

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİLERİN DARBE VE ÇARPIŞMA ANALİZİ

Can KIRAN

Şubat, 2024

İZMİR

GEMİLERİN DARBE VE ÇARPIŞMA ANALİZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı Programı



Can KIRAN

Şubat, 2024

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

CAN KIRAN tarafından **PROF.DR. KADRI TURGUT GÜRSEL** yönetiminde hazırlanan “**GEMİLERİN DARBE VE ÇARPIŞMA ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Kadri Turgut GÜRSEL

Danışman

Prof. Dr. Gökdeniz NEŞER

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Murat BENGİSU

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Destekleri için Annem ve Babama; tezimin ilerlemesinde yöntem ve vizyon oluşturmamı sağlayan Prof. Dr. Kadri Turgut GÜRSEL'e teşekkürü borç bilirim.

Can KIRAN



GEMİLERİN DARBE VE ÇARPIŞMA ANALİZİ

ÖZ

Deniz taşımacılığında, liman ve boğaz bölgeleri ile kanal geçişlerinde yoğun trafik oluşmaktadır. Bu duruma, olumsuz hava şartlarının eklenmesi sonucu kazalar meydana gelebilmektedir. Deniz kazaları gemilerin birbirlerine çarpması veya karaya oturması şeklinde gelişmektedir.

Tankerler, deniz taşımacılığında kullanılan gemilerdir. Tanklarında sıvı olarak ham veya işlenmiş petrolü ya da türevlerini taşırlar. Bu nakliyat tüm deniz taşımacılığı içinde en büyük taşıma tonajını oluşturur. Belirli bölgelerde ortaya çıkmakta olan bu yoğun trafik kaza riskini artırmaktadır. Herhangi bir geminin bir tankere veya tankerlerin birbirlerine çarpmasıyla denize petrol veya türevleri yayılmaktadır. Yayılan bu kirliliğin kıyı ve denizel ekosisteme olumsuz etkileri bulunduğu gibi, doğal denizel ortamda ya da üretim çiftliklerinde bulunan canlıların doğrudan yok edildiği, rekreasyonel faaliyetlerin engellendiği olumsuz etkiler de ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, bir geminin baş bodoslaması ile bir tankere veya konteyner gemisine bordasından çarpma simülasyonları ayrıntılı olarak ANSYS / LS-DYNA yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Gemilerin çarpışması sırasında açığa çıkan enerji değerleri ve oluşan deformasyonlar incelenerek hasar analizleri yapılmıştır. Dolayısıyla tanker ve diğer gemi konstrüksiyonlarının henüz tasarım aşamasında ağır kaza senaryolarına göre tasarlanması gerekliliği ortaya konmuş ve bu doğrultuda öneriler geliştirilmesi mümkün olmuştur. Böylelikle oluşacak kazalarda, ortaya çıkacak hasarın sınırlandırılması, çevre kirliliğinin engellenmesi veya en azından etkili oranda sınırlandırılması büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gemi inşa çeliği, Gemi konstrüksiyonu, Gemilerde çarpışma, Yapısal analiz.

IMPACT AND COLLISION ANALYSIS OF SHIPS

ABSTRACT

In maritime transportation, intense traffic occurs within ports, straits and canal passages. When severe weather conditions are added to this situation, accidents can be unavoidable. Accidents mainly occur in the form of ships colliding with each other or running aground.

Tankers are vehicles used in maritime transportation. They transport processed or crude oil itself and its derivatives in their tanks. This type of transportation constitutes the largest tonnage in all maritime transportation. The intense traffic, which occurs in certain regions, increases the risk of accidents. When a ship crashes into a tanker or tankers into each other, oil or its derivatives are spread into the sea. This pollution has negative effects on the coastal and marine ecosystem, as well as causes the direct destruction of living creatures in the natural marine environment and/or in production farms and the prevention of recreational activities.

In this study, simulations of a ship's forecastle hitting a tanker or container ship from its side were examined in detail using ANSYS / LS-DYNA software. Damage analyzes were carried out by examining the energy values released and the deformations that occurred during the collision of the ships. Therefore, it has been revealed that tanker and other ship constructions need to be designed according to severe accident scenarios at the design stage, and it has been possible to develop suggestions in this scope. Thus, it is of great importance to limit the damage that will occur in accidents and to prevent environmental pollution or at least to limit it effectively.

Key Words: Shipbuilding steel, Ship construction, Ship collision, Structural analysis.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ-MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
BÖLÜM ÜÇ-GEMİLERDE ÇARPIŞMANIN İNCELENMESİ	8
3.1 Temel Çarpışma Araştırmaları.....	8
3.1.1 Hesaplamalarda Kullanılan Farklı Hata Kriterleri.....	8
3.1.2 Gemi Çarpışma Deney ve Analizleri	10
3.2 TNO Çarpışma Deneyinin Doğrulanması.....	15
3.2.1 Yazılıma Veri Girişi.....	15
3.3 Serbest Düşme Deneyinin Doğrulanması (ASIS).....	20
BÖLÜM DÖRT-ÇARPIŞMA ANALİZLERİ.....	23
4.1 Yan Çarpmanın Matematiksel Olarak Tahmini.....	23
4.2 Seçilen Konstruksiyonların Analiz Aşamaları.....	25
4.3 Yeni Bir Baş Bodoslama Tasarımı.....	32
BÖLÜM BEŞ-SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	35
KAYNAKLAR.....	37

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Ham petrol sızıntısının etkileri.....	3
Şekil 2.1 Otomobilin önden darbe testi.....	5
Şekil 2.2 Otomobilin yandan darbe testi.....	5
Şekil 2.3 Otomobilin tavan darbe testi.....	6
Şekil 2.4 Kaynaklanan bloklar.....	7
Şekil 3.1 Gerilme ve gerinim formülasyonuna göre oluşturulan karakteristik eğriler.	8
Şekil 3.2 Test-1	9
Şekil 3.3 Test-2	9
Şekil 3.4 Test-3	9
Şekil 3.5 Farklı ağ yapısının kullanıldığı modelin LS-DYNA analizlerinde Kuvvet-Yaralanma derinliği değerleri.....	9
Şekil 3.6 Yumrubaşın gemi bordasında (dış sac) oluşturduğu hasar.....	10
Şekil 3.7 Nedlloyd gemisine ait yumrubaş ve çarptığı gemi gövde kesiti (Amatha).	11
Şekil 3.8 Saptanan kuvvet ve enerji ile penetrasyon değerleri.....	12
Şekil 3.9 Sönümlenen enerjilerin karşılaştırılması.....	12
Şekil 3.10 Gövde modeli.....	13
Şekil 3.11 Yumrubaşı olan ve olmayan gemilerin diğer geminin sancak bordasına çarpması.....	13
Şekil 3.12 (a) Kuvvet-Penetrasyon ve (b) Enerji-Penetrasyon diyagramları.....	14

Şekil 3.13 a) ve b) %50 ve %90 şiddet durumu ile yumrubaşlı baş bodoslamanın çarpmasında öngörülen hasar. c) ve d) %50 ve %90 şiddet durumu ile yumrubaşsız baş bodoslamanın çarpma durumunda öngörülen hasar.....	14
Şekil 3.14 Kuvvet- Penetrasyon değerleri.....	15
Şekil 3.15 Ağ yapısının oluşturulması.....	16
Şekil 3.16 Ağ yapısında elemanların kenar uzunluğu 200 mm olarak belirlenmiştir.	16
Şekil 3.17 Sınır şartlarının oluşturulması.....	17
Şekil 3.18 Sabit destek sınırları.....	17
Şekil 3.19 Malzeme kartının işlenmesi.....	18
Şekil 3.20 Analizin çalıştırılması.....	18
Şekil 3.21 Absorbe edilen enerji (MJ) ile penetrasyonun (m) ölçüldüğü çarpışma testi ve LS-DYNA simülasyonlarının sonuçları.....	19
Şekil 3.22 Ortaya çıkan kuvvet (MN) ile penetrasyonun (m) ölçüldüğü çarpışma testi ve LS-DYNA simülasyonlarının sonuçları.....	19
Şekil 3.23 a.Simülasyondan önce b. Simülasyondan sonra.....	20
Şekil 3.24 Test sonrası durum.....	20
Şekil 3.25 ASIS'in gerçekleştirdiği testlerin sonuçları a) Kuvvet ile penetrasyon b) Enerji ile penetrasyon.....	21
Şekil 3.26 LS-DYNA a) Kuvvet-Penetrasyon b) Enerji-Penetrasyon.....	19
Şekil 3.27 Çarpma durumunda oluşan sac deformasyonu.....	22
Şekil 3.28 LS-DYNA Kuvvet-Penetrasyon değişimi.....	22
Şekil 3.29 LS-DYNA Enerji-Penetrasyon değerleri.....	22
Şekil 4.1 Bir gemiye bordasında dik çarpma.....	23
Şekil 4.2 Standart VLCC modeli oluşturma.....	25

Şekil 4.3 Ağ oluşturma işlemi.....	26
Şekil 4.4 Verilerin malzeme kartına işlenmesi.....	27
Şekil 4.5 Sınır koşullarının oluşturulması.....	27
Şekil 4.6 Malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi.....	28
Şekil 4.7 Konstrüksiyon tipleri.....	28
Şekil 4.8 Seçilerek modellenen Standart VLCC tip ile Stringer tip konstrüksiyonları.....	29
Şekil 4.9 Farklı tip konstrüksiyonlar ve hasar durumları.....	30
Şekil 4.10 Standart VLCC tip ile Stringer tip konstrüksiyonlara ait oluşan kuvvet ve penetrasyon diyagramı.....	30
Şekil 4.11 Standart VLCC tip ile Stringer tip konstrüksiyonlara ait absorbe edilen enerji ve penetrasyon diyagramı.....	31
Şekil 4.12 Yeni tip yumrubaş modeli.....	32
Şekil 4.13 Yeni tip yumrubaş modeli ve hasar durumu.....	33
Şekil 4.14 Yeni tip yumrubaş modelinin sönmlediği kuvvet.....	34
Şekil 4.15 Yeni tip yumrubaş modelinin sönmlediği enerji.....	34

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Önemli tanker kazalarının listesi.....	2
Tablo 3.1 AH36 ve A240 çeliğine ait mekanik özellikleri.....	11
Tablo 3.2 ASIS gerçekleştiği testteki konstrüksiyona ait veriler.....	21



KISALTMA LİSTESİ

ASIS	: The Association for Structural Improvement of the Shipbuilding
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DWT	: Deadweight long tons
GL	: Germanischer Lloyd
HDPE	: High Density Polyethylene
IIHS	: The Insurance Institute for Highway Safety
ITOPF	: The International Tanker Owners Pollution Federation
MARPOL	: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
RTCL	: Rice–Tracey and Crockcroft–Latham Criterion
TNO	: The Dutch Institute for Applied Physical Research (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek)
UNCTAD	: United Nations Conference on Trade and Development
VLCC	: Very Large Crude Carrier

SEMBOL LİSTESİ

σ : Gerilme

HP : Hollanda profili

ε : Malzemenin birim uzaması (Gerinim)

R : Hasar hacmi

t : Sac kalınlığı

d : Levha genişliği

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Denizel taşımacılığın yoğunlaştığı bölgeler olan liman, boğaz ve kanallar yüksek kaza riskleri barındırır. Günümüz navigasyon sistemleri gelişmiş olsa da, insan kaynaklı hatalar ve olumsuz hava koşulları bu araçların kontrol kabiliyetini azalttığından veya etkisiz hale getirdiğinden gemilerin çarpışması veya karaya oturması gibi olumsuz durumlar ortaya çıkarak yüksek hasarlara neden olmaktadır.

