

## ESNEK GEMİ MODELLERİ İLE GEMİ DAVRANIŞLARININ DENEYSEL ÇALIŞMALARINA YÖNELİK BİR İNCELEME

Salim TAMER\*, Barış BARLAS, Yalçın ÜNSAN  
\* *İstanbul Teknik Üniversitesi / stamer@itu.edu.tr*

### ÖZET

Ülkeler arası ticaret, büyük oranda deniz yolu ile limanlar arasında yapılmaktadır. Talep edilen ürünlerin ticari faaliyetlerle sağlanabilmesi için farklı tipte ve büyüklükte gemilere ihtiyaç duyulur. Büyük tonajdaki gemilerin ve yüksek hızlı teknelerin akışkan ortamı olan okyanus ve okyanus dalgaları ile etkileşimi özellikli bir araştırma alanıdır. Akışkan ile yüksek etkileşime sahip bu tip gemilerin okyanus dalgalarında seyir halinde yapısal güvenliği için global davranışlarının incelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, büyük gemiler ve ek olarak yüksek hızlı teknelerin okyanus dalgaları içindeki yapısal davranışını deneysel yöntemlerle inceleyen çalışmalar gözden geçirilmiştir. Ayrıca bu çalışma, ülkemizde gemi modellerinin deneysel hidroelastik analizi yapılmamış olmasından dolayı, yapılabilecek potansiyel çalışmalara rehberlik edecektir.

**Anahtar kelimeler:** hidroelastisite; esnek gemi modelleri; gemi davranışı

### 1. Giriş

Hızla artan dünya nüfusuna paralel olarak, gelişen ülke ekonomileriyle birlikte insanların tüketime olan talebi artmaktadır. Tüketime olan talebi karşılayabilmek için üretim ve üretilen malların hızlı ve güvenli bir biçimde ulaştırılması gerekmektedir. Ülkeler arası ticaret büyük oranda deniz yolu ile limanlar arasında yapılmaktadır. Talep edilen ürünlerin ticari faaliyetlerle sağlanabilmesi için farklı tipte ve büyüklükte gemilere ihtiyaç duyulur. Bu gemi tiplerinin başlıcaları, kuru dökme yük gemileri, ham petrol tankerleri, LPG ve LNG taşıyan tankerler, kimyasal madde taşıyan tankerler ve konteyner gemileri ile Ro-Ro gemileridir. Bu gemilerin servis ömürleri boyunca yapısal bir bütün olarak ve en az oranda bakım maliyetleri gerektirecek şekilde taşıdıkları ürünleri sevk etmeleri istenmektedir. Büyük boyutlardaki gemilerin akışkan ortamı olan okyanus dalgalarında seyir halinde yapısal güvenliği için top yekûn davranışlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Büyük ve çok büyük boyutlardaki gemilere ek olarak akışkan ortamı ile fazlaca etkileşen bir diğer gemi tipi hızlı giden teknelerdir. Hızlı giden tekneler, su dalgaları ile karşılaştıklarında, dövünme ve bunun etkisiyle olan davranışlar önem arz etmektedir.

Yüksek derecede düzensiz olan akışkan ortamını ifade eden okyanus dalgalarında, gemilerin yapısal davranışları hidroelastik analiz ile incelenir. Hidroelastisite bilim dalı olarak, farklı bilim adamları tarafından tanımlanmıştır. Bu tanımlardan birisi Faltinsen tarafından aşağıdaki gibi yapılmıştır: “Hidroelastisite, sıvı akışının ve yapısal elastik davranışının aynı anda ele alındığı ve karşılıklı etkileşime sahip olduğu anlamına gelir, yani elastik titreşimler, basınç alanıyla bir sıvı

akışına neden olur ve hidrodinamik kuvvetler yapısal elastik titreşimleri etkiler.” Bir diğer hidroelastite tanımı da Bishop tarafından aşağıda verildiği gibi yapılmıştır: “Hidroelastite, sıvılarla deforme olabilen cisimlerin hareketleriyle ilgilenen bilim dalıdır.” Gemilerin global hidroelastisitesi incelenirken nümerik ve deneysel yöntemler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, deneysel hidroelastisite yöntemiyle, geçmişte hidroelastik davranışları analiz edilen gemi modelleri ile ilgili yayınlar incelenmiştir. Deneysel hidroelastisite, gemi modelini bütün olarak elastik inşa etmek ya da belirli sayıda alt dilimlere bölerek analiz etmekle mümkündür. Her iki yöntem de bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Ülkemizde deneysel olarak bir geminin hidroelastik analizi daha önce yapılmamıştır. İlerleyen teknolojik altyapı ile birlikte, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı’nda deneysel hidroelastik analizinin gemi modelleri için yapılması ile mümkün olabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, yapılan bu araştırma çalışması bu konuda yapılacak model deneylerine yol gösterici olacaktır.

