrafındaki türbülanslı zamana bağlı akış deneysel çalışma ile uyumlu olarak başarılı bir biçimde elde edilmiştir. Şekil 3'de akış bölgesinden bir enstantane yer almaktadır. Hız vektörleri görselliğin artırılması amacıyla 1/3 oranında seyreltilmişlerdir. Şekilden de görüldüğü gibi iz bölgesindeki kararsızlık ve zamana bağlılık barizdir. Tüm türbülans modelleri iz bölgesinde deney ile uyumlu biçimde benzer bir yapı sergilemişlerdir. Şekil 4'de üç boyutlu VG0000 vakası için boyutsuzlaştırılmış, zamana göre ortalamaları alınmış akış yönündeki hız ($\bar{U}/U_\infty$) konturları deneysel ve hesaplamalı olarak karşılaştırmalı şekilde verilmektedir. Şekilde ΔK , kontur aralıklarını ifade etmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi hesaplamada elde edilen sonucun deney ile uyumu çarpıcıdır. VG1650 vakası için hesaplamalı çalışma sonuçlarının, deneysel çalışma ile karşılaştırması $\bar{U}/U_\infty$ konturları biçiminde Şekil 5'te görülmektedir. Deneysel olarak tespit edilen boy ölçeklerindeki artışın hesaplamalı olarak da gözlenmesi mümkün olmuştur. Deneysel olarak 1.576 olarak ölçülmüş olan iz kapanma boyu, hesaplamalı çalışmada 1.604 olarak elde edilmiştir. Kontur hatlarının genel uyumu da başarılı olarak göze çarpmaktadır.

Şekil 6'da silindirin ortasında silindir çevresindeki ilk ağ örgüsünün hacim merkezlerinde hesaplanan akış yönündeki hız grafikleri görülmektedir. Şekilde, girdap yapıcıların bulundukları noktadan itibaren akımı büyük miktarda hızlandırarak, ikinci durma noktasına kadar silindir çevresinde daha yüksek bir hıza neden oldukları görülmektedir. Akımdaki bu

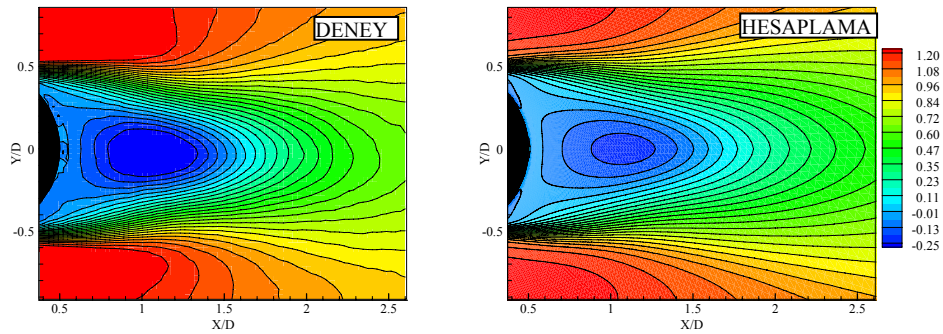
hızlanmanın sonucunda ayrılma açısı 92.5 dereceden 95.6 dereceye kaymaktadır. Bu kayma miktarı deneysel olarak bulunan iz bölgesindeki değişimden yola çıkılarak beklenen kayma miktarının bir miktar altında da olsa, girdap yapıcıların temel etkisinin görülebilmesi adına bu hadisenin hesaplamalı olarak gözlemlenebilmiş olması büyük önem taşımaktadır.



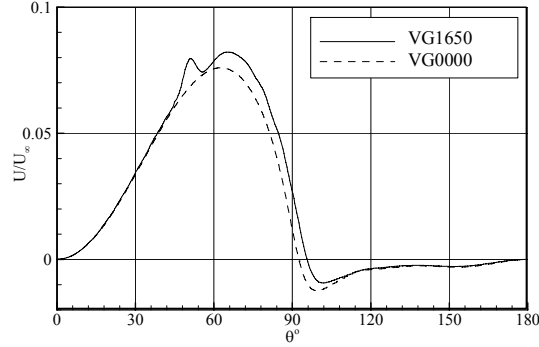
Şekil 3. İz bölgesi kararsızlığını gösteren hesaplanmış hız vektörleri



Şekil 4. 3D VG0000 vakası karşılaştırmalı $\bar{U} / U_{\infty}$ konturları ($1.2 < \bar{U} / U_{\infty} < 1.2$; $\Delta K=0.0583$)



Şekil 5. 3D VG1650 vakası $\bar{U} / U_{\infty}$ konturları



Şekil 6. VG0000 ve VG1650 vakaları için hesaplanan silindirin orta kesitinde karşılaştırmalı çevresel hız profilleri

5. Değerlendirme

Sözü geçen doktora çalışmasında akış yönündeki girdap yapıcıların dairesel silindir etrafındaki akışa olan etkisi deneysel ve hesaplamalı olarak incelenmiştir. Çalışmadaki amaç, girdap yapıcıların dairesel silindir etrafındaki akışa ve girdap oluşma mekanizmasına olan etkilerinin deneysel ve hesaplamalı olarak ortaya konması ve deneysel olarak gözlenen etkilerin sayısal olarak modellenmesinde farklı türbülans modellerinin performansının test edilmesi ve modelleme yetisi en yüksek olan türbülans modelinin belirlenmesidir. Bu makale, söz konusu doktora çalışmasının kısmi bir özünü sunmaktadır.

Deneysel sonuçlardan, girdap yapıcıların silindirin yakın iz bölgesine ve dolaylı olarak da sınır tabakadaki akışa önemli ölçüde etki ettikleri ortaya çıkmaktadır. Global ortalama değerlerden iz bölgesinin kalınlığının azalarak narinleştiği, girdap oluşma ve iz kapanma boyunda ciddi bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu olay net biçimde ölçüm yapılan düzlemde akım ayrılmasının geciktiğine işaret etmektedir. Momentum kalınlığına bağlı olarak hesap edilen direnç değerleri karşılaştırmasında, girdap yapıcı vakalarda %30'a varan oranlarda direnç düşüşü kaydedilmiştir. Yapılan hesaplamalı çalışma, yalın silindir vakasının deneysel verileri büyük bir uyum ile yakalama başarısını gösterdiğini ortaya koymaktadır. Girdap yapıcı vakada yalın silindire göre boy ölçeklerinin artması, kayma tabakalarının incilmesi ve iz bölgesindeki gerilmelerin azalması gibi deneysel çalışmada görülen etkilerin gözlenmesi mümkün olmuştur [9]. Ayrılmanın gecikmesi ve iz bölgesinin narinleşmesi gibi büyük önem taşıyan karakteristik özellikler de hesaplamalı olarak elde edilmiştir. Çalışma ayrıca, girdap yapıcıların gemiler etrafındaki akım ayrılmasını kontrol etmek üzere gerçekleştirilecek dizayn süreci gibi, hidrodinamik alanda büyük önem taşıyan bir hususa önemli katkılar yapabilecek bir altyapı hazırlamıştır.

Kaynaklar :

- [1] Gad-el-Hak, M. and Bushnell, D.M., 1991. Separation Control: Review, *Journal of Fluids Engineering*, 113, 5-30.
- [2] Lin, J.C., 1999. Control of Turbulent Boundary Layer Separation Using Micro-Vortex Generators, 30th AIAA Fluid Dynamics Conference, A99-33593, Norfolk, VA.
- [3] Lin, J.C., 2002. Review of Research on Low-Profile Vortex Generators to Control Boundary Layer Separation, *Progress in Aerospace Sciences*, 38, 389-420.
- [4] Basu, R.I., 1985. Aerodynamic Forces on Structures of Circular Cross-Section. Part 1. Model- Scale Data Obtained Under Two-Dimensional Conditions in Low Turbulence Streams, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 21, 273-294.
- [5] Zdravkovich, M.M., 1990. Conceptual Overview of Laminar and Turbulent Flows Past Smooth and Rough Circular Cylinders, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 33, 53-62.
- [6] Williamson, C.H.K., 1996. Vortex Dynamics in the Cylinder Wake, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 28, 477-492.
- [7] Zdravkovich, M.M., 1997. Flow Around Circular Cylinders Volume 1: Fundamentals, Oxford University Press, New York, USA.
- [8] Atlar, M., 2000. A History of the Emerson Cavitation Tunnel and its Role in Propeller Cavitation Research, *NCT International Conference on Propeller Cavitation*, Newcastle upon Tyne, 3-34.
- [9] Ünal, U.O., 2007. Girdap Yaratıcıların Dairesel Silindir Etrafındaki Akışa Etkisinin Deneysel ve Hesaplamalı Olarak İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Djeridi, H., Braza, M., Perrin, R., Harran, G., Cid, E. And Cazin, S., 2004. Near-Wake Turbulence Properties around a Circular Cylinder at High Reynolds Number, *Flow, Turbulence and Combustion*, 71, 19-34.
- [11] Norberg, C., 1998. LDV- Measurements in the Near Wake of a Circular Cylinder, *Advances in Understanding of Bluff Body Wakes and Vortex Induced Vibration*, Washington DC, USA, June 1998, 1-12.

- [12] Bloor, M.S. and Gerrard, J.H., 1966. Measurements on Turbulent Vortices in a Cylinder Wake, *Proceedings of the Royal Society of London Series A*, 294, 319-342.
- [13] Basu, R.I., 1986. Aerodynamic Forces on Structures of Circular Cross-Section. Part 2. The Influence of Turbulence and Three-Dimensional Effects, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 24, 33-59.
- [14] Ünal, U.O. ve Gören, Ö., 2008, Akım Ayrılmasının Kontrolünde Girdap Yapıcıların Akışa Etkisi : Deneysel İnceleme, *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, 175.
- [15] Issa, R.I., 1986. Solution of the Implicitly Discretized Fluid Flow Equations by Operator Splitting, *Journal of Computational Physics*, 62(1), 40-65.
- [16] Fluent Inc., 2006. Fluent User's Guide, Fluent Inc., Lebanon, NH.
- [17] Wik, E. and Shaw, S.T., 2004. Numerical Simulation of Micro Vortex Generators, *American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper*, 2004-2697, Portland, Oregon.



MAKİNE DAİRESİ YANGINLARINA AÇIKLIKLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Selma ERGİN¹, Aydın SÜLÜS²

ÖZET

Bu çalışmada, 10000 DWT'luk bir kimyasal tankerin makina dairesindeki yangın sayısal olarak modellenerek, doğal havalandırma açıklıklarının yangına olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, yangın söndürme sistemlerinden karbondioksit ve yağmurlama sistemleri de modellenerek yangına olan etkileri belirlenmiştir. Üç boyutlu kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri, sonlu hacim metodu kullanılarak çözülmüştür. Türbülans modeli olarak k-ε RNG modeli kullanılmıştır. Kapalı hacim yangınlarında önemli olan ısı transferi mekanizması ısı ışınım da dikkate alınmış ve yanma ürünlerinin konsantrasyonları hesaplanmıştır. Makine dairesinde değişik yangın senaryoları dikkate alınarak hesaplanan sıcaklık, hız, ve basınç alanları ile yanma ürünlerinin konsantrasyonları sunulmuş ve tartışılmıştır. Sonuçlar, makine dairesindeki açıklıkların yangının gelişiminde ve yayılımında önemli bir rol oynadığını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Makine dairesi yangınları, Doğal havalandırma, Yangın söndürme sistemleri, Sayısal modelleme, Havalandırma açıklıkları, Sonlu hacim metodu.

¹ Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Maslak 34469, İstanbul. Tel: 0212-285 6389, Fax: 0212-285 6454, e-mail: ergin@itu.edu.tr.

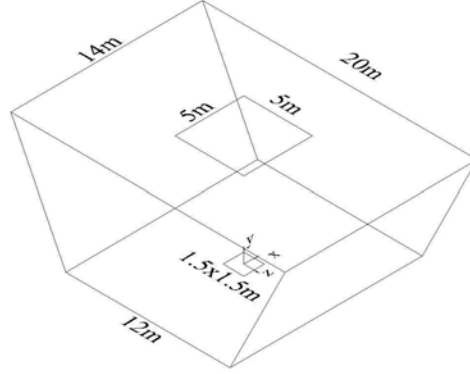
² Yük. Müh., Delta Marine, Altunizade mah. Fahrettin Kerim Gökay Cad. Okul Sok. Altunizade Sitesi, E Blok, Daire 2, 34462, Üsküdar, İstanbul. Tel: 0216-4280241, Fax: 0216-4284475, e-mail: a.sulus@deltamarine.com.tr.

1. Giriş

Deniz taşımacılığının temel korkularından biri gemi yangınlarıdır. Özellikle makine dairesi yangınları tehlike açısından ilk sıralarda yer almaktadır. Bu tür yangınların önlenmesi ve güvenlik önlemlerinin geliştirilmesi için bu konuda çalışmalar Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), çeşitli klas kuruluşları, üniversiteler ve araştırma kurumları tarafından yürütülmektedir [örneğin, bak. 1-9].

Yangınla mücadelede en zor durumlardan biri havalandırma kontrolüdür. Çünkü havalandırma yangının gelişimini ve yayılımını doğrudan etkilemektedir. Havalandırma sistemlerinin yangın sırasında kapatılması, fanlar tarafından sağlanan zorlanmış duman akışını ve oksijen girişini engeller. Bu durumda, dumanın hareketi yoğunluk farkına ve doğal havalandırma açıklıklarına bağlıdır [3, 10-12]. Ayrıca, yeterli havalandırma olmadığı takdirde, yangının olduğu bölümde duman, sıcaklık ve basınç gittikçe artar ve oksijen miktarı azalır, yani yangın daha tehlikeli bir duruma gelir ve personel tarafından yangına müdahale etmek daha da zorlaşır [13].

Yapılan çalışmada, 10000 DWT'luk bir kimyasal tankerin makine dairesindeki yangın sayısal olarak incelenmiştir. Makine dairesinin şematik resmi ve boyutları Şekil 1'de gösterilmiş olup, yüksekliği 8m alınmıştır. Çalışmanın amacı, doğal havalandırma açıklıklarının makine dairesindeki yangına olan etkilerini incelemektir. Çalışmada ayrıca, yangın söndürme sistemlerinden CO₂ ve yağmurlama sistemleri de modellenmiştir. Makine dairesinin belli yerlerinden yüksek basınçlı CO₂ verilmiştir. Sprinkler sistemindeki su sprelerini modellemek için ise Euler spre modeli kullanılmıştır. CO₂ ve yağmurlama sistemlerinin makine dairesine yerleşimi, IMO SOLAS kuralları [1, 2] dikkate alınarak yapılmıştır. Yangının makine dairesi tabanında belli büyüklükteki bir alanda çıktığı kabul edilerek, sürekli ve zamana zamana bağlı durumlar için hesaplamalar yapılmıştır. Zamana bağlı durum için t² yangın modeli kullanılmıştır. Çalışmada Tablo 1'den görülebileceği gibi 4 farklı yangın senaryosu, A-D dikkate alınmıştır. Bu yangın senaryoları için makine dairesindeki sıcaklık, hız, basınç ve türbülans alanları ile yanma ürünlerinin konsantrasyonları sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal olarak hesaplanmıştır. Türbülans modeli olarak k-ε RNG modeli kullanılmıştır. Hesaplamalar sırasında, Şekil 1'de gösterilen makine dairesinin boyutları sabit alınarak, makine dairesindeki doğal havalandırma açıklıklarının pozisyonu ve boyutları değiştirilmiştir. Sonuçlar, makine dairesindeki açıklıkların yangının gelişiminde ve yayılımında önemli bir rol oynadığını göstermiştir.



Şekil 1. Makine dairesinin şematik resmi.

Tablo 1. İncelenen yangın senaryoları.

Durum	Üst Açıklık Alanı (m ²)	Kapı Etkisi	Yangın Büyüklüğü
A	5 x 5	VAR	3 MW
B	2.5 x 2.5	VAR	3 MW
C	5 x 5	VAR	6 MW
D	5 x 5	YOK	3 MW

2. Sayısal model

2.1 Genel korunum denklemleri

Kütlenin korunumu veya süreklilik denklemi en genel halde,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

şeklinde verilebilir. Burada, S_m kaynak terimidir. Bu denklemin sol tarafındaki terimler hız vektörünün toplam türevini göstermektedir.

Momentumun korunumu denklemi ,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + \rho g_j + F_j \quad (2)$$

şeklinde verilebilir.

Enerjinin korunumu denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j (\tau_{ij})_{\text{eff}} \right) + S_h \quad (3)$$

şeklinde verilir. Buna göre Denklem 3' ün sağ tarafındaki ilk üç terim sırasıyla ısı difüzyon, bileşenlerin kütsel difüzyonu ve viskoz yayılım nedeniyle oluşan enerji geçişini göstermektedir. S_h ise ısı üretimini veya hacimsel ısı üretimini göstermektedir.

2.2 Türbülans modeli

Bu çalışmada, k- ε RNG türbülans modeli kullanılmıştır. Türbülansın kinetik enerjisi, k;

$$k = \frac{1}{2} \bar{u}_i \bar{u}_i \quad (4)$$

şeklinde tarif edilmektedir.

Benzer şekilde, türbülansın yayılımı, ε ;

$$\varepsilon_{ij} = 2\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \quad (5)$$

şeklinde tarif edilmektedir.

k- ε RNG türbülans modelinde k için transport denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (6)$$

ε için transport denklemi ;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (7)$$

Bu eşitliklerde G_k , ortalama hız gradyenlerinin yarattığı türbülansın kinetik enerjisidir. G_b yoğunluk farkının yarattığı türbülansın kinetik enerjisidir. Y_M , sıkıştırılabilir akışlarda genişlemenin toplam değişime etkisinin oranıdır. α_k ve α_ε değerleri k ve ε için Prandtl sayılarını göstermektedir. S_k ve S_ε kaynak terimlerdir.

Denklemlerdeki efektif viskozite, $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$ şeklinde dinamik ve türbülanslı viskozitenin toplamı olarak ifade edilmektedir. Dinamik viskoziteden farklı olarak, hem akışkana hem de akışa bağlı olan μ_t ise;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

şeklinde verilebilir.

Denklem 7 ve 8’de verilen c_μ , $c_{1\varepsilon}$ ve $c_{2\varepsilon}$ model sabitleri deneyler sonucu bulunan katsayılarıdır ve bu çalışmada kullanılan 0.0845, 1.42 ve 1.68 değerleri daha önce benzer çalışmalarda da kullanılan değerlerdir [14,15].

2.3 Radyasyon modeli

Bu çalışmada kullanılan ışıınım modeli P1 modelidir. Işıma yeğinliğinin ortogonal seriye açılması ile bulunur. Serinin ilk dört teriminin toplamı olarak kullanılır. Sade gösterimiyle P1 modelinde çözülen diferansiyel denklem:

$$-\nabla \cdot \mathbf{q}_r = \alpha G - 4\alpha \sigma T^4 \quad (9)$$

şeklinde verilmektedir.

Burada G ve σ sırasıyla; ışıınım şiddetini ve Stefan-Boltzman sabitini göstermektedir, α ise soğurma katsayısıdır [14, 16].

2.4 Kimyasal reaksiyonlar

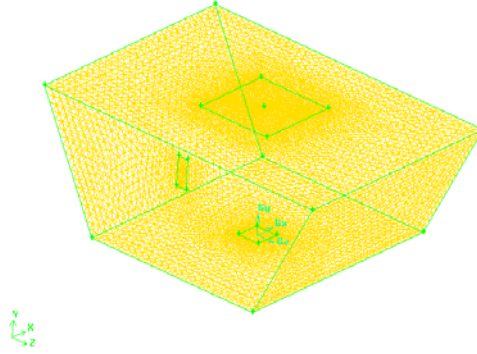
Korunum denklemlerinin kimyasal ürünler için çözülmesi gerektiğinde, her ürün için kütle miktarlar Y_i lokal olarak tahmin edilir. Korunum denklemleri genel olarak

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla(\rho v Y_i) = -\nabla \cdot J_i + R_i + S_i \quad (10)$$

halini alır. R_i kimyasal reaksiyon sonucu oluşan i ürünün net üretim oranıdır.

2.5 Hesaplama Ağı

Çalışmada kullanılan hesaplama ağı Şekil 2’de verilmiştir. Hesaplamalarda yaklaşık 350000 hücre kullanılmıştır. Sayısal çözümde korunum denklemlerini oluşturan türev terimlerinin lineerleştirilebilmesi için hücre boyutunun belirli bir büyüklüğün altında olması gerekmektedir. Bu büyüklük geometriye ve akışa bağlı olup, genel olarak akışla ilgili özelliklerin değişimleri ile ilişkilidir. Bu nedenle hesaplama ağı, yangının olduğu yer ile açıklıkların bulunduğu yerler ve cidarlara yakın bölgelerde daha sık hazırlanmıştır. Kullanılan eksen takımı da Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir.



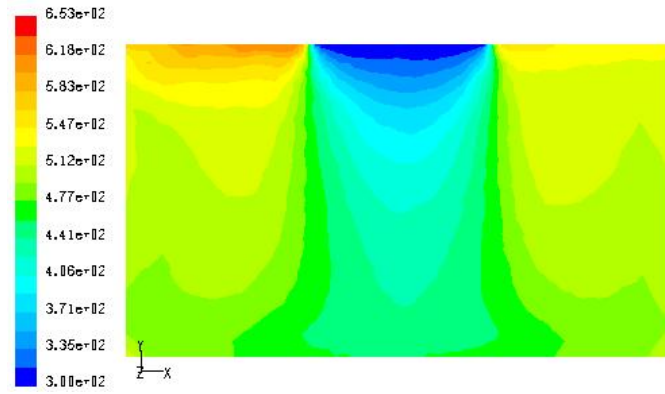
Şekil 2. Hesaplama ağı.

2.6 Çözüm Yöntemi

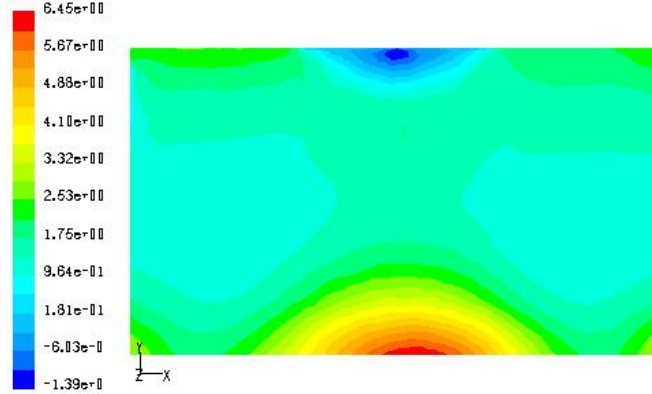
Korunum denklemleri sonlu hacim metoduna göre ayrıklaştırılmışlardır. Sayısal çözümlerde, ayrık çözüm algoritması (segregated solver) kullanılmıştır. Önce momentum denklemleri, sonra basınç düzeltme denklemleri son olarak da enerji denklemleri ve diğer transport denklemleri sırası ile çözülmektedir. Basınç ve hız arasındaki bağlantı, SIMPLE algoritması kullanılarak sağlanmıştır. Hesaplamalarda, bu çözüm yöntemini kullanan Fluent CFD programı [17] kullanılmıştır.

3. Sonuçlar ve Değerlendirme

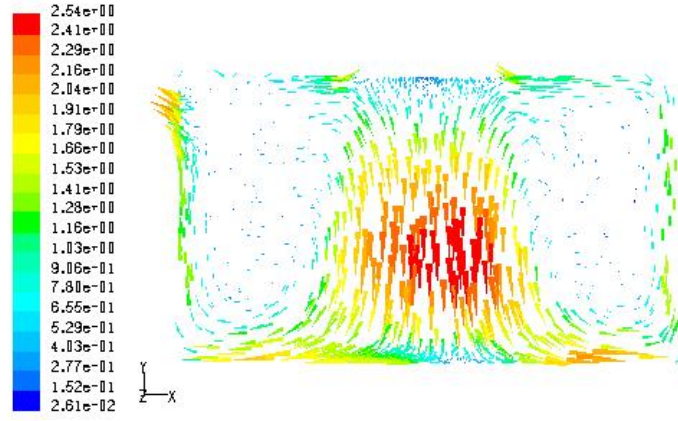
Sürekli ve zamana bağlı durumlar için yukarıda Tablo 2’de verilen yangın senaryoları kullanılarak makine dairesinde sıcaklık, hız, basınç, türbülans ve yanma ürünlerinin konsantrasyonları hesaplanmıştır. Tipik hesaplama sonuçları Durum A için Şekil 3-12’de sunulmuştur. Şekil 3-7, makine dairesinde $z=0$ m’deki sıcaklık, basınç, hız, O_2 ve CO_2 konsantrasyonlarını göstermektedir.



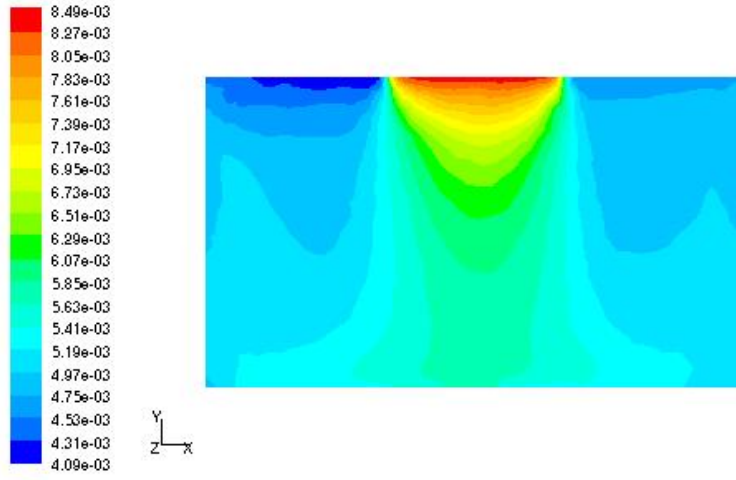
Şekil 3. Sürekli yangın modelinde Durum A için $z = 0.0$ m’deki sıcaklık (K) dağılımı.



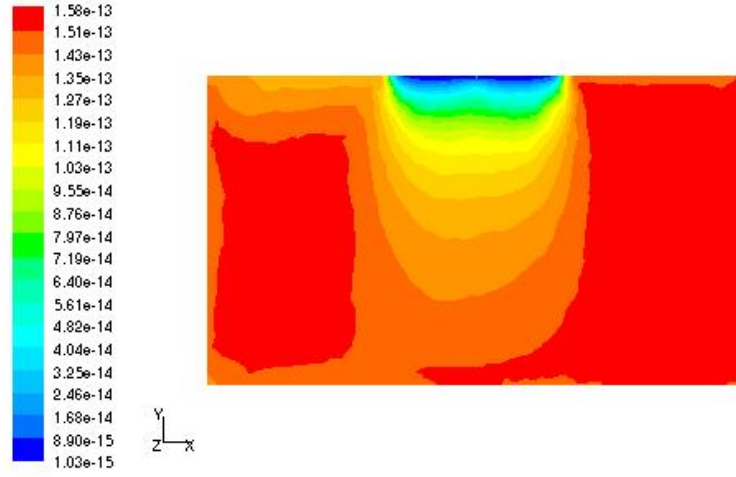
Şekil 4. Sürekli yangın modelinde Durum A için $z = 0.0$ m’deki basınç (Pa) dağılımı.



Şekil 5: Sürekli yangın modelinde Durum A için $z = 0.0\text{m}$ 'deki hız (m/s) dağılımı.

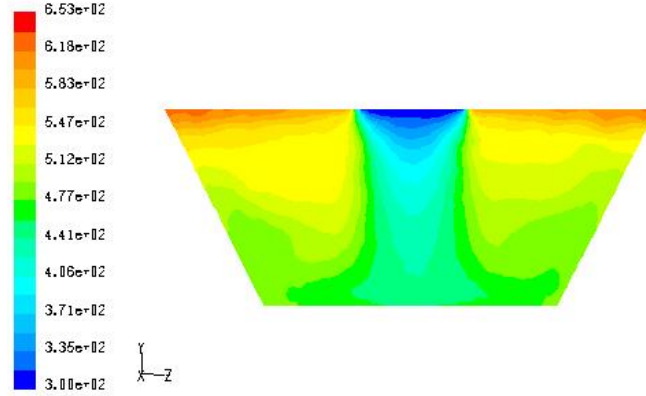


Şekil 6: Sürekli yangın modelinde Durum A için $z=0.0\text{m}$ 'deki O_2 konsantrasyonu (kmol/m^3).

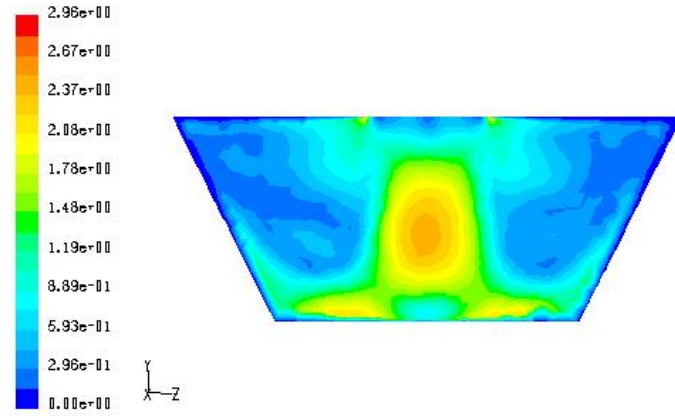


Şekil 7. Sürekli yangın modelinde Durum A için $z=0.0\text{m}$ 'deki CO_2 konsantrasyonu (kmol/m^3).

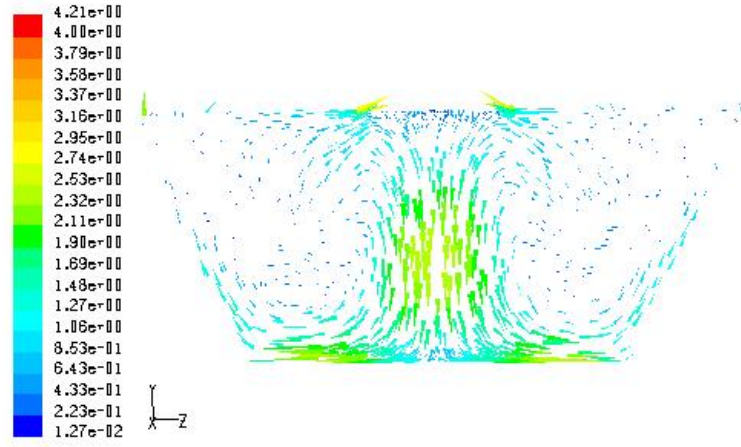
Makine daireesinde Durum A için sıcaklık, basınç, hız ve konsantrasyon (O_2 ve CO_2) dağılımları $x=0.0\text{m}$ kesiti için sırası ile Şekil 8-12 'de gösterilmiştir.