Birleşmiş Milletler'in 2022 yılındaki raporuna göre, tüm ticari gemilerin toplam taşıma kapasitelerinin (deadweight ton) yaklaşık yarısını tanker, konteyner ve kuru yük gemileri oluşturmaktadır. Bu rapora göre, 2021'de denizyoluyla taşınan toplam yükün ¼'den fazlasını rafine edilmiş petrol ve türevleri oluşturmuştur (UNCTAD, (TD/STAT.47), United Nations, 2022).

Boğaz, kanal ve liman bölgelerinde yoğunlaşan gemi trafiği sonucunda gemilerin çarpışması sık görülmektedir. Bu kazalar sonucu hasara uğrayan gemiden denize yakıt sızıntısı oluşabilir. Eğer çarpışan gemilerden biri tanker ise sızan petrol ve/veya türevleri bir çevresel felaket meydana getirir. Ham petrol, karasal ve denizel habitatlara uzun bir süre zarar verirken, bu süreçte bölgede ekonomik tahribat da oluşur. Şekil 1.1'de bulunan görsel çevre kirliliği durumunu gösterirken Tablo 1.1'de bu kazalardan önemlileri listelenmiştir. İncelemeler sonucu yılda ortalama 5 milyon ton'a yaklaşan ham petrol ve türevinin denizel ortama karıştığı düşünülmektedir (Onay ve diğ., 2020).

1967 yılında Torrey Canyon isimli tanker Scilly Adalarının açıklarında karaya oturmuştur. Bu kazada yaklaşık 119.000 ton ham petrol denize sızmıştır. Denizlerin gemiler tarafında kirlenmesini önlemeye yönelik çalışmalar sonucunda 1973 yılında MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) sözleşmesi ortaya çıkmıştır. Sözleşme aracılığıyla gemiler tarafından taşınan yükün neden olduğu kirliliğin hukuki sorumluluk kuralları düzenlenmiştir (Onay ve diğ., 2020).

Mühendislik açısından araçların çarpışması konusundaki literatür incelendiğinde, otomotiv alanındaki çarpışma testlerinin standartlaştırılmış olması, uzun yıllardır tüm

deney ve analizlerin belirlenen standartlar üzerinden yapılması dikkat çekmektedir. Gemi inşa sektöründe seri üretim söz konusu olmadığından standartlaştırılmış çarpışma deneyleri yapılmamaktadır. Bu konu kapsamında saptanan ilk test “The Association for Structural Improvement of the Shipbuilding (ASIS)” tarafından 1993 yılında yapılan ve bir konstrüksiyona serbest olarak düşürülen yumrubaşın oluşturduğu deformasyon deneyidir (Paik, 2007). İzleyen aşamada Zhang (1999) tarafından gemilerin çarpışmasına yönelik ampirik bir formül geliştirilmiştir. Törnqvist (2003) doktora tezinde, çarpışmalara karşı mukavim çift cidarlı gemi konstrüksiyonlarını incelemiş ve ayrıca gemilerin baş bodoslamadan diğer gemilerin bordasına çarpması senaryolarını analiz etmiştir.

Tablo 1.1 Önemli tanker kazalarının listesi (ITOPF, 2023)

Hasar Sırası	Gemi Adı	Yıl	Kaza Bölgesi	Sızıntı miktarı (Ton)
1	Atlantic Empress	1979	Tobago, Karayipler	287000
2	ABT Summer	1991	Angola	260000
3	Cast. De Bellver	1983	Saldanha, G. Afrika	252000
4	Amoco Cadiz	1978	Brittany, Fransa	223000
5	Haven	1991	Cenova, İtalya	144000
6	Odyssey	1988	Nova Scotia, Kanada	132000
7	Torrey Canyon	1967	Scilly, Birleşik Krallık	119000
8	Sea star	1972	Umman	115000
9	Sanchi	2018	Shangai, Çin	113000
10	Irenes Serenade	1980	Mora, Yunanistan	100000
11	Urquiola	1976	La Coruna, İspanya	100000
12	Hawaiian Patriot	1977	Honolulu, Hawaii	95000
13	Independenta	1979	İstanbul, Türkiye	95000
14	Jakob Maersk	1975	Porto, Portekiz	88000
15	Braer	1993	Shetland Adaları, Birleşik Kralları	85000
16	Aegean Sea	1992	La Coruna, İspanya	74000
17	Sea Empress	1996	Milford Haven, Birleşik Krallık	72000
18	Khark 5	1989	Fas	70000
19	Nova	1985	Hark, İran	70000
20	Katina P	1992	Maputo, Mozambik	67000



Şekil 1.1 Ham petrol sızıntısının etkileri (Orphan, 2015)

Fakat Lehmann ve Peschmann'nın 2002 yılında yapmış olduğu deneysel çalışma, çarpışmanın denizel araçlara taşınması açısından milat olmuştur. Bu çalışmada açık deniz ortamında bulunan Nedlloyd ve Amatha gemilerinin 1:3 ölçekli modellerinin gerçek ortamda çarpışması gerçekleştirilmiş olup, farklı çelik malzemelerin davranışları ve farklı konstrüksiyonların çarpışma verileri değerlendirilmiştir. Bunların dışında, Biçer (2023), yüksek lisans tez çalışmasında tekne üretim malzemesi olarak kompozit plakların laminasyon diziliminin denizel çevresel etkiler altında mekanik özelliklerinin, özellikle de darbe mukavemeti davranışının değişimini deneysel ve sayısal olarak incelemiş ve çevresel etkilerin bu özellikleri zayıflattığı sonucuna ulaşmıştır.

Son olarak, Windyari vd. (2022) çalışmalarında, deneysel olarak dört farklı dizilimden oluşan farklı hibrid kompozit laminatların mekanik özelliklerini belirleyip, ardından bu malzeme verilerini kullanarak üç boyutlu balıkçı tekne modelini oluşturup, baş bodoslamadan limana düşük hızla çarpma analizlerini içeren sonlu elemanlar yöntemi tabanlı sayısal simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, balıkçı gemisinin baş bodoslamadan çarpışma simülasyonlarında teknenin alabora olmasına neden olacak hasarların olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, gemilerin çarpışması sonrasında denizel çevreye yayılabilecek yakıt, ham petrol ve türevleri benzeri kirleticilerin sızıntısını önlemek için gemi konstrüksiyonlarının analiz edilerek yeniden değerlendirilmesidir. Çarpışma analizlerinde, en tehlikeli çarpışma türlerinden olan, bir geminin baş bodoslamasının, diğer geminin bordasına çarpması ayrıntılı olarak ANSYS / LS-DYNA yazılımı

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Temel değerlendirme parametreleri olan penetrasyona bağlı oluşan kuvvet ve enerji değerleri diyagramlar halinde verilmiştir. Temel motivasyon, analiz sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra, konstrüksiyona dayalı tasarımların henüz ön tasarım aşamasında daha detaylı olarak geliştirilmesine katkı sağlanmasıdır. Böylelikle denizel evre güvenliği ön planda tutulurken, ayrıca yüksek maliyetli hasarlardan ve sigorta ödemelerinden kaçınılması da mümkün olacaktır.



BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE YÖNTEM

Ulaşım araçlarının birbirleriyle veya sabit ya da hareketli bir engelle çarpışması mal ve can kayıpları gibi ağır sonuçları barındıran bir durumdur. Çarpışma olgusu, risk frekansı bakımından en çok gerçekleşen otomobillerde standartlaştırılmıştır ve bu araçlar, araç güvenliği bakımından üç temel teste tabi tutulmaktadır. Bunlar sırasıyla önden darbe, yandan darbe ve tavan dayanımıdır (Şekil 2.1-2.3).



Şekil 2.1 Otomobilin önden darbe testi (iihs.org, 2021)



Şekil 2.2 Otomobilin yandan darbe testi (iihs.org, 2021)



Şekil 2.3 Otomobilin tavan darbe testi (iihs.org, 2021)

Otomobil üreticileri, çok maliyetli olan bu testleri sınırlandırabilmek için, gelişen bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin yardımıyla, araçların çarpışma sırasındaki yapısal dayanım özelliklerini arttırmada uzun yıllardır bilgisayar simülasyonlarını yaygın ve etkin olarak kullanmaktadırlar.

Yapısal dayanım ile malzeme kalınlığı arasındaki ilişkiyi araştıran Gürsel ve Nane (2010), gerçekleştirdikleri çeşitli çarpışma senaryoları ve analiz sonuçları aracılığıyla çarpışmada absorbe edilen enerji miktarının malzemenin kalınlığı ile doğru orantılı olduğunu göstermişlerdir.

Çelik malzemelerin deforme olduktan sonra kırılmasını belirleyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar temel olarak malzemenin mekanik özellikleri ile konstrüksiyonun yapısı (toplam enkesit atalet moment) yani oluşan gerilme ve deformasyonları taşıma kapasitesidir. Gemi konstrüksiyonları, bloklar halinde inşa edilip birbirlerine kaynaklanır (Şekil 2.4). Çift cidarlı bir gemide 12 ile 75 mm arası kalınlıkta saclar kullanılabilir. Birleştirilmiş ve kaynaklanmış dış sac üzerine kaynaklanan profiller ve iç saclar ile aralarında ağ şeklinde konumlandırılan destek levhaları aracılığıyla konstrüksiyon oluşturulur.



Şekil 2.4 Kaynaklanan bloklar (AlaskaTanker Company, 2020)

Bu çalışmada, hazırlanacak olan modellerde, Sonlu Elemanlar Yöntemi aracılığıyla bir geminin bodoslamadan bir tanker ve konteyner gemisinin bordalarına çarpma senaryoları incelenecek ve çarpışmalar sırasında darbeler sonucu oluşan deformasyon mekanizmaları araştırılarak hasar analizleri yapılacaktır. Sonuçların test ve analiz verileri ile doğrulaması gerçekleştirilecektir. İzleyen aşamada, çarpışma ve darbelerin yoğunlaştığı senaryolar belirlenerek, farklı çarpışmalar simüle edilecektir. Hasarın sınırlandırılması amacıyla güçlendirilmiş konstrüksiyonlar hazırlanarak analizleri yapılacaktır. Çarpışma simülasyonlarında “ANSYS/LS-DYNA” yazılımı kullanılacaktır.