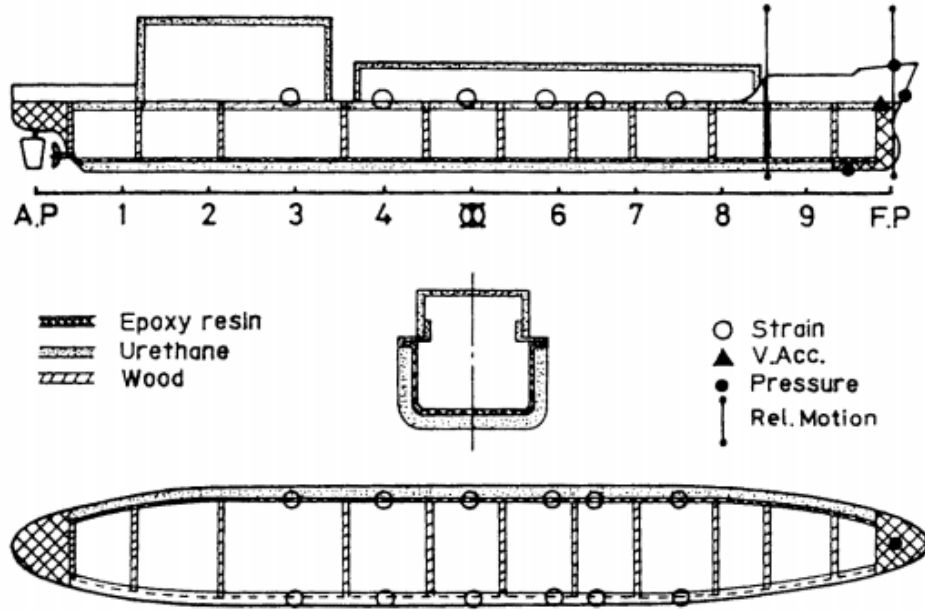
## 2. Esnek Gemi Modelleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Geminin esnek yapısını incelemek için iki farklı deneysel yaklaşım mevcuttur. Birincisi tamamen elastik malzemeden gemi modelini inşa etmektir. İkincisi ise belirli sayıda rijit parçayı elastik kiriş ile birleştirmektir. İlk söylenen seçenek çok kabul gören bir tercih değildir. Çünkü tam esnek bir gemi modeli inşa etmek çok karmaşık ve pahalıdır. Gemi modelini alt elemanlara bölüp, belirli sayıda dilim (segment) denilen rijit parçaları esnek kiriş ile birleştirerek analiz etmek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Dilimlerin sayısı, tanımlanmak istenen mod sayısına bağlıdır. Yüksek mod sayılarını değerlendirebilmek için daha fazla sayıda dilimden oluşan model yapmak gerekir. Parçaları birleştirmek için kullanılan kiriş genelde alüminyum ya da çeliktir bazen de plastik kullanılmıştır. Plastik malzeme üzerine yerleştirilen elektrikli gerinim ölçerler verimli değildir, bu da alüminyum ya da çelik kiriş tercihinin yönlendirir. Gerinim ölçerler ısı üretirler ve bu ısı plastikte uygun şekilde yayılmaz ve sorunlara yol açar. Optik gerinim ölçerler bu sorunun üstesinden gelmek için iyi bir çözüm olabilir fakat optik gerinim ölçerler genelde deneysel tesislerde kullanılmamaktadır.

Büyük gemiler çok esnek konstrüksiyon sonucunda, düşük asal frekanslara ve asal modlara sahiptir. Bu özellik kısa periyodik dalgalarda, yaylanma (springing) ve ani dalga yüklerinde kırbaçlama (whipping), denilen dinamik davranışlarda artışa yol açar. Bu dinamik davranışta, artan yorulmayla birlikte deformasyona ve yapıdaki nihai yüklerde artışa sebep olur. Bu özellikler dinamik davranışın, büyük gemiler için dizayn yüklerindeki önemini gösterir.

Geçmişte çeşitli tiplerdeki gemiler için birçok deney yapılmıştır. Bu deneylerden ilki daha önce dövünme ve kırbaçlama davranışlarını inceleyen Lewis tarafından yapılmıştır. Lewis, geminin esnek yapısının davranışının, modele göre tamamen değişken olduğunu ve tamamen yeni araştırma alanı oluşturduğunu belirledi (Lewis, 1954).

Watanabe ve Ark., köpük ve reçineden yapılan S-175 konteyner gemisi modelinin hidrodinamik kuvvetlerini ve farklı flare’li baş bodoslama şekillerine sahip alternatif dizaynlarda etkisini incelemiştir. Sonuçlar çökme ve sarkma momentleri için en yüksek değerleri arasındaki farkı göstermiştir (Watanabe, 1989). Köpük ve reçineden yaptıkları deney düzeneği Şekil 1’de görülebilir (Watanabe, 1989).

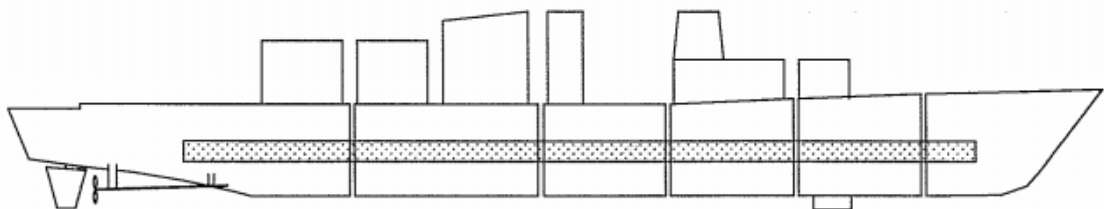


Şekil 1. Ölçüm istasyonlarının düzenlenmesi (Watanabe, 1989).

İkinci alternatif ise birleştirilmiş dilimler (joint-segmented) ile model üretmektir. Bu yöntemle tamamen elastik kiriş ya da rijit parça ve menteşelerden oluşan birleştirilmiş kiriş kullanılabilir. Swada ve Ark. elastik kirişe birleştirilmiş dilimlerden, oluşan farklı gemileri modellemişlerdir. Geliştirilen iki yaklaşım tatmin edici sonuçlar vermiştir. Basılan makalenin dili Japoncadır, sadece özeti İngilizcedir, bu nedenle detayları incelenememiştir (Sawada, 1987).

Hay ve Ark. firkateyn için PVC model kullanmışlardır. Geminin temel yapısal elemanları modele eklenmiştir. Modelin sahip olduğu donanımdan dolayı sadece gemi ortasındaki kesit tesir kuvvetleri ölçülmüştür. Kirişte, yedi tane noktaya gerinim ölçerler boyuna gerilimleri ölçmek için yerleştirilmiştir (Hay, 1994).