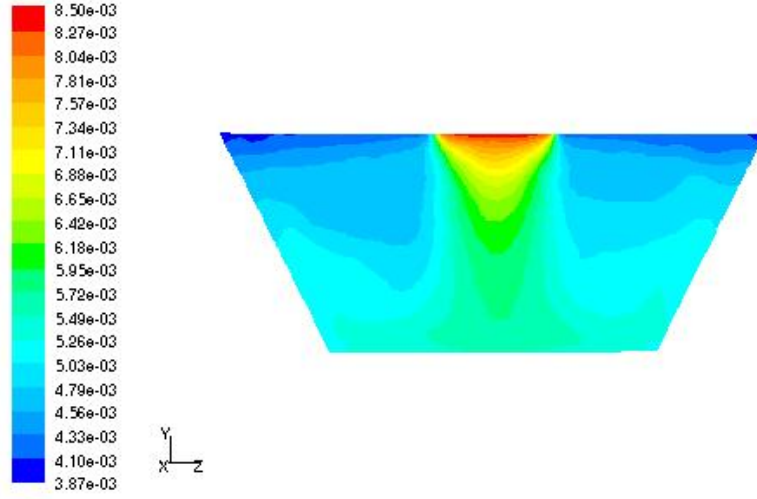
Şekil 8. Sürekli yangın modelinde Durum A için $x = 0.0 \text{ m}$ 'deki sıcaklık (K) dağılımı.



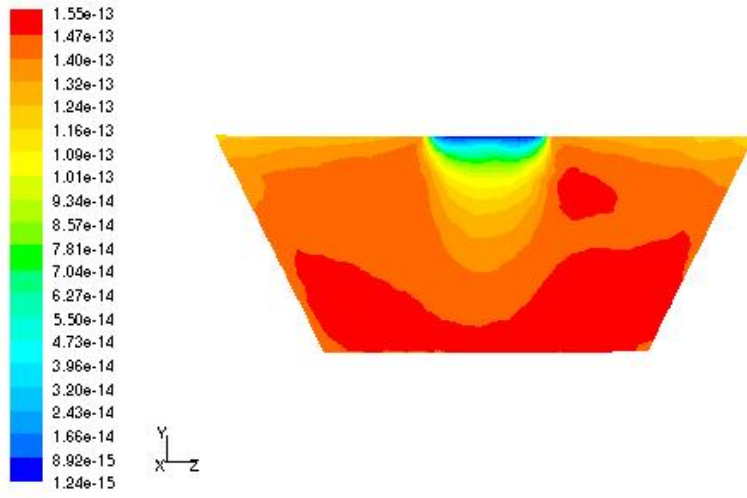
Şekil 9. Sürekli yangın modelinde Durum A için $x=0.0$ m'deki basınç (Pa) dağılımı.



Şekil 10. Sürekli yangın modelinde Durum A için $x=0.0$ m'deki hız (m/s) dağılımı.



Şekil 11. Sürekli yangın modelinde Durum A için $x=0.0$ m'deki O₂ konsantrasyonu (kmol/m³).



Şekil 12. Sürekli yangın modelinde Durum A için $x=0.0$ m'deki CO₂ konsantrasyonu (kmol/m³)

3.1 Sürekli durum için sonuçların değerlendirilmesi

Makine dairesinin üst kısmında 5 m x 5 m açıklık olduğu ve yangın büyüklüğünün 3 MW olduğu durumda (Durum A), makine dairesinde sıcaklığın ortalama olarak 500 °C olduğu gözlenmektedir (bakınız Şekil 3 ve 8). Makine dairesinin üst kısmındaki açıklıktan içeriye hava girişi yangın süresince devam etmektedir. Dışarıya duman çıkışı ise kapı açıklığından ve üst açıklığın kenarlarından olmaktadır (bakınız Şekil 5-10). Yangın büyüklüğünün küçük olması ve üst açıklığın büyük olması nedeniyle dışarıya duman çıkışı diğer durumlara göre daha az olmaktadır. Aynı zamanda ortamın, dışarıdan içeriye giren hava nedeni ile soğuması diğer durumlara göre daha kolay olmaktadır.

Durum A hariç, Tablo 1’de gösterilen diğer durumlar için hesaplanan değerleri gösteren şekiller sayfa sınırlaması nedeni ile burada verilememiştir. Fakat bu şekiller kaynak [8]’de görülebilir. Aşağıdaki paragraflarda diğer durumlar için bulunan sonuçlar tartışılacaktır.

Makine dairesi üst açıklığının 2.5 m x 2.5 m ve yangın büyüklüğünün 3 MW olduğu durumda (Durum B), ortalama sıcaklığın 800°C’ye yükseldiği gözlenmiştir. Bu durumda, kapı açıklığından ve üst doğal havalandırma açıklığından içeriye hava girişi olmaktadır. Üst açıklığın küçülmesine rağmen kapı açıklığından içeriye hava girişi olmasının nedeni üst havalandırma açıklığından içeriye giren havanın miktarının azalması ve dolayısı ile ortamdaki sıcak havanın soğuma hızının azalmasıdır. Bu durum ortam sıcaklığının yüksek olması nedeni ile tarafsız eksenin yukarı çıkmasından kaynaklanmaktadır. Bu sayede kapı açıklığından içeriye hava akışı gerçekleşebilmektedir.

Makine dairesi üst açıklığının 5 m x 5 m ve yangın büyüklüğünün 6 MW olduğu durumda (Durum C), ortalama sıcaklığın alev sıcaklığına eşit olduğu gözlenmiştir. Yangın büyüklüğünün çok büyük olması nedeni ile ortamda oluşan gazların sıcaklığı çok yüksektir. Bu durum tarafsız eksenini aşağıya çekmektedir ve iç ortamın basıncısının dış ortamdaki çok büyük olmasına sebep olmaktadır. Bu durumda dışarıdan içeriye hava akışı gözlenmemiştir. Sadece makine dairesindeki yangın sonucunda oluşan gazların doğal havalandırma açıklıklarından dışarıya çıktığı gözlenmiştir.

Makine dairesi üst kısmında 5 m x 5 m açıklık olduğu ve 3 MW yangın büyüklüğü durumunda (Durum D), kapı açıklığı yoktur. Bu durumda, makine dairesindeki ortalama sıcaklığın 800 °C civarında olduğu gözlenmiştir. Kapı açıklığından içeriye hava girişi olmadığından, yangın sonucu oluşan gazlar daha yüksek sıcaklıktadır. Gazların ısınması sonucu oluşan yoğunluk farkından dolayı, üst açıklıktan sıcak gazların dışarıya çıktığı gözlenmiştir. Yani, kütleinin korunumu gereği üst açıklıkta çift yönlü akış meydana gelmektedir.

3.2 Zamana bağı durum için sonuçların değerlendirilmesi

Hesaplama sonuçları, makine dairesi açıklıklarının büyük olduğu ve yangın büyüklüğünün küçük olduğu durumda (Durum A), su sprelerinin çalışmasına gerek duyulmadığını göstermiştir [8]. Bu durumda karbondioksit tek yangın söndürücü olarak kullanılabilir. Üst havalandırma açıklığının daha küçük olduğu durumda (Durum B), kapıdan içeriye hava akışı olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, üst havalandırma açıklığından dışarıya sıcak gaz çıkışı olmaktadır. Aynı zamanda, üst havalandırma açıklığından içeriye de hava akışı olduğu gözlenmiştir. Yangın büyüklüğünün büyük olduğu durumda (Durum C), açıklıkların etkisi yangın üzerinde azalmakta ve karbon dioksit ile suyun birlikte yangın söndürücü olarak kullanılması gerekmektedir. Bu durumda, üst havalandırma açıklığından içeriye giren ve içeriden çıkan havanın hızı diğer durumlara göre daha fazladır.

Sonuçlar, kapı etkisinin içerideki sıcaklığın düşmesinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir (bakınız, kaynak [8]). Durum C'de, yangın Durum A'ya göre daha geç kontrol altına alınabilmektedir. Açıklıkların varlığı yangın büyüklüğü büyüdükçe etkisini yitirmektedir. Fakat küçük yangın büyüklüklerinde, açıklıklar yangının süresini uzatmakta ve söndürülmesini zorlaştırmaktadır. Çünkü içeriye giren hava miktarı artmakta, bu hem karbondioksitin etkisini azaltmakta hem de yangın sürecini uzatmaktadır.

Kaynaklar:

- [1] **SOLAS**, Safety of life at sea consolidated edition., International Maritime Organization (IMO) Publications, 2004.
- [2] **FSS CODE**, Rules for the Classification of Steel Ships, IMO, 2004.
- [3] **Kay, D., Morris, M.C.**, The role of fire and smoke movement modelling, Fire Safety on Ship Developments into the 21st Century, The Institute of Marine Eng., London, 26-27 May, 1994; 49-54.
- [4] **Yıldız, E.**, Makina dairesinde çıkan bir yangının matematiksel modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Tez Danışmanı: Prof.Dr. Selma Ergin, 2005.
- [5] **Rho, J.S., Ryou H.S.**, A numerical study of atrium fires using deterministic models, Fire Safety Journal, 1999;33; 213-229.
- [6] **White D.A., Beyler, C.L., Williams, F.W. and Tatem P.A.**, Modeling missile propellant fires in shipboard compartments, Fire Safety Journal, 2000; 34; 321-341.
- [7] **Shigunov, V.**, A zone model for fire development in multiple connected compartments, Fire Safety Journal, 2005; 40; 555-578.

- [8] **Sülüs, A.**, Makina dairesi yangınlarına açıklıkların etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Tez Danışmanı: Prof.Dr. Selma Ergin, 2008.
- [9] **Hoover, J.B.**, Application of the CFAST zone model to ships - Fire specification parameters, Journal of Fire Protection Engineering, 2008; 18; 3; 199-222.
- [10] **Yü, E.H. ve Buchanan, A.H.**, Experimental study of fire compartment with door opening and roof opening, Fire Materials , 2005; 29: 315-334.
- [11] **Merci, B. ve Maele, K.V.**, Numerical simulations of full-scale enclosure fires in a small compartment with natural roof ventilation, Fire Safety Journal; 2008: doi: 10. 1016/j. firesaf. 2007. 12. 003.
- [12] **Jaluria, Y., Chiu, W.K.S., Lee, S.H.K.**, Flow of smoke and hot gases across horizontal vents in room fires, Combustion Science and Technology, 1995; 111, 197-208.
- [13] **Karlsson, B. ve Quintiere, G.**, Enclosure Fire Dynamics, CRC Pres LLC, Florida, 1999.
- [14] **Habibi, A. ve Merci B.**, Impact of radiation models in CFD simulations of steam cracking furnaces, Computers and Chemical Engineering; 2007: **31**: 1389–1406.
- [15] **Lin, Z., ve Chow, T.**, Validation of a CFD Model for Research into Stratum Ventilation, Int. J. of Ventilation; 2006: 5: 345-364.
- [16] **Siegel, R., Howell, J.R.**, Thermal radiation heat transfer, NewYork,Taylor&Francis, 2002.
- [17] Fluent, CFD programı, Version 6, <http://www.fluent.com>



GEMİ DİZEL MOTORLARINDA EMİSYON KONTROLÜ

Selma ERGİN¹

ÖZET

Bu çalışmada, gemi dizel motorlarında, azot oksit (NO_x) emisyonunu azaltmak amacıyla, motor giriş havasını nemlendirme prensibine göre çalışan yeni bir emisyon kontrol sistemi (ECS) geliştirilmiştir. Sistem, genel bir kargo gemisinin orta devirli dizel motoruna monte edilerek, IMO MARPOL sözleşmesine göre çeşitli devir sayıları ve yük durumları için test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen emisyon kontrol sisteminin, motor performansını hemen hemen hiç etkilememesine rağmen, NO_x emisyonunu büyük ölçüde azalttığını göstermektedir. Deneysel koşullar optimize edilmediği halde, sistem NO_x emisyonunda yaklaşık % 70 azalma sağlamıştır. CO ve CO₂ emisyonları hemen hemen aynı kalmıştır. Daha sonra sistemde yapılan değişikliklerle, NO_x emisyonunun % 90 kadar azaltılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Egzos emisyon sistemi, Gemi dizel motoru, NO_x emisyonu, Emisyon ölçümü, CO₂ emisyonu, Emisyon kontrol sistemi.

1. Giriş

Dizel motorlar, basit mekanizmaları, mükemmel performansları, kolay bakım tutumları, düşük yakıt maliyetleri, düşük yakıt tüketimleri, yüksek sıkıştırma oranları, yüksek ısı verimleri ve v.b.gibi nedenlerle gemilerde yaygın olarak kullanılan başlıca güç kaynağıdır. Fakat, gemi dizel

¹ Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Maslak 34469, İstanbul. Tel: 0212-285 6389, Fax: 0212-285 6454, e-mail: ergin@itu.edu.tr.

motorlarının egzoz emisyonları azot oksit (NO_x), karbon dioksit (CO_2), karbon monoksit (CO), sülfür (S), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller (PM) içermektedir. Bu kirleticilerden NO_x ve PM , gemi dizel motorlarının açığa çıkardığı en önemli iki kirleticidir. Bu kirleticiler ozon tabakasını incelterek, sera etkisini artırarak ve asit yağmurları oluşturarak, canlılara ve çevreye zarar vermekte ve bu nedenle toplumda önemli bir endişe kaynağı olarak dikkat çekmektedir [1-2].

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemi kaynaklı hava kirliliğini azaltarak, denizcilikte sürdürülebilir bir gelişme sağlayabilmek amacıyla MARPOL 73/78/97 sözleşmesini uyarlamıştır [3]. Bu sözleşmeye göre, gemi dizel motorlarının azot oksit (NO_x) emisyon standartlarına uymaları gerekmektedir. Gemi dizel motorlarında, azot oksit (NO_x) emisyonunu azaltmak amacıyla, motor giriş havası nemlendirilerek, yazar tarafından yeni bir emisyon kontrol sistemi (ECS) geliştirilmiştir. Sistem, genel bir kargo gemisinin orta devirli dizel motoruna takılarak, MARPOL sözleşmesine uygun olarak çeşitli devir sayıları ve yük durumları için test edilmiştir. Deneyisel sonuçlar, monte edilen emisyon kontrol sisteminin, motor performansını hemen hemen hiç etkilememesine rağmen, NO_x emisyonunu büyük ölçüde azalttığını göstermektedir. Deneyisel koşullar optimize edilmediği halde, sistem NO_x emisyonunda yaklaşık % 70 azalma sağlamıştır.

2. Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri

Dünya genelinde, gemilerden salınan azot oksit (NO_x) emisyonu yaklaşık olarak 10 milyon ton/yıl olarak tahmin edilmektedir. Bu oran dünya çapında fosil yakıtlardan kaynaklanan NO_x miktarının %14'üne karşı gelmektedir. Yanma esnasında azot oksit oluşmasına neden olan elementler azot ve oksijendir. Bu iki bileşen motora giren havanın % 99'unu oluşturmaktadır. Azotun küçük bir oranı oksitlenerek, çeşitli tiplerde azot oksit (NO_x) oluşturmaktadır. NO_x oluşumu genel olarak motordaki yanma sıcaklığı ile yakıtta mevcut olan organik azot miktarına bağlıdır. Diğer yandan NO_x oluşumunu, yanma işlemi esnasında yanma odasında fazla oksijen ile azotun yüksek gaz sıcaklıklarına maruz kalma süreleri de etkilemektedir. Bu, gaz sıcaklıkları ne kadar yüksekse, oluşan NO_x miktarıda o kadar fazla olacak anlamına gelmektedir. Genel olarak, düşük devirli bir motorlarda, yüksek devirli motora göre daha fazla NO_x üretimi görülebilmektedir. Dünya gemi filosunun % 55'i düşük devirli motorlar, % 40'ı orta devirli motorlar ve % 5'i de diğer motor tiplerinden oluşmaktadır. Gemi dizel motorları yakıt tüketimi açısından verimli olmakla beraber, yüksek NO_x emisyon oranlarına sahiptir. Ekonomik sebeplerle gemilerde düşük kaliteli yakıtlar kullanılmaktadır. NO_x genelde NO ve NO_2 'den meydana gelmekte olup, asit yağmurları, ozon tabakasında incelme ve sağlık sorunlarına neden olması sebebiyle çevre üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır [1,4-5].

Uluslararası Denizcilik Organizasyonu (IMO) gemi kaynaklı hava kirliliğini azaltarak, denizcilikte sürdürülebilir bir gelişme sağlayabilmek amacıyla MARPOL 73/78/97 sözleşmesini

uyarlamıştır [3]. Bu sözleşmeye göre, gemi dizel motorlarının belirli azot oksit (NO_x) emisyon standartlarına uymaları ve bir NO_x teknik kuralına göre sertifikalanmaları gerekmektedir.

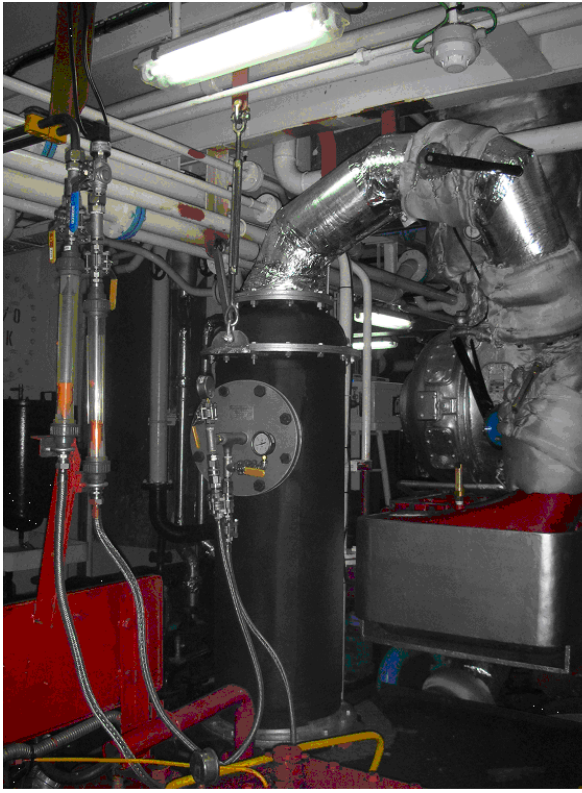
Gemi dizel motorlarında kullanılmak üzere değişik NO_x emisyon kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar, başlıca motor giriş havasını nemlendirme, yakıt ve su emülsiyonu, yanma odasına direk su püskürtme, egzoz gazı sirkülasyonu, nemli hava motoru, ısı olmayan plazma ve seçici katalitik indirgeme olarak verilebilir [6-10]. Motor giriş havasını nemlendirme, su püskürtülmesi, yakıt ve su emülsiyonu, direk su püskürtülmesi gibi birincil kontrol yöntemleri, silindir içinde NO_x oluşumunu etkilemesi nedeniyle makina kullanıcıları tarafından tercih edilmektedir. İkincil kontrol mekanizmaları olarak kabul edilen, seçici katalitik reaktörler (SCR) pahalı olmakla beraber, ilave hacme ve üre gibi indirgeme maddesine ihtiyaç duymaktadır. Birçok emisyon kontrol yöntemi, dezavantaj olarak yakıt tüketimini arttırmaktadır. Yakıt tüketimi ve emisyon seviyesi üzerindeki piyasa ve kurallardan kaynaklanan baskı sürecektir.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Gemi dizel motorlarında, azot oksit (NO_x) emisyonunu azaltmak amacıyla motor giriş havasını nemlendirme prensibine göre çalışan yeni bir emisyon kontrol sistemi (ECS) geliştirilmiştir. Şekil 1a ve b’de görüldüğü gibi ECS bir nemlendirme ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Su püskürtme sistemini içeren nemlendirme ünitesi turboşarjır çıkışına yerleştirilmiştir. Motor giriş havasını nemlendirmek için tatlı su kullanılmıştır.

ECS genel bir kargo gemisinin orta devirli dizel motoruna takılarak, MARPOL sözleşmesine uygun olarak çeşitli devir sayıları ve yük durumları için test edilmiştir. Deneysel sonuçlar Şekil 2 ve 3’te sunulmuştur. Şekil 2’de ECS’li ve ECS’siz olarak ölçülen NO_x emisyonları karşılaştırılmaktadır. Şekilden görüleceği gibi emisyon kontrol sistemi sayesinde NO_x konsantrasyonları oldukça düşmüştür. Şekil 3’te ise CO ve CO_2 konsantrasyonları karşılaştırılmaktadır. Şekilden de görülebileceği gibi Karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO_2) seviyesi ise göreceli olarak değişmemiştir. Ölçülen NO_x konsantrasyonlarından yararlanarak ağırlıklı NO_x değeri hesaplandığında ECS’li durumda 6.1 gr/kWh ve ECS’siz durumda 19.8 gr/kWh olduğu görülmüştür. Yani, NO_x emisyonu ECS’li sistem için yaklaşık % 70 kadar daha azdır. Bu gemi için hesaplanan 6.1 gr/kWh NO_x değeri, bu tip gemi dizel motorları için mücadele edilen maksimum 13.8 gr/kWh değerinden oldukça düşüktür, bakınız kaynak [3]. NO_x azalımı tamamiyle motor giriş havasının nemliyle orantılıdır. Deneyler sırasında, emisyon kontrol sisteminin motor performansını hemen hemen hiç etkilemediği görülmüştür.

Daha sonra ECS sisteminde yapılan değişikliklerle NO_x emisyonunun % 90 oranında düşürülebileceği görülmüştür. Bu deneyler sırasında ECS sisteminin yakıt sarfiyatını da azalttığı görülmüştür. Bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

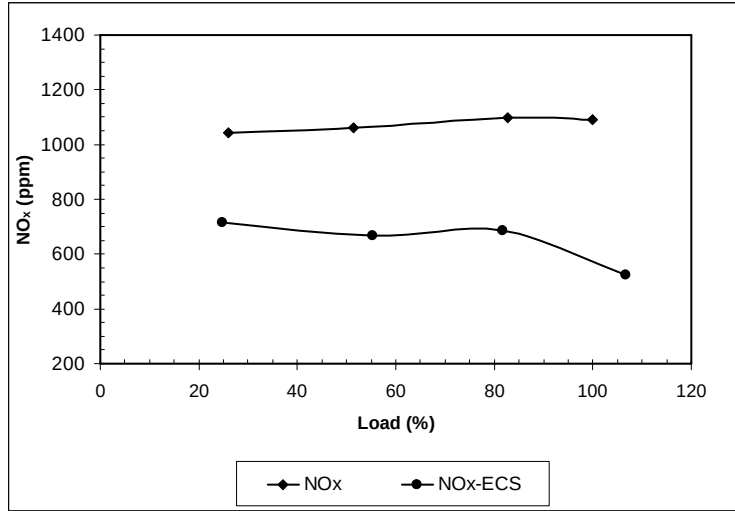


a) Nemlendirme ünitesi.

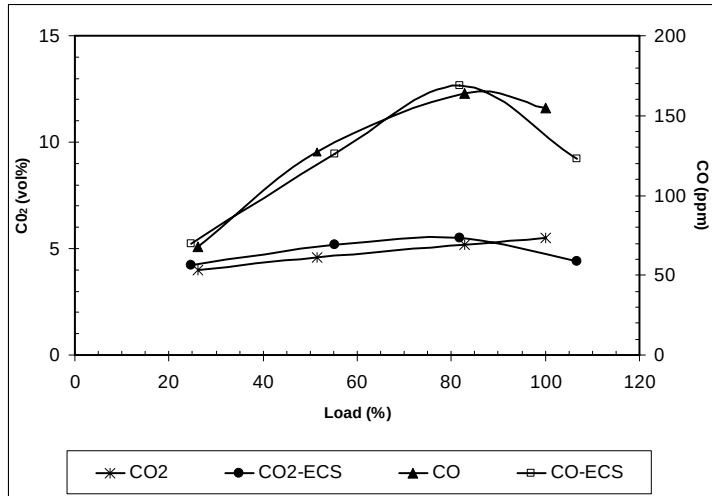


b) Kontrol ünitesi.

Şekil 1. Egzos emisyon kontrol sistemi (ECS).



Şekil 2. NO_x emisyonlarının karşılaştırılması.



Şekil 3. CO and CO₂ konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

4. Değerlendirmeler

Motor giriş havasını nemlendirme prensibine göre çalışan yeni bir egzoz emisyon kontrol sistemi (ECS) geliştirilmiştir. Sistem dört zamanlı, orta devirli bir dizel motorla tahrik edilen genel bir kargo gemisine monte edilerek, MARPOL sözleşmesine uygun olarak çeşitli devir sayıları ve yük durumları için test edilmiştir. Ölçümler motor performansının hemen hemen hiç etkilenmediğini ve NO_x emisyonlarında büyük ölçüde azalma gerçekleştiğini göstermektedir. Deneysel koşullar optimize edilmediği halde, sistem NO_x emisyonunda yaklaşık % 70 azalma sağlamıştır. Daha sonra ECS sisteminde yapılan değişikliklerle NO_x emisyonunun % 90 oranında düşürülebileceği görülmüştür. Bu deneyler sırasında ECS sisteminin yakıt sarfiyatını da azalttığı görülmüştür. Bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Geliştirilen emisyon kontrol sistemi, ECS diğer sistemlerle karşılaştırıldığında, basit, ucuz ve çok güvenilir bir sistem olup, değişik tipteki gemi dizel motorlarına kolaylıkla uyarlanabilmektedir. Diğer yandan ECS makina dairesinde oldukça küçük bir hacim kaplamaktadır.

Kaynaklar:

- [1] Corbett, J.J. Fischbeck, Emissions from Ships, Science, 298, 1997.
- [2] Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1988.
- [3] MARPOL 73/78, Annex VI-Technical Code, International Maritime Organisation, MP/CONF 3/35, 1997.
- [4] Murayama T., Simultaneous Reduction of NO_x and Smoke of Diesel-Engines Without Sacrificing Thermal Efficiency, JSME Int. J. Series B-Fluids and Thermal Engineering, 37(1), 1-8, 1994.
- [5] Lin, C.Y. Huang, J.C. 2003. An Oxygenating Additive for Improving the Performance and Emission Characteristics of Marine Diesel Engines, Ocean Engineering, 30, 1699-1715.
- [6] Holtbecker, R., Geist M., Emission Technology, Sulzer RTA Series, Exhaust emissions reduction technology for Sulzer Marine Diesel Engines, Wartsila NSD, 1998.
- [7] Keiler, F., MAN B&W Meeting of Licensees Augsburg, 2002.

[8] Schlemmer-Kelling, U. And M. Rautenstrauch, The new low emissions heavy duty fuel engines of Caterpillar Motoren (MaK), 23rd CIMAC Congress, 2001.

[9] WARTSILA, Maritime News Customer Journal, 1996.

[10] Anand, R. Mahalakshmi N.V., Simultaneous reduction of NO_x and Smoke from a Direct-Injection Diesel Engine with Exhaust Gas Recirculation and Diethyl Ether, Proc. Of Ins. Of Mech. Eng. Part D-Journal of Automobile Eng., 221 (D1), 109-116, 2007.



PERVANE ÜRETİMİNDE BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TEZGÂH BÜTÜNLEŞMESİ

Ali Can TAKİNACI*

ÖZET

Bu çalışmada belli başlı pervane üreticileri arasında inceleme ve araştırma yapılarak ülkemiz koşullarında mevcut pervane üretimi irdelenmiştir. Yapılan inceleme sonucu pervanelerin hemen hemen aynı dökümhaneden gelip şirketlerde bilahare işlendiği sonucu çıkmıştır. Pervane seçimlerinde gerekli temel direnç ve sevk hesaplarının eksik yapıldığı anlaşılmıştır. Üretilen pervanelerde özellikle önder ve takip kenar yuvarlatma yarıçaplarına gereken önemin verilmediği, döküm şartlarından dolayı pervanelerin içinde hava kabarcıkları kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun pervane performansına olan negatif etkisi kaçınılmazdır. Bu aşamada bilgisayar kontrollü tezgâhların pervane üretimi konusunda nasıl kullanılabileceği araştırılmış. Sonuç olarak bilgisayar kontrollü tezgâhların küçük pervanelerde direk kesim, daha büyük pervanelerde ise kalıp üretim amaçlı kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Böylece dizayn amaçlı üretilen pervaneler öngörülen performansı yakalayabilir. Ayrıca tekne sahiplerinin pervane üreticilerinde röntgen, statik ve dinamik balans raporu talep etmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pervane, Pervane Dizaynı, Pervane Üretimi, CNC Tezgâh, CAD/CAM

1. Giriş

Pervane üretimi kavram olarak çok geniş bir tanıımı haizdir. Sadece yoğun mühendislik hesapları değil detaylı döküm ve yüzey işleme tekniklerini bünyesinde barındıran çok disiplinli bir çalışma alanıdır.

Pervane üreticisinin başarısı karmaşık bir hidrodinamik tasarımı, mikron ölçülerde hassas bir yüzey kalitesi ile birlikte başarılı bir şekilde üretmektir. Bu çalışmanın amacı pervane üretimi ilgili kısa bir geçmişi takiben Türkiye ‘deki durumu hakkında bilgi verip; sonuçta CNC tezgâhların üretim bütünleşmesinde kullanım uygulamalarını göstermektir. Ayrıca Türkiye ‘de imal edilen pervanelerdeki mevcut problemler ve çözüm önerileri de verilmiştir.

2. Geleneksel Üretim Metodu

İlk pervaneler basit şekilli ve dökme demir veya çelikten yapılırdı. Bunlar genellikle makine üreticilerinin dökümhanelerinde imal edildikten sonra çok fazla yüzey işçiliği yapılmadan olduğu gibi gemilere takılırdı. Bugün, pervanelerde kullanılan malzemeler bronzlara kaydığınan ve yüksek standartta yüzey, hassas boyut kontrolü gerektiği için bu işler sadece pervane üreticileri tarafından yapılmaktadır. Burada üzerinde durulması gerekli en önemli nokta pervane üretiminin standart bir yöntemi olmayışıdır. Yerleşik her pervane üreticisinin kullandığı teknik detayda farklıdır.

Geleneksel pervane döküm yönteminde, pervane kalıbı iki kısımdan oluşur. İlk yatak olup pervanenin basınç tarafını (yüz piçi) tanımlar. İkincisi ise kesitleri oluşturan yüz tarafı veya üst yüzeyidir. Sonuç olarak pervaneler genellikle yüz tarafı aşağı gelecek şekilde kalıplanırdı. Bu işlemde büyük oranda hassas el işçiliği önemli idi. Bu konudaki ayrıntılı bilgi [1] numaralı kaynaktan alınabilir.

3. Türkiye ‘de Mevcut Pervane Üretimi

Ülkemizde pervane üretimi genel anlamda dökümcü ve işleyiciler olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üreticiler (dökümcü ve işleyiciler) İstanbul ‘un Ümraniye semtinde faaliyet gösteren İMES sanayi sitesinde toplanmışlardır. Yaklaşık tüm üreticilerin pervane dökümleri Eriş Pervaneler [2] tarafından sağlanmaktadır. Ayrıca Eriş Pervaneler kendi pervane işlemlerini de yapmaktadır. Bunların haricinde bir kısım pervane işlemecisine örnek olarak Yıldırım Torna Pervaneleri [3], Ercan Torna [4] ve Gürtaş Mühendislik [5] örnek olarak verilebilir. Bunlar haricinde irili ufaklı pek çok pervane üreticisi bulunmakla birlikte; bu üreticilerin kullandıkları teknikler aşağı yukarı birbirinin aynıdır.

Pervane işleyicileri belirledikleri çap ve piç değerini haiz pervaneyi Eriş Pervaneler ‘de döktürüp, bilahare işlemlerini yapmaktadırlar. Fotoğraf 1, 2 ve 3 ‘te sırası ile Yıldırım Torna, Ercan Torna Atölyesi ve Gürtaş Mühendislik ‘te dökümden gelen ve döküm sonrası işleminden geçirilen pervaneler görülmektedir.