BÖLÜM ÜÇ

GEMİLERDE ÇARPIŞMANIN İNCELENMESİ

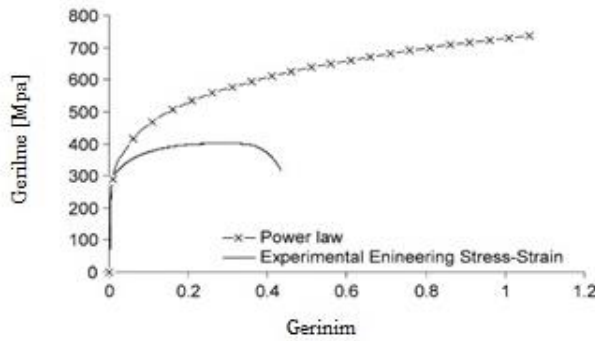
3.1 Temel Çarpışma Araştırmaları

Çelik ve metal alaşımları kullanılarak inşa edilen gemilerde kullanılan temel konstrüksiyon elemanları levhalar ve profillerdir. Levhalar ve profiller standart boyut ve kalınlıklarda imal edildiğinden, hem tasarım ve hem de klas onayı kapsamında ilgili mekanik-metalurjik özellikleri esas alınarak boyutlandırılırlar. Bu yapı elemanlarının temel görevi, oluşan dış ve iç kuvvetlere mukavim bir yapı oluşturabilmesidir. Kullanılan malzemeler dış ve iç gövde sacı, stringer ve stifner destekler ve çerçeve oluşturan dolu ve boş postalardır. Bunların dışında bulunan yapı elemanları lokal mukavemete çok sınırlı katkı sağladıklarından dikkate alınmamışlardır. Sonuç olarak modellenen gemi konstrüksiyonları tanker ve konteyner gemileri olduğundan ağırlıklı olarak cidarlar arası boyuna posta (profil) ve boyuna kemere sistemine göre modellenmiştir. Fakat, farklı tipleri, kullanım amaçları ve seyir karakterleri bulunan gemilere ait çarpışma dayanımını içeren henüz teknik bir standart bulunmamaktadır.

3.1.1 Hesaplamalarda Kullanılan Farklı Hata Kriterleri

Önemli çalışmalardan biri olan Ehlers ve Broekhuijsen'e ait (2008) hata kriterini saptama çalışmasında, gerçek ortamda gemi çarpışması sonucu elde edilen veriler incelenmiştir. Bu çalışmada, gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi Denklem 2.1 eşitliğine göre oluşturulmuştur. Denklem 2.1'de $K=730$ ve $n = 0,20$ olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.1).

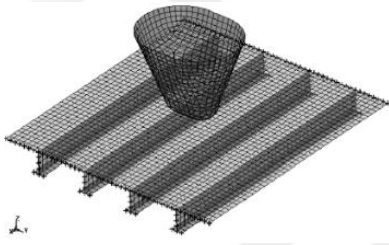
$$\sigma = K \cdot e^n \quad (2.1)$$



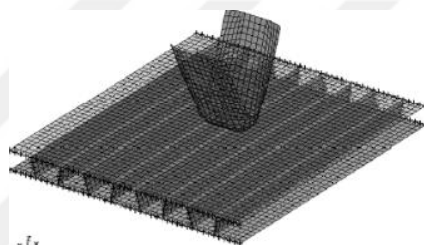
Şekil 3.1 Gerilme ve gerinim formülasyonuna göre oluşturulan karakteristik eğriler (Ehlers ve Broekhuijsen, 2008)

Araştırmada, çarpışma simülasyonları sırasıyla Şekil 3.2-3.4’de görülen tek sac yüzey (Test-1), sandviç panel yüzey (Test-2) ve çift cidarlı konstrüktif kesitler (Test-3) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu simülasyonlar farklı ağ yapıları ile tekrarlanmıştır (Şekil 3.5).

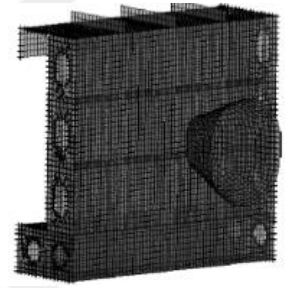
DeneySEL veriler ile birlikte Germanischer Lloyd, Lehmann/Peschmann ve Rice-Tracey and Crockcroft–Latham yaklaşımları ağ hassasiyeti kriterine göre incelenmiştir (Şekil 3.5). Kriterler malzemenin hasara uğramasındaki yaklaşım farklılıklarına dayanmaktadır.



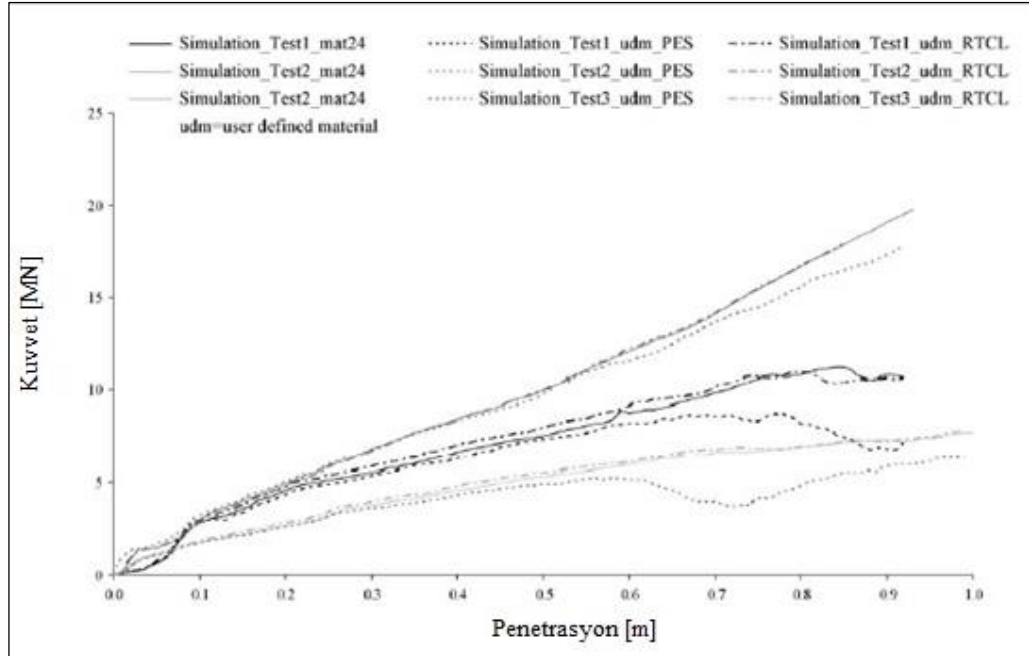
Şekil 3.2 Test-1



Şekil 3.3 Test-2
(Ehlers& Broekhuijsen, 2008)

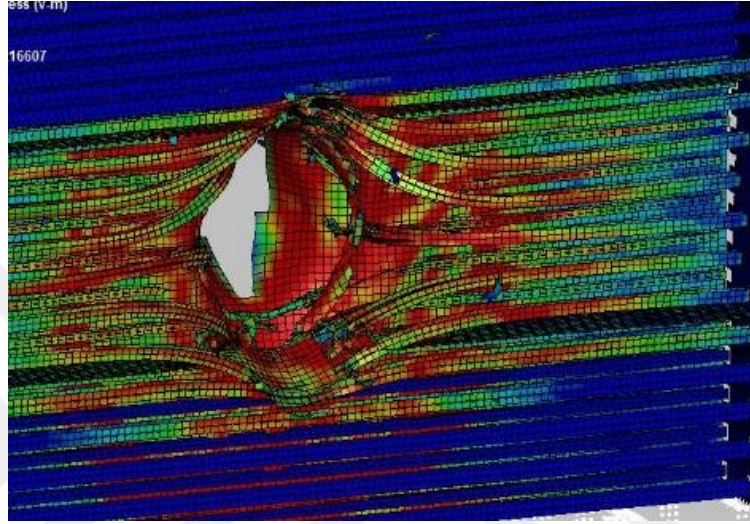


Şekil 3.4 Test-3



Şekil 3.5 Farklı ağ yapısının kullanıldığı modelin LS-DYNA analizlerinde Kuvvet-Penetrasyon derinliği değerleri (Ehlers ve Broekhuijsen, 2008)

Bu çalışmada incelenen çarpışma durumunda, yumrubaşa sahip bir baş bodoslama diğer gemiye bordadan çarpmaktadır. Simülasyonda, gemi borda levhasında (dış sac) 14 mm'lik bir sac, HP11x300'lük Hollanda profilleri ve 11,5 mm cidar kalınlığına sahip iç sac levhasının kaynaklanmasıyla gerçekleştirilen bir konstrüksiyon kullanılmıştır. Çarpan yumrubaşın, çarpılan gemi gövdesinin iç sacına ulaşınca kadar oluşturduğu hasar Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Yumrubaşın gemi bordasında (dış sac) oluşturduğu hasar

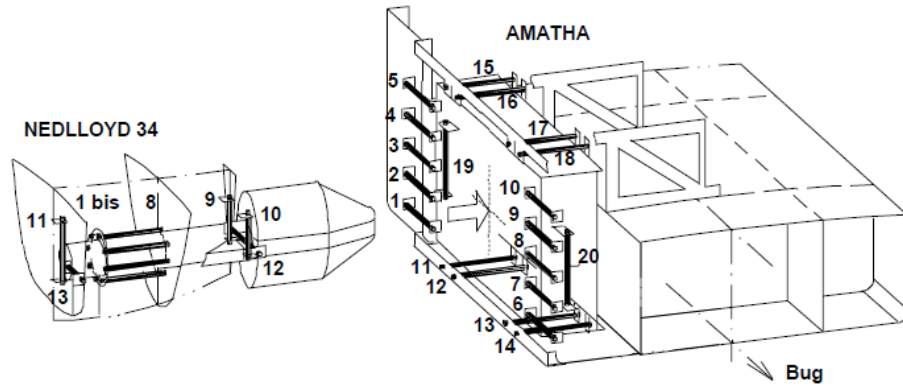
3.1.2 Gemi Çarpışma Deney ve Analizleri

Organisation for Applied Scientific Research (TNO; Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) Hollanda'ya ait bilimsel bir araştırma kurumudur. Bu kurumda çevre felaketlerine sebep olacak sızıntıların daha iyi açıklanabilmesi için ölçeklendirilmiş bir deney yapmıştır. Deneyde kullanılan model ölçeği 1:3'tür ve genel olarak modelde kullanılan 1.44 (316L) temperlenmiş çeliğin hasarı incelenerek Lehmann ve Peschmann (2002) tarafından araştırma bulguları yayımlanmıştır. Bu çalışmanın analizinde kabul edilen malzemenin mekanik özellikleri Tablo 3.1'de verilmektedir. Liu ve diğ.'nin (2021) gerçekleştirdikleri analizlerinde kullandıkları AH36 çeliğine bu tez kapsamında da yer verilmiştir. Deney doğrulamalarında kullanılan konstrüksiyonlar için seçilen A240 çeliği ile analizler için seçilen AH36 çeliğinin mekanik özellikleri Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1 AH36 ve A240 çeliğine ait mekanik özellikleri