McTaggart ve Ark. altı adet fiberglas dilimin elastik kirişe bağlı olduğu bir firkateyn modelini yapmışlardır. Kiriş polikarbon plastikten üretilmiş, karbon/epoksi ile desteklenmiştir, Şekil 2’de görülebilir (McTaggart, 1997). Gemi boyunca rijitlik, kirişin boyu ve genişliği ile ayarlanabilir dizayn edilmiştir. McTaggart ve Ark. eğilme momenti ile ilgili ilk üç asal modu doğru test etmiştir. Enine eğilme momenti ile ilgili modlarla ilgili tam ölçekli veri ile kıyaslama yapılamamıştır (McTaggart, 1997).



Şekil 2. Hidroelastik modelin profil görüntüsü (McTaggart ve Ark., 1997).

Kapsenberg ve Brizzolara, iki dilimli model ile hızlı feribot gemisinin modelini yapmıştır. Model yaylara bağlanmış dilimlere ve rijitliği ayarlamaya imkân verecek biçimde tasarlanmıştır. Konstrüksiyonu yapılan model birleşenleri ile rezonans frekansı değerini düşürmeye olanak sağlanmıştır. Rijitliği azaltınca, gemi ortasındaki enine eğilme momentinin çok fazla arttığı görülmüştür (Kapsenberg, 1999).

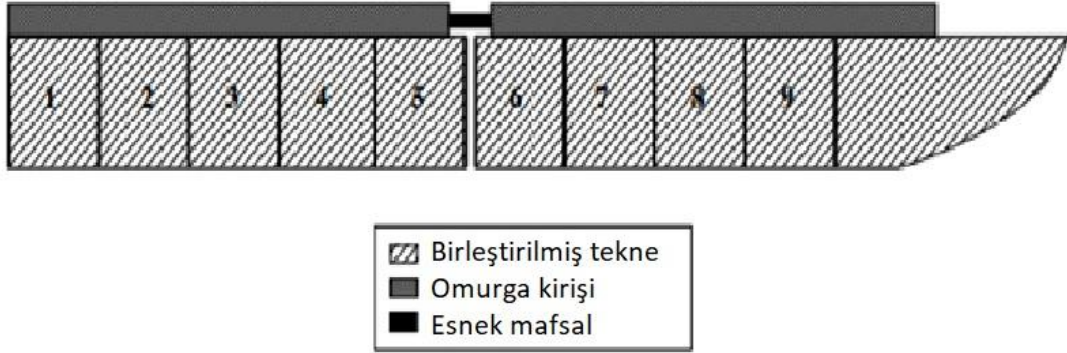
Malenica ve Ark. çok esnek dubayı on dilimle modelleyip, hareketleri ve deformasyonları test etmişlerdir. İki esnek tabaka, dilimleri bağlamak için kullanılmıştır. Modal analizlerde, doğal frekansları dalga frekanslarını aştığını göstermişlerdir (Malenica, 2003).

Fonseca ve Ark. düzenli dalgalarda ilerleyen konteyner gemisi, deneysel olarak incelenmiş ve lineer olmayan düşey davranışlar ölçülmüştür. Çalışma ITTC S-175 konteyner gemisinin baştan gelen düzenli dalgalardaki davranışları ile ilgilidir. Deneyler ilgilenilen frekans bölgesinde yürütülmüş ve küçükten büyüğe genlikleri değişen her dalga frekansı için belirli dalga genlikleri kullanılmıştır. Böylelikle lineer olmayan davranışlarda dalga genliğinin etkisi belirlenmiştir. Mutlak ve bağlı hareketleri, düşey ivmelenmeleri, kesme kuvvetlerini içeren davranışları, gemi ortası ve baş dikmeden  $\frac{1}{4}$  Lpp uzaklık için ölçülmüştür. Özellikle kuvvetlerde güçlü lineer olmayan etkiler belirlenmiştir (Fonseca ve Soares, 2004a).

Fonseca ve Soares, bir önceki çalışmada bahsedilen konteyner gemisin için ileri hızlı düzensiz dalgalarda ilerleyen düşey hareket ve kuvvetlerdeki lineer olmayan etkileri incelemiştir. Lineer olmayan zaman bölgesinde dilim metodunun nümerik sonuçları, ölçülen deneysel veri ile kıyaslanmıştır. Deneyler, deney tankında anlamlı dalga yükseklikleri 4.2 m, 6.1 m ve 9.9 m olan zorlu deniz şartları için üç farklı deniz durumunda yürütülmüştür. Baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerinin olasılık dağılımları incelenmiş, pozitif ve negatif pikler, davranışların hafifçe asimetrik olduğunu göstermiş ve dağılımları Rayleigh dağılımıyla benzer uyum göstermiştir. Pik noktalarındaki kuvvetlerin dağılımları, büyük oranda asimetrik ve Rayleigh dağılımından uzaklaşmaktadır. Nümerik simülasyon sonuçları ve deneysel veriler kıyaslanmış ve nümerik modelin lineer olmayan davranışların özelliklerini iyi yansıttığını göstermiştir. (Fonseca ve Soares, 2004b).