Fotoğraf 1. Yıldırım Torna Atölyesi ‘nde solda dökümden gelmiş bir pervane ve sağda döküm sonrası işlenmiş pervane görülmektedir. (Fotoğraflar Yıldırım Torna izni ile basılmışlardır.)



Fotoğraf 2. Ercan Torna ‘da solda dökümden gelmiş dört kanatlı bir baş itici pervanesi ve sağda döküm sonrası iki kanadı işlenmiş pervane görülmektedir. (Fotoğraflar Ercan Torna izni ile basılmışlardır.)

Şekillerden de anlaşılacağı üzere pervane üretim sistemi genellikle birbirinin benzeridir. Tüm pervanelerin dökümleri Eriş Pervaneleri ‘nde yapılmışlardır.

Kullanılan yazılımlar açısından inceleme yapılırsa; pervane seçimlerinde (çap, piç) PropExpert [6] yazılımı kullanılmakla birlikte tecrübe ön plandadır. Pervane çizimlerinde de PropCad [6] yazılımı kullanılmaktadır.



Fotoğraf 3. Gürtaş Mühendislik ‘te solda dökümden gelmiş bir pervane ve sağda döküm sonrası işlenmiş pervaneler görülmektedir. (Fotoğraflar Gürtaş Mühendislik izni ile basılmışlardır.)



Fotoğraf 4. Yanlış seçim yapıp tamir sırası bekleyen bir pervane. Pervane kanadının sırt tarafının yaklaşık %50 ‘si yüksek kavitasyondan zarar görmüştür. (Fotoğraf Ercan Torna izni ile basılmıştır.)

Bununla birlikte kurulu olan sistemin eksik ve aksayan tarafı tekne geometrisi ve detaylı direnç sevk analizleri yapılmamasıdır. Tekne ana boyutlarına bakılıp pervane seçimi yapılabilmektedir. Muhtemelen böylesine seçim yapıp tamire gelmiş bir pervane Fotoğraf 4 ‘de görülmektedir. Bununla birlikte teknelere takılan pervaneler genellikle Wageningen B

serisi pervanelerden oluşmaktadır. Devir, piç sınırlamaları sebebi ile bu tip pervanelerin çalışmasının uygun olmadığı teknelere dahi Wageningen B serisi pervaneler takılmaktadır. Bu uygulama ise gemi işletme açısından titreşim, hız yapmama, gürültü gibi problemler oluşturmaktadır.

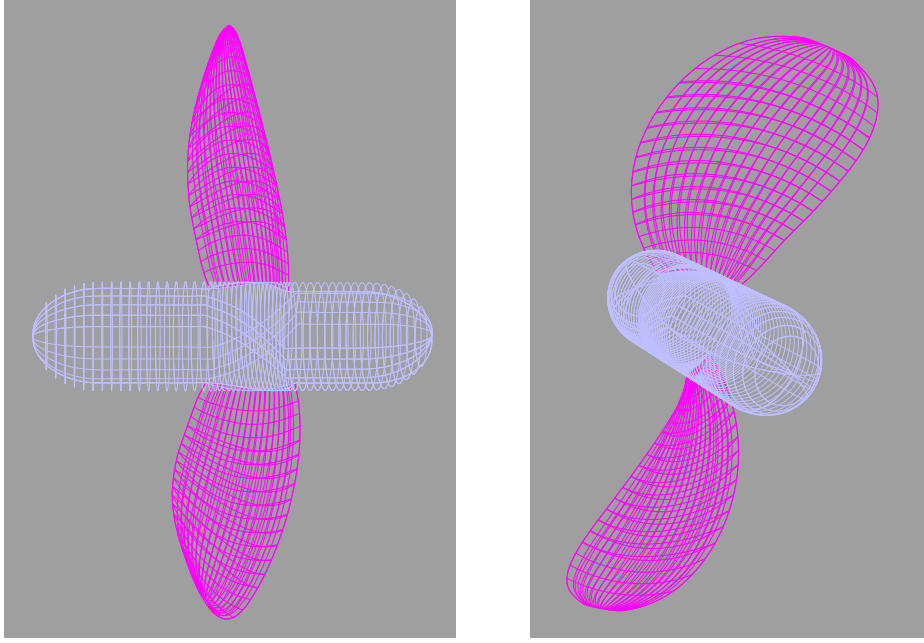
4. Pervane Üretiminde Bilgisayar Kontrollü Tezgâh Bütünleşliği

Ülkemizde pervane üretiminde kısaca CNC olarak da bilinen bilgisayar kontrollü tezgah kullanımı yoktur. Son zamanlarda artan ülkemiz endüstri potansiyeli sonucu çok sayıda CNC tezgâh kurulmuş ve halen kurulmaya da devam etmektedir. Bu tezgâhların kullanım amacı genellikle hassas kalıp üretimidir.

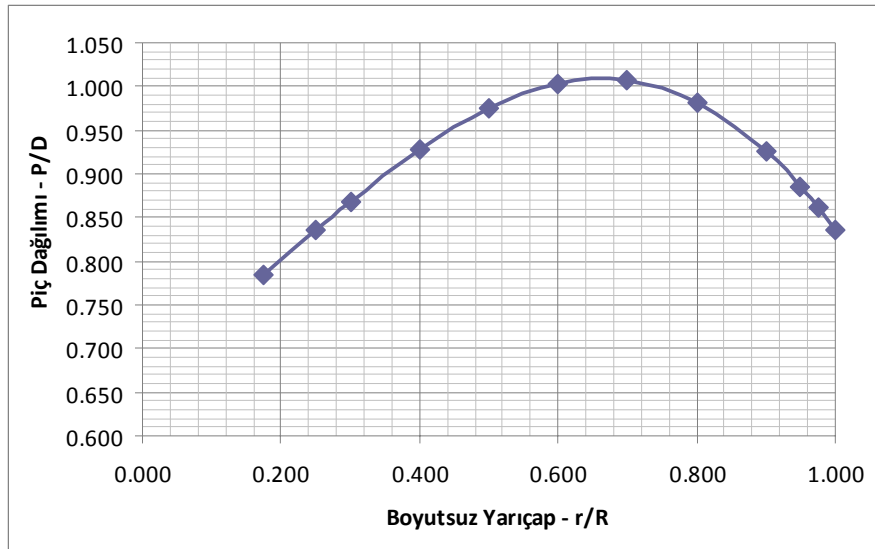
Pervane üretiminde ise CNC tezgah iki şekilde kullanılmaktadır. Birincisi ve daha yaygın olanı pervane kanat ve göbek kalıp üretimi, döküm ve sonradan tekrar işleme; diğeri ise direk pervane üretimidir. Kanat kalıbı üretiminde nispeten daha yumuşak işleme kolay malzemeden (alüminyum alaşımı veya özel cins plastikler) kanat ve göbek kalıpları üretilip daha sonra bunların döküm kalıbı hazırlamakta kullanılmasıdır. Dökümden gelmiş olan pervanelere gene aynı tezgâhta bu kez işlenmek amacı ile üretilir. Diğer yöntem ise direk döküm metal bloktan pervaneyi yekpare olarak üretmektir. Kullanılan metal blok, pervane çap ve boyuna göre önceden döküm yoluyla elde edilebilir. Bu yöntem yarım metreye kadar olan çaplarda efektif olsa da daha büyük çaplarda ekonomikliğini yitirmektedir. Bu yöntem kullanıldığında metal kalıptan direk olarak pervane, önceden belirlenen yüzey kalitesinde ve kullanılan tezgâhın işleme hassasiyetinde (milimetrenin çok altında) elde edilebilmektedir. Kalıp-döküm-işleme yönteminde ise son yüzey işleme öncesi pervane döküm kalitesinin çok büyük önemi vardır. Dökümden çıkmış pervanenin içinde hava kabarcıklarının olmaması gerekir. Oysa direk metal bloktan kesilme yönteminde böyle bir problem oluşmamaktadır.

Direk metal bloktan pervane üretimi ilk defa Calibre CNC pervaneleri [7] tarafından İTÜ Güneş Teknesi Takımı [8,9] için üretilmiştir [10]. Bu pervane güneş enerjili teknelerin yarıştığı yarışmanın dayanıklılık (endurance) etabında kullanılmıştır. Pervane yüksek verimlilik açısından 2 kanatlı olarak dizayn edilmiş olup, Rhino 3D CAD yazılımı ile Şekil 1 'de görüldüğü gibi modellenmiştir. Pervanenin çapı, motor gücü, devri ve batma derinliği göz önüne alınarak 400 mm olarak belirlenmiştir. Kanat açınım alan oranı kavitasyon açısından 0.40 olarak seçilmiş; kanat kesitleri ve şekli açısından hafif çalılık kanat uçlu olup şekil açısından Gawn serisi pervaneleri andırmaktadır.

Pervanenin devri 887 olarak belirlenmiş olup 7.5 knot hız için dizayn edilmiştir. Pervanenin kanat boyunca boyutsuz piç dağılımı Şekil 2 'de verilmektedir. Pervane,



Şekil 1. İTÜ Güneş Teknesi dayanıklılık etabı pervanesi. Çap 40 cm, Düzlenmiş açınım alan oranı 0.40.)



Şekil 2. İTÜ Güneş Takımı pervanesi kanat piç dağılımı.

"Calibre CNC Propellers" [7] tarafından blok alüminyum alaşımlı kütükten 20 mikron yüzey hassasiyetinde tek parça halinde kesilerek başarılı bir şekilde imal edilmiştir [11].

Pervanenin başarısından da anlaşılacağı üzere CNC tezgah kullanımı ile bilgisayarda dizayn edilen pervane aynen istenilen yüzey hassasiyetinde elde edilebilmekte böylece, eğer dizayn başarılı ise, önceden tayin edilen hızı kavitasyondan etkilenmeden başarılı bir şekilde yapabilmektedir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada ülkemizde mevcut pervane üretim yöntemlerinin irdelenmesi yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda elde edilen genel sonuçlar;

- i. Wageningen serisi pervaneler dominant haldedir. Bazen devir, piç sınırlamaları vb. sebebi ile bu tip pervanelerin takılmasının uygun olamayacağı teknelere dahi bu seri pervaneler takılmaktadır.
- ii. Mevcut pervane üreticileri dökümden gelen pervanelerin işlenmesi sonucunda önder ve takip kenarı yuvarlatma yarıçaplarına dikkat etmemektedirler. Pervanelerin önder ve takip kenarları adeta düz kenarlardan ve köşelerden oluşmaktadır. Bu durumdaki pervanelerde yüksek kavitasyon olayı neticesinde performans kaybı kaçınılmazdır. Bu sebepten standart seri pervane seçimi yapıldığında pervane verimleri yaklaşık %8-10 düşük alınmalıdır.
- iii. Pervane döküm işleminin çok kaliteli olmadığı yapılan röntgen tetkikleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Pervane yüzey düzgünlüğü iyi görülse dahi pervane içinde kalan hava kabarcıkları hem pervane balansının bozuk olmasına hem de pervane mukavemetinin zayıf olmasına yol açmaktadır. Balansın bozuk olması titreşim problemlerine yol açmaktadır.

Bu bulguların ışığı altında pervane üretimi içine bilgisayar kontrollü tezgâhların alınması kaçınılmazdır. Bu tip tezgâhlarda üretilen pervaneler veya kalıplar önder ve takip kenar yuvarlatma yarıçapı geometrisini tam olarak vereceğinden pervane performansı hesaplanan performans olacaktır. Bu durumu İTÜ Güneş Takımı pervanesi kanıtlamıştır. Yalnız, eğer tezgâh kalıp üretim amaçlı kullanılıyor ise döküm işleminin de daha kaliteli olması gerekir. Yoksa aynı tip döküm sonucu gene pervane kanatları içinde hava kabarcıkları kalacaktır. Bu da pervane balansının bozuk olmasına yol açacaktır. Bunu önlemek için tekne sahipleri pervane üreticilerinden röntgen, statik ve dinamik balans raporları istemelidir.

Teşekkür:

Bu çalışmanın yapılabilmesi için inceleme yapmama izin veren Yıldırım Torna, Ercan Torna, Gürtaş Mühendislik ve CNC Calibre Pervaneleri şirketlerine teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynaklar:

- [1] Carlton, J.S., Marine Propellers and Propulsion – 2nd ed., Butterworth-Heinemann, 2007.
- [2] “Eriş Pervaneleri”, <http://www.pervaneci.com/>
- [3] “Yıldırım Torna”, <http://yildirimtorna.com/>
- [4] “Ercan Torna”, <http://ercantorna.com/>
- [5] “Gürtaş Mühendislik”, <http://www.gurtas.com>
- [6] Hydrocomp Inc, Practical Propeller Modelling: From Concept to 3D CAD Model, Technical Report No:31, 2001-2007, www.hydrocompinc.com
- [7] “Calibre CNC Pervaneleri”, <http://www.calibre.com.tr/>
- [8] “ITU Solar Boat Team”, <http://www.solarsplash.itu.edu.tr/>
- [9] “Solar Splash”, <http://www.solarsplash.com/index.php>
- [10] “Marinport”, <http://www.marinport.com/content.php?nid=495>
- [11] “Güneş Enerjili Tekne Pervanesi”, http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/takinaci/Gunes_Enerji_Pervane.html



GEMİ SÖKÜM ALANLARININ BELİRLENMESİNDE

HUKUKİ DÜZENLEMELER

VE BU DÜZENLEMELERE İLİŞKİN ÖNERİLER

Onur Sabri DURAK*

ÖZET

Petrol tankerlerinin karıştığı deniz kazalarının yaratmış olduğu çevresel felaketler, ülkelerin ve uluslararası kuruluşların işbirliğini artırmıştır. İşbirliği çerçevesinde daha güvenli tankerlerin inşası ve mevcutların günün koşullarına uyarlanması kararlaştırılmıştır. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün öngördüğü yeni kurallara uymayan tankerlerin ise hizmetten kademeli olarak çekilmesi öngörülmüştür. Sözü edilen tankerlerin hizmetten kaldırılması ise söküm yöntemi ile gerçekleştirilecektir. Gemilerin sökümü ise, teknik yönü ile olduğu kadar çevre ve insan sağlığının korunması bakımından hukuki yönü ile de önem taşımaktadır. Çalışmamızda, gemi söküm yerlerine ve faaliyetlerine ilişkin Türkiye'deki hukuki düzenlemeler incelenerek, yürürlükteki hukukta rastladığımız eksiklikler belirtilecek, önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gemi sökümü, gemi söküm yönetmeliği, doğal ve sosyal çevre, hukuk

* Onur Sabri DURAK

Telefon : +90 216 395 45 01

Mobil : +90 532 202 22 88

Faks : +90 216 395 45 00

E-mail : duraks@itu.edu.tr

onursabri@hotmail.com

1. Giriş

Petrol ve petrol türevlerini taşıyan gemilerin karıştığı deniz kazalarında meydana gelen petrol kirliliği ilk dönemlerde, ülkelerin ve uluslararası kuruluşların dikkatini çekmese de, II. Dünya Savaşı sonrasında, ülkeler ve uluslararası kuruluşlar, bu tür kirlenmeleri ciddi bir tehdit olarak algılamaya başlamışlardır.

İnsanoğlunun, petrol ve petrol türevlerinin taşınması sırasında meydana gelen kazaların yol açtığı kirlenmenin önemini algılaması, doğal çevrenin ve güzelliklerin kirlenmesini fiilen yaşaması, kazaların sonuçlarına acı şekilde katlanmak zorunda kalması ile söz konusu olmuştur. Alınan bu acı dersler neticesinde, daha güvenli petrol tankerlerinin inşası yönünde uluslararası zeminde uzlaşmaya varılmış ve bu uzlaşma, uluslararası kuruluşlar nezdinde de yazılı hukuk kuralları haline getirilmiştir. Uluslararası Denizcilik Örgütü/(International Maritime Organization/IMO) bünyesindeki çalışmaların ürünü olan bu kuralların gereğini yerine getirmeyen/getiremeyen tankerlerin ise kademeli olarak hizmetten kaldırılması öngörülmüştür. Bu kuralların yürürlüğe girdiği tarihten itibaren, ülkelerin deniz ticaret filosundaki yer alan ve kuralların gereğini yerine getirmeyen/getiremeyen birçok tanker hizmetten alınması söz konusu olmuştur ve ilerleyen yıllarda da hizmetten yine birçok tanker ayrılacaktır.

Ülkemizin son yıllarda gemi inşa sanayinde edindiği tecrübe ve işgücü maliyetlerinin, karşılaştırmalı olarak diğer ülkelere göre düşük olması göz önüne alındığında, ülkemiz uluslararası kurallar gereği hizmetten çıkacak petrol tankerleri için, eğer ki bu tankerler çift cidarlı tankerlere çevrilme işlemlerine tabi tutulmayacaksa, uygun bir sökülme merkezi olacaktır. Bununla birlikte, bilhassa petrol tankerlerinin inşasında öngörülen uluslararası düzenlemeler ve kurallar olduğu gibi, gemilerin sökülme alanlarının belirlenmesi ve sökülme işlemlerine başlanıp tamamlanmasında da, doğal ve sosyal çevrenin, insan sağlığının en az zarar görmesi hususu gözden kaçırılmamalıdır.

Gemi sökülme işlemleri, ülkemiz bakımından önemli bir gelir kaynağı ve istihdam alanı yaratmakla birlikte, çevreye ve insan sağlığına yönelik muhtemel tehlikeleri de beraberinde getirmektedir. Uluslararası düzenlemelerde de gemi sökülme işlemleri, çevrenin ve üçüncü kişilerin sağlıklarının korunması bakımından asgari standartlara bağlanmakta ve sökülme işlemlerinin bu çerçevede tamamlanması tavsiye edilmektedir. Elde edilen ve edilecek ekonomik yararların yanı sıra, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması adına, çevre ve insan sağlığının korunmasına azami ölçüde özen gösterilmeli gerekli teknik ve hukuki düzenlemeler eksiksiz biçimde yerine getirilmelidir. Bu düzenlemelerin aynı zamanda etkin ve proaktif denetimlerle pekiştirilmesi de muhtemel kaza, çevre kirliliği, insan sağlığını tehdit eder nitelikteki olayların önlenmesinde ve risklerin en aza indirilmesinde etkin rol oynayacağı unutulmamalıdır. Gemi inşa sanayinde yaşadığımız, kontrolsüz ve öngörülmeyen gelişmenin bir benzerinin gemi sökülme sanayinde de yaşanması olasıdır ve önleyici tedbirlerin, denetimlerin alınmaması halinde, üzücü kaza, çevre kirliliği ve insan sağlığını tehdit eder nitelikteki olaylarla karşılaşma ihtimalimiz de oldukça yüksektir.

2. Dünyada ve Türkiye’de Gemi Sökümüne İlişkin Hukuki Düzenlemelere Genel Bakış

Uluslararası Denizcilik Örgütü 2001 yılında, petrol tankerlerinin çift cidarlı inşa edilmesi konusunda tavsiye kararı almış, Nisan 2005’ten itibaren de yürürlüğe girmek koşulu ile 4 Aralık 2003’te aldığı kararla, MARPOL Sözleşmesinin I Numaralı ekinde 13G maddesi ile değişikliğe giderek, tek cidarlı tankerlerin hizmette kalabileceği azami süre ve koşulları belirlemiştir. Emredici nitelikteki bu kurallar ile Uluslararası Denizcilik Örgütü’ne üye devletlerin denetimindeki tek cidarlı petrol tankerlerinin kademeli olarak hizmetten kaldırılması kesin bir takvime bağlanmıştır. Bu takvime bağlı olarak 2005 yılından itibaren Kategori 1’de yer alan gemiler hizmetten çekilmekle birlikte, Kategori 2 ve Kategori 3’te yer alan gemilerin hizmetten çekilmesi 2010 yılı itibariyle tamamlanacaktır. Bu dönem sonu itibariyle, gövde yapısı, yeni teknik ve zorunlu koşullara uydurulmayan/uymayan gemilerin denizlerde seyrüsefer faaliyetlerinde bulunması ve limanlara girmesi imkanı olmayacaktır.

Ayrıca 1989 yılı itibariyle, Tehlikeli Atıkların Sınırlanması ve Bertarafı ile ilgili Uluslararası Basel Anlaşması imzalanmış ve anılan sözleşme 1992 yılında yürürlüğe girmiştir. Sözleşmeye 1995 yılı itibariyle BAN değişiklikleri getirilmiş olup, Türkiye 1994 yılından beri sözleşmenin tarafı olup, BAN değişikliğini de 2003 yılı itibariyle onaylamıştır. Sözü edilen değişiklikler ile de gemi sökümüne ilişkin önemli kararlar alınmıştır. Bu sözleşme çerçevesinde hurdaya çıkartılan gemiler atık kabul edilerek, sözleşmeye dahil edilmiştir.

Ülkemizde gemi söküm faaliyetleri, özellikle 1970’li yıllardan itibaren önem kazanmaya başlamış ve bilhassa Akdeniz bölgesinde yer alan ülkelere ait ve hizmetten ayrılmış gemilerin söküm işlemleri ile gelişme göstermiştir. Bununla birlikte gemi söküm sanayi 1984 ve sonrasında dönemin siyasi iktidarının desteği ile ivme kazanmıştır. Gemi söküm tesislerinin altyapı hizmetlerinin desteklenmesi, söküm yapılacak alanlarının düşük bedellerle söküm işlemlerine girecek yatırımcılara kiralanması, hurda gemilerin ithaline izin verilmesi ve benzeri devlet yardımları ile sektörde ciddi adımlar atılmıştır[1]. Buna karşın, söküm işlemlerinin yapıldığı bölgedeki çevre ve çalışma koşulları, insan ve çevre sağlığını da tehdit etmiştir. Sözü edilen gelişmelere bağlı olarak, gemi söküm alanlarının belirlenmesi ve gemi söküm faaliyetlerinin düzenlenmesi amacıyla 1.9.1986 tarihli ve 19208 sayılı Resmi Gazete ile yayımlanan “Aliağa Gemi Söküm Bölgesi Yönetmeliği” [2] yürürlüğe sokulmuştur.

Anılan Yönetmeliğin hem günün ihtiyaçlarına cevap vermemesi, hem de uluslararası sözleşmelerde öngörülen kurallar ve uluslararası örgütlerin öngördüğü tavsiye niteliğindeki kararlarla eşgüdümün sağlanabilmesi adına 08.03.2004 tarihli ve 25396 sayılı Resmi Gazete ile yayımlanan “Gemi Söküm Yönetmeliği”[3] yürürlüğe girmiştir. Anılan Yönetmeliğin 16. maddesi uyarınca “Aliağa Gemi Söküm Yönetmeliği” yürürlükten kaldırılmakla birlikte, Geçici 1. maddesi gereğince Aliağa Söküm Bölgesi deniz sınırları, bu Yönetmelik kapsamında bulunan veya yeni kurulacak gemi söküm bölgelerinin deniz sınırları ile bu sınırlara ilişkin koordinatlar, idare tarafından belirlenip ve sınırların işlenmiş

olduğu krokiler tebliğ olarak Resmî Gazete’de yayımlanıncaya kadar “Aliağa Gemi Söküm Yönetmeliği” ne göre belirlemeye devam edilecektir. Gemi Söküm Yönetmeliği’ne ilişkin krokilerin, tebliğ olarak halihazırda yayımlanmaması nedeniyle, söküm alanlarının tespiti noktasında “Aliağa Gemi Söküm Yönetmeliği”, söküm işlemlerinin esasına ilişkin olarak ise “Gemi Söküm Yönetmeliği” uygulanmaktadır.

3. Gemi Söküm Yönetmeliği

3.1. Genel

08.03.2004 tarihli ve 25396 sayılı Resmi Gazete ile yayımlanıp yürürlüğe giren Gemi Söküm Yönetmeliği, 5 bölüm, 18 esas madde ile 3 geçici maddeden teşekkül etmiştir. Birinci bölüm, yönetmeliğin amaç, kapsam ve dayanağını belirlemekte ve tanımlarını vermektedir. İkinci bölüm, gemi söküm yetki belgesine ve söküm iznine ayrılmıştır. Yönetmeliğin üçüncü bölümü, bölgeye ve gemi söküm işlemine yönelik genel esasları ve tedbirleri düzenlemektedir. Dördüncü bölümde, gemi söküm faaliyetlerine ve söküm faaliyetini gerçekleştiren işletmelere yönelik denetimler, faaliyetlerin durdurulması ve iptali konuları düzenlenmiştir. Beşinci ve son bölümde, son hükümler başlığı altında, bölge dışı söküm, istisnalar, deniz sınırlarının tespiti, yürürlük ve yürütme konuları düzenlemeye kavuşturulmuştur.

3.2. Gemi söküm yönetmeliği’nin amaç, kapsam ve dayanağı

Gemi Söküm Yönetmeliği’nin amacı, Yönetmeliğin 1. maddesinde; “*söküm bölgesi olarak belirlenen veya belirlenecek olan alan içinde, hurda gemilerin demirlemeleri, sahile baştankara, kıçtankara veya Lok ve Dok gibi diğer teknik imkanlarla gerekli tedbirlerin alınarak, insan ve çevre sağlığı açısından ilgili mevzuat hükümlerine göre gemi söküm işlemlerinin yerine getirilmesi ve ülkemizde gemi söküm faaliyetlerinin gemi söküm bölgelerinde yürütülmesi olup, gemi söküm bölgesi olarak belirlenen kara alanını, sınırları İdare tarafından koordinatlarla belirlenmiş deniz alanını, gemi sökümçüsünü ve sökülme için bölgede bulunan gemileri kapsar.*” şeklinde belirtilmiş olup, bu haliyle yönetmelik hem amacı bakımından hem de yönetmeliğin diğer hükümleri ile kendi içinde çelişkiler taşımaktadır.

Aliağa Gemi Söküm Yönetmeliği’nin kaldırılarak yerine Gemi Söküm Yönetmeliği’nin getirilmesindeki amaçlardan birisinin, söküm faaliyetlerinin, tekniğin gerektirdiği yeni yöntemlerle gerçekleştirilmesi, çevreye ve insan sağlığına daha az zarar vererek, mümkünse hiç zarar vermeden tamamlanması olduğu belirtilmiştir. Buna karşın, 1. maddede ve gemi sökümüne ilişkin genel tedbirlerin açıklandığı 7. maddede açıkça görüldüğü üzere, gemi söküm faaliyetlerine ilişkin yöntemler arasında geminin baştankara ve kıçtankara halde iken sökülmesi, yani gemi tamamen denizden çıkmadan, geminin bir kısmı halen deniz üzerindeyken söküm faaliyetlerine devam edilmesi kabul edilmektedir. Bu yöntemlerin çağın gerektirdiği tekniklere, sürdürülebilir kalkınma modeline ve çevrenin korunmasına ilişkin uluslararası ve ulusal kurallara uyum sağlamadığı ortadadır. Bilhassa, tehlike

sorumluluğuna ilişkin anlayışın geliştiği ve genişlediği hukuk sistemimizde, baştankara ve kıçtankara yanaşan gemilerin, deniz üzerindeyken söküm faaliyetlerine devam edilmesinin, nerdeyse göz göre göre kirliliğe davetiye çıkarılması ile nasıl telif edileceğini anlamak mümkün görülmemektedir. Karada veya kuru havuzda kızağa alınmaksızın, baştankara veya kıçtankara yanaşan gemilerin, denizde söküm işlemlerine başlandığı hallerde, söküm faaliyetlerinin devam ettiği süre içerisinde, denizde kirliliğe yol açacak, insan sağlığını tehdit edecek olayların gerçekleşmesi ihtimali çok daha yüksek olup, bu durumun yeni yöntemler ve çevrenin korunması ilkesi ile açıklanması da mümkün görülmemektedir. Kızağa alınmaksızın gemi söküm faaliyetlerine girildiği hallerde, sıvı ve katı atıkların denizden ve karadan yalıtımının nasıl sağlanacağı sorusuna, bu hali ile Yönetmelik cevap vermekten çok uzaktadır. Müsteşarlığın bu konuda, ilgili kurum ve kuruluşların da görüşünü alarak, gemi söküm faaliyetlerinin kıyıda yapılması, sıvı ve katı atıklardan deniz ve toprağın yalıtımının sağlanması konularında gerekli hukuki düzenlemeleri ve değişiklikleri yapması, değişikliklerin akabinde de yeni düzenlemelerin uygulanıp uygulanmadığını denetleyecek mekanizmaları yürürlüğe sokması ve çalıştırması gerekmektedir.

Anılan yönetmeliğin hukuki dayanağı olarak, Yönetmeliğin 2. maddesinde 618 sayılı Limanlar Kanunu ile 491 Sayılı Denizcilik Müsteşarlığı'nın Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname gösterilmiştir. Bununla birlikte, Yönetmeliğin amaç ve kapsamını belirleyen 1. maddesinde belirtildiği üzere, "... gerekli tedbirlerin alınarak, insan ve çevre sağlığı açısından ilgili mevzuat hükümlerinden..." bahsedilmekte ve yine bu doğrultuda 5. maddenin 2. numaralı fıkrasının 2 numaralı bendinin e alt bendi, 6. maddesinin 2. fıkrası, 7. maddesinin 4. fıkrası, 8. maddesi çevre ve insan sağlığının korunmasına ilişkin hükümler ihtiva etmektedir. Her ne kadar denizlerin korunması görev, yetki ve sorumluluğu 491 Sayılı KHK ile Denizcilik Müsteşarlığı'na verilmiş olsa ve 618 sayılı Limanlar Kanunu uyarınca limanların temizliği sözü edilen Kanun kapsamında düzenlense de; gemi söküm faaliyetleri bakımından deniz alanları dışında meydana gelebilecek kirlilikler ile Liman bölgesi olmayan muhtemel söküm alanlarındaki kirlenmelerden kaynaklanan geniş anlamda hukuki sorumluluğun ve sorumluların belirlenmesine ilişkin kanuni dayanak sözü geçen yönetmelik bakımından bulunmamaktadır ve bu durum da hukuk tekniği ve normlar kademelenmesi bakımından kabul edilemez niteliktedir. Bu sebeple, Yönetmeliğin kanuni dayanağı belirtilirken, çevre mevzuatı ile yakın ilişkisi unutulmamalı ve anılan hükümlerin Çevre Kanunu'ndaki dayanağı gösterilmeli hem de, mevcut halinde sözü edilen 618 sayılı Limanlar Kanunu ile 491 sayılı Denizcilik Müsteşarlığı'nın Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararnamenin hangi maddelerinin Yönetmeliğe esas oluşturduğunun açıklığa kavuşturulacak biçimde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

3.3. Gemi söküm yetki belgesi ve söküm izni

Gemi Söküm Yönetmeliği'nin 4. maddesi uyarınca, gemi söküm faaliyetinde bulunmak isteyen gerçek ve tüzel kişilerin, idareden gemi söküm yetki belgesi alması zorunlu kılınmıştır.