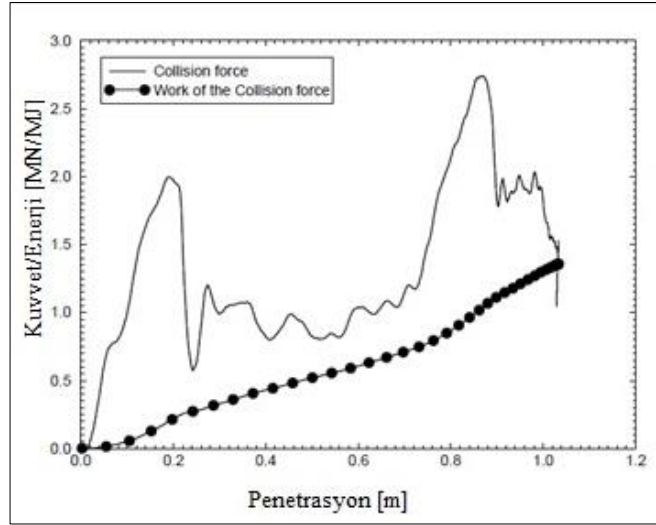
Mekanik Özellikler	AH 36	A240
Akma Dayanımı (MPa)	355,0	195,0
Kopma Dayanımı (MPa)	490,0-630,0	250,0-275,0
Minimum Birim Uzama	0,210	-
Elastisite Modülü (GPa)	206,0	193,0
Poisson Oranı	0,30	0,290

Gemi inşaatı endüstrisinde genellikle seri üretim yapılamadığı için ve olası maliyetlerin yüksekliğinden dolayı standartlaştırılmış çarpışma testleri bulunmamaktadır. Fakat Lehmann ve Peschmann'nın (2002) yaptığı deneysel çalışma, çarpışmanın denizel araçlara taşınması açısından bir ilk olmuştur. Bu çalışmada açık deniz ortamında bulunan Nedlloyd ve Amatha gemilerinin 1:3 ölçekli modellerinin gerçek ortamda çarpışması incelenerek çelik malzemelerin davranışları ve farklı konstrüksiyonların çarpışma verileri değerlendirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.7 de verilmektedir.



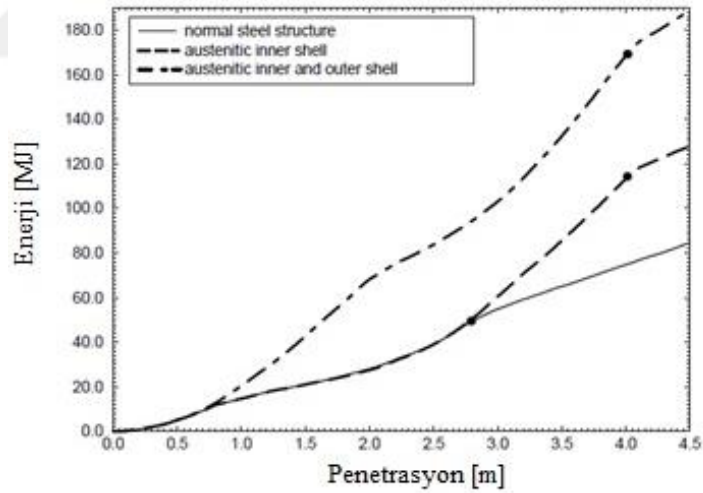
Şekil 3.7 Nedlloyd gemisine ait yumrubaş ve çarptığı gemi gövde kesiti (Amatha) (Lehmann ve Peschmann, 2002)

Testte, 30.000 dwt kapasiteli AMATHA gemisinin 1:3 ölçek ile hazırlanan modeline, yumrubaşın eklendiği NEDLLOYD 34'ün 2,55 m/s ile çarpması gerçekleştirilmektedir. Çarpışma sonucunda yumrubaş, yaklaşık 100 cm kadar Amatha'nın gövdesinin içine girmiştir (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).



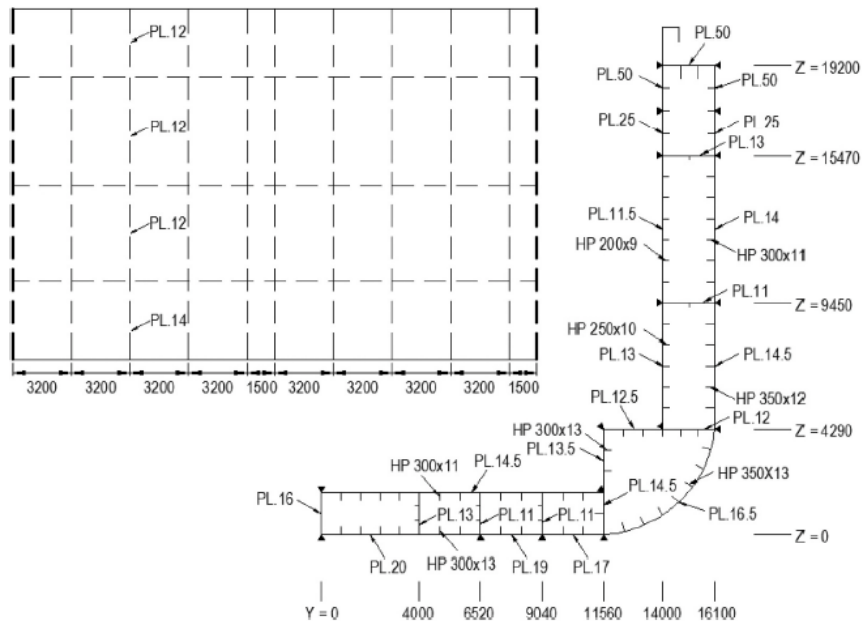
Şekil 3.8 Saptanan kuvvet ve enerji ile penetrasyon değerleri (Lehmann ve Peschmann, 2002)

Testin amaçlarından birisi de farklı çelik malzemelerin çarpışma sonucunda nasıl davrandıklarının incelenmesi olmuştur. Buna göre dış ve iç sacda östenik çelik sac kullanımı, normal gemi inşa çeliğine göre enerji absorpsiyonunu % 220'ye kadar yükseltmiştir (Şekil 3.3).

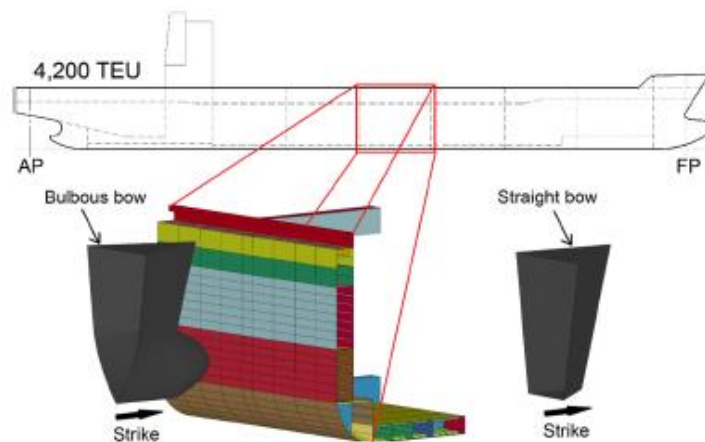


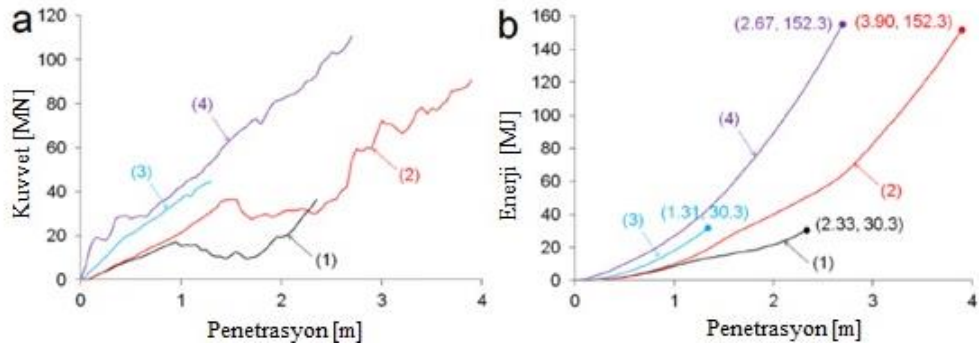
Şekil 3.9 Sönümlenen enerjilerin karşılaştırılması (Lehmann ve Peschmann, 2002)

İkinci gövde modeli oluşturulurken Liu ve diğ.'nin (2021) çalışmasından yararlanılmış ve sac kalınlığı ile profiller Şekil 3.10'dan alınmıştır. Ayrıca aynı çalışmada kullanılan yumrubaş geometrisinden yararlanılarak yumrubaş modeli oluşturulmuştur.



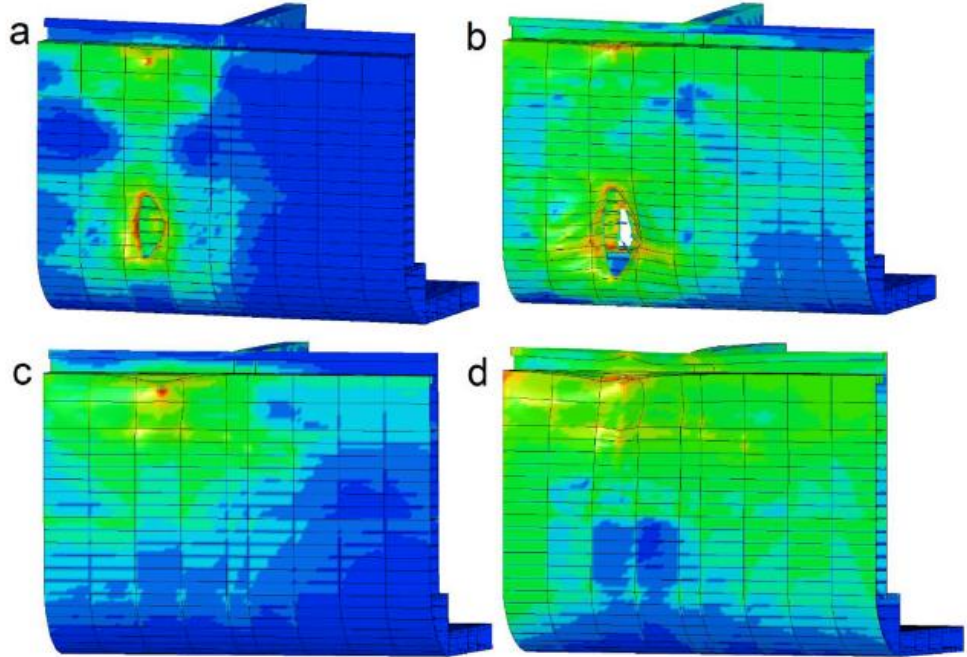
Liu ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada oluşabilecek çarpışma durumlarını ayrıntılı olarak incelemiştir. Çarpışmalar şiddetine göre düşük hasar ve ağır hasar olarak %50 ve %90'lık oranlarla ölçeklendirilmiştir. Düşük şiddetli kazalar için %50, büyük şiddetli kazalar için %90 değerleri alınmıştır.





Şekil 3.12 (a) Kuvvet-Penetrasyon ve (b) Enerji- Penetrasyon diyagramları (Liu ve diğ., 2021)

Şekil 3.12’de (1) ve (2) eğrileri, yumrubaşlı geminin düşük şiddetli (%50) ve ağır şiddetli (%90) çarpma, (3) ve (4) eğrileri ise yumrubaşsız geminin düşük şiddette (%50) ve ağır şiddette (%90) çarpma durumlarındaki kaza verileridir. Bu sonuçlara göre çarpılan geminin hasarı Şekil 3.13’de verilmektedir. Absorbe edilen enerji %50 ve %90’luk hasar değerlerine göre 30,3 MJ ile 152,3MJ olarak saptanmıştır.