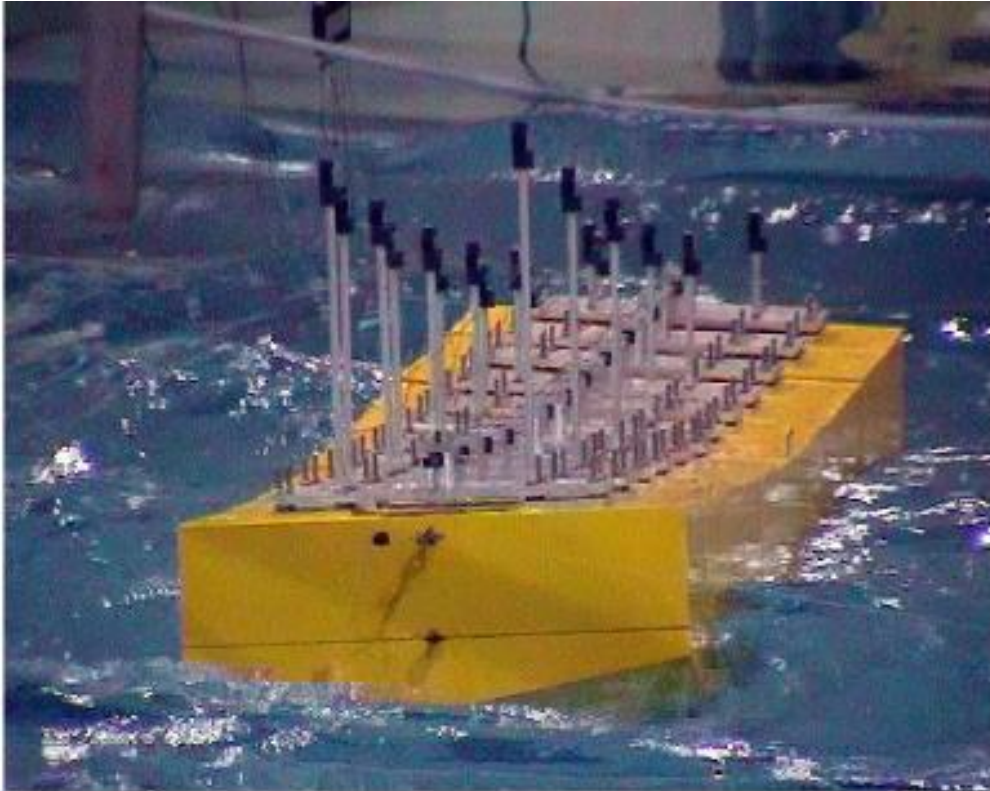
Dessi ve Ark. çok hızlı feribot için model deneyleri yapmıştır. Model, esnek alüminyum kirişe bağlı altı dilimden oluşuyordu. Boyuna eğilme modlarını doğru modelleyebilmek için yirmi alüminyum parça kullanılmıştır. Dikkat edilmesi gereken, baştan gelen dalgalarda boyuna eğilme momentleri, teorik olarak hesaplanan 3-düğüm noktalı eğilme momentlerine kadar uyumlu sonuçlar vermiştir (Dessi ve Ark., 2003; Dessi ve Marianni, 2006)

Lavroff ve Ark. tarafından tek gövdeli geminin dilimli modelini incelemiştir, deney düzeneklerinin taslağı Şekil 3'te sunulmuştur. Bu çalışmada, boyuna doğal frekans yanıtına göre yapının rijitliğini ve kütle dağılımını dilimli model üzerinden sıfır hızda ve sakin suda analiz etmişlerdir (Lavroff ve Ark., 2007). Deneyler model için kırbaçlama frekansını etkileyen parametreler üzerinden tam ölçekli geminin dövmeye maruz kalmasında davranışlarını ölçmek için yapılmıştır. Model ile gemi boyuna yüzme merkezinden iki yarıya bölünmüştür ve omurga kirişine bağlanmıştır. Modeldeki ıslak titreşim modları deneyi, rijitlik ve balast kütle dağılımı boyunca, esnek doğal frekansı analizinde önemli etkiler göstermiştir. İki serbestlik dereceli teorik model ile kırbaçlama frekansını ölçmek için ek su kütlesi yaklaşımı uygulanmıştır ve ölçülen deneysel veri ile uyum göstermiştir. Islak modal davranışın sönümlere oranları varyasyonlara göre ölçülmüştür.



Şekil 3. NPL 6A dilimli teknesinin şematik diyagramı (Lavroff ve Ark., 2007).

Senjanović ve Ark. matematiksel bir model geliştirmiştir. Bu matematiksel model, gemi geometrisini, kütle dağılımını, yapı rijitliğini bilgilerinin gemi hidrostatığı, hidrodinamiği, dalga yükleri, gemi hareket ve titreşimlerinin birleşimini içermektedir. Sunulan teoriyi temel alan bilgisayar programı geliştirilmiş ve model deney sonuçları ile dalgalar içindeki hareketi ve deformasyonları bilinen, Şekil 4'te görülen esnek dilimli bir dubanın hidroelastik analizi için kullanılmıştır. Nümerik simülasyonların sonuçları, dalıp-çıkma, baş-kıç vurma, yalpa ve boyuna ve enine eğilme modları ve burulma için ölçülen yanıtlarla kıyaslanmış ve çok iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür. Geliştirilen program bu yöntemle kontrol edilmiş ve gemi benzeri yapıları içinde güvenilir hidroelastik analizlerde uygulanabilir olduğu göstermiştir (Senjanović ve Ark. 2008).



Şekil 4. Dalgalar içinde duba (Senjanović ve Ark. 2008).



Iijima ve Ark. tamamen elastik model ve dilimlere ayrılmış bir modelin olumlu ve olumsuz yönlerini kıyaslamıştır. Plastikten yapılmış, tamamen elastik model aşırı derecede iç sönüm kuvvetlerinden etkilenmiştir ve titreşim modlarının düzgün değerlendirmesini mümkün kılmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle esnek kirişe bağlanmış dilimlerden oluşan ve üst yüzünde beş tane açıklıktan oluşan alüminyum kiriş modelini önermiştir, önerdikleri deney modeli Şekil-5'te sunulmuştur (Iijima ve Ark., 2009).