Gemi söküm yeki belgesini almak isteyenlerin anılan hüküm uyarınca ayrıca; gayrisihhi müesseselere ait açılma müsaadesi belgesi örneğini; Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'ndan alınacak kurma izni ve işletme belgesi örneğini; gemi söküm bölgesinin mülkiyet sahibi ile gemi sökümçüsü arasında imzalanan ve gemi söküm yerinin kullanım esaslarını gösteren sözleşme ve ilgili diğer belge örneğini; kapsamı idare tarafından belirlenecek olan taahhünameyi; gemi söküm tesisi vaziyet planının örneğini; gerçek veya tüzel kişilere ait imza sirküleri ve Türkiye Ticaret Sicil Gazetesinin bir örneğini; faaliyet bölgesine en yakın Deniz Ticaret Odasına kayıt olduklarına dair belgenin bir örneğini; idare tarafından gerekli görülebilecek diğer bilgi ve belgeleri yazılı talep ile birlikte idareye vermesi gerekmektedir.

Anılan hükümde, gemi söküm yetki belgesi almak için gereken belgelerden iki tanesi hukuk tekniği ve düzenlemesi bakımından dikkat çekicidir. Söküm yetki belgesi almak isteyen gerçek veya tüzel kişiler gayri sihhi müesseselere ait açılma müsaadesi belgesini idareye tevdi etmesi zorunlu görülmüştür. Ancak, hukuki düzenlemelerimiz incelendiğinde gayrisihhi müessese açılması belgesi verilmiş olmakla birlikte bu belge ilelebet geçerli olmayıp Sağlık Bakanlığı tarafından belirli aralıklarla belgenin verildiği işletme kontrol edilmekte ve yeterlilikleri sağlayan işletmelerin çalışma süreleri yine yasalarda öngörülen sürelerle uzatılmaktadır. Bu sebeple, açılma izni ile birlikte gerekli hallerde, çalışma izninin uzatılmasına ilişkin belgenin de idareye tevdi edilmesi gerekmektedir. Bu hususun gözden kaçırılması ve Yönetmelikte yer almaması, hukuk tekniği bakımından kanımca uygun görülmemektedir. Yine aynı madde çerçevesinde, gemi söküm faaliyetlerine girecek gerçek veya tüzel kişilerin, kapsamı idare tarafından belirlenecek taahhünameyi, idareye tevdi etmeleri de zorunlu görülmüştür. İdari eylem ve işlemlerin belirliliği, idarenin kanuniliği ilkeleri göz önüne alındığında, hükümde sözü geçen taahhünamenin hem şekil hem de içerik bakımından nasıl olacağı, hangi hususları kapsayacağı anlaşılamamaktadır. İdarenin keyfi işlemlerinin önüne geçilmesi, idari işlemlerde eşitliğin ve adaletin sağlanması adına, sözü geçen taahhünamenin asgari şartlarının Yönetmelik kapsamında açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Bu durum, gemi söküm faaliyetlerine girecek veya girişmiş yatırımcıların kendilerine öngörü sağlayabilmeleri bakımından önem taşımaktadır ve eksikliğin giderilmesi gerekmektedir.

Söküme ilişkin genel tedbirlerin öngörüldüğü 7. maddede, daha önce de bahsettiğimiz üzere, baştankara veya kıçtankara edilen geminin, deniz seviyesinin üç metre yukarısına kadar olan kısmının sökülmesi faaliyetlerinin bulunduğu yerde yapılabileceği belirtilmiştir ki bu durum çevrenin korunması ve insan sağlığı mülahazaları ile kabul edilemez niteliktedir. Hatta sözü edilen, maddenin devamında, sökümüne devam edilecek baştankara veya kıçtankara edilen geminin, deniz seviyesinden 3 metre ve daha altında kalan kısımları da, bu kısımların çekilemeyecek kadar ağır olması halinde, dalga tesiriyle geminin kırılmasını önleyecek takviyeler konulmak suretiyle, söküm faaliyetine tabi tutulabilecektir. Sürekli ve kesintisiz olarak karşı olduğumuz, baştankara ve kıçtankara edilen geminin söküm faaliyetlerinin, herhangi bir asgari standart önlemi getirilmeksizin, deniz üzerindeki kısmı 3 metre ve daha az olan gemilere de teşmil edilmesi, kanımca, çevre ve insan duyarlılığının göz ardı edilerek böylesi bir düzenlemeye gidildiğini göstermektedir.

3.4. Çevre kirliliğine yönelik tedbirler

Gemi Söküm Yönetmeliği'nin 8. maddesi ile gemi söküm faaliyetlerinden kaynaklanabilecek muhtemel çevre kirliliğine ilişkin tedbirler öngörülmektedir.

Maddenin 2. fıkrasının b bendinin 1 numaralı alt bendi ile f bendi sırasıyla;

- Toplanan atıkların, işletmeciler tarafından kurulu olan lisanslı ara toplama tesisinde depolandıktan sonra, Çevre ve Orman Bakanlığı'nca lisans verilmiş kuruluşlar veya yapılacak protokole uygun olarak rafineri yoluyla atılmasını;
- Hurda gemilerden çıkan ve ilgili mevzuatta tehlikeli atık olarak nitelendirilen maddelerin sökümü, depolanması, taşınması ve benzeri gibi işlemler sırasında yürürlükte mevzuat hükümlerinin uygulanmasını öngörmektedir.

Yürürlükteki hukuk kuralları bakımından, gemilerden atık alınması ve kontrolü, 26.12.2004 tarihli ve 25682 Resmi Gazete ile yayımlanarak yürürlüğe giren "Gemilerden Atık Alınması ve Kontrolü Yönetmeliği" ile düzenlemeye kavuşturulmuştur.

Yönetmeliğin 2. maddesinde, "...Türkiye'nin deniz yetki alanlarında bulunan gemileri, bu alanlarda bulunan limanlarda yapılması gerekli atık kabul tesislerini, atık alma gemilerini ve atıkların bertaraf tesislerine taşınmasını kapsar." demek suretiyle, uygulama kapsamı gösterilmektedir. Madde metninden anlaşılabileceği üzere, atık kabul tesislerinin limanlar bakımından inşası ve işletilmesi öngörülmüş olup, gemi söküm alanlarında, atık tesisleri inşası ve işletilmesine ilişkin bir zorunluluk öngörülmemiştir. Bu durum, elbette, gemi söküm alanlarına, atık alım tesislerinin kurulmasına ve işletilmesine engel değildir, geniş bir amaçsal yorumla bu sonuca ulaşılabilir, ancak, işin mahiyeti gereği, çevrenin ve insan sağlığının korunması bakımından atık alım tesislerinin gemi söküm alanlarında kurulması kanımca zorunlu tutulmalıdır. Böylece, her iki yönetmelik amacı bakımından çok daha yararlı olacağı gibi, yönetmelikler arasındaki uyum da gerçekleştirilmiş olacaktır. Gerekli değişikliklerin yapılması ile zorlama hukuki yorumlarda bulunma sakıncası da ortadan kalkacak ve hukuk güvenliği bakımından daha açık hükümler sevk edilmiş olacaktır.

Limanlardaki atık alım ve arıtma tesislerinin kurulması ve işletilmesi, çağın gereklerine uygun, çevre ve insan odaklı bir yaklaşım olmakla birlikte, ülkemizde halihazırda anılan tesislerin kurulması ve faaliyete geçirilmesi konusunda ciddi adımların atılmadığı da bir gerçektir. Bu yönü ile, limanlar için kurulması ve işletilmesi yasal düzenleme ile açıkça öngörülen atık alım ve arıtma tesislerinin kurulmadığı bir ortamda, gemi söküm alanları bakımından böylesi bir hukuki bir zorunluluğun olmadığı da göz önüne alındığında, mevcut ve muhtemel gemi söküm alanlarında atık toplama ve arıtma tesislerinin kurulmasını beklemek oldukça iyimser bir yaklaşımın ötesine geçemeyecektir.

Ayrıca 8. maddenin son fıkrasında gemi sökümçüsünün meydana gelen çevre zararlarından sorumluluğu meselesi, 2872 Sayılı Çevre Kanunu ve ilgili Yönetmeliklere atıf suretiyle düzenlenmiştir. Çevre Kanunu'nun amacı ve esasları itibarıyla, muhtemel çevre zararlarının tanımlanması sorumluluğun kapsamını ve sorumluları açıklığa kavuşturduğu bir gerçektir. Bununla birlikte Kanun, mevcut durumu ile çevre kirliliğine ilişkin yüksek ihtimallerin olduğu gemi söküm faaliyetleri bakımından yetersiz kalmaktadır.

3.5. Denetimler, faaliyetlerin durdurulması

Yönetmeliğin 10. maddesinin 2. fıkrası ile, gemi sökücüsünün bölgede yaptığı faaliyetlere yönelik olarak, İdare ve Liman Başkanlığı'nın bu yönetmelik ve diğer liman mevzuatına; diğer kurumların ise kendi mevzuatları çerçevesinde gerekli denetimleri yapacağı öngörülmüştür. Sözü edilen hüküm gereği, işletmenin kuruluşu ve faaliyetleri bakımından ilgili Belediye, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı; Çevre mevzuatı bakımından, Belediye ve Çevre ve Orman Bakanlığı; İş sağlığı ve güvenliği bakımından Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı yetkili ve görevli olacaktır. Bunların dışındaki kurum ve Bakanlıklar da keza kendi görev ve yetkilerine giren hususlarda ilgili işletmeyi denetlemekle yükümlüdürler. Bu durumun ise “denetimde birlik ilkesi” ile uyum sağlamadığı, denetimlerde aksaklıklara yol açacağı ortadadır. “Denetimde Birlik İlkesi” gereğince anılan düzenlemenin değiştirilmesi gerekmekte ve denetimin tek elden, sürekli ve etkili biçimde gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. “Denetimde Birlik İlkesi” gerçekleştirilmeden yapılacak her denetim, gemi söküm faaliyetlerine girişen işletmelerin, denetimler sırasında topyekün denetiminin önüne geçecek ve istenilen amaca ulaşılmasını engelleyecektir.

3.6. Deniz sınırlarının tespiti

Yönetmeliğin 15. maddesi uyarınca, Yönetmelik kapsamında bulunan veya yeni kurulacak gemi söküm bölgelerinin deniz sınırları ile bu sınırlara ilişkin koordinatlar, İdare tarafından belirlenecek ve sınırların işlenmiş olduğu krokiler tebliğ olarak Resmi Gazete’de yayımlanacaktır. Yönetmeliğin Geçici 1. maddesi ile de, “Aliağa Gemi Söküm Bölgesi Yönetmeliğinde belirtilmiş olan Aliağa Gemi Söküm Bölgesi deniz sınırlarının, Gemi Söküm Yönetmeliği’nin 15. maddesine göre yeniden belirlenip Resmi Gazete’de yayımlanincaya kadar yürürlükte kalacağı belirtilmiştir. Sözü edilen her iki madde birlikte değerlendirildiğinde hem teknik hem de hukuki bakımdan bazı sakıncalarla karşılaşıldığı görülmektedir, şöyle ki;

- Halihazırda, gemi söküm alanlarına ilişkin olarak deniz alanlarını belirleyen krokilerin tebliğ olarak yayımlanmaması, öncelikli olarak, söküm faaliyetine girişmek isteyen yatırımcıları, Aliağa bölgesine yatırım yapmaya zorunlu tutmaktadır. Sektörün gelişmesi amaç edinirken alternatif, daha verimli söküm alanlarının öncelikle tespiti, altyapı çalışmalarının bitirilmesi ve hizmete sokulması gerekmektedir. Yönetmelikte, yeni söküm alanlarının tespiti meselesine değinilmekle birlikte Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten bu yana herhangi bir adım atılmış değildir. Bu da, ciddi bir ekonomik getiriye ve istihdam sahasını elimizden kaçırmamıza yol açacak niteliktedir
- Yönetmeliğin 15. maddesi ile deniz sınırlarının belirleneceği düzenlenmekle birlikte yeni sınırların belirlenmesine kadar Aliağa Söküm Bölgesi Yönetmeliği’nin ilgili maddesinin yürürlükte kalacağı öngörülmüştür. Bu durumda, yürürlükten kaldırılan Yönetmeliğin, deniz sınırlarının belirlenmesine ilişkin hükmü halen yürürlükte dir. Olağan şartlar altında, geçici hükümlerin öngörüldüğü hukuki düzenlemelerde, geçici hükmün yerine getirilecek esas

hükümle ilgili olarak en kısa sürede düzenlemenin yapılması gerekmektedir. Söz konusu durum hukuk birliğine ve uyum ilkelerine aykırı düşmektedir.

Anılan sebeplerle deniz sınırlarının belirlenmesine ilişkin krokilerin ve yeni söküm alanlarının en kısa sürede belirlenmesinin, ekonomik, teknik ve hukuki bakımdan çok daha yararlı olacağı ortadadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Türkiye, gemi inşa sanayinde olduğu üzere, gemi söküm faaliyetleri bakımından da dünyanın önde gelen isimleri arasında yer almaktadır. Gemi söküm faaliyetleri, ciddi bir istihdam imkanı yarattığı gibi, ülkeye ve yatırımcılara ciddi bir ekonomik getiri sağlamaktadır. Uluslararası kurallar gereği ilerleyen yıllarda birçok gemi ve bilhassa petrol ve petrol türevlerini taşıyan tanker hizmetten çıkarılacak ve büyük bir kısmı da gemi söküm tesislerinde parçalara ayrılacaktır. Bu gemilerin söküm faaliyetlerinin tamamlanması bakımından Türkiye’de faaliyet gösteren işletmeler, deneyimleri ve maliyet oranları ile diğer ülkelerde konuşlanmış işletmelere nazaran tercih sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır. Gemi söküm faaliyetleri ile uğraşan işletmelerin ve yetkili kurumların sektördeki bu gelişimi ve ivmeyi yakalayıp gelire ve istihdama dönüştürmesi mümkündür. Bununla birlikte, işin mahiyetinden doğan, insan sağlığını ve çevreyi olumsuz biçimde etkilemesi mümkün olan birçok da risk bulunmaktadır. Bu risklerin en az seviyeye indirilmesi bakımından asgari düzenlemeler öngörülmüş olmakla birlikte, kanımca bu düzenlemeler çeşitli sebeplerle eksik veya yetersizdir. Anılan eksiklikler ve yetersizlikler göz önüne alınarak;

- Gemi sökümüne ilişkin olarak, ilgili tüm kurum ve kuruluşların görüşlerine başvurulup yeni bir hukuki düzenleme yoluna gidilmesi;
- Mevcut düzenleme devam ettirilmek isteniyorsa, Yönetmeliğin kapsamının genişletilerek, Yönetmelik metninde bahsedilen istisnai durumları da içerecek şekilde yeniden düzenlenmesi;
- Çevrenin ve insan sağlığının azami ölçüde korunabilmesi ve devam ettirilebilmesi adına baştankara veya kıçtankara edilen gemilerin, bu durumda söküm faaliyetlerine tabi tutulabileceğine ilişkin düzenlemelerin tamamen kaldırılması;
- Gemi söküm yetki belgesi ve izni için gereken evraklardaki muğlak ifadelerin giderilmesi ve açıklığa kavuşturulması;
- Çevrenin korunmasına ilişkin mevzuatla eşgüdümün sağlanması;
- Gemi söküm tesislerinin bulunduğu yerler için de, gemilerden atık alım ve arıtma tesislerinin kurulmasının zorunlu hale getirilmesi;
- Gemi söküm faaliyetlerinde bulunan işletmeler üzerinde etkin hukuki denetim ve yaptırımın uygulanabilmesi adına, mümkün olduğunca denetimde birlik ilkesini sağlayacak düzenlemelerin gerçekleştirilmesi;
- Yeni gemi söküm alanlarının belirlenerek, mevcut gemi söküm bölgesinin deniz sınırlarının koordinatlarının krokilerle belirlenmesi ve Resmi Gazetede yayımlanması ile halihazırda devam eden hukuki ikiliğin ortadan kaldırılması;

- Muhtemel iş kazalarının da dikkate alınarak, işin mahiyetine uygun, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirlerin düzenlenmesi kanımca yerinde olacaktır.

Kaynakça

[1] Vardar, Ekrem, “Türkiye’de ve Dünya’da Gemi Söküm Sanayi ve Çevre”, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 24-25 Aralık 2004

[2] <http://www.prdplanlama.com/prdpanel/mevzuat/20163348472.doc>

[3]<http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.5669&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=gemi%20söküm%20yönetmeliği>



TERSANELERDE, İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA İŞ HUKUKU MEVZUATI VE HUKUKİ DENETİM

Onur Sabri DURAK*

ÖZET

Gemi inşa ve söküm sanayi, ülkemizde öngörülemeyen bir biçimde gelişmiş ve büyümüşür. Bu büyüme, çeşitli sorunları da beraberinde getirmiştir. Sektördeki hızlı gelişimin getirdiği başlıca sorunlardan birisi, tersanelerde meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı iş kazalarındaki artıştır.

Ağır ve tehlikeli işlerin yürütüldüğü tersanelerde, iş kazalarının birçok sebebi olmakla birlikte, çalışmamız bakımından, İş Kanunu ve ilgili mevzuat çerçevesinde, hukuki denetim mekanizmaları incelenecektir. Yeterli ve etkin denetim mekanizmaları ile desteklenmediği sürece, hukuk kurallarının uygulanabilirliği olmayacaktır. Bu sebeple, çalışmamızda başlıca, hukuki denetim konusu incelenecek ve değerlendirilecek; mevzuatımızdaki eksikliklere yer verilerek, olması gereken hukuk bakımından önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: İş kazaları, İş Kanunu, hukuki denetim, mevzuat.

*Onur Sabri DURAK

Tel : +90 216 345 10 64

Faks: +90 216 395 45 00

Cep : +90 532 202 22 88

Mail: duraks@itu.edu.tr

onursabri@hotmail.com

1. Giriş

Yoğun emeğin işe uygulandığı ve ağır çalışma koşullarının sürdüğü gemi inşa, onarım, bakım ve söküm sanayi, küresel taleplere bağlı olarak, ülkemizde özellikle son on yılda, üretim kapasitesi ve teknolojisi, inşa edilen gemilerin boyutları ve özellikleri göz önüne alındığında büyük bir ivme kazanmıştır. Küresel sektördeki veriler ve Türkiye'deki veriler karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, 2003 yılı ile 2008 yılı arasındaki süreçte, dünya gemi inşa sanayi %89 oranında büyüme gösterirken, aynı zaman diliminde Türkiye'de gemi inşa sanayi %360 oranında bir büyüme göstermiştir. Bu artış oranı ve ivme ile ülkemizde gemi inşa sanayi, küresel ölçekteki sıralamada basamakları hızla tırmanmıştır. Sektörde gerçekleşen bu kapasite artışı ile, Türk tersaneleri, adet bazında dünyada 4., tonaj bazında dünyada 6., yat inşası bazında ise dünyada 3. sıraya yükselmiştir. Hızlı ve öngörülemeyen büyüme, beraberinde birçok sıkıntıyı da getirmiştir.

Tersanelerin hızlı ve öngörülemeyen biçimde büyümesi neticesinde, bilhassa gündemde sürekli yer alan ölümlü ve yaralanmalı iş kazalarında da ciddi bir artış söz konusu olmuştur. Tersanelerde meydana gelen iş kazaları incelendiğinde aşağıdaki verilere ulaşılmaktadır;

- 2000 yılında 76 iş kazası, 2001 yılında 61 iş kazası, 2002 yılında 73 iş kazası, 2003 yılında 86 iş kazası, 2004 yılında 120 iş kazası, 2005 yılında 146 iş kazası, 2006 yılında 170 iş kazası ve 2007 yılında 227 iş kazası meydana gelmiştir.
- Meydana gelen bu iş kazalarında, 2000 yılında 4, 2001 yılında 1, 2002 yılında 5, 2003 yılında 3, 2004 yılında 5, 2005 yılında 9, 2006 yılında 10, 2007 yılında 12 ve 2008 yılının ilk sekiz ayında 18 kişi hayatını kaybetmiştir[1].

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı müfettişlerinin tersanelerde yaptığı incelemelerde, meydana gelen kazaların dört başlık altında toplandığı görülmektedir;

- Yüksekten düşme,
- Elektrik çarpması
- Yangın, patlama
- Ezilme ve sıkışma

Söz konusu iş kazalarının sebepleri ise çok çeşitli başlıklar altında görülmektedir. Ölümlü ve yaralanmalı iş kazalarının başlıca sebepleri arasında;

- İşin niteliği gereği tehlikeli ve ağır olması,
- Yoğun çalışma saatleri
- İşçilerde, iş kaynaklı gözlemlenen fiziksel ve zihinsel yorgunluk,
- Tersanelerdeki çalışma ortamının fiziksel koşulları ve zorlukları,
- Tersanelerdeki çalışma alanlarının darlığı ve birçok farklı işin aynı alanda yapılması zorunluluğu nedeniyle, çalışma ortamındaki karışıklık,
- Tersanelerde imalat, inşaat, birleştirme, kaynak, elektrik vb. işler için kullanılan araç ve gerecin yarattığı tehlikeler,
- Tersanelerde çalışan işçilerin, işin niteliğine uygun öğretim ve/veya eğitim almadan çalışmaya başlaması, meslek içi eğitimlere tabi tutulmaması.

- İşçilerin, iş güvenliği ve sağlığı ile ilgili temel bilgiye sahip olmaması, anılan eğitimlere tabi tutulmaması, yeni iş sağlığı ve güvenliği kurallarının bu işçilere öğretilmemesi,
- İşe uygun araç ve gerecin kullanılmaması, işçilerin bu konuda yeterli bilgi ve eğitime sahip olmaması,
- İşçilerin iş güvenliği ve sağlığını sağlamaya yönelik, kişisel korunma donanımını kullanmaması, ikaz edilmesine karşın donanımı kullanmamaya devam etmesi,
- İşe uygun olmayan ve kalitesiz kişisel korunma donanımının işçilere verilmesi,
- İşin niteliği gereği, çok sayıda alt işveren işçisinin tersanelerde çalıştırılması ve bundan kaynaklanan sorunlar,
- İş planlaması, tasarımı ve üretim sürecinde görülen eksik yapılanmalar,
- Gemi inşa sektörüne yönelik doğrudan hukuki düzenlemelerin mevcut olmaması, genel düzenlemelerin işin niteliği ile uyum sağladığı oranda uygulanabilmesi ve mevcut düzenlemeler arasındaki eşgüdümün sağlanamamış olması,
- Hukuki düzenlemelerde öngörülen düzenlemelerin uygulanmasındaki yetersizlikler,
- Hukuki düzenlemelerde öngörülen kuralların uygulanıp uygulanmadığının denetlenmesi sürecindeki eksiklikler. Denetimlerin etkin ve sürekli olmaması sayılabilir.

Anılan sebepler sınırlı sayıda olmayıp, işin, çalışma koşullarının ve işyerinin niteliğinden doğan ya da doğabilecek başkaca sebepler de ölümlü ve yaralanmalı iş kazalarına yol açmaktadır.

Çalışmamızda, iş güvenliği ve sağlığının sağlanması bakımından yasal düzenlemelere yer verilecektir. Bu çerçevede, iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin başlıca düzenleme olan 10.06.2003 tarih ve 25134 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 4857 sayılı İş Kanunu’nun [2]ilgili hükümleri incelenecektir. İş sağlığı ve güvenliğini sağlamak üzere, işyerlerinde yapılacak denetim, denetimin türleri ve niteliği hukuki açıdan değerlendirilecektir.

2. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Sağlanmasına İlişkin Hukuki Düzenlemeler

İş Kanunu’nun Beşinci Bölümünde İş Sağlığı ve Güvenliği başlığı altında, 77. madde ile 89. maddesi arasındaki hükümler, tüm işyerlerinde, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması amacıyla; işverenlerin ve işçilerin yükümlülüklerini, iş sağlığı ve güvenliğini sağlamasına ilişkin yönetmelikleri, işin durdurulması veya işyerinin kapatılmasını, iş sağlığı ve güvenliği kurulunu, iş sağlığı ve güvenliği hizmetlerini, iş güvenliği ile görevli mühendis veya teknik elemanları, işçilerin haklarını, içki veya uyuşturucu kullanma yasağını, ağır ve tehlikeli işleri, ağır ve tehlikeli işlerde raporu, on sekiz yaşından küçük işçiler için raporu, gebe veya çocuk emziren kadınlar için yönetmeliği ve çeşitli yönetmelikleri düzenlemektedir.

Sözü edilen hükümler, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasına yönelik temel hükümleri oluşturmaktadır. Bu hükümlerden de anlaşılabacağı üzere, iş sağlığı ve güvenliğini sağlamak

üzere, ayrıntılı düzenlemelere gereksinim duyulmuştur. Sözü edilen ayrıntılı düzenlemeler de, kurallar kademelenmesi gereği ilgili tüzük ve yönetmeliklerde ortaya konulmuştur. Bilhassa iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması amacıyla çok sayıda Yönetmelik yayımlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Anılan yönetmeliklerden gemi inşa sanayini doğrudan veya dolaylı olarak ilgilendirenlerin başlıcaları arasında ;

- İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği,
- Titreşim Yönetmeliği,
- Gürültü Yönetmeliği,
- Güvenlik ve Sağlık İşaretleri Yönetmeliği,
- Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik,
- Kanserojen ve Mutajen Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik,
- Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik,
- Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik,
- Kişisel Koruyucu Donanım Yönetmeliği,
- Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik,
- İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği,
- İşyeri Sağlık Birimleri ve İşyeri Hekimlerinin Görevleri ile Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik,
- İş Güvenliği ile Görevli Mühendis veya Teknik Elemanların Görev, Yetki ve Sorumlulukları ile Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik,
- İşyerlerinde İşin Durdurulmasına veya İşyerlerinin Kapatılmasına Dair Yönetmelik,
- Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik,
- İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulları Hakkında Yönetmelik

sayılabilir. Anılan yönetmelikler, isimleri ve içeriklerinden de anlaşılacağı üzere genel düzenlemeler olup, işin niteliği gereği, gemi inşa sanayi, iş ve işyeri koşulları ile uygun olduğu ölçüde tersanelerde sürdürülen faaliyetler bakımından uygulama alanı bulabilecektir.

İş kazaları meslek hastalıklarının yoğun biçimde görüldüğü, inşaat, maden ve sondaj işleri bakımından, Avrupa Birliği normları göz önüne alınarak, özel düzenlemeler öngörüldüğü halde, gemi inşa sanayi bakımından özel düzenleme yoluna gidilmediği görülmektedir. Gemi inşa sanayinde bahsettiğimiz ölümlü ve yaralanmalı kazalar ve bu kazaların oranı dikkate alındığında, sektöre ilişkin özel düzenlemelere olan ihtiyaç ortadadır. Tersanelerde yaşanan ölümlü ve yaralanmalı iş kazalarından sonra, gemi inşa sanayinin muhtemel tehlikelerini göz önüne alan, işin ve işyerinin niteliğine uygun tek bir düzenleme yoluna gidilmesi hem hukuk tekniği bakımından hem de uygulamada risklerin azaltılmasında daha yararlı olacağı kanısındayım.

İş Kanunu ile yukarıda ismen belirtilen Yönetmelikler, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması bakımından temel düzenlemeleri oluşturmaktadır. Ancak hukuki

düzenlemelerin etkinliği, uygulama ve uygulamanın denetimi ile sağlanabilecektir. Bu sebeple İş Kanunu ve ilgili diğer mevzuat, iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin hükümleri sevk etmekle kalmamış aynı zamanda çalışma hayatının denetimi ve kurallarının uygulanıp uygulanmadığının incelenmesine dair hükümler de sevk etmiştir. Bu yönü ile iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin hükümler ile iş hayatının denetimi ve teftişi arasındaki hükümler arasında da organik bir bağ olduğu ortadadır. Buna karşın, İş Kanunu'nda, iş sağlığı ve güvenliğinin düzenlendiği 5. Bölümün arkasından iş hayatı ve teftişine dair hükümlerin düzenlenmesi söz edilen organik bağ gereği daha uygunken, 6. Bölümün, sadece 90. maddeyi kapsar nitelikte, iş ve işçi bulmaya aracılık faaliyetlerine ayrılması, hukuk tekniği bakımından uygun olmadığı kanısına varılmıştır. İş hayatının tanımlanması, düzeni, iş sağlığı güvenliği ve bunları tamamlayan denetim hükümlerinin bir bütün ve organik bağ içinde olacak biçimde gözden geçirilerek düzenlenmesinde daha fazla yarar olacağı ortadadır.

3. Çalışma Hayatının Teftişi ve Denetimine İlişkin Hukuki Durum

İş Hukuku kurallarının sevk edilmesiyle, işçinin korunması amacı gerçekleşmiş olmayacaktır, keza sadece iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin hükümlerin sevk de başlı başına, işyerlerinde iş kazalarını ortadan kaldırmayacak veya azaltmayacaktır, iş sağlığı ve güvenliğini gerçekleştirmeyecektir. Etkili ve güçlü yaptırımlarla desteklenmiş bir iş denetimi, bir ülkedeki iş hukuku kurallarının uygulanmasında ve yaşama geçirilmesinde, İş Hukukunun etkinliğinin sağlanmasında önemli bir koşul olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemizde, iş denetimi ve örgütünün yapısı, yetkili makam ve memurlar, yetkili makam ve memurların, görev, yetki ve sorumlulukları, denetimin amacı, esasları ve ilkeleri, usul ve yöntemleri, işçi ve işverenin sorumluluğuna ilişkin konular İş Kanunu'nun 91 ile 97. maddeleri arasında, İş Teftişi Tüzüğü'nde[3], İş Teftiş Kurulu Yönetmeliği'nde[4] düzenlenmiştir. Konunun önemine istinaden, 5690 sayılı Kanun ile onaylanan ve yürürlüğe giren 81 Sayılı Sanayi ve Ticarete İş Teftişi Hakkında Uluslararası Çalışma Sözleşmesi ile de iş denetimi düzenlenmiştir.

Çalışma hayatının denetimi ve teftişi, konunun taşıdığı önem ve kamu düzeni ile ilgisi nedeniyle bir “devlet ödevi” olarak düzenlenmiştir. İş Kanunu'nun 91. maddesinde “Devlet, çalışma hayatı ile ilgili mevzuatın uygulanmasını izler, denetler ve teftiş eder” denilmek suretiyle hükme bağlanmıştır.

Çalışma hayatının denetimi ve teftişini, ülkemizde devlet adına, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı yerine getirmektedir. 09.01.1985 tarih ve 18639 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 3146 sayılı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunun[5] 1. ve 2. maddeleri, çalışma hayatının, işçi ve işveren ilişkilerinin denetlenmesini ve gerekli yaptırımların uygulanmasını, bakanlığın amacı ve görevleri arasında saymıştır. Anılan Kanunun 15. maddesi ile İş Teftiş Tüzüğü'nün 3. maddeleri uyarınca, iş denetimi ve teftişi, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı tarafından yürütülür.