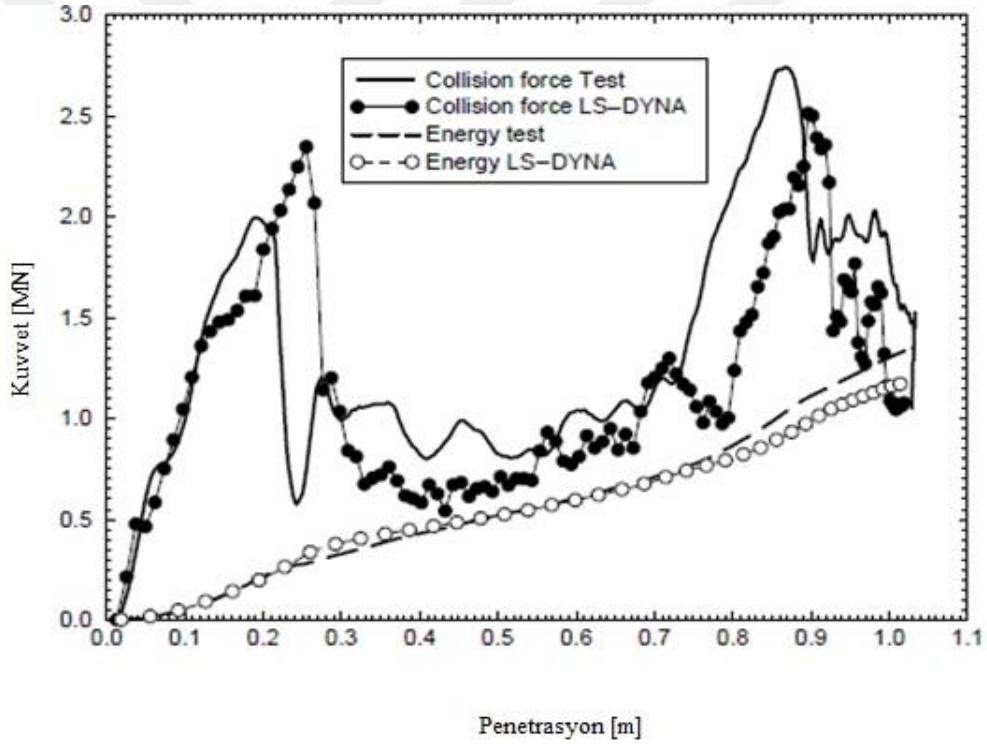


Şekil 3.13 a) ve b) %50 ve %90 şiddet durumu ile yumrubaşlı baş bodoslamanın çarpmasında öngörülen hasar. c) ve d) %50 ve %90 şiddet durumu ile yumrubaşsız baş bodoslamanın çarpma durumunda öngörülen hasar (Liu ve diğ., 2021).

3.2 TNO-Çarpışma Deneyinin Doğrulanması

TNO araştırma kurumunun Alman Loydu ile işbirliği kapsamında hazırladığı test düzeneği ile gerçekleştirdiği deneyde 30.000 dwt kapasiteli çift cidarlı tankerin 1:3 oranındaki modeli kullanılmıştır. Nedlloyd 34 gemisinin yumrubaşı baş bodoslaması, sabitlenmiş gövdesiyle Amatha gemisinin bordasına çarptırılmıştır.

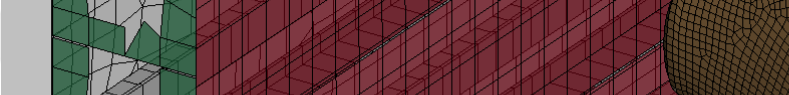
Yaklaşık 1 s süren ve hasarın gerçekleştiği deneyde Nedlloyd 34 rijit ve 762 tonluk Amatha gemi gövdesi 4-6 mm kalınlıkta Romanya standartlarında A seviye kalite sac ve profiller kullanılarak, yüksekliği 4,2 m ve kesit uzunluğu 7,5 m olacak şekilde imal edilmiştir. İlgili deney düzeneği Şekil 3.7’de ve çarpışma süresince ölçülmüş olan kuvvet ve enerji değerleri Şekil 3.14’de verilmiştir.



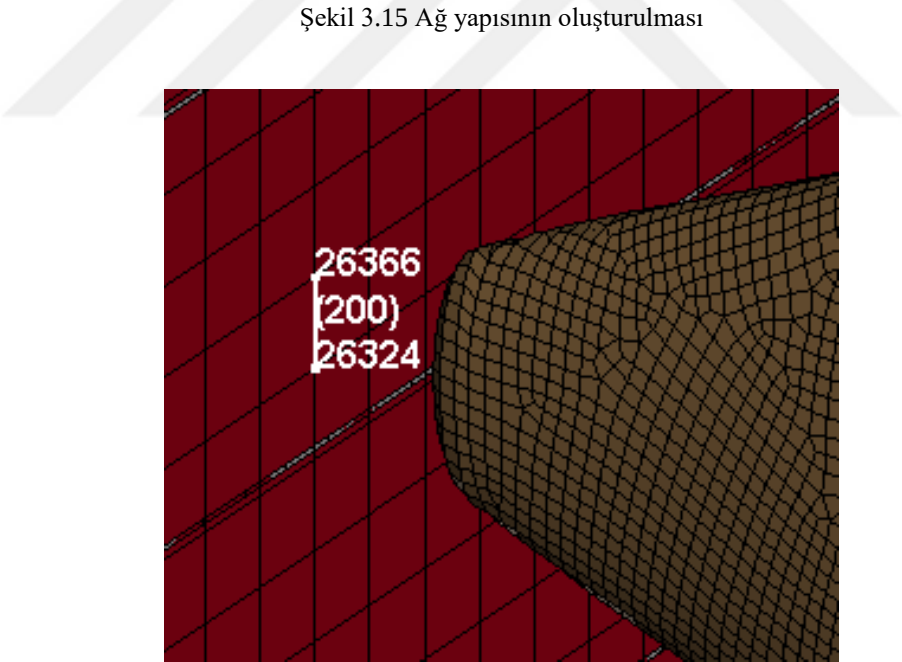
Şekil 3.14 Kuvvet- Penetrasyon değerleri (Lehmann ve Peschmann, 2002)

3.2.1 Yazılıma Veri Girişi

LS-DYNA programı çarpışmalarda kullanılan genel amaçlı multi-fizik analiz programıdır. Sonlu elemanları zamana bağlı olarak analiz edebilmektedir.



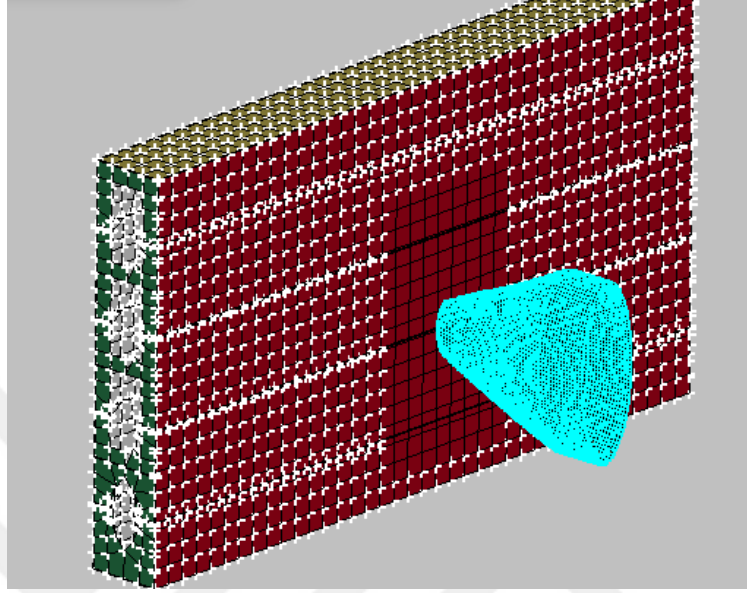
Şekil 3.15 Ağ yapısının oluşturulması



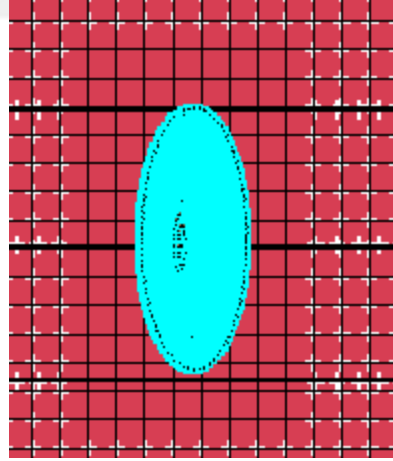
Şekil 3.16 Ağ yapısında elemanların kenar uzunluğu 200 mm olarak belirlenmiştir.

16

lineer elastik-plastik özellikte kabul edilmiş (Tablo 3.1) ve yazılım çalıştırılmıştır (Şekil 3.19 – 3.20).



Şekil 3.17 Sınır şartlarının oluşturulması



Şekil 3.18 Sabit destek sınırları

Sınırlar oluşturulurken mesnet noktaları, deney verileri kullanılarak görsel olarak atanmıştır. Tüm deney düzeneğinin ölçülmesi, ilgili sacın çevresine kare formunda işaretlenen proplar aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve bu yöntemle çarpışma durumundaki hasar mekanizması incelenmiştir.

Keyword Input Form

NewID: MatDB: RefBy: Pick: Add: Accept: Delete: Default: Done: 2. AmidshipConstruction
4. InsideStiffner

☐ Use *Parameter ☐ Comment (Subsys: 1 CoEx-4.5.2.k) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (2)

TITLE: AmidshipConstruction

1	MID	RQ	E	PR	SJGY	ETAN	FAIL	TDEL
2		7.861e-09	1.931e+05	0.2900000	195.74001	0.0	0.1000000	0.0
2	C	P	LCSS	LCSR	VP			
		0.0	1	0	0.0			
3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot: Raise: New: Padd:

Total Card: 2 Smallest ID: 2 Largest ID: 4 Total deleted card: 0

Şekil 3.19 Malzeme kartının işlenmesi

Yazılımın çözümleme değerleri, malzemeye ait mekanik özellikler dosyasından alınan veri girişleri ile elde edildiğinden, bu dosyanın hatasız doldurulması analizler açısından önem arz etmektedir. Çelik malzemeler, lineer elastik-plastik olarak davranması gerektiği için MAT_024 kodlu kart işleme alınmıştır (Şekil 3.19). Buradaki veriler A240 çeliğine göre ve ton, mm, s ve Newton birimleri ile hazırlanmıştır (Şekil 3.20). Testlerde kullanılan A240 çeliği ASTM standardındadır.