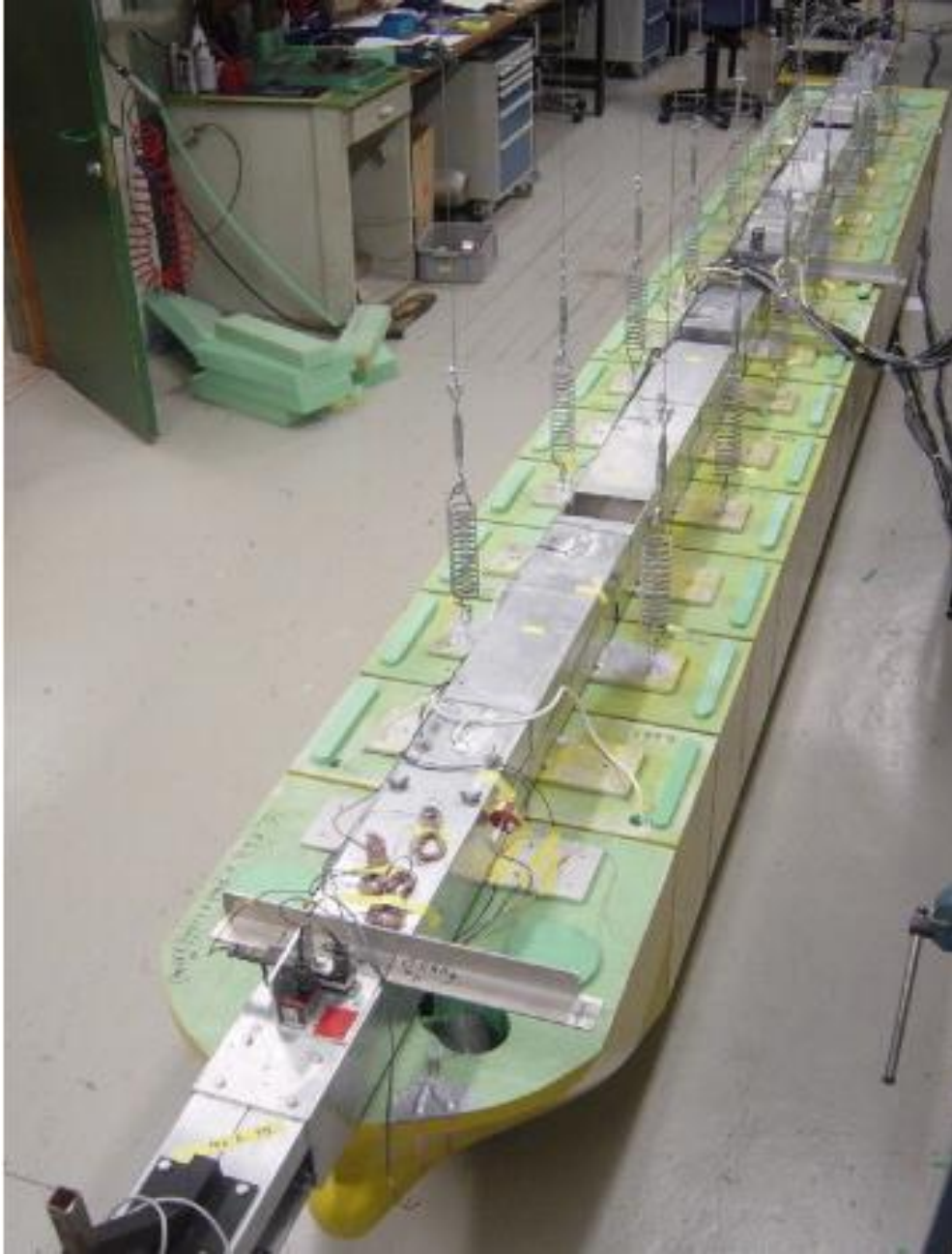
Şekil 5. Hidroelastik olarak ölçeklendirilmiş modelin fotoğrafı (Iijima ve Ark., 2009).

Drummen, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesindeki çalışmasında baştan gelen yüksek dalgalar altında konteyner gemisinin davranışını deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Yeni dizayn konteyner gemisi esnek model ile modellenmiş ve deneysel sonuçlar ölçülmüştür. Deneyler göstermiştir ki boyuna eğilme momentlerinin dördüncü ve altıncı harmonik mod değerleri birinci harmonik modun sırasıyla %25 ve %50'sine denk gelmiştir. Ayrıca dizayn için değerlendirilen deniz koşullarında gemi gövdesinin esnekliğinin boyuna eğilme momentini %35'e kadar artırabileceği ortaya konmuştur. Deneysel sonuçlardan elde edilen momentler lineer olmayan hidroelastik dilim teori yöntemi ile kıyaslanmıştır. Rijit cisim momentlerindeki lineer olmayan etkiler geminin kıç bölgesinde tahminin üzerinde çıkmıştır. Bunun yanında, yöntem gemi gövdesinin esnekliğinden dolayı eğilme momentlerinin artışını aşırı tahmin etme eğilimindedir. Nümerik sonuçlar deneysel sonuçlarla yakın uyum göstermiştir, yaptıkları esnek gemi modeli deney düzeneği ve dilimlerin bağlanması Şekil 6'da sunulmuştur (Drummen, 2009).



Şekil 6. III. Dilim fotoğrafı (Drummen, 2009).

Zhu ve Ark. Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesinde, eğilme ve burulma modlarının doğal frekanslarını tahmin etmek için çekme deney tankında birtakım deneyler yapmışlardır. Esnek, dilimli, alüminyum kiriş, üst kenarında beş tane kesip çıkarılmış parça ile yaklaşık olarak burulma rijitliğini ve enine, boyuna eğilme rijitliğini ölçmek için dizayn edilmiştir ve Şekil 7’de sunulmuştur (Zhu ve Ark., 2011). Çalışmada öncelikle, düzenli ve düzensiz dalgalarda, deneysel testlerle, eğilme ve burulma titreşimleri değerlendirilmiştir. Sönümlenme katsayıları, doğal frekanslar ve karşılık gelen mod şekilleri deneysel verilerden tespit edilmiş ve modal süperpozeyi temel alan nümerik model hidroelastik karakteristikleri hesaplamak için kullanılmıştır. Belirli sayıda hesaplama, zaman bölgesinde, yapısal karakteristiklerle ilgili yürütülmüş ve deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Deney sonuçları düzenli dalgalarda, titreşim üzerine faktörlerin etkisini göstermek için sunulmuştur. Aşırı tepki değerlerinde, eğilme ve burulma titreşimlerinin etkisi karışık deniz durumları için tahmin edilmiştir. Yürütülen deney sonuçlarına ek olarak belirsizlik analizleri de makalede sunulmuştur.