Çalışma hayatının denetimi ve teftişine ilişkin olarak, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın yanı sıra, Sağlık Bakanlığına, Milli Savunma Bakanlığına, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı gibi bazı bakanlıklar ile belediyelere çeşitli kanunlar ve kanun hükmünde kararnameler ile denetim yetki, görev ve sorumluluğun verildiği görölmektedir. Bununla birlikte, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın yanı sıra diğer kamu kurum ve kuruluşlarına da, çalışma hayatının denetimi ve teftişine ilişkin yetki, görev ve sorumluluğun verilmiş olması, “denetimin bütünlüğü ilkesine” aykırı düşmektedir. Diğer kamu kurum ve kuruluşlarının da, çalışma hayatının denetimi ve teftişi konusunda görevli, yetkili ve sorumluluk tanınmasının, denetimin bütünlüğü ilkesine aykırı düşeceği göz önünde bulundurularak İş Kanunu'nun 95. maddesi sevk edilmiştir. Anılan maddenin 2. maddesi gereğince, denetim yetki, görev ve sorumluluğu tanınan kamu kurum ve kuruluşlarının, işyerlerinde yapacakları iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili teftiş ve denetlemelerin sonuçlarını ve yapacakları işlemleri o yer için yetkili bölge müdürlüğüne bildirmeleri öngörülmüştür. Farklı kurum ve kuruluşlar tarafından yapılan iş sağlığı ve güvenliği denetimleri ile Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı nezdinde yürütülecek denetim ve teftişler arasında eşgüdüm sağlanmasını amaç edinen bu hüküm hem hukuk tekniği hem de uygulama bakımından istenen amacı sağlamaktan uzaktır. Yetki, görev ve sorumluluğun tanındığı kurum ve kuruluşların, iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin gerçekleştirdikleri denetimleri hangi usul ve yöntemle ve en çok hangi süre içerisinde bildirmeleri gerektiğinin hükümde yer almaması, hukuk tekniği bakımından bir eksiklik olarak karşımıza çıkmaktadır. Etkin bir hukuki denetim ve eşgüdümün sağlanabilmesi adına, bu bildirimlerin yapılacağı sürenin açıkça belirlenmesi ve mümkün olduğunca kısa tutulmasının yararlı olacağı kanısına ulaşılmıştır. Ayrıca, uygulamada kanunun öngördüğü bu bildirimler ilgili kamu kurum ve kuruluşları tarafından yapılmadığı gibi, denetime yetkili kamu kurum ve kuruluşları arasında da bir denetimin varlığından söz etmek mümkün görülmemektedir. Bu hali ile uygulamada karşımıza çıkan aksaklıkların giderilmesi adına ve denetimde bütünlük ilkesi de gözetilerek, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili olarak çalışma hayatının teftişi ve denetimi yetki, görev ve sorumlulukları tek elde yani Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığında toplanmalı ya da; eşgüdümü sağlamak adına, bildirim yükümlülüğü olan personelin, bildirimde gecikmesi veya bildirimde bulunmaması hallerine ilişkin yaptırım hükümleri sevk edilmelidir.

4. Çalışma Hayatı Denetim ve Teftiş Süreci

16.11.1991 tarihinde ve 21053 sayılı Remi Gazete ile yayımlanarak yürürlüğe giren “Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Yönetmeliği”nin 47. maddesi ile çalışma hayatına ilişkin teftişin türleri belirtilmekte ve düzenlenmektedir. Anılan madde uyarınca, iş denetimi(teftişi), işin yürütümü yönünden; genel teftiş, kontrol teftişi ve inceleme teftişi, işçi sağlığı ve iş güvenliği yönünden; genel teftiş, inceleme teftişi ve kontrol teftişi şeklinde ayrılmaktadır. Yönetmeliğin sözü edilen maddesi incelendiğinde “işçi sağlığı ve iş güvenliği” ibaresinin kullanıldığı görölmektedir. Bununla birlikte İş Kanunu'nda, örneğin 95. maddenin 2. fıkrasında “iş sağlığı ve güvenliği” ibaresi kullanılmaktadır ki, her iki hükmün kapsamı ve içeriği birbirinden farklıdır. 4857 Sayılı İş Kanunu 2003 yılı itibariyle yürürlüğe girmiş olup, Kanunun sözüne ve özüne uymayan

Yönetmelik maddesinin değiştirilerek, kurallar kademelenmesi ilkesine bağlı kalmak suretiyle yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

İşin yürütümü yönünden *genel teftiş*; çalışma hayatına ait tüm mevzuat hükümlerine uyulup uyulmadığı yönünden yapılan teftiştir. *Kontrol teftişi*; genel teftişin sonucunda, genel teftişe aykırılığı ve noksanlığı tespit edilen hususların verilen süre sonunda yerine getirilip getirilmediğinin kontrolü amacıyla yapılan teftiştir. Kanımca, kontrol teftişine ilişkin metin anlaşılır değildir ve değiştirilmesi gerekmektedir. Metin içinde “yerine getirilip getirilmediğinin” ibaresi yerine “giderilip giderilmediği” ibaresinin kullanılması anlam bütünlüğünün sağlanması bakımından yerinde olacaktır. *İnceleme teftişi* ise; İşyerlerinde işin yürütümü yönünden yapılan ihbar, şikayet, işkolu tespiti, işçi sayısı ile sendika üye sayısı tespiti, grev oylaması ve bu gibi Kurul Başkanlığına veya gruplara incelenmek üzere intikal ettirilen konulardan teftiş hizmetiyle bağdaşır nitelikte olanlar hakkında yapılan teftiştir.

İşçi sağlığı ve güvenliği yönünden *genel teftiş*; İşçilerin sağlık ve güvenliklerini tehlikeye düşürecek hususlar ile iş kazası ve meslek hastalığı sebeplerini tespit ve önlemeye yönelik olarak işçi sağlığı ve iş güvenliği mevzuat hükümlerine uyulup uyulmadığı açısından yapılan teftiştir. *İnceleme teftişi*; İşyerlerinde İşçi sağlığı ve iş güvenliği konularında ihbar, şikayet, iş kazası, meslek hastalıkları, kurma izni incelemesi veya teftiş esnasında gerek görülmesi halinde yahut Kurul Başkanlığına veya gruplara incelenmek üzere intikal ettirilen konulardan teftiş hizmetiyle bağdaşır nitelikte olanlar hakkında yapılan teftiştir. *Kontrol teftişi*; Genel, Kontrol ve İnceleme Teftişleri sonunda mevzuata aykırılığı veya noksanlığı tespit edilen hususların verilen süre sonunda yerine getirilip getirilmediğinin kontrolü amacıyla yapılan teftiştir.

İşin yürütümü bakımından teftiş ile işçi sağlığı ve iş güvenliği bakımından yapılan teftişler karşılaştırılmalı olarak incelendiğinde teftiş türlerinin aynı sıra ve içerikte olmadığı görülmektedir ve bu durumun hukuksal mantık bakımından açıklanması da kanımca zorlama yöntemlere başvurmaya gerekli kılmaştır. Özellikle, işçi sağlığı ve iş güvenliği bakımından öngörülen kontrol teftişini düzenleyen madde metni incelendiğinde, kontrol teftişinin kontrolü gibi bir anlam çıkmaktadır ki bu durum da hukuk tekniği bakımından uygun olmayan bir ifadedir ve maddenin bütünü ile uyumsuzdur.

Muhtemel iş kazalarının önlenmesi bakımından, genel teftiş ve kontrol teftişleri önem arz etmektedir. Etkin ve yaptırımlarla desteklenmiş iş sağlığı ve güvenliği denetimleri, işyerlerinde ve çalışma koşullarındaki eksikliklerin belirlenmesinde ve giderilmesinde, muhtemel kaza risklerinin en aza indirilmesinde ve hatta ortadan kaldırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Buna karşın, müfettiş sayısındaki yetersizlikler nedeniyle genel teftişlerin dahi düzenli bir biçimde ve sık aralıklarla yapılmadığı ortadadır. Bu koşullar altında genel teftişlerde eksikliklerin tespiti ve kontrol teftişleri ile de daha önce tespit edilen eksikliklerin giderilip giderilmediğinin belirlenmesi mümkün görülmemektedir. Gemi inşa sanayi bakımından da aynı şartların varlığı söz konusudur, proaktif denetimler düzenli ve sık biçimde gerçekleştirilmediğinden, tersanelerdeki muhtemel kazaların en aza indirilmesi yönünde olumlu adımlar da atılamamıştır. Meydana gelen iş kazalarının akabinde gerçekleştirilen inceleme teftişleri ise, ileriye dönük önlemlerin alınmasından ziyade, idari

ve cezai yaptırımların uygulanmasına dönük olup, iş hayatının gerçekleri ile uyum sağlamamaktadır. Proaktif denetimleri gerçekleştirmeyip, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasındaki ödevini yerine getirmeyen devletin, meydana gelen iş kazalarından sonra, işverenleri, alt işverenleri sorumlu tutması idarenin eylem ve işlemlerinde ki burada eylemsizliğinden, doğan sorumluluğunu ortadan kaldırmayacaktır. Gemi inşa, bakım, onarım tesislerinin, tersanelerinin kurulması ve işletilmesinde de, iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin tedbirlerin alınıp alınmadığı, eksikliklerin giderilip giderilmediğinin denetiminin İdare tarafından gerçekleştirilmesi hukuki bir yükümlülüktür. Bu kapsamda, iş güvenliği ve sağlığının sağlanmasıyla da ilgili olarak, tersanelerin kurulacağı alanlar, taşıyacakları asgari şartları düzenleyen 10.08.2008 tarih ve 26963 sayılı Resmi Gazete ile yayımlanarak yürürlüğe giren Tersane, Tekne İmal ve Çekek Yerlerine İlişkin İşletme İzni Verilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik[6] uygulama alanı bulacaktır. Anılan Yönetmeliğin Geçici 2. maddesinin 1. fıkrası gereğince, Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten önce faaliyet gösterdiği İdarenin kayıtlarında yer alan veya faaliyetini idareye belgeleyen tesisler bakımından işletme izin belgesi şartı, anılan Yönetmeliğin yayımı tarihinden itibaren üç yıl süre ile aranmayacaktır. Bu hükmün iki bakımdan değerlendirilmesi mümkündür. Öncelikli olarak, sözü edilen Yönetmelik, yayımlanması ve yürürlüğe girdiği tarih dikkate alındığında, tersanelerde yaşanan iş kazalarından sonraki bir tarihte rastlamaktadır ki bu da idarenin proaktif önlemler almaktansa sorunlarla karşılaşp daha sonra çözüm yoluna gittiğinin göstergesidir. Değerlendirilmesi gereken ikinci nokta ise, Yönetmeliğin bu hali ile faaliyetlerini idareye belgeleyen tersanelere üç sene süre vermiş olmasıdır. Yönetmelik, mevcut ve faaliyetlerini idareye belgeleyen tersanelerin fiziksel koşullarında, bu geçici dönem içerisinde en azından bir iyileştirme öngörmemesi nedeniyle kanımca eksik kalmıştır.

Çalışma hayatına ilişkin mevzuatın uygulanmasında, Devlet adına müfettişlerce yapılacak izleme, denetleme ve teftişin ilkeleri 28.8.1979 tarihli ve 16738 sayılı Resmi Gazete ile yayımlanarak yürürlüğe giren “İş Teftişi Tüzüğü” ile düzenlenmiştir. İş Teftişi Tüzüğü’ne göre müfettişler; işyerlerindeki çalışma koşullarıyla üretim ve yapım yöntemlerini incelemekle, işveren, işçiler ve konuyla ilgisi olan üçüncü kişileri dinlemekle, işyeri ile ilgili belge ve kayıtları incelemekle gerekli hallerde birer örneğini almakla, işyerinde kullanılan araç, gereçlerin kullanılan malzemenin işçi sağlığı ve güvenliğine uygun olup olmadığını denetlemekle ve işçi sağlığı ve güvenliğinin sağlanması adına kendisine verilen diğer görevleri yerine getirmekle yetkili ve görevli kılınmıştır(Tüz. m. 1).

Teftişler mümkün olduğu ölçüde ara vermeden yürütülmeli ve tamamlanmalıdır. Müfettişler, teftiş sırasında, kural olarak ilgili tüm mevzuatın uygulanıp uygulanmadığını denetlemekle yükümlüdürler(Tüz. m. 16).

İş teftişleri, teftiş programına göre yapılır. Teftiş programlarının belirlenmesinde, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı bünyesindeki müfettiş sayısının yetersizliği de göz önüne alınarak, öncelikle veya sık aralıklarla denetlenmesi gereken işyerlerinin belirlenmesi, Tüzük gereğince hazırlanacak aylık ve yıllık programlarda(Tüz. m. 17/3) denetimlerin daha ziyade bu işyerlerine yöneltilmesi gerekmektedir. Anılan Tüzük maddesi gereği, tersanelerdeki iş kazaları göz önüne alındığında, hazırlanacak teftiş programlarında, tersanelerin daha sık aralıklarla ve düzenli olarak teftişe tabi tutulmasında fayda olacağı

kesindir. Bununla birlikte ülkemizdeki iş denetimi kayıtları ve istatistikleri yeteri kadar düzenli tutulmadığından ve denetimi gerçekleştiren farklı kurum ve kuruluşlar arasında eşgüdüm de sağlanmadığından, denetimlerin öncelikle iş hukuku kurallarına uymayan işyerlerine yöneltilmesi de mümkün olmamaktadır.

İş müfettişleri yaptıkları denetim sonucunda, iş mevzuatına aykırı durumları tespit ettikleri takdirde, ya eksikliklerin ve aykırılıkların giderilmesi için işverene önel verecekler ya da idari para cezası veya ceza kovuşturması sürecini derhal başlatacaklardır. Müfettişler kural olarak önel vermek veya yaptırım uygulanması talebinde bulunmak konusunda takdir hakkına sahip bulunmaktadır(Tüz. m. 22/3). Takdir hakkını kullanırken, müfettişler, teftişin yapıldığı işyerinin genel durumunu ve özelliklerini, işverenin iyi niyetini, kusurunun derecesini, işyerinde daha önce denetimler yapılmışsa bu denetimlerde alınan sonuçları objektif olarak göz önünde tutmak durumundadır. İşyerindeki iş mevzuatına ilişkin aykırılıkların ve eksikliklerin giderilmesi için sadece bir “önel” verilebilir. Bu önel, işyerindeki iş mevzuatına ilişkin aykırılıkların ve eksikliklerin giderilebilmesi için uygun uzunlukta olmalıdır(Tüz. m. 22/4). İşverenler, kendilerine tanınan bu önel içerisinde, tespit edilen eksiklikleri ve aykırılıkları gidermek ve bu durumu bölge müdürlüklerine bildirmekle yükümlüdürler. İşverene tanınan bu önelin sonunda, işyeri tekrar denetlenecek ve iş mevzuatına ilişkin eksikliklerin, aykırılıkların giderilip giderilmediği belirlenecektir.

Denetim ve teftişlerin etkin ve düzenli biçimde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla, iş müfettişlerinin talebi üzerine, zabıta kuvvetleri her türlü yardımı sağlamakla yükümlü tutulmuşlardır.

5. Sonuç ve Öneriler

Ülkemizde gemi inşa, bakım ve onarım sanayinde öngörülemeyen bir büyüme ve gelişme yaşanmıştır. Öngörülemeyen bu gelişme yapısal, teknik, ekonomik ve hukuki birçok sorunu da beraberinde taşımıştır. Karşılaşılan sorunların başında, tersanelerde yaşanan ölümlü ve yaralanmalı kazalar görülmektedir. Muhtemel kazaların önüne geçilmesinde, iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin denetimlerin ve teftişlerin etkili ve düzenli bir biçimde gerçekleştirilmesinin önemli rolü bulunmaktadır.

İşyerlerinin denetimi, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatına ilişkin aykırılıkların ve eksikliklerin belirlenmesi ve giderilmesi Devlet adına başta Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı müfettişleri ile ilgili diğer kurum kuruluşların yetkili, görevli memurları tarafından gerçekleştirilmektedir. Söz konusu denetim ve teftişlere ilişkin olarak hukuk tekniği ve uygulama bakımından çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Sektörün dengeli biçimde gelişmesi, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve hukuki denetim sürecinin etkili bir biçimde işletilmesi adına çeşitli çözüm önerilerinin sunulması mümkündür. Bu kapsamda olmak üzere

- Gemi inşa sanayinde, iş güvenliği ve sağlığını sağlamaya yönelik özel hukuki düzenlemelerin gerçekleştirilmesi, bu konuda, maden ve inşaat işlerinde olduğu üzere özel yönetmelik çıkartılması yoluna gidilmesi,

- İş sağığı ve güvenliğıne ilişkin hukuki düzenlemeler ile çalışma hayatının teftiş ve denetimine ilişkin hukuki düzenlemeler arasında organik bağıın kurulması,
- Kurallar kademelenmesi ilkesi göz önüne alınarak, hukuki metinler arasındaki uyumsuzlukların ortadan kaldırılması, alt sırada yer alan hukuki metinlerin özü ve sözüyle kendisinin üzerinde yer alan metinlere uygunluğunun sağılanması,
- İş sağığı ve güvenliğini düzenleyen hukuki düzenlemelerde yer alan cümlelerde anlam bütünlüğünü sağılamaya yönelik çalışmaların yapılması, sözü edilen metinlerin hukuksal mantık zemini üzerine oturtulması amacıyla çalışmalar yürütülmesi,
- Denetimin Bütünlüğü İlkesine uygun olarak, iş hayatının teftiş ve denetimine yönelik görev, yetki ve sorumlulukların tek elde toplanması ve etkin denetimi sağılayacak düzenlemelere gidilmesi,
- İş hayatının teftiş ve denetiminde yer alan farklı kurum ve kuruluşların gerçekleştirdikleri denetimler arasında eşgüdümü sağılayacak tedbirlerin alınması, elde edilen verilerin ortak kullanım alanına en kısa zamanda aktarılmasını sağılayacak hukuki düzenlemelere ve teknik yöntemlere başvurulması,
- İş hayatının teftiş ve denetimine ilişkin kayıt ve istatistiklerin daha düzenli biçimde tutulması ve ilgili kurum ve kuruluşların yararlanmasını sağılayacak biçimde hazır tutulması,
- İş sağığı ve güvenliğı müfettişlerinin sayısının artırılması yönünde adımlar atılması,
- Müfettişlerin, gemi inşa sanayindeki muhtemel iş sağığı ve güvenliğı sorunları ile ilgili özel eğitimden geçirilmesi, uluslararası ve ulusal mevzuat konularında sürekli meslek içi eğitime tabi tutulmaları,
- Denetim sürecinde, idarenin proaktif rol oynamasını sağılayacak düzenlemelerin gerçekleştirilmesi sayılabilir.

Kaynaklar

- [1]Denizcilik Dergisi, Sayı 38,Temmuz-Ağustos 2008, s. 23
- [2]<http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=1.5.4857&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=İş%20Kanunu>
- [3]<http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=2.5.717925&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=İş%20Teftişi%20Tüzüğü>
- [4]<http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.11238&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=İş%20Teftiş%20Kurulu%20Yönetmeliğı>
- [5]<http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=1.5.3146&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>
- [6]<http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12345&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=tersane>



DENİZ YÜZEYİNDE PETROL YAYILIMININ MODELLENMESİ

Çiğdem AKAN¹, Şafak Nur Ertürk BOZKURTOĞLU²

ÖZET

Günümüzde petrol arama, taşıma, depolama faaliyetleri nedeniyle petrol yayılımına neden olabilecek kazaların oluşma riski artmıştır. Bu tür kazalara müdahale için hazırlanan acil eylem planlarının en önemli bileşeni kıyı sularında petrol hareketini tahmine dayalı matematik modellerin kullanımıdır.

Dökülen petrolün akıbeti fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler tarafından belirlenir. Bu süreçler, taşınma, yüzeyde yayılma, ilerleme, buharlaşma, çözünme, oksidasyon, emülsiyon, çökme ve biyolojik bozunmadır. Denize dökülen petrol türleri ilk aşamada genellikle yüzeyde ince bir tabaka halinde yayılır.

Bu çalışmada hidrodinamik bir modelden elde edilen hız verilerini kullanan ve petrol yayılımının deniz yüzeyinde etkin olan süreçlerini içeren, sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir yayılma modeli geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Petrol yayılımı, matematik model, Lagrange takip tekniği

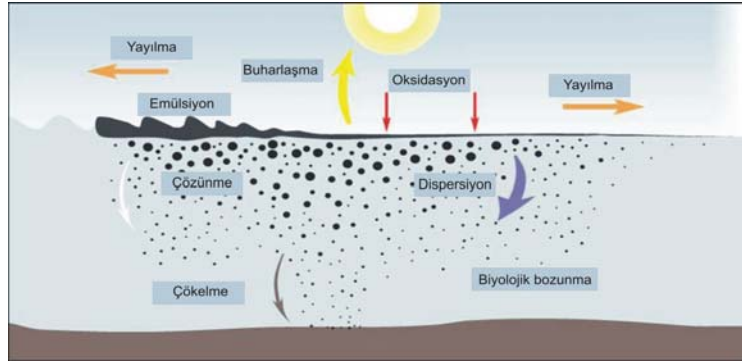
¹ Yük. Müh., University of South Florida, Civil and Environmental Engineering,
Tel: 813 9745846, e-posta: cakan@mail.usf.edu

² Yrd. Doç. Dr., İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Teknolojisi
Mühendisliği Bölümü, Tel: 0212 2856382, Faks: 0212 2856382, e-posta: erturk@itu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde endüstriyel deşarjlar ve petrol arama, taşıma, depolama faaliyetleri nedeniyle kirletici yayılımına neden olabilecek kazaların oluşma riski artmıştır. Denize kirleticilerin dökülmesi deniz ortamına ve insan sağlığına son derece zararlı sonuçlar doğurmaktadır. Büyük çaplı bir sızıntı veya dökülme kıyı hattını kirleteceği gibi, uzun vadede de deniz canlıları üzerinde hasara neden olacaktır. Kirletici yayılımı, liman faaliyetlerini ve tekne trafiğini de aksatacaktır. Bu tür kazalara hazırlıklı olmak için hazırlanan kirletici yayılımı olasılık planlarının en önemli bileşeni kıyı sularında petrol/kirletici hareketini ve yoğunluk dağılımını tahmine dayalı matematik modellerin kullanımıdır. Bu modeller kazalar sırasında müdahale, çevresel etki değerlendirmesi, olasılık planlaması ve müdahale eğitimleri için kullanılmaktadır [1].

Genel olarak, dökülen petrolün taşınımı ve akibeti fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler tarafından belirlenir. Bu süreçler, taşınma, su yüzeyinde yayılma, ilerleme (advection), buharlaşma, çözünme, oksidasyon, emülsiyon, çökme ve biyolojik bozunmadır (Şekil 1).



Şekil 1. Deniz ortamında dökülen petrole etkiyen süreçler.

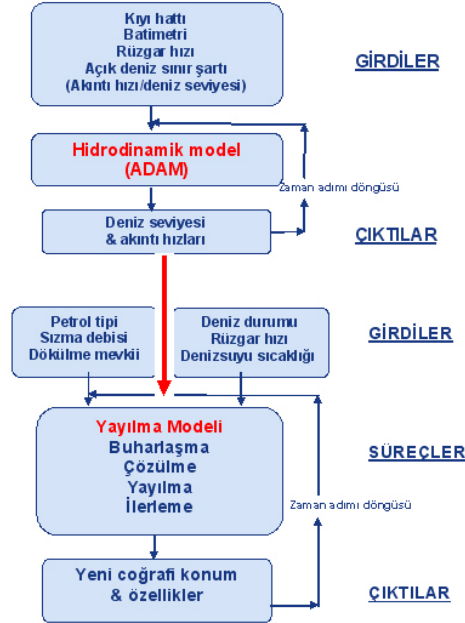
Denize dökülen petrol türleri, doğal prosesler sonucunda, ilk aşamada genellikle yüzeyde ince bir tabaka halinde yayılır. Birçok petrol yayılım modelinde deniz yüzeyindeki petrolün belirli sayıda parçacık ile benzeştirildiği Lagrange parçacık takip tekniği ile girdi olarak bir hidrodinamik modelden elde edilen parçacık hızları kullanılır.

Bu çalışmada, hidrodinamik bir modelden elde edilen sonuçlara dayanarak petrol yayılımının deniz yüzeyinde etkin olan süreçlerini (yayılma, buharlaşma, çözünme, ilerleme) hesaplayan bir yayılma modeli geliştirilmiştir [2].

Deniz yüzeyindeki parçacık hızlarını hesaplamada 2-boyutlu, non-lineer, zaman adimli, hidrodinamik bir model olan ADAM [3] kullanılmıştır. Hidrodinamik modelden elde edilen parçacık hızları petrol yayılımını hesaplamada kullanılmıştır. Bunun için bir MATLAB kodu olan PTOSM (particle tracking oil spill model) geliştirilmiştir. Bu kod deniz yüzeyinde etkin olan süreçleri gözönüne alarak petrol kirliliğinin alansal dağılımını hesaplayan 2-boyutlu bir modeldir.

Eldeki veriler ve ampirik modeller sakin deniz ortamında petrol tabakasının dairesel olarak yayılacağını göstermektedir. Rüzgar ve akıntının mevcut olduğu durumlarda, petrol tabakasının dairesel şekli deformasyona uğrar ve uzar. Bu etkileri benzeştirmek için ilerleme (advection) formülleri işin içine katılmıştır. Ayrıca buharlaşma ve çözünme etkileri de gözönüne alınmıştır.

Akıntı ve deniz seviyesi değeri 2-boyutlu, zaman adimli, non-lineer hidrodinamik ADAM modeli kullanılarak hesaplanmıştır. ADAM modelinden elde edilen akıntı hızı verileri, yayılma, ilerleme, buharlaşma ve çözünme formülleriyle birleştirilerek petrol tabakasını oluşturan parçacıkların yörünge takibi MATLAB paket programı PTOSM ile simüle edilmiştir. Bu çalışmaya ait akış diyagramı şekil 2’de verilmiştir.



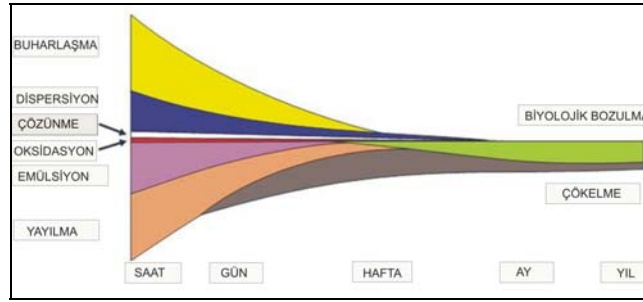
şekil 2. Model akış diyagramı

2. Yayılma Modeli Metodolojisi

Deniz yüzeyinde etkin olan süreçler, buharlaşma, çözünme, yayılma ve ilerlemedir. PTOSM modelinde yayılma için Lehr [4], buharlaşma ve bozulma için Mackay [5,6] formüllerinden yararlanılmıştır.

2.1. Buharlaşma

Buharlaşma petrol içindeki daha hafif veya yanıcı maddelerin buhar haline gelerek su yüzeyini terk etmesidir. Buharlaşmanın ilk 1-2 gün içinde olduğu gözlemlenebilir (Şekil 3). Petrolün kaynama noktası buharlaşma hızını etkiler. Örneğin diğer petrol tipleriyle karşılaştırıldığında en düşük kaynama noktasına sahip olan benzinin buharlaşma hızı çok yüksektir. Genellikle 200 °C nin altında kaynama noktası olan petrol bileşenleri ilk 24 saat içinde buharlaşır.



Şekil 3. Petrol yayılımını etkileyen doğal süreçlerin zamana bağlı değişimi.

Buharlaşma birçok petrol tipi için önemli kütle kaybına neden olurken petrolün yoğunluk, viskozite gibi özellikleri üzerinde de önemli etkiye sahiptir. Hafif ham petrol tabakasının kütle kaybı %60 oranında buharlaşma nedeniyle. Petrol tabakasının yayılımı ile yüzey alanı arttığından buharlaşma da artar. Buharlaşma hızı, rüzgar hızına, hava/deniz suyu sıcaklığına, petrolün buhar basıncına ve deniz-hava ara yüzeyindeki harekete (dalgalara) bağlıdır.

Buharlaşma genellikle en önemli bozulma sürecidir. Dökülmeden sonra su yüzeyinde veya karada kalan petrol miktarını belirler. Uçucu bir yakıt olan benzin, donma noktası üzerindeki ısılarla birkaç gün içinde tamamen buharlaşırken, Bunker C tipi petrolün sadece küçük bir kısmı buharlaşır. Petrolün daha uçucu olan bileşenleri buharlaşır. Buharlaşma hızı çevre ısısına ve rüzgar hızına bağlıdır. Petrol tabakasının başlangıçtaki yayılma hızı da buharlaşmayı etkiler; zira yüzey alanı arttıkça uçucu bileşenlerin buharlaşması da hızlanır. Dalgalı deniz, yüksek rüzgar hızı ve sıcak hava da buharlaşma hızını arttıran faktörlerdir. Buharlaşmadan sonra arta

kalan petrolün yoğunluğu ve viskozitesi artar, bu da takip eden bozulma süreçlerini ve dolayısı ile temizleme tekniklerinin etkinliğini etkiler.

Buharlaşan petrolün hacimsel miktarını hesaplamak için Mackay aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$F_V = [\ln P_0 + \ln(CK_E t + 1 / P_0)] / C \quad (1)$$

Burada

$$K_E = K_M AV_M / (RT_o V_0) \quad (2)$$

$$K_M = 0.0025V_w^{0.78} \quad (3)$$

K_M kütle taşınım katsayısı [m/s]; V_w deniz yüzeyinin 10 m üzerindeki rüzgar hızı[m/s]; A petrol tabakasının yüzey alanı [m²]; V_M molar hacim [m³/mol] (değeri 150×10^{-6} ve 600×10^{-6} m³/mol arasında değişebilir); R gaz sabiti, 8.206×10^{-5} [atm m³/K mol]; T_o petrolün yüzey ısısı [K], T_E çevre ısısı ve V_0 başlangıçtaki dökülme hacmidir [m³]. Atmosferde T_E ısısındaki başlangıç buhar basıncı P_0 Wang [7] tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\ln P_0 = 10.6(1 - T_o / T_E) \quad (4)$$

Burada T_o başlangıç kaynama noktasıdır [K]. Bu değerleri kullanarak Shen [8] petroler için aşağıdaki eşitliği elde etmiştir:

$$C = 1158.9API^{-1.1435} \quad (5)$$

Burada API (American Petroleum Institute)

$$API = (141.5 / (\rho_o / \rho_w)) - 131.5 \quad (6)$$

ve

$$T_o = 542.6 - 30.275API + 1.565API^2 - 0.03439API^3 + 0.0002604API^4 \quad (7)$$

2.2. Çözünme

Bazı petrol bileşikleri deniz suyu içinde çözünebilir. Hafif aromatik hidrokarbonlar deniz suyunda en hızlı çözünen petrol bileşikleridir. Ancak bunların buharlaşma hızı, çözünme hızının 10-100 katı olduğundan, çözünmeye başlamadan önce buharlaşarak yok olurlar. Çözünme petrolün kütle dengesini bozmaz. Çözünmenin önemi çözünebilir aromatik bileşenlerin deniz

yaşamına ve balıklara toksik etkileridir. Eğer büyük miktarda çözünür aromatik bileşen içeren bir dökülme sığ suda meydana gelirse birçok deniz canlısının ölümüne neden olabilir. Ancak, açık denizde hidrokarbonların konsantrasyonu deniz canlılarına zarar verecek boyuta ulaşmaz [9].