LS-Run

File Settings License Manuals Help

INPUT: C:\Users\ckcomputer\Desktop\Nedlloyd34 & Amatha\Analiz\23.03.2023\Double Hu NCPU: 4 4

SOLVER: C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe MEMORY: 50m ON AUTO

LS-DYNA command

Preset: SMP single

Expression: "\$SOLVER" i=\$INPUT ncpu=\$NCPU memory=\$MEMORY

Preview: "C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe" i=C:\Users\CKCOMP~1\Desktop

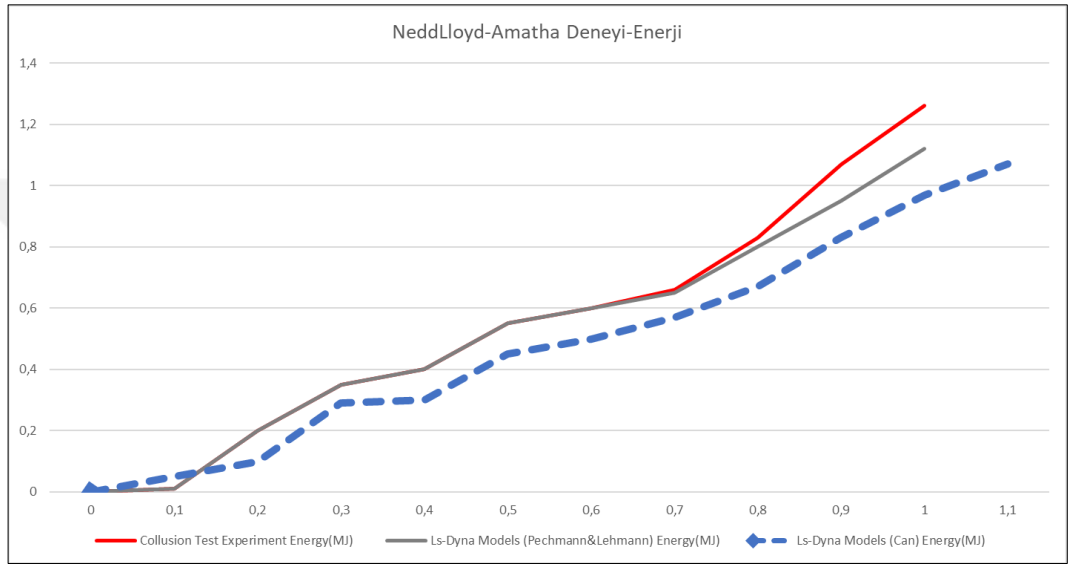
0 Local ☒ stop other LS PP messag

Job Table WinHPC Usage Cluster status

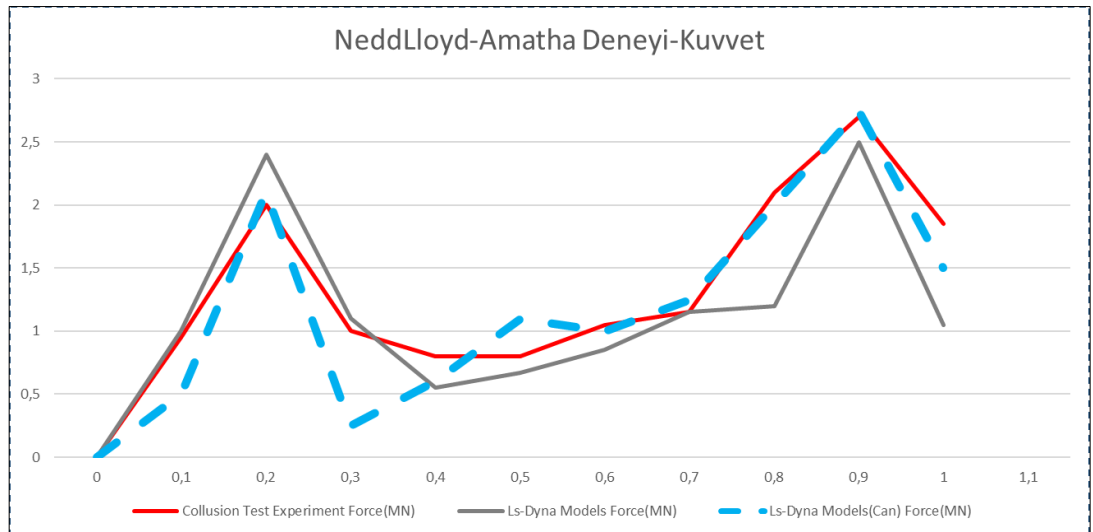
ID	Input File	Run Command	Status
132	C:\Users\c	"C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe" i=C:\Users\CKCOMP~1\Desktop	Running... 36%
131	C:\Users\c	"C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe" i=C:\Users\CKCOMP~1\Desktop	Finished (Normal Termination)
130	C:\Users\c	"C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe" i=C:\Users\CKCOMP~1\Desktop	Finished (Normal Termination)
129	C:\Users\c	"C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe" i=C:\Users\CKCOMP~1\Desktop	Finished (Normal Termination)
128	C:\Users\c	"C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe" i=C:\Users\CKCOMP~1\Desktop	Finished (Normal Termination)
127	C:\Users\c	"C:\Program Files\ANSYS 2020R2 LS-DYNA Student 12.0.0\LS-DYNA\lsdyna.exe" i=C:\Users\CKCOMP~1\Desktop	Finished (Normal Termination)

Şekil 3.20 Analizin çalıştırılması

Test sonuçları ile LS-DYNA analiz sonuçları, Lehmann ve Peschmann (2002) tarafından yayımlanan makaleden alınmıştır. Şekil 3.14’de verilen bu değerler referans olarak kullanılarak, bu tez kapsamında elde edilen tüm analiz sonuçları kuvvet-penetrasyon ve absorbe edilen enerji-penetrasyon diyagramları olarak Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de birlikte verilmiştir.



Şekil 3.21 Absorbe edilen enerji (MJ) ile penetrasyonun (m) ölçüldüğü çarpışma testi ve LS-DYNA simülasyonlarının sonuçları

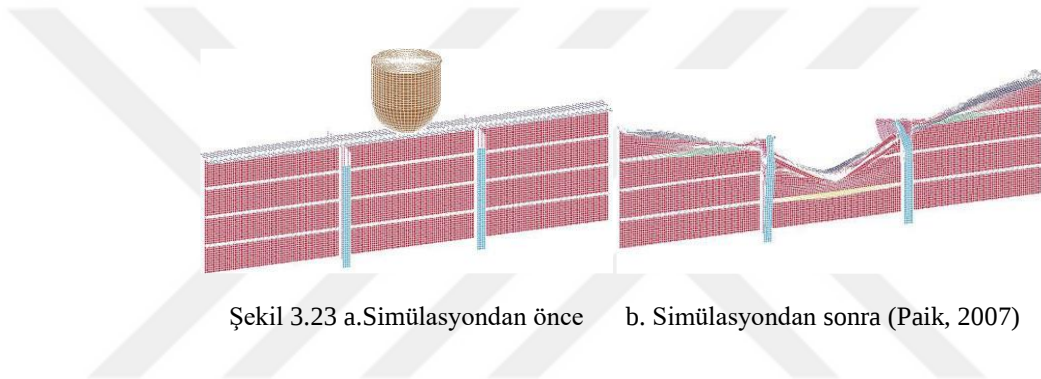


Şekil 3.22 Ortaya çıkan kuvvet (MN) ile penetrasyonun (m) ölçüldüğü çarpışma testi ve LS-DYNA simülasyonlarının sonuçları

Lehmann ve Peschmann'ın (2002) gerçekleştirdiği çarpışma testi sonuçlarının bu çalışma kapsamında elde edilen LS-DYNA analiz sonuçları ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Benzer model ve koşullarda yapılan analizlerde elde edilen enerji ve kuvvetin penetrasyona bağlı değerleri sağlanmıştır.

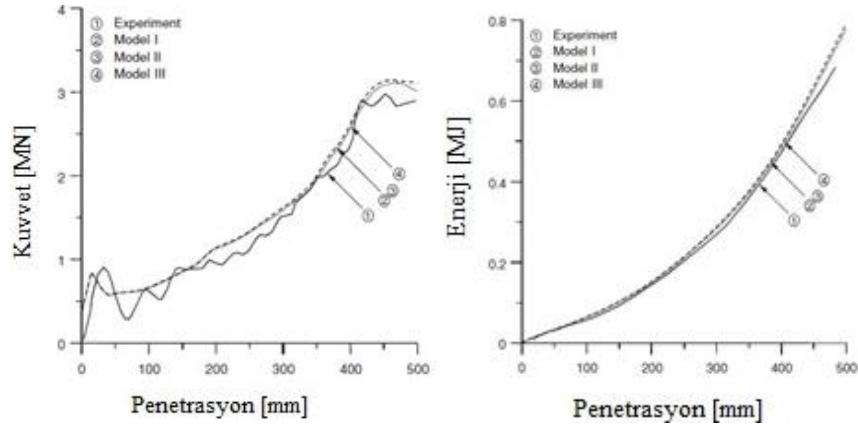
3.3 Serbest Düşme Deneyinin Doğrulanması (The Association for Structural Improvement of the Shipbuilding (ASIS))

Bu tez kapsamında incelenen bir diğer test de ASIS tarafından 1993 yılında yapılan ve bir konstrüksiyona serbest olarak düşürülen yumrubaşın oluşturduğu deformasyon testidir.



Şekil 3.24 Test sonrası durum (Paik, 2007)

Bu serbest düşme testinin sonuçları farklı kalınlıklara sahip konstrüksiyonlar için; Test-Model, Model I, Model II ve Model III isimleriyle elde edilmiş olup, absorbe edilen enerji ve kuvvet değerleri Şekil 3.25'de verilmektedir.



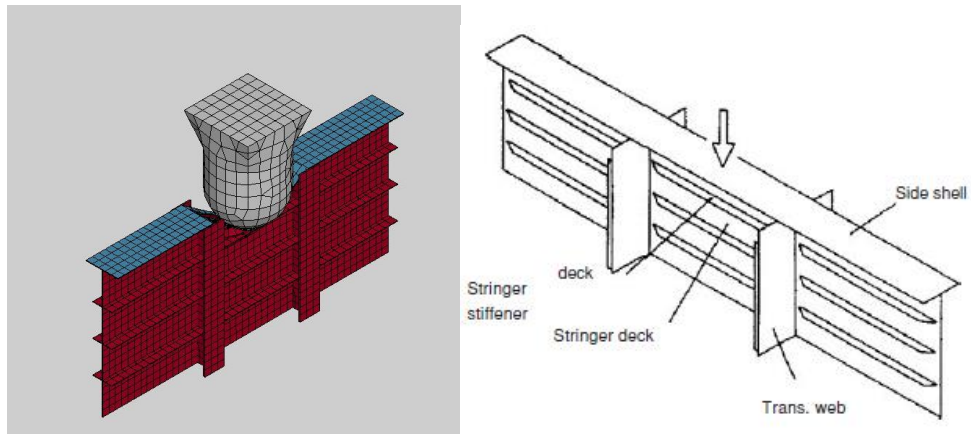
Şekil 3.25 ASIS'in gerçekleştirdiği testlerin sonuçları a) Kuvvet ile penetrasyon b) Enerji ile penetrasyon

ASIS testinin doğrulamasında kullanılan, sac ve profil kalınlıklarını içeren elemanların ve konstrüksiyonun boyutları Tablo 3.2'de verilmiştir.