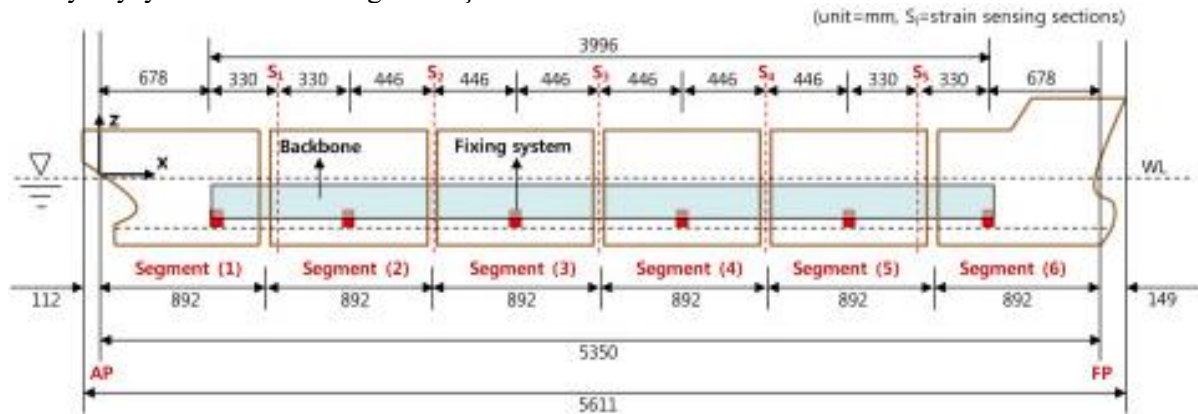
**Şekil 7.** Doğal frekansları ve havadaki yapısal sönüm oranlarını ölçmek için yaylarla desteklenen omurga modeli (Zhu ve Ark., 2011).

Zhu ve Moan büyük konteyner gemisinin hidroelastik davranışını incelemiştir. Konteyner gemilerinin artan boyutları, ıslak doğal frekansta azalmaya neden olduğunu ve örneğin 300 m ve üzeri konteyner gemilerinin, doğal frekanslarının 0.5 rad/s olabileceği gösterilmiştir. Gemi gövdesinin esnekliği değerlendirilirken düşük doğal frekanslardan dolayı hidrodinamik dalga yüklerinin tahmini zordur. Çalışmada araştırmacılar, düzenli dalgalarda ilerleyen 8600 TEU konteyner gemisinin modelini, lineer olmayan hidroelastik davranışını, WINSIR lineer olmayan



hidroelastik bilgisayar programı kullanılarak hesaplamayı amaçlamışlardır. Hesaplanan değerler, yatay eğilme momentinin gemi ortasındaki birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci harmonik değerleri için deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır.

Hong ve Kim, büyük bir konteyner gemisinin yaylanma ve kamçılama özelliklerini, dalgalarda ki bir dizi sistematik model deneyi ile araştırmıştır. Şekil 8’de sunulan, tek bir omurgaya sahip çok dilimli bir gemi modeli, yaylanma ve kamçılama sinyallerinin ölçümü için benimsenmiştir (Hong ve Kim, 2014). Bu makalede, açık bölüm omurgası durumunda, burulma yayını ve kırbaçlanmasını çıkarmak için bir dönüşüm yöntemi anlatılmıştır. Sonuç kısmında da daha yüksek dereceli yaylanma, daha yüksek modlu dönme tepkileri ve düzensiz dalgalardaki lineer ve lineer olmayan yaylanma etkileri vurgulanmıştır.



Şekil 8. Dilimlerin ve omurganın ayarlanması (Hong ve Kim, 2014).

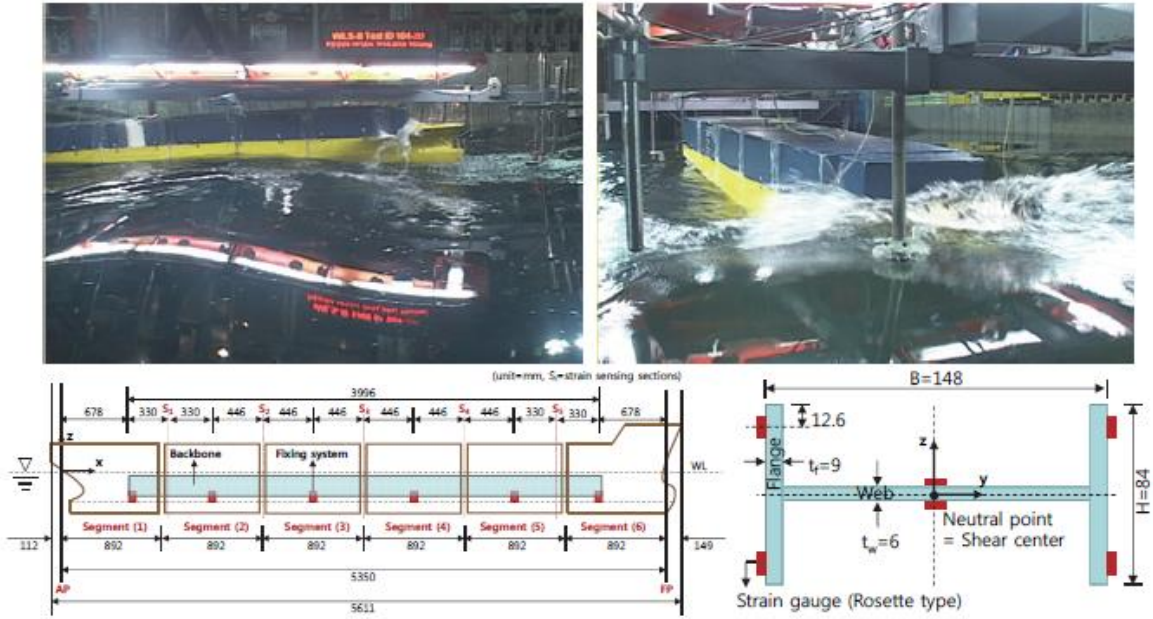
Hong ve Ark. tarafından KRISO’da (Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering) yürütülen diğer bir çalışmada, geminin baş kısmına etkiyen dövmüne yükleri, çok büyük konteyner gemisi için deneysel olarak incelenmiştir. Baş dövmüne anlık fotoğrafları Şekil 9’da verilen, 10000 TEU konteyner gemisinin 1/60 ölçekli, dilimli modeli baş kısmına gelen dövmüne kuvvetlerini hesaplamak için dizayn edilmiştir (Hong ve Ark., 2015). U-en kesite sahip, açık omurga kirişine, altı dilim ile bağlı gemi modeli elastik özellikleri karşılamak için yapılmıştır. Birçok sayıda yük hücresi dövmüne yüklerini ölçmek için modelin baş kısmına yerleştirilmiştir. Farklı gemi hızları için ve dalga karşılaşma açıları için düzenli ve karışık deniz koşullarında deneyler yürütülmüştür. Baş kısmında dalga ile karşılaşma açısının etkisiyle ilgili dövmüne yükleri ve tekne hızı ölçülen verilere göre değerlendirilmiştir. Sonuç kısmında, düzensiz dalgalarda dövmüne davranışı açıklanmıştır.