Çözünme, hemen dökülmeyi takiben başlar. Çözünebilen maddeler buharlaşarak hızla azaldığından çözünme hızlı bir şekilde azalır [9]. Su kolonunda çözünen hidrokarbonların konsantrasyonu nadiren 1ppm'i geçtiğinden çözünmenin petrolün deniz yüzeyinden uzaklaştırılmasına etkisi yok denecek kadar azdır [10].

Petrol kütlelerinin su kolonunda çözünme miktarı Mackay'in çok bileşenli teorisi ile aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$M_{di} = K_d \cdot A \cdot X_i \cdot S_i \cdot t \quad (8)$$

burada M_{di} : i bileşeninin çözünerek yok olan miktarı [mole]; K_d :çözünme kütle transfer katsayısı [3.0×10^{-6} m/s]; X_i : bileşen mol oranı; A : petrol kirliliği alanı [m^2]; t :zaman [s] ve S_i :çözünürlüktür.

Zamana bağlı olarak değişen toplam çözünme, S_d , aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$S_d = \sum_{i=1}^m M_{di} / t = K_d \cdot A \cdot \sum_{i=1}^m X_i S_i \quad (9)$$

2.3. Yayılma

Petrol dökülür dökülmez deniz yüzeyinde yayılmaya başlar. Kısa vadede yayılma en önemli süreçlerden biridir. Çünkü yüzey alanının büyüklüğü buharlaşma ve çözünme gibi bozulma süreçleri üzerinde etkilidir. Yayılma bir petrol tabakasının, yerçekimi kuvveti, atalet kuvveti, viskoz kuvvetler ve yüzey gerilme kuvvetleri etkisi altında yatay düzlemdeki genişlemesidir. Yayılma sürecini etkileyen en önemli faktörler dökülen petrolün viskozitesi ve hacmidir.

Rüzgarın ve akıntının olmadığı durumlarda bile, petrol su yüzeyinde yatay olarak yayılır. Bu yayılma yerçekimi kuvveti ve petrol ve su arasındaki ara yüzey gerilmeleri nedeniyle meydana gelir. Petrolün viskozitesi bu kuvvetlere karşı çalışır. Zaman geçtikçe, petrol üzerindeki yerçekimi kuvveti etkisi yok olur, ancak arayüzey gerilme kuvveti petrolü yaymaya devam eder. Bu kuvvetler arasındaki geçiş petrol döküldükten sonraki birkaç saat içinde meydana gelir [9].

Fay [11] petrol tabakasının yayılımının üç aşamada incelemiştir. Bu aşamalar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1 Fay’ın [11] Petrol kirliliği yayılma kanunu.

Yayılma Aşamaları	Bir-boyutlu yayılma uzunluğu (L_e)	Yayılma Yarıçapı (R_e)
Yerçekimi-Atalet	$1.39(\Delta g A t^2)^{1/2}$	$1.14(\Delta g V t^2)^{1/4}$
Yerçekimi-Viskozite	$1.39(\Delta g A^2 t^{3/2} \nu^{-1/2})^{1/4}$	$0.98(\Delta g V^2 t^{3/2} \nu^{-1/2})^{1/6}$
Yüzey gerilmesi-Viskozite	$1.43(\sigma^2 t^3 \rho_w^{-2} \nu^{-1})^{1/4}$	$1.60(\sigma^2 t^3 \rho_w^{-2} \nu^{-1})^{1/4}$

Fay, birçok saha gözlemlerine dayanarak, tabaka alanını aşağıdaki eşitlikle vermiştir.

$$A = 10^5 V^{3/4} \quad (10)$$

Burada A, yayılan petrolün yüzey alanı [m^2]; and V dökülen toplam petrol hacmidir [m^3]. Ancak, rüzgar ve buna bağlı olarak türbülans etkilerini gözardı ettiği için Fay eşitliği ile hesaplanan yatay düzlemdeki petrol yayılımı saha gözlemlerinin altında kalmaktadır. Lehr [4] rüzgar etkisini de göz önüne alarak Fay eşitliklerini aşağıdaki şekilde geliştirmiştir:

$$A = 2270 \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_o} \right)^{2/3} V^{2/3} t^{1/2} + 40 \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_o} \right)^{1/3} V^{1/3} U_{rüz}^{4/3} t \quad (11)$$

Burada $\Delta \rho$: deniz suyu yoğunluğu (ρ_w) ve petrol yoğunluğu (ρ_o) farkı, $\Delta \rho = \rho_w - \rho_o$; $U_{rüz}$:rüzgar hızı [knot] ve t zamandır [dak]. Lehr formülü kullanılarak, petrol kirliliğinin zamanla kaplayacağı yüzey alanı elde edilebilir. Buckmaster [12] bu teoriyi kullanarak yayılma çapı R’yi hesaplamıştır.

$$R(t) = 1.76(g\Delta\rho)^{0.25} V^{0.3333} \nu^{-0.125} t^{0.375} \quad (12)$$

Deniz suyunun viskozitesi aşağıdaki formülден hesaplanabilir [13]:

$$\nu_s = ((0.659 \times 10^{-3}(T - 1.0) - 0.05076)(T - 1.0) + 1.7688) \times 10^{-6} \quad (13)$$

Burada T denizsuyu sıcaklığıdır ($^{\circ}C$).

2.4. İlerleme (Advection)

Deniz ortamında rüzgar, dalga ve akıntı kuvvetlerinin etkisi altında petrol tabakası yatay düzlemde hareket eder. Rüzgar ve akış alanı nedeniyle petrol tabakası dairesel şeklini kaybeder. Yeni şekli rüzgar ve akış alanı etkisiyle belirlenir. Petrolün hareketini tahmin için petrol tabakasının şekli ve izi önemli parametrelerdir. 2-boyutlu petrol kirliliği yayılım modellerinde başlangıçtaki petrol tabaka alanı küçük parçalara bölünür ve herbir parçanın çevresindeki su ile birlikte ilerlediği ve rastgele süreçler ile yayıldığı kabul edilir. Deniz suyu üzerindeki akış alanı ve rüzgar hızına dayalı olarak herbir parçanın ilerleme ve yayılma özelliği hesaplanabilir. Daha sonra herbir parçanın hız ve yer değiştirmesi çözülebilir. Her zaman adımında parça koordinatları hesaplandıktan sonra petrol tabakasının şekli ve izlediği yol bulunabilir.

Genel olarak büyük ölçekli sirkülasyon, gel-git ve kaldırma kuvveti ve rüzgarın bileşik etkileri nedeniyle meydana gelen ilerleme (advection) aşağıdaki vektörel toplam ile verilir [14].

$$V_i = V_i^{wid} + V_i^{wad} + V_i^d + V_i^c + V_i^T + V_i^B \quad (14)$$

Burada V_i^{wid} ve V_i^{wad} sırasıyla rüzgar ve dalga(Stokes) sürtünmesiyle oluşan ve genellikle yönleri çakışmayan hız bileşenleridir; V_i^d dalga'nın etkisiyle oluşan hız bileşeni; V_i^T gel-git bileşeni; V_i^B kaldırma kuvveti bileşeni, and V_i^c büyük ölçekli sirkülasyon bileşenidir. Rüzgar ve Stokes sürtünme bileşenlerinin toplamı, $V_i^{wid} + V_i^{wad}$, su yüzeyinden 10m yukarıdaki rüzgar hızı, V_w , cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir [14].

$$V_i^{wid} + V_i^{wad} = 0.03V_w \quad (15)$$

Diğer yandan, yüzeydeki petrolün sürtünme hızı genellikle rüzgar ve akıntı sürtünmesinin vektörel toplamı olarak düşünülür. Yüzeydeki petrolün sürtünmesi V_s vektörel toplam olarak

$$V_s = \alpha_w DV_w + \alpha_c V_c \quad (16)$$

Burada V_c yüzeydeki akıntı hızı (hidrodinamik modelden elde edilebilir); α_w rüzgar sürtünme faktörü, genellikle 0.03 olarak alınır [15] ve α_c akıntı faktörünün değeri 1.1 olarak alınır. D dönüşüm matrisi ve θ sapma açısıdır.

$$D = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}, \quad 0 \leq V_w \leq 25 \text{ m/s için } \theta = 40^\circ - 8\sqrt{V_w}, \quad V_w > 25 \text{ için } \theta = 0 \quad (17)$$

4. Değerlendirme

Denize dökülen petrol, ilk aşamada genellikle yüzeyde ince bir tabaka halinde yayılır. Rüzgar, dalga ve akıntı kuvvetlerinin etkisi altında petrol tabakası yatay düzlemde hareketine devam eder. Bu nedenle, petrolün döküldüğü bölgenin hidrodinamik özellikleri 2-boyutlu bir hidrodinamik model kullanılarak hesaplanabilir.

Hidrodinamiği hesaplanmış bir bölgede, yüzeydeki petrol yayılımını hesaplayabilmek için, deniz yüzeyinde etkin olan, yayılma, buharlaşma, çözünme ve ilerleme gibi süreçleri takip etmek gerekir. Bunun için Lagrange parçacık takip tekniği kullanılabilir.

Bu çalışmada, hidrodinamik özellikleri önceden hesaplanmış bir bölgedeki petrol yayılımını hesaplayabilmek için gerekli olan yayılma, buharlaşma, çözünme ve ilerleme formülleri verilerek petrol yayılımını takip için geliştirilen PTOSM (particle tracking oil spill model) modelinin metodolojisi açıklanmıştır.

Kaynaklar :

- [1] ASCE,. State-of-the-art review of modeling transport and fate of oil spills, ASCE Committee on Modeling Oil Spills, Water Resources Engineering Division. J. Hydraulic Engineering, November 1996, pp. 594-609.
- [2] Akan, C., Numerical Modeling of Oil Spill on the Sea Surface.PhD. Thesis. ITU Institute of Science and Technology, 2007.
- [3] Ip, J.T.C., Lynch, D.R. and Friedrichs, C.T., Simulation of estuarine flooding and dewatering with application to Great Bay, New Hampshire, Estuarine Coastal and Shelf Science, 1998,Vol. 47, pp. 119-141.
- [4] Lehr, W.J., Fraga, R.J., Belen, M.S., and Cekirge, H.M., A new technique to estimate initial spill size using a modified Fay-type spreading formula, Marine Pollution Bulletin, 1984,15, pp. 326-329.
- [5] Mackay, D., Paterson, S., and Trudel, K., A mathematical model of oil spill behavior, Environment Canada Report EE-7, 1980.
- [6] Mackay, D., Buist, I., Mascarenhas, and R., Paterson, S.,. Oil spill processes and models, Environment Canada Report EE-8, 1980.

- [7] Wang, S. D., Shen, Y. M., and Zheng, Y. H., Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, 2005, 32, 1556-1571.
- [8] Shen, H.T., Yapa, P.D. Petroski, M.E., Simulation of oil slick transport in Great Lakes connecting channels, 1986 Report Nos.86-1 to 4, Vols. I-IV, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University, Potsdam, NY.
- [9] Fingas, M., 2001. The basics of oil spill cleanup, Lewis Publishers, CRC Press, LLC, Florida.
- [10] ITOPF, Fate of marine oil spills (technical information paper), 2002.
- [11] Fay, J.A., Physical processes in the spread of oil on a water surface. In: Proc. Conf. Prevention and Control of Oil Spills, 1972, 15-17 June. American Petroleum Institute, Washington, DC, 463-467.
- [12] Buckmaster, J., Viscous-gravity spreading of an oil slick, *J. Fluid Mech*, 1973, 59(3), 481-491.
- [13] ITTC (1999), Testing and Extrapolation Methods, General Density and Viscosity of Water, Technical report, International towing tank conference.
- [14] Korotenko, K.A., Mamedov, R.M., and Mooers, C.N.K., Prediction of the dispersal of oil transport in the Caspian Sea resulting from a continuous release, *Spill Science and Technology Bulletin*, 2001, 6, 323-339.
- [15] Stolzenbach, K.D., Madsen, O.S., Adams, E.E., Pollack, A.M., Cooper, C.K., A review and evaluation of basic techniques for predicting the behavior of surface oil slicks, 1977, R.M. Parsons, Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Dept. of Civil Engineering, MIT Sea Grant Program, MIT, Cambridge, MA.



BALIKÇILIK AĞ ve DONANIMLARINA İLİŞKİN MODEL

DENEYLERİ

Muhsin AYDIN¹

ÖZET

Bu çalışmada, öncelikle balıkçılık ağ ve donanımlarının model deneyleriyle ilgili benzerlik prensiplerinden söz edilmiştir. Daha sonra, dünyada uygulanmakta olan balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin deney tekniklerinin gerçekleştirildiği çeşitli ortam ve kuruluşlar tanıtılarak, dikkatlerin bu alana çekilmesi amaçlanmıştır. Herhangi bir balıkçılık ağ ve donanımının model deney sürecinin ana adımları; yapılacak modelin yapısal parametrelerinin belirlenmesi, modelin performans değişkenlerinin yapay ya da doğal bir ortamda veya bir deney kuruluşunda ölçülmesi ve elde edilen ölçüm datalarından yararlanılarak, tam ölçekli ağ ve donanımına ilişkin performans değerlerinin tahmin edilmesi olarak sıralanabilir. Sonuç olarak bu çalışmada, dünyada uygulanan balıkçılık ağ ve donanımlarıyla ilgili model deney yöntemlerine dair genel bilgiler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Benzerlik prensipleri, Balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin model deney üniteleri, Akıntı tankı, Balıkçılık ağ ve donanımlarının model deney teknikleri, Balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin modeller

1. Giriş

Balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin karakteristikler oldukça karmaşıktır. Bu yüzden bu karakteristiklerin tahmin edilmesinde kullanılan hesaplama yöntemleri, balık avlama

¹ Ar. Gör. Dr.

İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, DTM Bölümü

0(212) 285 64 87

maydin@itu.edu.tr, m_aydin@msn.com

esnasında meydana gelen gerçek proseslerin basitleştirilmiş analizlerine dayanmaktadır. Ancak bu basitleştirmede, önemli olaylar ister istemez ihmal edilebilmektedir. Ayrıca birçok durumda, hesaplamalar için henüz bir teori de geliştirilmiş değildir. Bu nedenle daha güvenilir balıkçılık sonuçları için; ağ ve donanım bileşenlerini seçmek, ağ ve donanım için planları geliştirmek ve hareket halindeki ağ ve donanımın performansını yöneten fonksiyonel ilişkileri nicelemek için çoğunlukla deneysel yöntemlere başvurulur. Bu amaç için, tam ölçekli olayları daha küçük ve kontrol edilebilir bir ekipman üzerinde yeniden oluşturmada modeller kullanılabilir. Modeller, bir olayı incelemek için sadece daha ucuz ve daha uygun bir yöntem değil aynı zamanda özellikle büyük ağ ve donanımları için çoğunlukla olası tek yoldur. Model deney teknikleri; ağ ve donanımının konumunu ve şeklini belirlemek, ağ ve donanımının direncini tahmin etmek, ağ, halat ve donanımların hidrodinamik katsayılarını hesaplamak, avlanma esnasında ve geminin manevra yapması sırasında ağ ve donanımının kontrolüne ilişkin soruları cevaplamak ve ağ ve donanımını denize atma ve denizden toplama işlemlerinin geliştirilmesine yönelik araştırma deneyleri ile ilgili soruları cevaplamak gibi, geniş bir aralıktaki birtakım problemlerin çözümünde kullanılabilir. Model incelemeleri; aynı zamanda birçok farklı tip kuruluşlarda ve ortamlarda daha ileri çalışmalar yapmak ve prototip dizayn için hangisinin en iyi olduğunu göstermek için, ağ yapısındaki değişimleri değerlendirmekte de kullanılabilir. Söz konusu kuruluş ve ortamlar; gemi model deney laboratuvarları, akıntı tankları, aerodinamik rüzgâr tünelleri, açık su alanları, denizler, göller, havuzlar vs. şeklinde sıralanabilir. Bazı durumlarda elektrik güç istasyonlarının su kanalları da balıkçılık ağ ve donanımlarının model deneyleri için kullanılabilir [1].

Ülkemizde ne yazık ki balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin ne bir model yapımı ne de model deneyleri yapılmaktadır. Ancak bazı Türk araştırmacılar tarafından ülkemiz dışındaki ilgili model deney ünitelerinde bir takım araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi de 600 gözlü geleneksel dip trolünün 1/10 ölçekli model denemeleri olup, deneyler Tokyo Balıkçılık Üniversitesine ait bir akıntı tankında gerçekleştirilmiştir [2].

2. Model Deneylerine İlişkin Temel Kurallar [1]

2.1 Geometrik benzerlik

Model deneyleri, tam ölçekli bir cisim ile onun modeli arasındaki benzerlik ilkesine dayandırılır. İlk önce, model ve prototip şekil olarak birbirine benzer olmalıdır. Şekil 1, karşılıklı kenarların aynı uzunluk oranına sahip olduğu geometrik benzer ABC ve $A'B'C'$ üçgenlerini göstermektedir.

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{BC}{B'C'} = \frac{AC}{A'C'} = S_L \quad (1)$$

Burada S_L , uzunluğa ait ölçekleme faktörüdür.

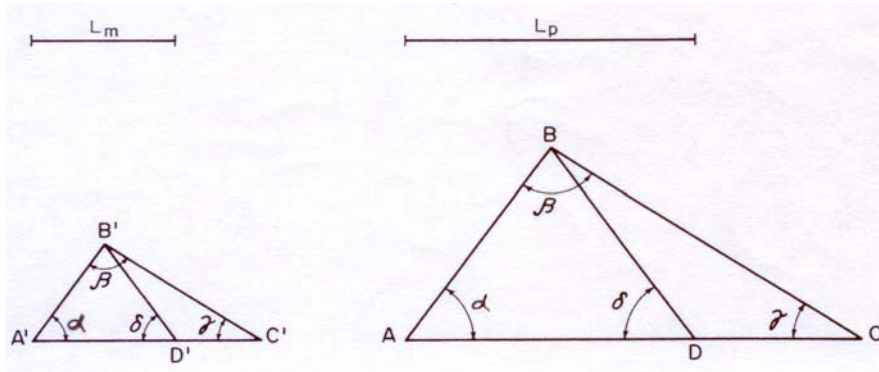
Geometrik benzer cisimlerde, bir cisimdeki her bir parçanın diğer cisimde benzer bir parçası bulunmaktadır. Şekil 1'deki BD uzunluğu ile $B'D'$ karşı uzunluğu, buna örnek olarak gösterilebilir. Bu yüzden bunların uzunluk oranı, bütün benzer kenarların uzunluk oranı ile aynıdır:

$$\frac{BD}{B'D'} = S_L \quad (2)$$

Ayrıca BD kenarı ile AC kenarı arasındaki açı (δ), $B'D'$ kenarı ile $A'C'$ kenarı arasındaki açıya eşittir. Aynı şekilde iki benzer üçgende, benzer kenarlar tarafından oluşturulan diğer bütün açılar birbirine eşittir. Böylece biri diğerinin modeli olan iki cismin geometrik benzerliği, aşağıdaki bağıntıları gerektirir:

$$\frac{L_p}{L_m} = S_L; \quad \alpha_p = \alpha_m \quad (3)$$

Burada L uzunluğa ait bir boyutu, α bir açıyı ve p ile m alt indisleri de sırasıyla prototip ve modeli göstermektedir.



Şekil 1. Geometrik cisimlerin benzerliği

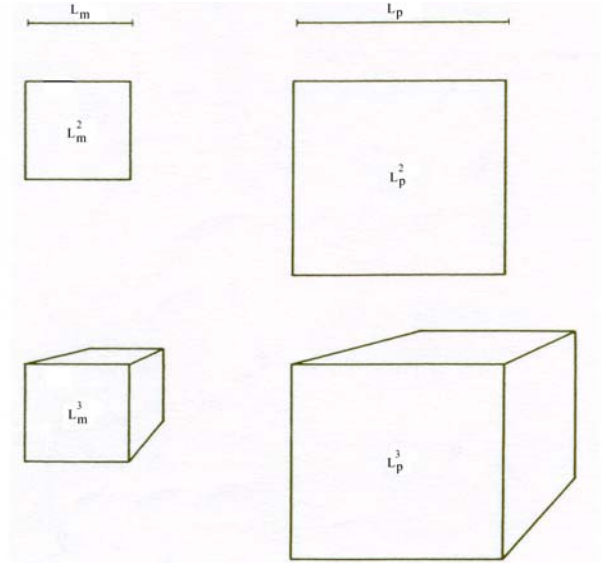
Geometrik olarak benzer olan prototip ve onun modeline ilişkin alan ve hacim oranları da aşağıda verildiği gibi olacaktır (Şekil 2):

$$\frac{A_p}{A_m} = \frac{L_p^2}{L_m^2} = S_L^2; \quad \frac{V_p}{V_m} = \frac{L_p^3}{L_m^3} = S_L^3 \quad (4)$$

Pratikte geometrik benzerlik denklemleri, balıkçılık alanında geniş çapta uygulanmaktadır. Örneğin aynı türde ancak farklı yaş gruplarındaki balıklar, belli bir boya göre geometrik olarak benzerdir (Şekil 3). Ayrıca aynı asma katsayılarına (veya açılarına) sahip olmak koşuluyla, farklı büyüklüklerdeki ağ gözleri de birbirine benzerdir. Eğer ağ gözü büyüklüğü m_1 olan bir galsame ağı ile en iyi şekilde L_1 uzunluklu bir balığın yakalandığı ve ağ gözü

büyüklüğü m_2 olan başka bir galsame ağı ile de en iyi şekilde L_2 boyunda bir balığın avlandığı biliniyorsa, o zaman geometrik benzerliğe göre aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{m_2}{m_1} \quad (5)$$



Şekil 2. Lineer uzunluk, alan ve hacimlerin benzerliği

Bu nedenle, m_2 ağ gözü büyüklüğüne sahip bir galsame ağı ile avlanacak balığın en sık görülecek boyu (L_2) aşağıda verilen bağıntı ile tahmin edilebilir:

$$L_2 = L_1 \times \left(\frac{m_2}{m_1} \right) \quad (6)$$

Ayrıca, L_2 boyundaki balığı avlamak için optimal ağ gözü büyüklüğü (m_2) de aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir:

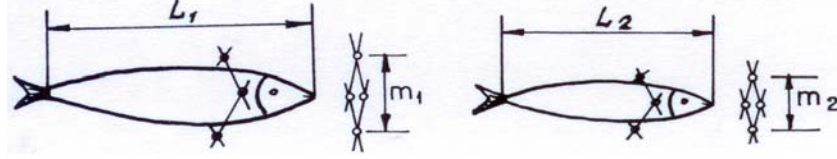
$$m_2 = m_1 \times \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \quad (7)$$

Bu bağıntıların uygulanabilirliği, eğer ampirik ağ seçicilik verileri mevcut ise söz konusu olacaktır. $\frac{L_1}{m_1} = K_m$ oranının sayısal değeri her bir balık türü için özel olup, bu değer ağ

gözü seçim faktörü olarak adlandırılır. Böylece galsame ağlarının ağ gözü açıklığını saptamak için denklem aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$m_0 = \frac{L}{K_m} \quad (8)$$

Burada m_0 milimetre olarak ağ gözü açıklığı, L milimetre olarak balığın boyu ve K_m de ağ gözü seçme faktörü olmaktadır.



Şekil 3. Balık ve ağ gözü büyüklüğünün geometrik benzerliği

2.2 Kinematik benzerlik

Suyun içine doğru batan bir gırgırın ve onun modelinin kurşun yakaları üzerinde sırasıyla birbirine karşılık gelen iki noktayı (P_p ve P_m) göz önüne alalım (Şekil 4). Batma süresince, tam ölçekli gırgırın ve onun modelinin kurşun yakaları eşit olmayan hızlarla batar. Çünkü tam ölçekli bir gırgırdaki elemanlar arasındaki uzaklık, onun modelindeki karşı elemanlar arasındaki uzaklıktan daha büyüktür ve ağın belli bir noktayı geçmesi için gerekli olan süre de daha fazladır. Bu yüzden prototip kurşun yaka üzerindeki P_p noktası T_{p1} süresince L_{p1} mesafesi kadar batar. Model kurşun yaka üzerindeki P_m noktası ise T_{m1} süresince L_{m1} mesafesi kadar batar. Eğer gırgır ve onun modelinin her ikisinin de duvar konfigürasyonu, birbirine karşı anlarda benzer ise o zaman aşağıdaki koşullar hakim olur:

$$\frac{L_{p1}}{L_{m1}} = S_L; \quad \frac{T_{p1}}{T_{m1}} = S_T \quad (9)$$

İzleyen T_{p2} ve T_{m2} periyotlarından sonra da aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

$$\frac{L_{p2}}{L_{m2}} = S_L; \quad \frac{T_{p2}}{T_{m2}} = S_T \quad (10)$$

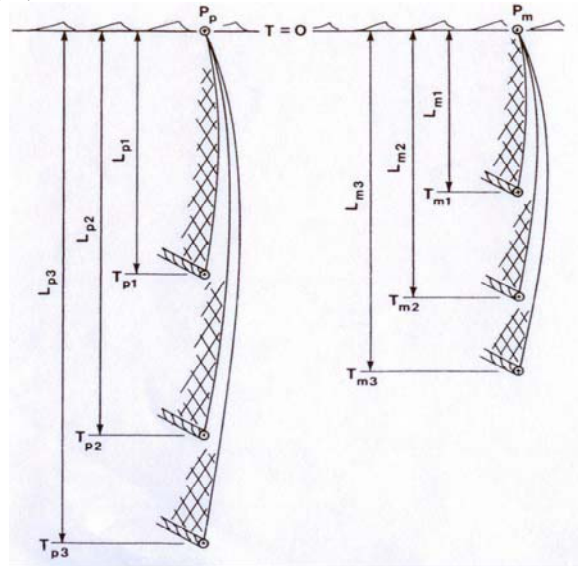
Bu bağıntılardan uzaklık ve zaman için ölçekleme faktörlerinin sabit olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, biri diğerinin modeli olan benzer gırgırların batmaları da dinamik olarak benzerdir. Bu hem şeklin hem de hareketin bir benzerliğinin bulunduğu anlamına gelmektedir. Böylece prototip ve onun modeli arasındaki kinematik benzerlik, geometrik benzerliğe ek olarak zaman aralıkları benzerliğinin de var olduğunu ifade etmektedir. Genel olarak aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

$$\frac{L_p}{L_m} = S_L; \quad \frac{T_p}{T_m} = S_T \quad (11)$$

Burada S_L , S_T ile bölündüğünde aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\frac{S_L}{S_T} = \frac{(L_p / L_m)}{(T_p / T_m)} = \left(\frac{L_p}{T_p} \right) \times \left(\frac{T_m}{L_m} \right) = \frac{v_p}{v_m} = S_v \quad (12)$$

Burada v hız olup, S_v de kinematik benzerlik kriteri olmaktadır.



Şekil 4. Suyun içine doğru batan gırgır ve modelinin kinematik benzerliği

2.3 Kuvvet benzerliği

Geometrik benzer bir ağ ve donanımı ve onun modeline uygulanan çeşitli dış kuvvetler orantılı olduğu ve aynı yönde etkidiği zaman, bunlar arasında kuvvet benzerliği meydana gelir. Kuvvetlerin ve onların dengesinin sabit olduğu durumda, ağ ve donanımı ve onun modeli ya hareketsiz ya da daimi hareket halinde olur. Bu koşul statik benzerlik olarak bilinir. Kuvvet benzerliği, aşağıda verilen denklemleri sağlamalıdır:

$$\frac{L_p}{L_m} = S_L; \quad \frac{F_p}{F_m} = S_F \quad (13)$$

Bu şu anlama gelmektedir: Model test edildiği zaman onun üzerine etkileyen tüm statik veya dinamik F_m kuvvetleri (ki bu kuvvetler yerçekimi veya kaldırma kuvveti gibi statik özellikte ya da sürtünme veya atalet kuvveti gibi dinamik özellikte olabilir), aynı ölçekleme

faktörü ile F_p prototip kuvvetlerinden elde edilmelidir. Örnek olarak, tamamen su içine batmış bir plastik köpük yüzdürücünün (şamandıranın) ve onun modelinin sudaki ağırlığı aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$F_p = V_p \times (\gamma_p - \gamma_w); \quad F_m = V_m \times (\gamma_m - \gamma_w) \quad (14)$$

Bu bağıntılarda, F_p ve F_m sırasıyla tam ölçekli yüzdürücü ve onun modelinin sudaki ağırlığı, V_p ve V_m yüzdürücü hacimleri, γ_p ve γ_m plastik köpük malzemelerin özgül ağırlıkları, γ_w suyun özgül ağırlığı olmaktadır. Bu durumda kuvvet ölçekleme faktörü, aşağıda verildiği gibi olur:

$$S_F = \frac{V_p \times (\gamma_p - \gamma_w)}{V_m \times (\gamma_m - \gamma_w)} = \frac{L_p^3 \times (\gamma_p - \gamma_w)}{L_m^3 \times (\gamma_m - \gamma_w)} \quad (15)$$

Her iki yüzdürücünün aynı malzemeden yapıldığı ve bunların aynı ortamda test edildiği koşullarda ($\gamma_p = \gamma_m$ ve γ_w **sabit**), kuvvet ölçekleme faktörü aşağıda verildiği gibi en basit halini alacaktır:

$$S_F = \frac{L_p^3}{L_m^3} \quad (16)$$

Bu koşullar altındaki sudaki ağırlıklar (veya kaldırma kuvvetleri) için, (3) numaralı geometrik benzerlik formülü ile birleştirilerek, $S_F = S_L^3$ elde edilir.

2.4 Dinamik benzerlik

Zamanla değişen kuvvet dengesi koşullarının olduğu yerde, dinamik benzerliği elde etmek için üç değişkenin ölçekli olması zorunludur:

$$\frac{L_p}{L_m} = S_L; \quad \frac{T_p}{T_m} = S_T; \quad \frac{F_p}{F_m} = S_F \quad (17)$$

Buradaki semboller, daha önce tanımlandığı gibidir. (17) numaralı koşullar, tam ölçekli ağ ve donanımının ve onun modelinin değişen hareketleri arasında bir benzerlik mevcut olduğu zaman yerine getirilir. Artan ya da azalan çekme hızı veya değişen çekme rotası gibi. Hareketin karakteristikleri zamanla değişmediğinde, örneğin düz bir rotada ve sabit bir hızda bir trolün çekilmesi gibi, (17) numaralı koşullar; daimi hal koşullarının özel durumuna basitleştirilir. Daha karmaşık durumlarda, olaylar; kütle, hız ve ivme gibi ilave değişkenlerin tanımının gerekliliğini ortaya çıkartır. Öyleyse nicel bir benzerlik, prototip ile model arasında her bir değişkende sabit bir ilişkiyi gerektirir. Sonuç olarak; sırasıyla kütle, hız, ivme vs. ile ilgili birkaç benzerlik ölçeği ortaya çıkacaktır.