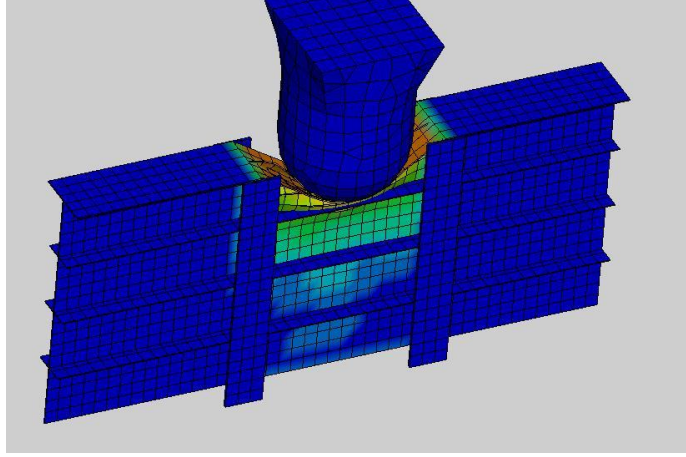
Tablo 3.2 ASIS'in gerçekleştirdiği testteki konstrüksiyona ait veriler

Malzeme Tanımı	Sembolü	Ölçüsü (mm)
Güverte Yüksekliği	Hw	1635,0
Uzunluk	L	6000,0
Mesnet aralığı	2b	2000,0
Saç Genişlik	2a	450,0
Saç Kalınlığı	tf	10,0
Profill kalınlık	ts	8,0

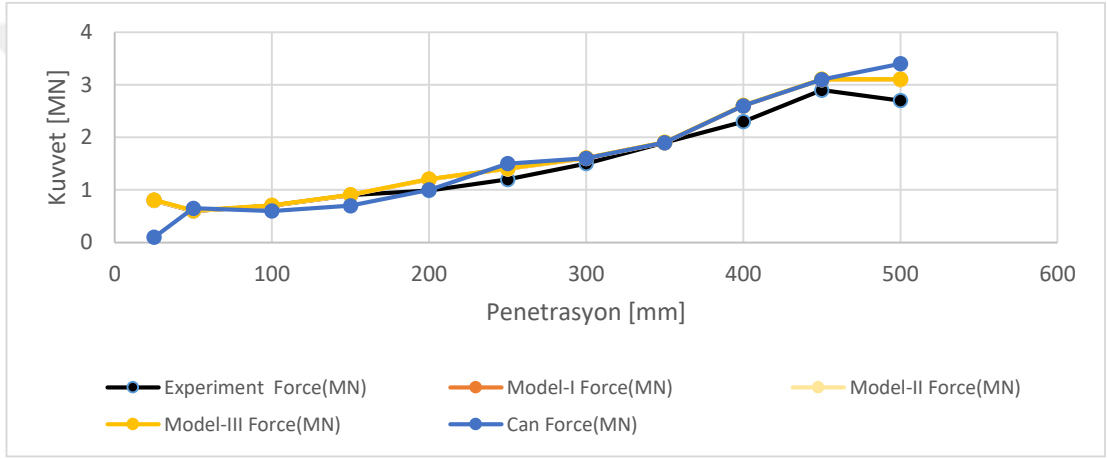
Bu veriler doğrultusunda modelleme yapılmış ve yazılım çalıştırılmıştır (Şekil 3.26 ve 3.27). Sonuç olarak Şekil 3.28 ve 3.29'da görülen değerlere ulaşılmıştır.



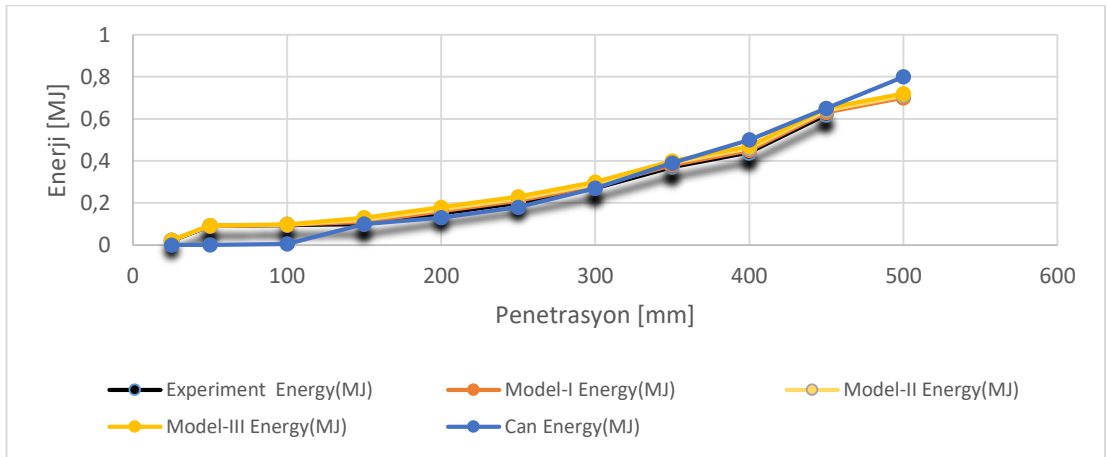
Şekil 3.26 ASIS 1993 test deneyinin LS-DYNA'da modellenmesi



Şekil 3.27 Çarpma durumunda oluşan sac deformasyonu



Şekil 3.28 LS-DYNA Kuvvet-Penetrasyon değişimi



Şekil 3.29 LS-DYNA Enerji-Penetrasyon değerleri

Yapılan analizler sonucunda makalede yayımlanmış olan enerji ve kuvvetin penetrasyona bağlı test değerleri sağlanmıştır.

BÖLÜM DÖRT

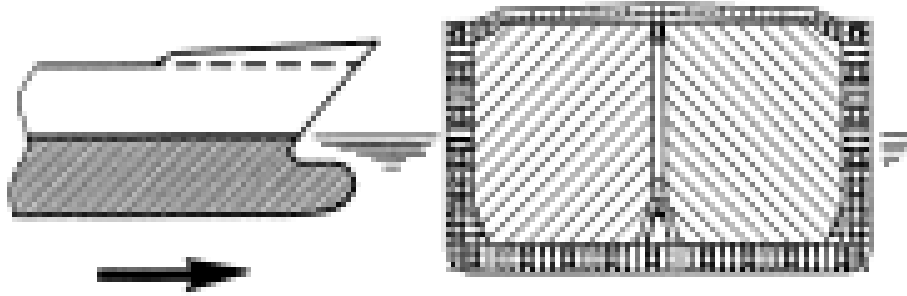
ÇARPIŞMA ANALİZLERİ

Gemi konstrüksiyonlarında dayanımı sağlayan yapı elemanları, gemi inşaatında kullanılan sac ve çeşitli profiller ile bunlardan üretilen çerçevelerdir. Bu sac ve profillerin birbirine kaynaklanması önem arz eden işlem olmakla birlikte, bu tez kapsamında analizlere ve bunun sonucunda bulunacak hasara odaklanılması amacıyla kaynak işlemlerinin kusursuz yapıldığı ve kaynak dayanımının ilgili sac ve profil dayanımının üstünde olduğu kabul edilmiştir.

Çarpışma sonrası oluşan hasarın, dolayısıyla çevre felaketinin büyümesinde çarpışan gemilerin bileşke hız ve yönlerinin dışındaki etkenler, çarpan geminin diğer gemi bordasına dik olarak ve küçük bir enkesit alanı ile örneğin yumrubaşı ile doğrudan çarpmasıdır. Ayrıca çarpan geminin örneğin yumrubaşının rijitliği ve çarpılan geminin ise sac ve profil kalınlıkları, kullanılan profillerin sıklığı ve malzeme kalitesi ile geminin spesifik konstrüksiyonu hasarın büyüklüğünde önemli rol oynar. Bu nedenle, analizlerde temel olarak rijit yumrubaşı baş bodoslamaya sahip bir geminin diğer çift cidarlı gemiye bordadan dik olarak çarpışma durumu ele alınmıştır.

4.1 Bir gemiye bordasından Dik Çarpmanın Matematiksel Olarak Tahmini

Zhang (1999), “The mechanic of ship collision” isimli çalışmasında çarpışma türünü Şekil 4.1 ve absorbe edilen enerjiyi Denklem 4.3 ile açıklamaktadır. Buradan hareketle sönmölen enerji nin ön tahmininin yapılması hedeflenmiştir.



Şekil 4.1 Bir gemiye bordasından dik çarpma (Zhang, 1999)

Sonuç olarak Zhang'a göre bu tip bir çarpışmada absorbe edilmesi gereken enerji miktarı Denklem 4.1- 4.3 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\varepsilon_f = 0.5 - 0.01 \frac{l_e}{t} \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_c = 0.1 (\varepsilon_f / 0.32) \quad (4.2)$$

$$E_1 = 0.77 \sigma_0 \varepsilon_c R T_1 + 3.5 \left(\frac{t}{d} \right)^{0.67} \sigma_0 R T_2 \quad (4.3)$$

Denklem 4.1, 4.2 ve 4.3'de bulunan parametreler;

ε_f : Çelik malzeme kırılma uzaması

ε_c : Çelik malzemenin kritik uzaması

d : Profil boyu

t : Sac kalınlığı

σ_0 : Gerilme

R_{t1} : Hasara uğrayan levha hacmi

R_{t2} : Hasara uğrayan profil hacmi

anlamına gelmektedir.

ANSYS-LS DYNA yazılımı ile analizde kullanılan modelin, Liu ve diğ. (2021) makalesinde bulunan veriler kullanılması durumunda;

$$t=0.0145 \text{ m}, \quad d=2 \text{ m}, \quad \sigma_0 = 355 \text{ MPa}, \quad \varepsilon_c = 0.1 * \varepsilon_f / 0.32, \quad R_{t1} = 2.61 \text{ m}^3 \quad R_{t2} = 1.23 \text{ m}^3$$

ε_f hata hesabı için kalınlık ile ilişkili olup, Liu ve diğ. (2021) bu hata oranını