Şekil 9. Baş dövmüne anlık fotoğrafları (Hong ve Ark., 2015).

Kim ve Ark., KRISO’da 2006-2014 yılları arasında gemilerde dalga kaynaklı yükler konulu bir projeyi yürütmüştür. Proje omurga kirişle bağlı dilimlerden oluşan 10000 TEU konteyner gemisi

için ve dövünme kuvvetlerine ek olarak yaylanma ve kırbaçlama davranışları ile ilgili birçok kayda değer sonuç bulunmuştur. Şekil 10’da omurga kirişi düzenlemesi sunulan konteyner gemisi modeli görülebilir (Kim ve Ark., 2015). Bu bildiriye, kırbaçlama davranışı diğer konulardan ayrı bir şekilde özel olarak incelenmiştir. Hesaplanan rezonans olmayan kırbaçlama davranışı sunulup, değerlendirilmiştir. Konteyner gemilerinde eğilme modu frekansı, genelde burulma doğal frekansından yüksektir ve yapılan deneyler eğilme frekansının aksine belirli sayıda burulma frekansının frekans bölgesinde 1Hz’in altında olduğu gösterilmiştir. Eğilme durumunda, sadece bir tane doğal frekans 1Hz’in altındadır. Sonuç olarak, kırbaçlama testlerinde burulma momentleri, rezonans frekans noktalarına yakın birçok pik noktasını işaret etmektedir. Bu çalışma ayrıca kırbaçlama rezonans testleri ve eğilme ve burulma durumları arasındaki kıyaslamayı da özetlemiştir.



Şekil 10. Konteyner gemisi modeli ve omurga kirişinin düzenlemesi (Kim ve Ark., 2015).

Jiao ve Ark. tarafından çok büyük gemilerde dalga yüklerinin oluşturduğu davranışa ait gemi titreşimi ve akışkan etkisi, deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Kendi sevk sistemine sahip çelik omurga kirişi ile dilimli hidroelastik model detaylı olarak dizayn edilmiş ve deneyler çekme tankında yapılmıştır. Üç boyutlu lineer olmayan hidroelastik teori kullanılarak, zaman bölgesinde nümerik simülasyonlar yapılmıştır. Model gemileri Şekil 11’de görülebilir (Jiao ve Ark., 2015).



Şekil 11. Model gemi modeli (Jiao ve Ark., 2015).

### 3. Sonuçlar

Yetmişli yılların sonlarından bu yana geleneksel denizcilik ve deniz hidrodinamiklerini yapısal mekanik ve dinamikleri ile bir araya getirme konusunda kayda değer bir ilerleme kaydedilmiştir. Artan deniz yapıları çeşitliliği, yapı-akışkan etkileşiminin doğru bir şekilde modellenmesinde hidroelastisitenin önemini vurgulamıştır. Yakın geçmişteki araştırmalar, çok büyük gemiler üzerine yoğunlaşmaktadır. Özellikle geniş ambar açıklıklarına sahip açık en kesitli konteyner gemilerinin hidroelastik analizlerinin yapılması önem arz etmektedir. Çünkü konteyner gemilerinde, tespit edilen yatay-burulma titreşim modları, diğer gemi tiplerine göre daha çok önem arz eder. Buna ek olarak, araştırmacılar geçmişte düşey ve yatay kırbaçlamayla ilgili sinyalleri başarılı olarak incelemişlerdir. Fakat burulma yaylanma ve kırbaçlama ile ilgili kısıtlı bir bilgiye ulaşmışlardır. Omurga kirişi modeli kullanılarak burulma ile birlikte yaylanma ve kırbaçlama davranışlarının deneyleri, ölçümlerin karmaşık doğası gereği az sayıda yapılmıştır.

Klaslama kuruluşlarının ve gemi dizaynerlerinin ihtiyacı dolayısıyla nümerik analiz programlarını doğrulamak için deneysel hesaplanan yaylanma ve kırbaçlama ile ilgili veriye ihtiyaç artmıştır. Çünkü nümerik analiz programlarını doğrulamak için model deneyleri en güvenilir bir yoldur. Dalga kaynaklı akışkan yükleri, nihai ve yorulma ile ilgili deformasyonlarda gemi klaslama kurallarında değerlendirilir. Mukavemet ve yorulma analizlerinde aynı formüller gemi kirişinde oluşan eğilme momentlerini hesaplamada kullanılabilir. Bu formüller aslında gerçek gemilerdeki tecrübelerden geliştirilmiştir. Temel bilgi yıllar içerisinde tekrar değerlendirilmiş olsa da eğilme momenti ile ilgili temel kurallar gemi uzunluğuna, genişliğine, blok katsayısına ve dalga sayısına bağlıdır.