2.5 Benzerlik kriterleri

Balıkçılık ağ ve donanımları ile ilgili doğru bir şekilde gerçekleştirilmiş model deneyleri, tam ölçekli bir ağ ve donanımının performansı hakkında hem nitel hem de nicel bilgileri temin eder. Düşük güç gereksinimi, basit alet kullanımı, düşük hız ve tüm modelin rahatlıkla görsel incelenmesi gibi modele ait deney koşulları, mümkün olduğu kadar deneysel sistem için uygun olmalıdır. Modelin doğru dizaynı ve yapımı, deneyin doğru planlanması ve gerçekleştirilmesi ve model deney sonuçlarından yararlanılarak tam ölçekli ağ ve donanımına ilişkin performansın tahmin edilmesi, tamamıyla benzerlik ilkeleri ile uyum içinde gerçekleştirilmelidir. Eğer tam ölçekli bir ağ ve donanımı ile onun modeli arasında bir benzerlik kurulmuş ve benzerlik ölçekleme faktörleri belirlenmiş ise o zaman aşağıda verilen formüller kullanılarak, model deney sonuçları tam ölçekli ağ ve donanımına ait tahminlere dönüştürülebilir:

$$L_p = S_L \times L_m; \quad T_p = S_T \times T_m; \quad F_p = S_F \times F_m \quad (18)$$

Karmaşık bir durum için, bütün ölçekleme faktörlerinin bulunması hem kompleks hem de zahmetli bir iştir. İlk önce, model ile tam ölçekli ağ ve donanımı arasında geometrik bir benzerlik kurulmalıdır. Eğer model doğru bir şekilde imal edilmiş ise bu koşul yerine getirilmiş olunur. İkinci olarak, model hareketinin mekanik karakteristikleri tam ölçekli ağ ve donanımınkiyle benzer yapılmalıdır. Bu koşullar, *benzerlik kriterleri* olarak adlandırılan sayılar ile nümerik olarak tanımlanmaktadır. Bu kriterler, hem model için hem de modeli test etmekte kullanılan deneysel kuruluş için birtakım teknik özellikleri belirler. Örneğin model hareketinin hızının onun boyutlarının bir fonksiyonu olarak elde edilmesi, modelin yapıldığı malzemelerin ve deneyin gerçekleştirildiği ortamın fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gibi. Model deneyinin çeşitli koşulları ve değişik balıkçılık ağ ve donanımı için sağlanacak kriterlerin sayısı, çözülecek problemin doğasına bağlı olacaktır. Benzerlik kriterleri, balıkçılık ağ ve donanımının boyutlu fiziksel değişkenlerinin, onun hareketinin ve sıvı ortamın fiziksel karakteristiklerinin boyutsuz kombinasyonları ile tanımlanır. Örneğin Reynolds sayısı bunlardan bir tanesidir. Model ile tam ölçekli ağ ve donanımı arasında bir benzerlik elde edildiği zaman, aynı benzerlik kriterlerinin sayısal değerleri birbirine eşittir. Böylece bir benzerlik temin etmek için, aynı **B** benzerlik kriter çiftine ait sayısal değerlerin (model için **B_m** ve prototip için **B_p**) eşit olabileceği deney koşullarının ve modelin fiziksel karakteristiklerinin seçilmesi gereklidir:

$$B_m = B_p \quad (19)$$

Yukarıda (19) numaralı formülle ifade edilen kural, ilgili bütün kriterler için aranan ideal bir durumdur. Ancak uygun malzemenin olmayışı gibi modelin yapımındaki veya deney koşullarındaki pratik nedenlerden dolayı bu eşitlik genellikle başarılamaz. O zaman model için benzerlik kriterlerinin sayısal değerleri tam ölçekli ağ ve donanımı için eşit olmayabilir veya (18) numaralı ölçekleme formülleri ile verilen bütün koşullar eş zamanlı olarak sağlanamayabilir. Bazen söz konusu her iki kusur aynı zamanda da meydana gelebilir. Bu kusurlardan herhangi biri meydana geldiğinde, benzerlik kurallarından bir miktar sapmalara müsaade edilmeli ve benzerlik koşulları yaklaşık haliyle kabul edilmelidir. Model deneyleri böyle koşullar altında yürütüldüğü zaman, yakınlık derecesi belirlenmelidir ve böylelikle

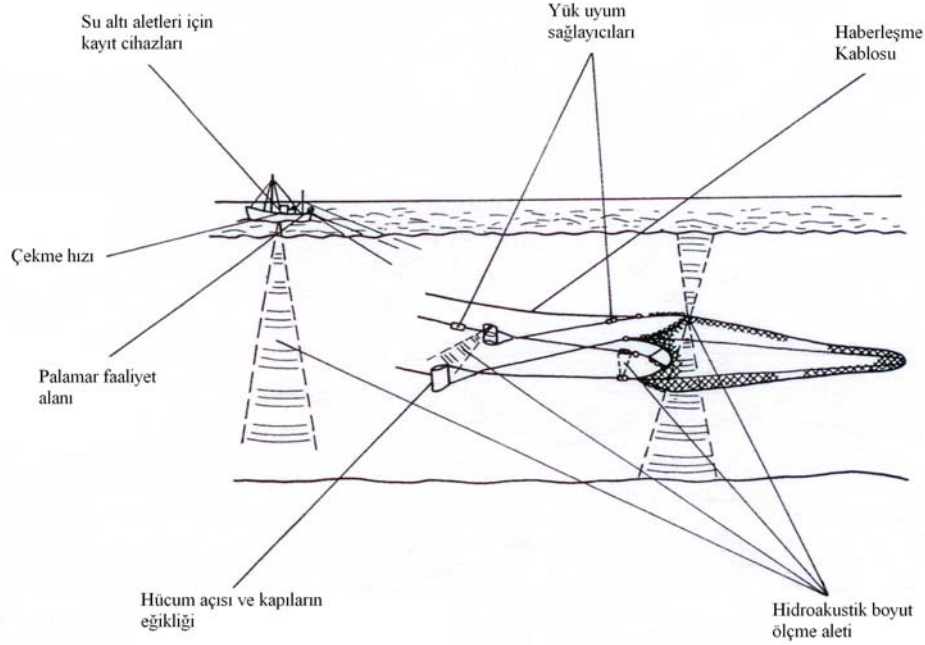
ölçek etkisi değerlendirilmelidir. O zaman ölçek etkisi hakkında elde edilen bu bilgi, model deney sonuçlarını düzeltmek için kullanılabilir.

3. Model Deneylerinde Kullanılan Ortam ve Kuruluşlar [1]

Balıkçılık ağ ve donanımlarının model deneyleri ile çözülebilecek çok çeşitli problemleri göz önüne alındığında, bütün amaçları gerçekleştirebilecek tek bir deney kuruluşunun yapımı olası değildir. Dünyada balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin model deneylerinin gerçekleştirilmesinde uzmanlaşmış olan birkaç kuruluş mevcuttur. Bu kuruluşların en çok bilinenleri; Fransa, İngiltere, Japonya, Rusya Federasyonu, ABD, Polonya, Almanya ve Avustralya'da bulunmaktadır.

3.1 Model çekme göletleri, gölleri veya lagünleri

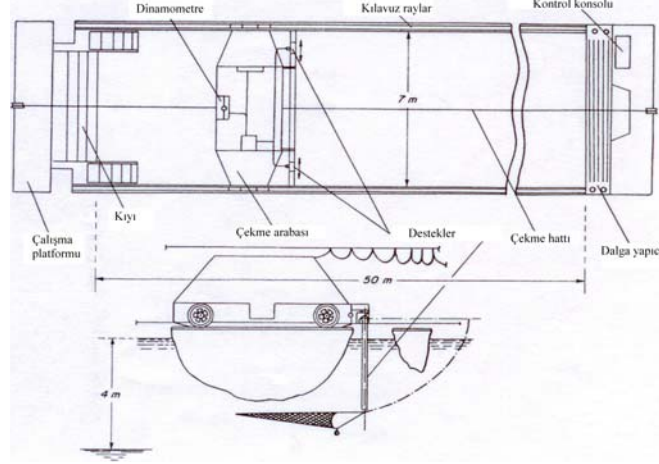
Doğal olarak kapalı su kütlelerinde tüm balıkçılık sisteminin (balıkçılık ağ ve donanımı, güverte makineleri ve balıkçı gemisi dahil olmak üzere) kapsamlı bir şekilde model deneyleri, ticari balıkçılık faaliyetlerinde karşılaşılan koşullara benzer deney koşulları altında yürütülebilir (Şekil 5). Böyle deneyler için daha küçük balıkçı gemileri ve özel araştırma botları kullanılabilir. Bu deneylerin yapıldığı alan, demirli şamandıralarla iyice işaretlenmiş olmalıdır. Test edilen dip ve orta su trollerine ilişkin modellerin çekme rotalarındaki derinlikler ölçülmeli ve deney bölgesinin derinlik haritası yapılmalıdır. Özellikle derin su trol modellerinin test edilmesinde, birkaç on metrelik derinlikler arzu edilmektedir. Modellerin yıpranmasını ve yırtılmasını minimize etmek için, deniz tabanı mümkün olduğu kadar pürüzsüz olmalıdır. Bakım ve ağ depolama olanakları, deney alanına uygun yakınlıkta olmalıdır. Ayrıca büyük yüzme havuzları veya çoğunlukla gemi model deney laboratuvarlarında bulunan model çekme tankları gibi büyük yapay havuzlar, eğer derinlikleri yeterli ise balıkçılık ağ ve donanımının model deneyleri için benzer tarzda kullanılabilir. Bu havuzlar genellikle pürüzsüz ve düz bir taban avantajına sahiptir ve çoğunlukla atölye ve depo gibi kara olanaklarıyla iç içedir. Böyle göller ve havuzlar özellikle gırgır ağları gibi büyük ağ ve donanımlarının model deneyleri için daha uygundur.



Şekil 5. Doğal bir ortamda tüm balıkçılık sisteminin model deneyi

3.2 Model çekme tankları

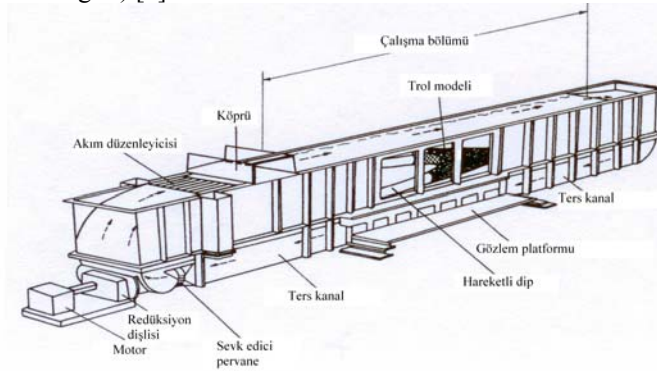
Laboratuvar tipi bir kuruluşa örnek olarak, balıkçılık ağ ve donanımlarının model deneylerine adapte edilmiş bir gemi model çekme tankı veya özel olarak bu amaç için inşa edilmiş bir model çekme tankı gösterilebilir (Şekil 6). Ölçme aletleri özellikle çekme dinamometreleri ve modeli istenilen pozisyonda tutmak için dizayn edilen aletler, model çekme arabasının üzerine monte edilir. Modelin lineer boyutları ve şeklinin görüntüleri, yüzey ve su altı fotoğrafçılığı ile gerçekleştirilir. Çeşitli aletler kullanılarak, model ve onun bileşenleri üzerine etkiyen mekanik kuvvetler ve modelin içindeki ve yakınındaki belirli noktalardaki akımın hızları ölçülür. Ayrıca bu tanklarda, bir dalga yapıcı ile tankın içinde kontrol edilebilir dalgalar üretilebilir. Bir model çekme tankındaki suyun hacmi, diğer deney kuruluşlarında olduğu gibi, tankın tabanı, tankın duvarları ve suyun üst yüzeyi ile sınırlandırılmıştır. Benzerlik koşulları, bu su sınırlarının etkisinin model ve tam ölçekli ağ ve donanımı için benzer olmasını gerektirmektedir. Örneğin bir dip trol modeli, tam ölçekli trolün çekme koşullarına orantılı olarak tank boyunca dipten belli bir mesafede çekilmeli ve model üzerine tank duvarlarının herhangi bir etkisi olmamalıdır. Orta su trol modeli ise tüm sınırlardan hiçbir şekilde etkilenmemelidir. Bir model çekme tankının avantajları; model davranışına ilişkin değişkenlerin doğru bir şekilde ölçülmesine olanak vermesi, ağ ve donanımının hidrodinamik katsayılarını belirlemek için ilgili aletlerin kolay bir şekilde kullanılması ve nitelikli görsel inceleme için iyi olanaklar sunması olarak sıralanabilir.



Şekil 6. Bir trol modelinin gemi model çekme tankındaki çekme deneyi

3.3 Akıntı tankları (Sirkülasyon kanalları)

Bir akıntı tankı, model hareketsiz tutulurken içinde suyun dolaştırıldığı kapalı bir büyük tüp formundaki bir deney ünitesidir (Şekil 7). Balıkçılık ağ ve donanımlarının model deneyleri için; Fransa, Japonya, İngiltere, Rusya Federasyonu, Avustralya vs. gibi ülkelerde özel olarak dizayn ve inşa edilmiş çeşitli akıntı tankları bulunmaktadır. Bu akıntı tankları, modelin sürekli ve elverişli olarak gözlenmesine olanak verdiklerinden dolayı avantajlıdır ancak oldukça pahalıdır. Su içindeki ağ ve donanım hızının etkileri, suyun akışı kontrol edilerek incelenir. Ağ hızının deniz tabanı üzerindeki etkileri ve sınır tabaka etkileri, tankın çalışma bölgesinin dip kısmını oluşturan hareketli bandın hızı kontrol edilerek incelenir. Sınırlı çalışma bölgesi, çoğunlukla çok küçük ölçekli modellerin yapımını gerektirmektedir. Bu da bütün benzerlik kriterlerinin sağlanması sırasında birtakım ölçekleme problemlerini doğurmakta veya ağın donanımıyla birlikte incelenmesini kısıtlamaktadır (kapı çifti olmayan trol modeli gibi) [3].



Şekil 7. Akıntı tankında gerçekleştirilen bir trol modelinin deneyi

3.4 Rüzgâr tünelleri

İçine girilebilir açık çalışma bölümüne sahip bir rüzgâr tüneli, balıkçılık ağ ve donanımlarının model deneyleri için çok uygun bir deney ünitesidir. Rüzgâr tüneline, balıkçılık ağ ve donanımına ilişkin modelin içinden ve üzerinden su yerine hava dolaştırılır. Bu farklı akışkan ortamına rağmen, model uygun koşullar altındaki tam ölçekli ağ ve donanımına benzer şekilleri takınır. Bir rüzgâr tüneline; modele ulaşmak, ona bağlı aletleri düzenlemek ve modelin fotoğraflarını çekmek, deney devam ediyorken bile kolayca yapılabilir. Model üzerine etkiyen kuvvet ve momentler çok bileşenli bir dinamometre yardımıyla ölçülür. Eğer tünelin çalışma bölümünde, deniz tabanı etkisinin simülasyonu yapılmak zorunda ise o zaman hareketsiz yatay paneller uygun bir şekilde yerleştirilmelidir.

3.5 Küçük model tankları

Balıkçılık ağ ve donanımının etkililiği, çoğunlukla hareket halindeyken onun almış olduğu şekline bağlıdır. Bu değişen şekil, laboratuvar veya atölye tanklarında test edilen balıkçılık ağ ve donanımı modelleriyle gözlenebilir. Ancak çok büyük ağ ve donanımı için, aşırı ölçekleme faktörleri nedeniyle doğruluk kaybına rağmen, çok küçük ölçekli modeller düzgün olarak suya atılmaları ve sudan toplanmaları için gerekli olmaktadır. Böyle tanklar, çap olarak birkaç metreden birkaç on metreye kadar herhangi bir büyüklükte olabilmektedir. Bu tanklar saydam bir duvara veya büyük bir gözetleme penceresine sahip olmalıdır ve bu tanklar, hareket halindeki ağ ve donanımının simülasyonunu olanaklı kılmak için değişik aletler ile donatılabilmektedir.

3.6 Model çekme düşey tankları

Bu tip model tanklarının içi suyla dolu olup, bunlar silindirik yapıda ve düşey konumda bulunmaktadır. Bu tanklarda deneyleri yapılan modeller, bir makara sistemindeki asılı ağırlıklarda yerçekimi sebebiyle oluşan ve toplam değeri tam olarak bilinen bir kuvvet tarafından yukarıya doğru çekilir. Çekme süresi, modelin sürüklenme kuvveti (drag) ve model ağırlığına eşit olan deney toplam ağırlığına bağlı olarak, elektronik bir süre ölçme aleti ile belirlenir. Fotoğraf çekmek için gerekli aletler daha önceden hazırlanır. Söz konusu bu kuruluşlar özellikle balıkçılık ağ ve donanımının ve farklı şekillerdeki halatların hidrodinamik sürüklenme kuvvetinin incelenmesi için uygundur. Bu tip bir tank, ağ ve donanım modellerine ilişkin sürüklenme kuvveti ölçümlerinin çok basit tekniklerle gerçekleştirilebilmesi avantajına sahiptir. Ayrıca bu tanklar; balıkların hareketi, ışığın suda yayılması gibi değişik konuların da incelenmesinde kullanılabilir.

4. Sonuçlar

Ülkemizde maalesef balıkçılık ağ ve donanımlarının ne bir modeli ne de model deneyleri yapılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri olarak, balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin özel amaçlı deney kuruluşlarının olmayışı, mevcut yapay ve doğal ortamlardan yararlanma tecrübesinin olmayışı ve farklı amaçlar için kullanılmakta olan değişik model deney kuruluşlarının ilgili ünitelerinin (gemi model çekme tankı, sirkülasyon kanalı, rüzgâr tüneli

vs. gibi) balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin model deneylerine uyarlama zorluğu ve tecrübesizliği gösterilebilir.

Herhangi bir balıkçılık ağ ve donanımına ilişkin model deneyinin ana adımları aşağıda sıralandığı gibi olmalıdır: (1) Yapılacak modelin yapısal parametrelerinin belirlenmesi, (2) Yapay ya da doğal ortamda veya bir model deney kuruluşunda modelin performans değişkenlerinin ölçülmesi ve (3) Elde edilen model verilerinden tam ölçekli ağ ve donanımlarına ilişkin değerlerin tahmin edilmesi.

Sonuç olarak, dünyada uygulanmakta olan balıkçılık ağ ve donanımlarına ilişkin model deney yöntemleri, doğal ve yapay olanakların kullanılmasıyla ülkemizde de başarıyla gerçekleştirilebilir. Böylece balıkçılığımızın ve dolaylı olarak özellikle gırgır gemisi, trol gemisi gibi balıkçı gemilerinin verimliliği artırılabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Fridman, A. L., (1986), “Calculations for Fishing Gear Designs”, Published by arrangement with the FAO of the UN by Fishing News Books.
- [2] Kaykaç, M. H., Tosunoğlu, Z. ve Tokaç, A. 600 Gözlü Geleneksel Dip Trol Ağının 1/10 Ölçekli Model Denemesi, E. Ü. Su Ürünleri Dergisi, Cilt 22, Sayı 3-4, 2005.
- [3] “Flume Tank”, http://www.amcsearch.com.au/facilities/04_flume_tank.html



KAVİTASYON YAPAN GEMİ PERVANESİNİN HİDRODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL BİR YÖNTEMLE İNCELENMESİ

Şakir BAL*

ÖZET

Bu çalışmada, kavitasyon yapan gemi pervanelerinin hidrodinamik karakteristiklerini inceleyen sayısal bir yaklaşım sunulmuş ve daha sonra bu yöntem kullanılarak, pervane dizayn karakteristiklerinin (çalıklık, hatve, kavitasyon sayısı vs. gibi) pervane itme, tork ve verim değerleri üzerindeki etkileri parametrik bir çalışma ile incelenmiştir. Kavitasyon yapmasına da izin verilen pervane kanatlarının yüzeyi girdap ve kaynak tekillikleri ile temsil edilmiştir. Bunun için, kaldırıcı yüzey teorisini temel alan MPUF-3A programı kullanılmıştır. Bu yöntem, seçilen bir pervaneye (DTMB4148 pervanesi) uygulanmış, daha sonra pervanenin çalıklik (skew), hatve, kavitasyon sayısı gibi değerleri değiştirilerek pervane itme, tork ve verim değerleri ve kavitasyon karakteristikleri üzerindeki etkileri değişen ilerleme katsayıları için incelenmiştir. Ayrıca, pervane kesit sehim oranlarının pervane hidrodinamik karakteristikleri üzerindeki etkileri de gözönüne alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi Pervanesi, Kaldırıcı Yüzey Teorisi, Kavitasyon, Girdap-Kaynak Panelleri .

*İstanbul Teknik Üniversitesi,
Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Maslak-Sarıyer, 34469, İstanbul
Tel: 212 2856485
Faks: 212 2856454
E-posta: sbal@itu.edu.tr
URL: <http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/bal> ve <http://www.akademi.itu.edu.tr/sbal>

1. GİRİŞ

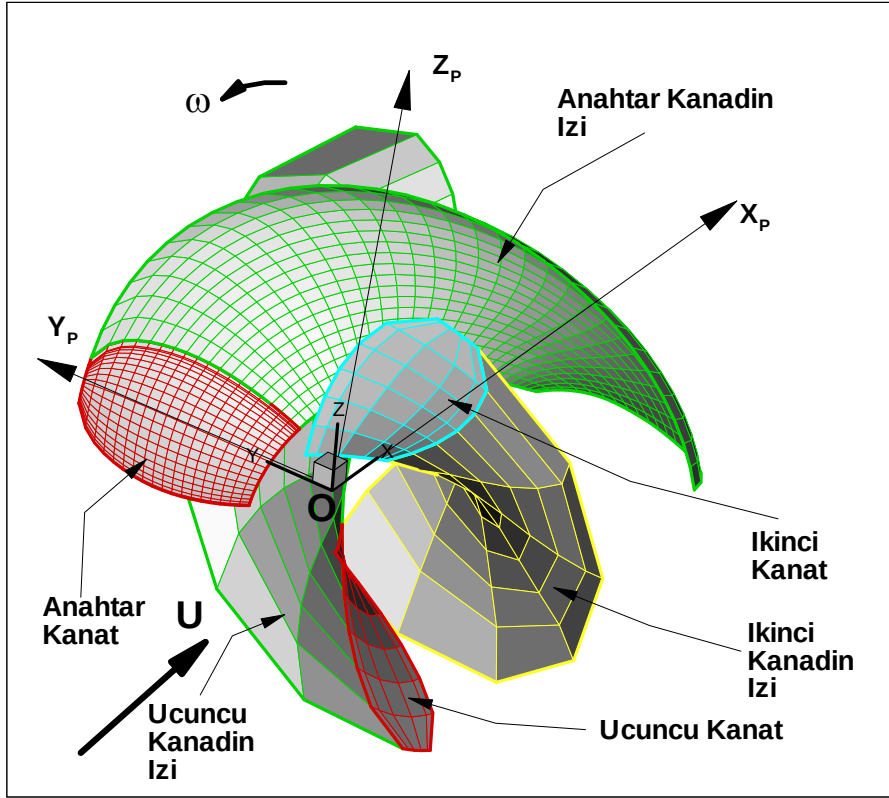
Bilindiği üzere, optimal bir gemi dizaynında gemi pervanesinin doğru konumlandırılması ve seçimi çok önemli bir problemdir. Yanlış konumlandırılan ve seçilen bir pervane optimum olabilecek bir gemi tasarımını çok olumsuz yönde etkileyebilir. Diğer yandan, ize uyumlu optimal bir pervane ise bir geminin performansını önemli ölçüde iyileştirebilir. Bu iyileştirme, sadece yakıt tasarrufu anlamında olmayacaktır. Optimal bir pervanede, pervane kaynaklı titreşimler ve kanatlar ve dümen üzerindeki erozyon olguları da en aza inebilecek ve geminin çok daha emniyetli bir seyir imkanı sağlanabilecektir. Belirli dönemlerde pervane ve dümen değiştirmeye de gerek kalmayabilecektir. Dolayısıyla, geminin ilk dizayn ve bakım-tutum maliyetlerinde önemli ölçülerde azalmalar sağlanabilecektir. Diğer yandan, gemi pervanesi etrafındaki akım, çok karmaşık (kompleks) doğasından dolayı, akışkanlar mekanizmasındaki zorlu problemlerden biridir. Optimal bir gemi pervanesi dizaynı, bu akımın doğru bir biçimde anlaşılmasını zorunlu kılar. İlgili araştırmacı, mühendis ve dizaynerler uzun zamandır bu konuyu incelemişler ve bu tür akımın modellenmesi ve çözümü konusunda çok önemli katkılar sağlamışlardır. Halen konu üzerindeki çalışmalar, çağdaş ihtiyaçlara cevap verecek şekilde, çok yönlü ve yoğun bir şekilde devam etmektedir [1-2].

Bu çalışmada, bir girdap ağ yöntemini (vortex lattice method) temel olarak alan MPUF-3A (Modified Propeller Unsteady Flow) programı kullanılmıştır [3-5]. Bilindiği üzere, MPUF-3A programı, otuz yılı aşkın bir süredir Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Deniz Bilimleri Bölümü'nden (Massachusetts Institute of Technology, Department of Ocean Engineering) Prof. J.E. Kerwin ve araştırma ekibinin ve yine, on yılı aşkın bir süredir Texas (Austin) Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deniz Bilimleri Programı'ndan (The University of Texas at Austin, Department of Civil Engineering, Ocean Engineering Program) Prof. S.A. Kinnas ve araştırma ekibinin geliştirdikleri, sonuçları birçok açıdan hem deneysel hem de diğer sayısal yöntemlerle tam ölçekte test edilip doğrulanmış çok önemli bir yazılımdır. Bu bildirinin yazarı da, belirli dönemlerde ve seviyelerde bu yazılıma katkı sağlamıştır. Pervanenin göbek (hub) kısmı geometrik olarak yeniden tanımlanarak, pervane problemi doğrudan çözülmüştür [6,7]. Pervane kanatlarının, ilk olarak, yukarıda belirtilen türde bir girdap ağ tekniği ile temsil edilmesi [8] numaralı kaynakta verilen çalışma ile başlar. Burada, daimi ve üniform olmayan akım içinde (kavitasyon gözönüne alınmayarak) pervane kanatları modellenmiştir. Daha sonra, lineer kavitasyon teorisi ile kavitasyon olgusu modellemeye dahil edilmiştir [9, 10]. Ancak, lineer kavitasyon teorisinin kanat kalınlık etkisini doğru olarak hesaplayamadığı görülmüş ve [11] ve [12] numaralı kaynaklarda belirtildiği üzere lineer olmayan kavitasyon teorisi hesaplara eklenmiştir. Yöntem, daha sonra, daimi olmayan akım içinde, kısmi ve süperkavitasyon yapan pervane durumlarına da genişletilmiştir [13-17]. Ayrıca, buradaki yöntem podlu pervane durumuna da uygulanmış ve yeterli yaklaşımda sonuçlar elde edilmiştir [18-22]. Yine, MPUF-3A programı, literatürde deneysel sonuçları verilen DTMB4148 pervanesine uygulanmış ve [16] programın sonuçları, ilgili deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve çok tatminkar sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar ilgili literatürde mevcut olduğundan burada tekrarlanmamıştır. Burada, ilgili pervanenin bazı parametreleri (hatve, sehim, kavitasyon sayısı vs. gibi) değiştirilerek hidrodinamik karakteristikleri sayısal olarak hesaplanmış ve

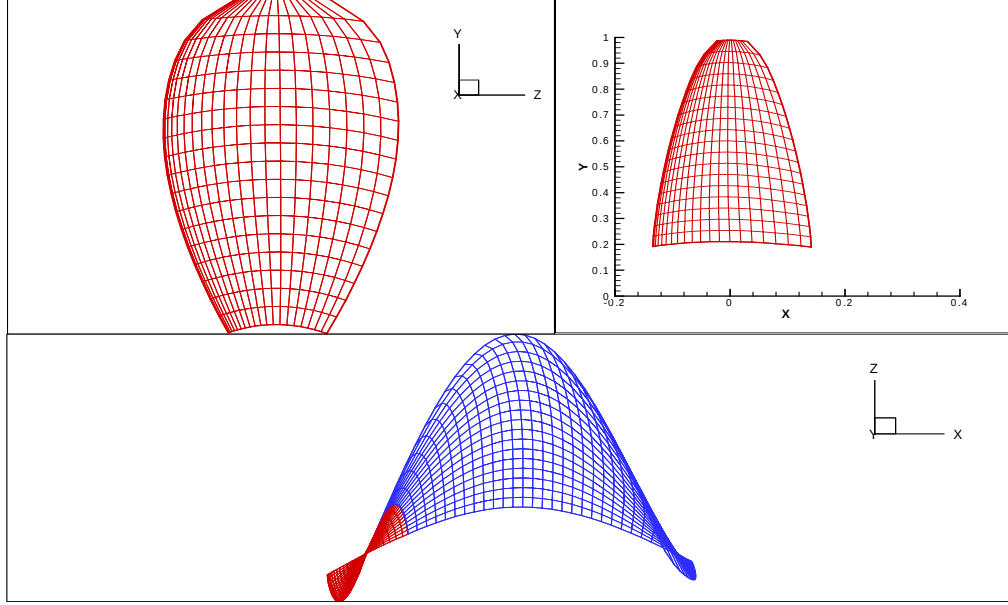
bazı karşılaştırmalar yapılmıştır. Yine, çalıklik (skew) oranı da değiştirilerek itme, tork ve kavitasyon formu üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2. MATEMATİK FORMÜLASYON VE SAYISAL ÇÖZÜM

Problemin matematik formülasyonu ve sayısal çözüm tekniği ayrıntılı olarak [6,14,17] numaralı kaynaklarda verilmiştir. Burada, çalışmanın bütünselliğini korumak açısından kısaca özetlenmiştir. Pervane etrafındaki akımın sıkıştırılmaz, viskoz olmayan ve döngüsüz (irrotational) olduğu kabul edilmiştir. Yine, Şekil 1 ve Şekil 2’de, seçilen ve pervane ile hareket eden (dönen) koordinat sistemi ($Ox_p y_p z_p$) ile pervaneye bağlı sabit ($Oxyz$) koordinat sistemi gösterilmiştir. Dolayısıyla, ϕ pertürbasyon hız potansiyeli olmak üzere, pervane etrafındaki akıma ait toplam hız alanı, q , şu şekilde ifade edilebilir:



Şekil 1. Koordinat sistemlerinin tanımlanması.