Sonuç olarak, ülkemizde gemilerin deneysel hidroelastik analizi henüz yapılmamış olmasından dolayı, bu literatür çalışması yapılabilecek olası çalışmalara yol gösterici niteliktedir. Ülkemiz tersanelerinde çok büyük gemilerin inşa edilmesi ile deneysel bilgilere ihtiyaç artacaktır. Yeni modern deney havuzlarının inşası ya da var olan İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nın modernize edilmesiyle gelecekte bu tür çalışmaların ülkemizde yapılmasını öngörmekteyiz. Bu ölçümler piezo özellikli veya strain-gage özellikli algılayıcılar ile yapılabilir. Ayrıca hassas LVDT ölçerler de kullanılabilir. Bu tür dönüştürücüler 20 yıldan beri İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Mesut Savcı Mukavemet Laboratuvarı'nda üretilmektedir.

**Kaynaklar:**

Dessi, D., Mariani, R., La Gala, F. and Benedetti, L., (2003). Experimental analysis of the wave induced response of a fast monohull via segmented-hull model. FAST 2003 conference, Ischia, Italy, 7-10 October 2003, pp.75-82.

Dessi, D. and Mariani, R., (2006). Slamming load analysis of a fast vessel in regular waves: a combined numerical/ experimental approach. 26th Symp on Naval Hydrodynamics, Rome, 17-22 September 2006.

Drummen, I. (2008). Experimental and numerical investigation of nonlinear wave-induced load effects in container ships considering hydroelasticity. PhD dis., NTNU.

Fonseca, N., & Guedes Soares, C. (2004a). Experimental investigation of the nonlinear effects on the statistics of vertical motions and loads of a container ship in irregular waves. *Journal of Ship Research*, 48(2), 148-167.

Fonseca, N., & Guedes Soares, C. (2004b). Experimental investigation of the nonlinear effects on the vertical motions and loads of a container ship in regular waves. *Journal of Ship Research*, 48(2), 118-147.

Hay, B., Bourne, J., Engle, A. and Rubel, R., (1994). Characteristics of hydrodynamic loads data for a naval combatant. *Hydroelasticity in Marine Technology 1994*, Trondheim, 22-28 May 1994, pp.169-188.

Hong, S. Y. and Kim, B. W. (2014). Experimental investigations of higher-order springing and whipping-WILS project. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(4), 1160-1181.

Hong S. Y., Kim K. H. and Kim B. W. (2015). An experimental investigation on bow slamming loads on an ultra-large container ship 7th International Conference on Hydroelasticity In Marine Technology.

Iijima, K., Hermundstad, O.A., Zhub, S. and Moan, T. (2009). Symmetric and antisymmetric vibrations of a hydroelastically scaled model. *Hydroelasticity in Marine Technology 2009*, Southampton, UK, 8-10 September 2009, pp.173-182.

Jiao, J., Ren, H. and Adenya, C. A. (2015). Experimental and numerical analysis of hull girder vibrations and bow impact of a large ship sailing in waves. *Shock and Vibration*, 2015.

Kapsenberg, G.K. and Brizzolara, S. (1999). Hydroelastic effects of bow flare slamming on a fast monohull. FAST-99, Seattle, 31 August - 2 September 1999.

Kim B. W., Hong S. Y. and Kim K. H. (2015) Resonant and non-resonant whipping responses of a container model ship in regular and irregular waves. 7th International Conference on Hydroelasticity In Marine Technology.



Kim K. H., Kim B. W. and Hong S. Y. (2015) Experimental study on correlation between slamming impact and whipping vibration for an ultra-large containership. 7th International Conference on Hydroelasticity In Marine Technology.

Lavroff, J., Davis, M. R., Holloway, D. S. and Thomas, G. (2007). Experimental analysis of the wet flexural mode response of an NPL 6A hydroelastic segmented model. Australian Journal of Mechanical Engineering, 4(2), 197-207.

Lewis, E.V. (1954). Ship model tests to determine bending moments in waves. Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), 62, pp.426-490.

Malenica, S., Molin, B., Remy, F. and Senjanovic, I. (2003). Hydroelastic response of a barge to impulsive and non-impulsive wave loads. Hydro-elasticity in Marine Technology 2003, Oxford, UK, 15-17 September 2003, pp. 107-115.

McTaggart, K., Datta, I., Stirling, A., Gibson, S. and Glen, I. (1997). Motions and loads of a hydroelastic frigate model in severe seas. SNAME Annual meeting, Ottawa, 15-18 October 1997, pp.1-24.

Sawada, H., Watanabe, I., Yamamoto, T., Tanizawa, K., Ishida, S., Ueno, M. and Miyamoto, T. (1987). On an elastic model to simulate elastic hull responses of ships, report. Japan: Ship Research Institute, Ministry of Transport.

Senjanović, I., Malenica, Š. and Tomas, S. (2008). Investigation of ship hydroelasticity. Ocean Engineering, 35(5), 523-535.

Watanabe, I., Ueno, M. and Sawada, H. (1989). Effects of bow flare shape to the wave loads of a container ship. Journal of the Society of Naval Architects of Japan, 166, pp.259-266.

Zhu, S., Wu, M. and Moan, T. (2011). Experimental investigation of hull girder vibrations of a flexible backbone model in bending and torsion. Applied Ocean Research, 33(4), 252-274.

Zhu, S. and Moan, T. (2014). Investigation into the nonlinear hydroelastic response of an 8600-TEU container ship model advancing in regular waves. Ships and Offshore Structures, 9(1), 74-87.