Şekil 2. Üç farklı bakışta pervane kanadının, izinin ve ilgili panellerin görünüşü.

$$\vec{q}(x, y, z, t) = \vec{U}(x, y, z, t) + \nabla \phi(x, y, z, t) \quad (1)$$

Burada, pertürbasyon potansiyeli, ϕ , süreklilik denklemi olan Laplace eşitliğini sağlamalıdır:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (2)$$

Pervane kanatlarının kavitasyon yapmasına da izin verilmektedir. Lineer olmayan kavitasyon teorisinin matematiksel formülasyonu kısaca şöyle verilebilir [14,17]. Bu yöntemde, düzgün olmayan (non-uniform) akım içindeki pervane, kanat kirişi (chord) ve izi (trailing wake) boyunca ayrılaştırılmış girdap ve kaynaklarla (discretized vortices and sources) temsil edilmektedir. Ayrılaştırılmış girdaplar, kanatlar üzerindeki yüklemeyi (itmeyi), kaynaklar ise kanat ve kavitasyon yüzeyinin kalınlıklarını hesaplara dahil eder. Bu tekilliklerin (girdap ve kaynakların) bilinmeyen şiddetleri, kanatlar üzerinde seçilen kontrol noktalarında bazı kinematik ve dinamik sınır koşullarının uygulanması ile bulunabilir. Kanat kirişi (chord) boyunca kinematik sınır koşulu şu şekilde verilebilir:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -\vec{U} \cdot \vec{n} \quad (3)$$

Burada, ϕ kanat kirişi üzerindeki pertürbasyon potansiyeli, U pervane üzerine gelen düzgün olmayan akımın hızını ve n seçilen kontrol noktalarında pervaneye dik birim normal vektörü göstermektedir. MPUF-3A programında bu koşul şu şekilde ifade edilir:

$$\sum_{\Gamma} \vec{\Gamma} \cdot \vec{n} = -\vec{U}_{in} \cdot \vec{n} - \sum_{Q_B} Q_B \vec{v}_Q \cdot \vec{n} - \sum_{Q_C} Q_C \vec{v}_Q \cdot \vec{n} \quad (4)$$

Burada, Γ ayırıklaştırılmış girdapların şiddetlerini, Q_B ve Q_C , kanat kalınlıklarını ve kavitasyon yüzeyini temsil eden kaynakların şiddetlerini, v_r ve v_Q ise girdap ve kaynak tekillikleri tarafından indüklenen hızları göstermektedirler. Pervane üzerindeki basınç dağılımı ise Bernoulli denklemi ile aşağıdaki gibi verilebilir:

$$p - p_{shaft} = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - \rho \left[C_{LE}^2 (u + V_r)^2 - V_r^2 \right] / 2 - \rho g y_s \quad (5)$$

Burada, p , kontrol noktalarındaki basıncı, p_{shaft} , pervane şaft eksenine hizasında ve pervaneden uzaktaki basıncı, ρ suyun yoğunluğunu, $\partial \phi / \partial t$, tekillikler tarafından indüklenen potansiyelin zamana göre türevini, V_r , pervane koordinat sistemine göre bozunuma uğramamış hızı, C_{LE} pervane önder kenar (leading edge) düzeltme faktörünü ve y_s ise su yüzeyinden pervane şaft eksenine derinliğini göstermektedir [8,12]. Boyutsuz basınç katsayısı ve kavitasyon sayısı ise MPUF-3A' da aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$C_p = \frac{p - p_{shaft}}{\rho n^2 D^2} \quad \text{ve} \quad \sigma = \frac{p_{shaft} - p_v}{0.5 \rho n^2 D^2} \quad (6)$$

Doalysıyla, pervane üzerindeki basınç p , suyun buharlaşma basıncından p_v , daha küçük olduğunda kavitasyon oluşur, yani $-C_p \geq \sigma/2$ olduğunda kavitasyon hesaplara dahil edilir. Bu da dinamik sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Kavitasyon boyu ve şekli her bir zaman adımında bu koşulun uygulanması ile tespit edilir. Dinamik koşulun sağlanması için yeni kavitasyon kaynakları ilave edilir veya çıkarılır. Çözüm, pervane kanatlarının konumlarını açısal olarak 6 derecelik artırımlarla değiştirilerek, her bir zaman adımında işlemleri tekrarlayarak gerçekleştirilir. Bir tam dönüşten sonra periyodik hareketin karakteristikleri elde edilir. Şekil 1'de MPUF-3A programının ürettiği 4 kanatlı pervanenin anahtar kanadı (izi ile beraber) ve diğer üç kanadın geometrisi (anahtar kanat daha sık panellere bölünmüştür) gösterilmiştir.

3. SAYISAL UYGULAMALAR

MPUF-3A programının doğruluğunun test edilebilmesi için, literatürde deneysel ve diğer sayısal yöntemlerin ilgili sonuçları verilen DTMB4148 pervanesi seçilmiş (dizayn ilerleme sayısı $J=0.82$ alınmış) ve gerekli karşılaştırmalar [10,11]'de yapılmıştır. Çok tatminkar sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, burada bunlar tekrar edilmemiştir. Burada, bu pervanenin bazı geometrik parametreleri ve çevre şartları değiştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bütün hesaplarda, pervane anahtar kanadı (key blade), giriş uzunluğu boyunca (chordwise direction) 20, açıklık boyunca (spanwise direction) 18 olmak üzere toplam $20 \times 18 = 360$ elemana ayırıklaştırılmıştır. Pervane geometrisi ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda Tablo 1'de verilmiştir. Pervane kesitleri NACA66 kalınlık $a=0.8$ modifiye edilmiş sehime sahip kesitlerdir. Burada, R: pervane yarıçapı, D: pervane çapı, P: hatve miktarı, Y: yarıçap boyunca pervane kesitlerini gösteren koordinat, RK: pervane eğiklik (rake) değeri, SKW: pervane çalıklık (skew) değeri, C: her kesitteki giriş boyu (chord length), F: kesitlerdeki sehim (camber) miktarı, T: kesit kalınlık miktarıdır. Bütün hesaplarda,

pervanenin düzgün (uniform) akıma maruz kaldığı varsayılmıştır. Pervane 4 kanatlı ve sağa dönüşlüdür. Bütün değerler pervane yarıçapı $R=1$ ve gelen akım $U=1$ m/sn olmak üzere boyutsuzlaştırılmıştır.

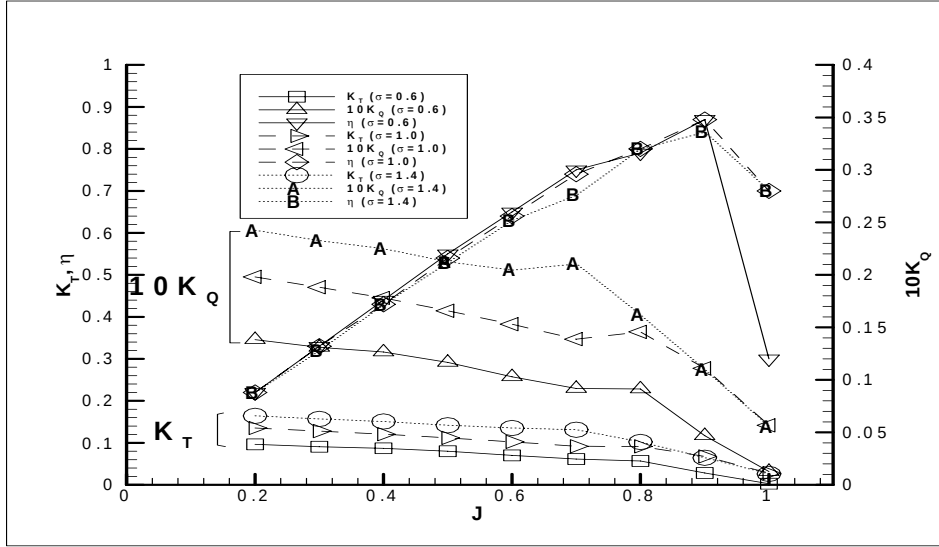
Tablo 1. Orjinal DTMB 4148 pervanesinin geometrik özellikleri.

Y/R	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1.0
P/D	0.992	0.997	0.999	0.998	0.994	0.991	0.985	0.979	0.974	0.968
RK/D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SKW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C/D	0.160	0.182	0.202	0.220	0.231	0.231	0.217	0.181	0.139	0.001
10F/C	0.174	0.195	0.192	0.175	0.158	0.143	0.133	0.125	0.115	0.000
10T/D	0.329	0.282	0.239	0.198	0.160	0.125	0.091	0.060	0.045	0.000

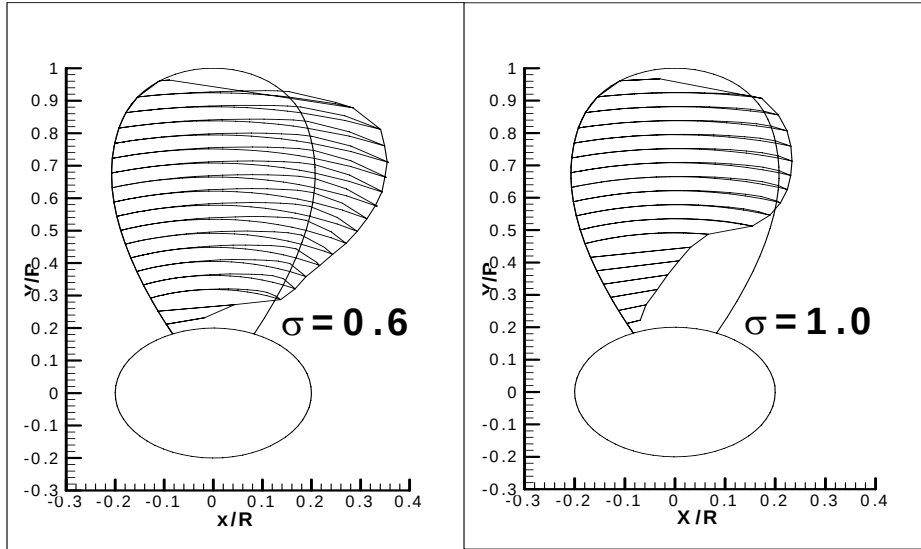
İlk olarak, kavitasyon sayısı $\sigma=0.6$, 1.0 ve 1.4 seçilerek, pervanenin itme, tork katsayıları ve verim değerleri hesaplanmıştır. Şekil 3’de bu sonuçlar verilmiştir. Görüleceği üzere, düşen kavitasyon sayısı ile hem tork K_Q , hem de itme katsayısı K_T değerleri, bütün hesaplanan J ilerleme katsayısı değerleri için düşmektedir. Yani, kavitasyon şekli ve hacmini artması itme ve tork değerlerinde negatif bir etki yaratmıştır. Buna rağmen, $J=1$ ’de (düşük devir sayısı) ve $\sigma=0.6$ durumu hariç verim değerlerinde çok büyük bir değişme gözlenmemektedir. Şekil 4 ve 5’de ise ölçekli olarak yine kavitasyon sayısının, sabit bir $J=0.5$ için, kavitasyon şekli üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Düşen kavitasyon sayısı ile beraber kanat üzerinde artan kavitasyon miktarları çok açık olarak görülmektedir. Dolayısıyla bu sonuç Şekil 2’deki sonuçla uyum içindedir. Daha sonra, kavitasyon sayısı $\sigma=1.4$ sabit tutularak, ilerleme katsayılarının kavitasyon şekli ve hacmi üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7’de bu sonuçlar görülebilir. Anlaşılacağı ve beklendiği üzere artan J (düşen devir sayısı) ile kavitasyon büyüklüğü ve hacmi (miktarı) önemli ölçüde azalmaktadır. Diğer kavitasyon sayıları için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 8’de hatve (pitch) oranının kavitasyon formu üzerindeki etkisine bakılmıştır. Pervane yarıçapı boyunca mevcut hatve miktarı bütün kesitlerde önce %10 arttırılmış daha sonra da %10 düşürülmüştür. Pervane için sabit bir $J=0.5$ ve $\sigma=1.4$ seçilmiştir. Arttırılmış hatvenin kanat üzerindeki kavitasyonu hem şekil hem de hacim olarak arttırdığı rahatlıkla görülebilir. Buna karşın, kanat üzerindeki yükleme (sirkülasyon dağılımı), artan hatve miktarı ile artmıştır. Şekil 9’da da bu durum gösterilmiştir. Şekil 10’da sehim miktarının ve Şekil 11’de de pervane çalıklık (skew) (ileriye doğru) miktarının kavitasyon şekli üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Şekil 10’da kullanılan yeni çalıklık miktarları aşağıda Tablo 2’de verilmiştir. Sehim miktarındaki değişimin kavitasyon şekli üzerindeki etkileri ihmal edilebilecek mertebede iken çalıklığın etkisi önemli olmaktadır. Pervane kanat ortasında verilen çok az çalıklık miktarı dahi kavitasyon formunu açık olarak etkilemiştir.

Tablo 2. Yeni çalıklık miktarları.

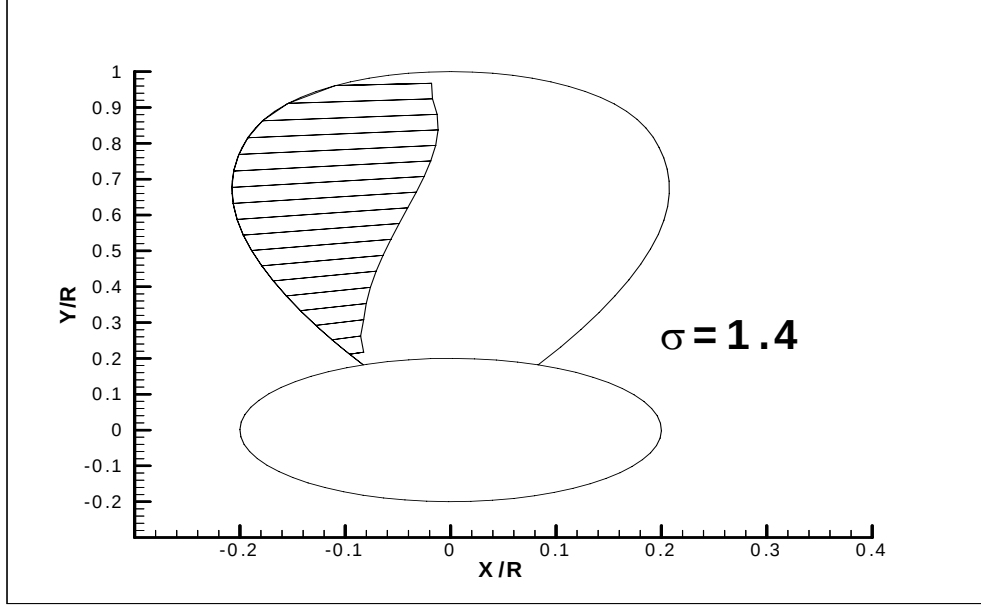
Y/R	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1.0
SKW	-1.5	-3.0	-4.5	-6.0	-7.0	-7.0	-6.0	-4.5	-3.0	-1.5



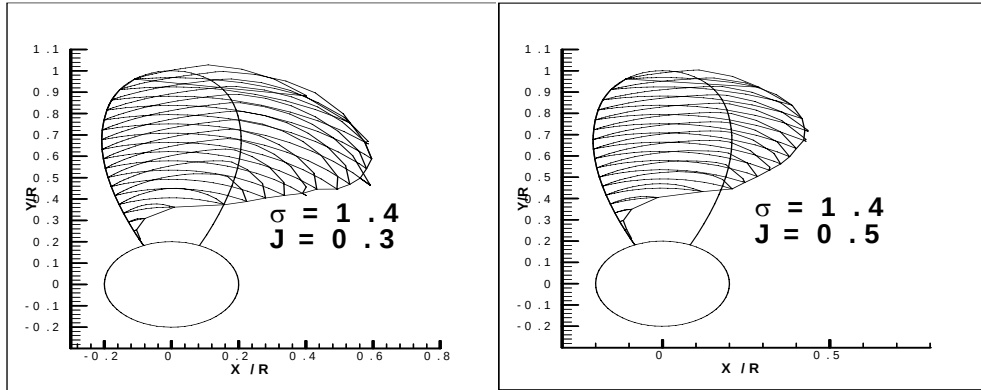
Şekil 3. Kaviteasyon sayısının itme, tork ve verim üzerindeki etkisi.



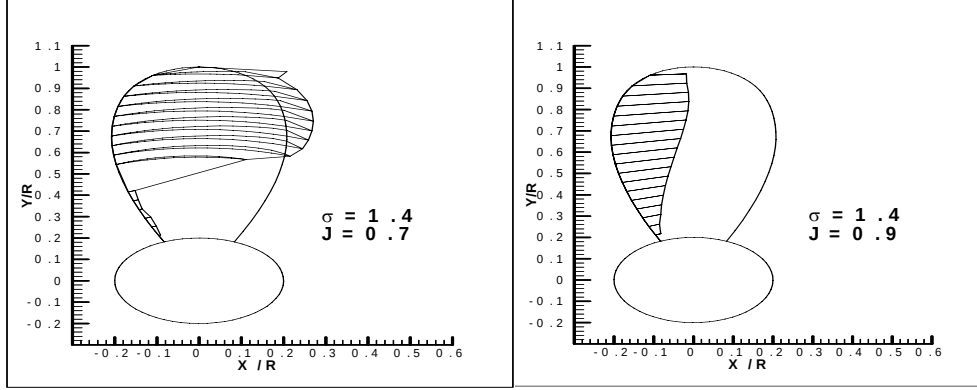
Şekil 4. Kaviteasyon sayısının kaviteasyon şekli üzerindeki etkisi ($J=0.5$).



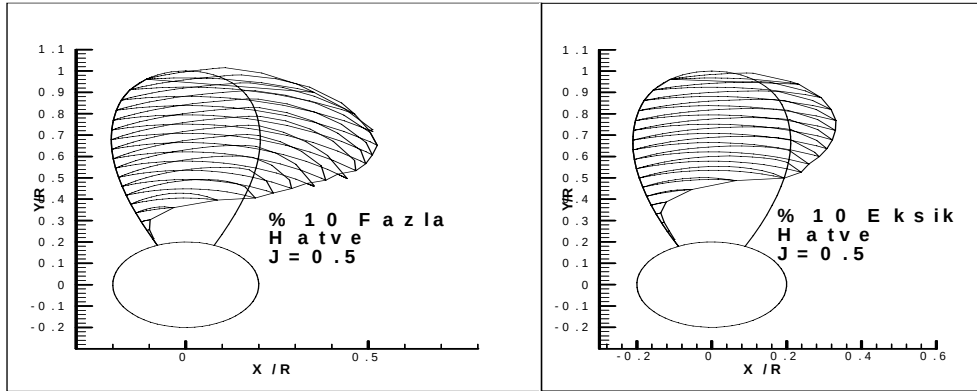
Şekil 5. Kaviteasyon sayısının kaviteasyon şekli üzerindeki etkisi ($J=0.5$).



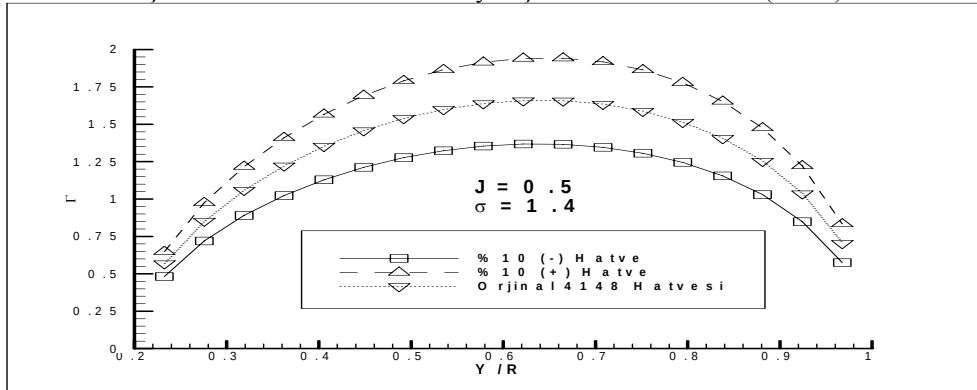
Şekil 6. İlerleme sayısının kaviteasyon şekli üzerindeki etkisi.



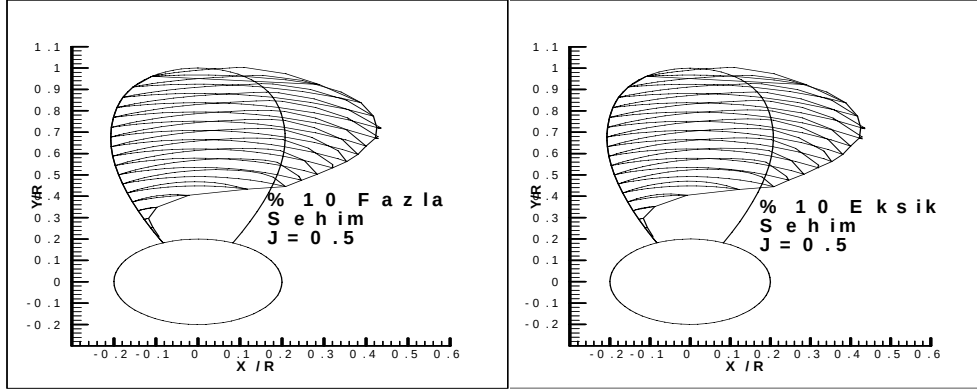
Şekil 7. İlerleme sayısının kaviteasyon şekli üzerindeki etkisi.



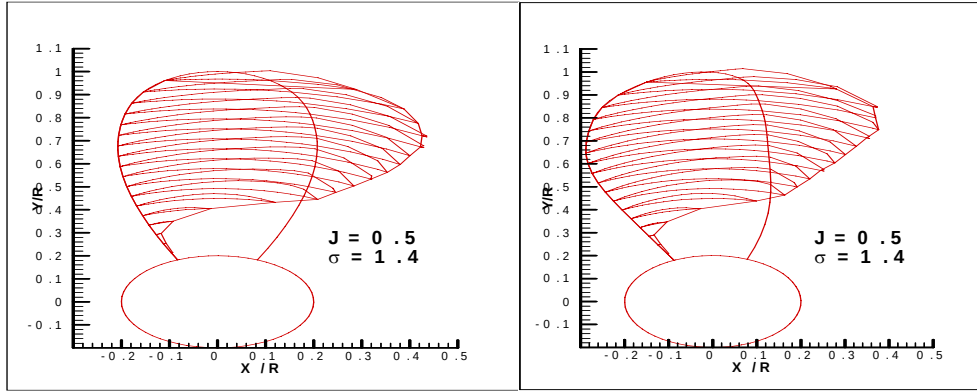
Şekil 8. Hatve oranının kaviteasyon şekli üzerindeki etkisi ($\sigma=1.4$).



Şekil 9. Hatve oranının sirkülasyon dağılımı (yükleme) üzerindeki etkisi.



Şekil 10. Sehim oranının kaviteasyon şekli üzerindeki etkisi ($\sigma=1.4$).



Şekil 11. Çalkılık değişiminin kaviteasyon şekli üzerindeki etkisi.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, pervane analizi için, sayısal bir girdap ağ yaklaşımı sunulmuştur. DTMB4148 pervanesi örnek uygulama olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- 1-) Kaviteasyon sayısının düşmesi kaviteasyon miktarını arttırmakta ve itme ve tork katsayılarını düşürmektedir. Bunun yanında yüksek J değerlerinde (düşük devirlerde) kaviteasyon sayısı yeterince düşükse verim değeri de çok büyük oranda düşebilmektedir. Pervane dizaynı sırasında buna dikkat edilmelidir.
- 2-) Artan ilerleme katsayıları (düşen pervane devri) ile azalan kaviteasyon büyüklük ve hacmi elde edilmiştir.

3-) Artan hatve oranı kavitasyon miktarını ve pervane üzerindeki yüklemeyi arttırmaktadır.
4-) Kesitlerdeki sehim oranı kavitasyon miktarında çok büyük değişimlere neden olmamaktadır.
5-) Çalıklık oranının değiştirilmesi kanat kavitasyon karakteristiğini önemli ölçüde değiştirebilmektedir.
Mevcut çalışma, hesaplara daha fazla parametre dahil edilerek genişletilebilir. Bu da şu anda gerçekleştirilme aşamasındadır.

Kaynaklar

- [1] "ITTC" www.ittc.org.
- [2] "Pervane verileri" <http://www.ce.utexas.edu/prof/kinnas/home.html>
- [3] Lee, H., Kinnas, S.A. MPUF-3A (Version 1.2) User's Manuel, Ocean Engineering Group Report 01-2, UT Austin, TX, 2001.
- [4] Mishra, B. Prediction of Performance of Podded Propulsors via Coupling of a Vortex Lattice Method and an Euler or a RANS Solver. Ocean Engineering Group Report 05-1, UT Austin, 2005.
- [5] Kerwin, J., Lee, C.-S. Prediction of Steady and Unsteady Marine Propeller Performance by Numerical Lifting-Surface Theory. Trans. SNAME, USA, 1978.
- [6] Lee, C.-S. Prediction of Steady and Unsteady Performance of Marine Propellers with or without Cavitation by Numerical Lifting Surface Theory. PhD thesis, M.I.T., Department of Ocean Engineering, 1979.
- [7] Breslin, J., Van Houten, R., Kerwin, J., Johnsson, C.-A. Theoretical and Experimental Propeller-Induced Hull Pressures Arising from Intermittent Blade Cavitation, Loading, and Thickness. Trans. SNAME, USA, 1982.
- [8] Kerwin, J., Kinnas, S., Wilson, M., J., M. Experimental and Analytical Techniques for the Study of Unsteady Propeller Sheet Cavitation. 16th Symposium on Naval Hydrodynamics, Berkeley, California, 1986.
- [9] Kinnas, S.A. Leading-edge corrections to the linear theory of partially cavitating hydrofoils. Journal of Ship Research 1991; 35(1): 15-27.
- [10] Kinnas, S.A., Fine, N. Theoretical prediction of the midchord and face unsteady propeller sheet cavitation. Proceedings of the Fifth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Hiroshima, Japan, 1989.
- [11] Kinnas, S., Griffin, P., Choi, J.-K., Kosal, E. Automated design of propulsor blades for high-speed ocean vehicle applications", Trans. SNAME, 1998.

- [12] Kinnas, S.A, Gu, H., Gupta, A., Lee, H. Numerical prediction of the performance of podded propulsors and ducted propellers. Proceedings of the 13th Offshore Symposium on The Application of Emerging Technologies Offshore, Houston, Texas, 2004.
- [13] Szantyr, J.A. Hydrodynamic Model Experiments with Pod Propulsion. *Oceanic Engineering International* 2001; 5(2): 95-103.
- [14] Kinnas, S.A., Choi, J.K., Lee, H., Young, Y.L., Gu, H., Kakar, K., Natarajan, S. Prediction of Cavitation Performance of Single/Multi Component Propulsors and Their Interaction with the Hull. *Trans. of SNAME, USA*, 2002.
- [15] Bal, S., Kinnas, S.A. A Numerical Wave Tank Model for Cavitating Hydrofoils. *Computational Mechanics* 2003, 32(4-6):259-268.
- [16] Bal, S., Kinnas, S.A., Lee, H. Numerical Analysis of 2-D and 3-D Cavitating Hydrofoils Under a Free Surface. *Journal of Ship Research* 2001, 45(1): 34-49.
- [17] Bal, S., Güner, M., Akyıldız, H. Preliminary Results of a Numerical Method for Podded Propulsors”, T-POD Technological Advances in Podded Propulsors Conference, Brest, France, October 2-5, 2006.
- [18] Bal, S. Podlu Pervane Analizi İçin Sayısal Bir Yöntem. *Deniz Harp Okulu Bülteni* 2006, 42: 43-59.
- [19] Bal, S., Güner, M., Akyıldız, H. Podlu Pervane Analizi İçin Bir Yöntem. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası*, 170, sf: 13-19, Ekim 2006.

DİZİN

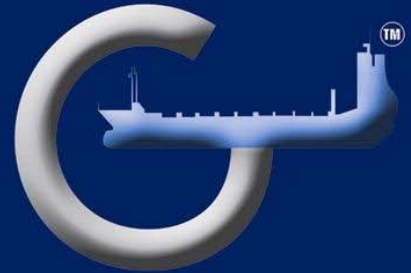
Yazarın Soyadı, Adı	Sayfa No
ACAR İsmail Hakkı	406
AKAN Çiğdem	216
AKANLAR Fuat Tolga	262
AKYILDIZ Hakan	24, 144, 251
ALARÇİN Fuat	47
ALTUNSARAY Erkin	56
ATLAR Mehmet	1
AYDIN Muhsin	226
BAL Şakir	239
BARLAS Barış	36, 118, 144
BAŞARAN Hasan Üstün	336
BAYRAKTARKATAL Ertekin	91
BEJİ Serdar	118
BİLGİN GÜNEY Ceren	65, 80
BİLİCİ Ahmet	391
BOZKURTOĞLU, Şafak Nur Ertürk	216
ÇELEBİ Uğur Buğra	262
ÇELİK, Rahmi Nurhan	65
DİKİLİ A.Cemil	118
DİYAROĞLU Çağan	56
DURAK Onur Sabri	196, 206
ERGİN Selma	167, 181
GÖREN Ömer	155
GÜNEY Caner	65
HELVACIOĞLU İsmail H.	36, 129, 304
HELVACIOĞLU Şebnem	391
HIZIR Olgun Güven	292
İNSEL Mustafa	36, 304

Yazarın Soyadı, Adı	Sayfa No
KARAYEL Hasan Barış	101
KILINÇ Alican	91
KORKUT Emin	1
MELİKOĞLU Cem	437
MENTEŞ Ayhan	129
METE Serdar	346
OKAN Barbaros	101
ÖZÜM Sadık	111
PEŞMAN Emre	14
SARAÇOĞLU Burak Ömer	36
SARIDİKMEN Ayhan	282
SÜKAN L.Macit	381
SÜLÜS Aydın	167
ŞENER Bekir	111
ŞENLİTÜRK Fevzi	47,
TAKİNACI Ali Can	188
TAYLAN Metin	14, 270
TİMUR R.Tansel	363
ÜNAL N.Erdem	251
ÜNAL U Oral	155
ÜNSAN Yalçın	36, 292, 316, 327, 229,346
VAR H.Okan	316
VARDAR Nurten	262
YALÇIN İsmail	381
YONSEL Fatma	65, 80
YILMAZ, Hüseyin	111



Gebzedeki 28.000 m²'lik fabrikamızda, her türlü güverte makine ve ekipmanlarının, can kurtarma sistemlerinin, güverte kreynlerinin, ambar kapaklarının, gemi sevk ve manevra sistemlerinin, tasarımı, imalatı, servisi, tamir ve bakımı 1982'den bu yana yapılmaktadır. Müşteri istek ve beklentilerini zamanında, en uygun koşullarda ve en üst düzeyinde gerçekleştiren firmamız Türk Loydundan 2004 yılında EN ISO 9001:2000 belgesini alarak kalitesini uluslararası platformda belgelemiştir.

AĞIR DENİZ ŞARTLARINA GÜRDESANLA SAĞLAM ÇÖZÜMLER



Adres : Tavşanlı Kadiyeri Mevkii
2. Bölge Gebze / KOCAELİ
Tel : +90 262 724 85 46 (Pbx)
Fax : +90 262 724 85 54
web : www.gurdesan.com.tr
e-mail : info@gurdesan.com.tr





TÜRK LOYDU

BAĞIMSIZ, TARAFSIZ, GÜVENİLİR UZMAN



www.turkloydu.org
Ulusal kuruluş, uluslararası başarı...



MERKEZ : Tersaneler Cad. No: 26 34944 Tuzla/İSTANBUL Tel: +90 216 446 22 40 Fax: +90 216 395 49 95
ANKARA : Atatürk Bulvarı 99/8 Sefaretler Ap. D:1 06680 Kavaklıdere/ANKARA Tel: +90 312 468 10 46 Fax: +90 312 427 49 42
İZMİR : Atatürk Cad. No:378 K:4 D:402 Kavalalılar Ap. 35220 Alsancak/İZMİR Tel: +90 232 464 29 88 Fax: +90 232 464 87 51
MARMARİS : Atatürk Cad. 99. Sok. Ketentaş Ap. K:9 D:6 Marmaris/MUĞLA Tel: +90 252 412 46 55 Fax: +90 252 412 46 55