Denklem (4.2) de sunmuşlardır:

$$14.5 \text{ mm plaka için } \varepsilon_f = 0.5 - 0.01 \frac{l_e}{t} = 0.5 - 0.01 \frac{200}{14.5} = 0.36$$

$$R_{t1} = 2.61 \text{ m}^3 \quad \text{Kabuk hasar hacmi}$$

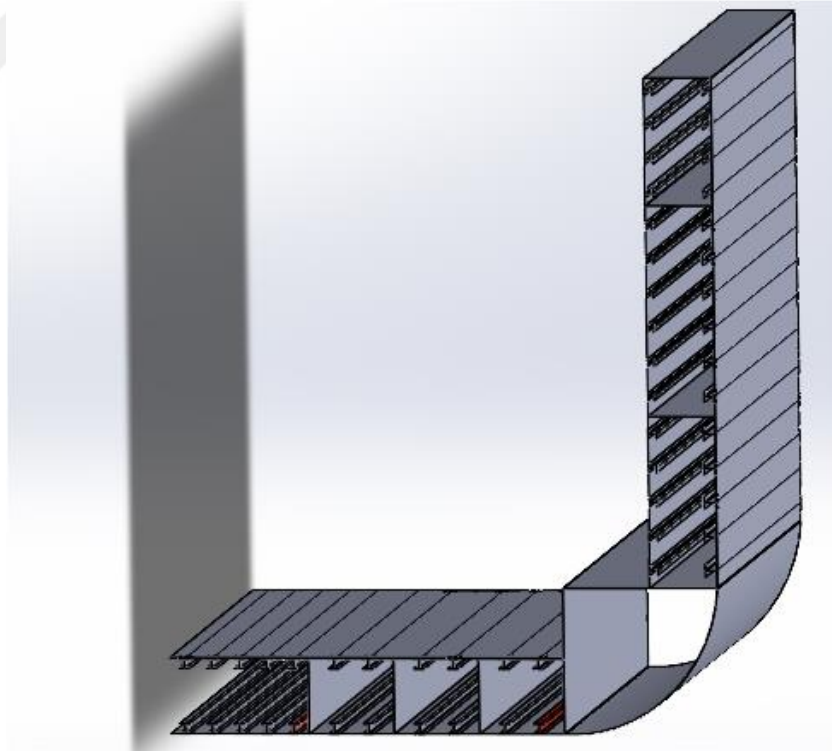
$R_{t2} = 1,23 \text{ m}^3$ Ağ hasar hacmi

$$E_1 = 0,77 \cdot 355 \cdot 0,11 \cdot 2,61 + 3,5 \left(\frac{0,0145}{2} \right)^{0,67} \cdot 355 \cdot 1,23 = 135 \text{ MJ}$$

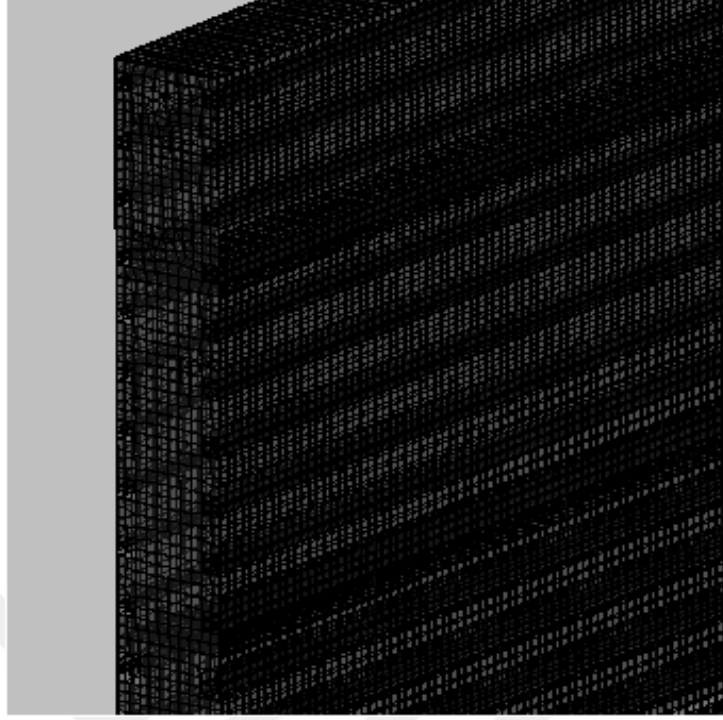
olarak elde edilen absorbe edilen enerji miktarı Liu ve diğ. (2021) çalışmasında küçük ve büyük hasar durumuna göre 4 MJ ile 185,4 MJ arasında değişmektedir.

4.2 Seçilen Konstrüksiyonların Analiz Aşamaları

Seçilen konstrüksiyonlar, sırasıyla modelin oluşturulması, ağ yapısının oluşturulması, sınır koşullarının belirlenmesi, malzeme kartlarının işlenmesi ve analizlerin değerlendirilmesi sürecinden geçirilerek, farklı konstrüksiyonların aynı çarpışma şartları altındaki davranışları incelenmiştir (Şekil 4.2-4.8). Modellerdeki hasarlar Şekil 4.9'da, elde edilen Kuvvet-Penetrasyon ve Enerji-Penetrasyon diyagramları ise Şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

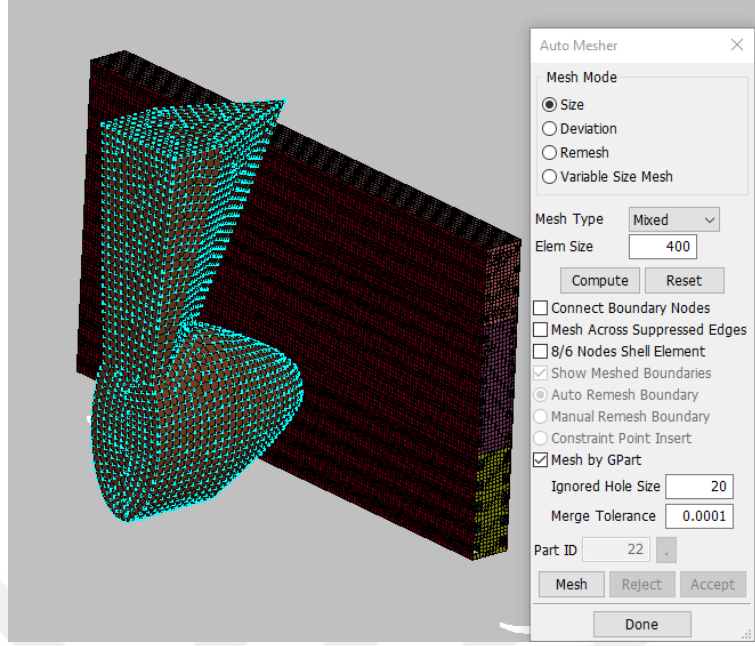


Şekil 4.2 Standart VLCC modeli oluşturma



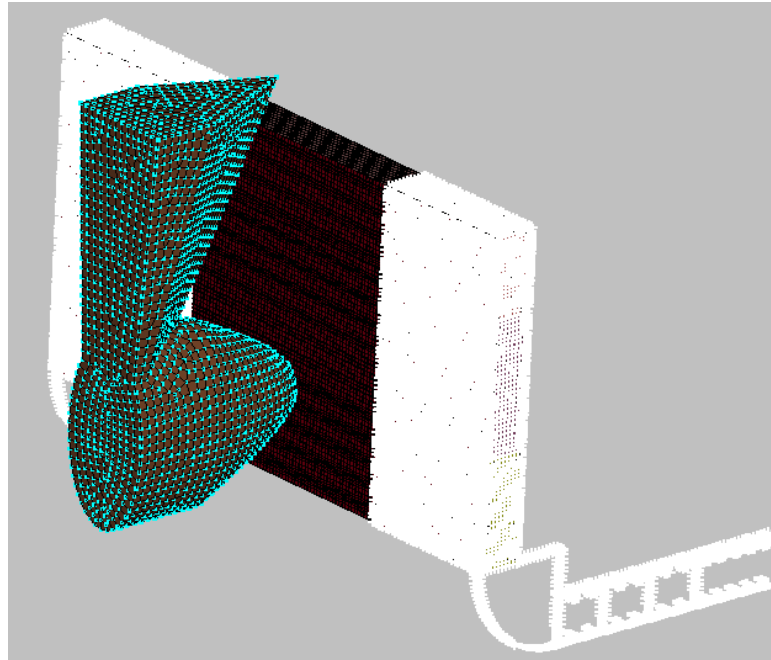
Şekil 4.3 Ağ oluşturma işlemi

Çarpışacak olan gemi gövde kesiti ile yumrubaşı baş bodoslama modelleri ve ağ yapıları oluşturulduktan sonra, tüm ağın çarpışma sırasındaki davranışı yazılım içinde düzenlenerek sınırlandırılmaktadır. Bu sebeple malzeme özellikleri, sınır koşulları, analiz süresi ve çıktı tipleri analize başlamadan önce girilmektedir. Bu süreç temel olarak ağ yapısının oluşturulmasını ve ağ yapısının oluşturulmasında otomatik olarak element atanmasını kapsamaktadır (Şekil 4.2-4.5). Çarpılan geminin sancak bordası, kesit kenarları boyunca ankastre mesnet olarak sabitlenmiş, ayrıca yumrubaşa ait konstrüksiyona ilk hız ve kütle tanımlanmıştır (Şekil 4.5-4.7). Malzeme olarak AH36 çeliği seçilmiş ve bu malzeme lineer elastik-plastik özellikte kabul edilmiştir. İzleyen aşamada yazılım çalıştırılmış ve oluşan hasarlar ile absorbe edilen kuvvet ve enerji değerleri Şekil 4.8-4.11'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.4 Verilerin malzeme kartına işlenmesi

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerde çarpılan gemi gövdesi durağan olarak kabul edilmiştir. Yumrubaşı baş bodoslamaya ise dik açıda hız tanımlanarak sınır koşulları oluşturulmuş ve diğer gemiye dik olarak çarpması sağlanmıştır (Şekil 4.4-4.5).

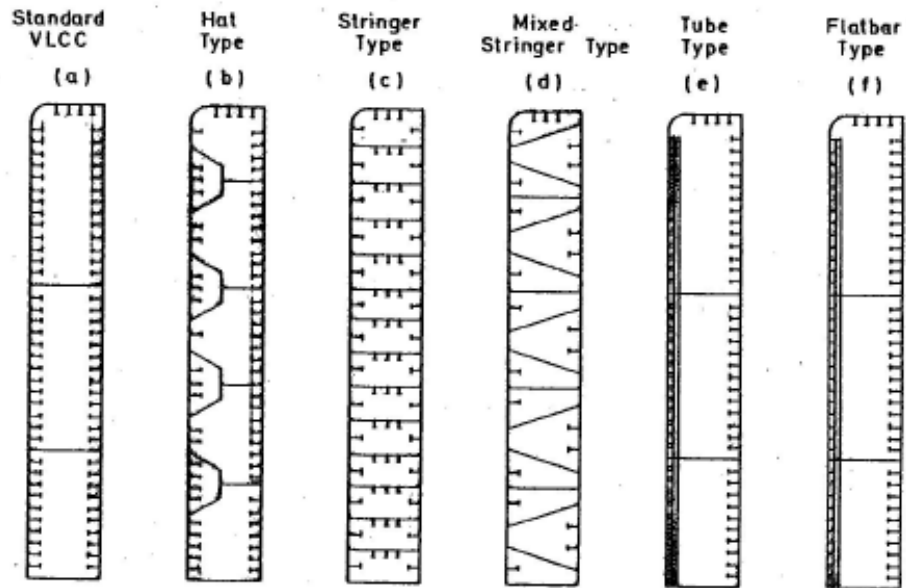


Şekil 4.5 Sınır koşullarının oluşturulması

LS-DYNA yazılımının malzeme kütüphanesinde birçok malzeme ve malzeme davranışı yer almaktadır. Malzeme olarak gemi inşa çeliği seçilerek, lineer elastik-plastik malzeme davranışı seçilmiş ve malzemenin yoğunluğu, Young modülü, akma gerilmesi gibi mekanik özellikler tanımlanmıştır (Şekil 4.6). Son aşamada LS-Run ile analiz gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.6 Malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

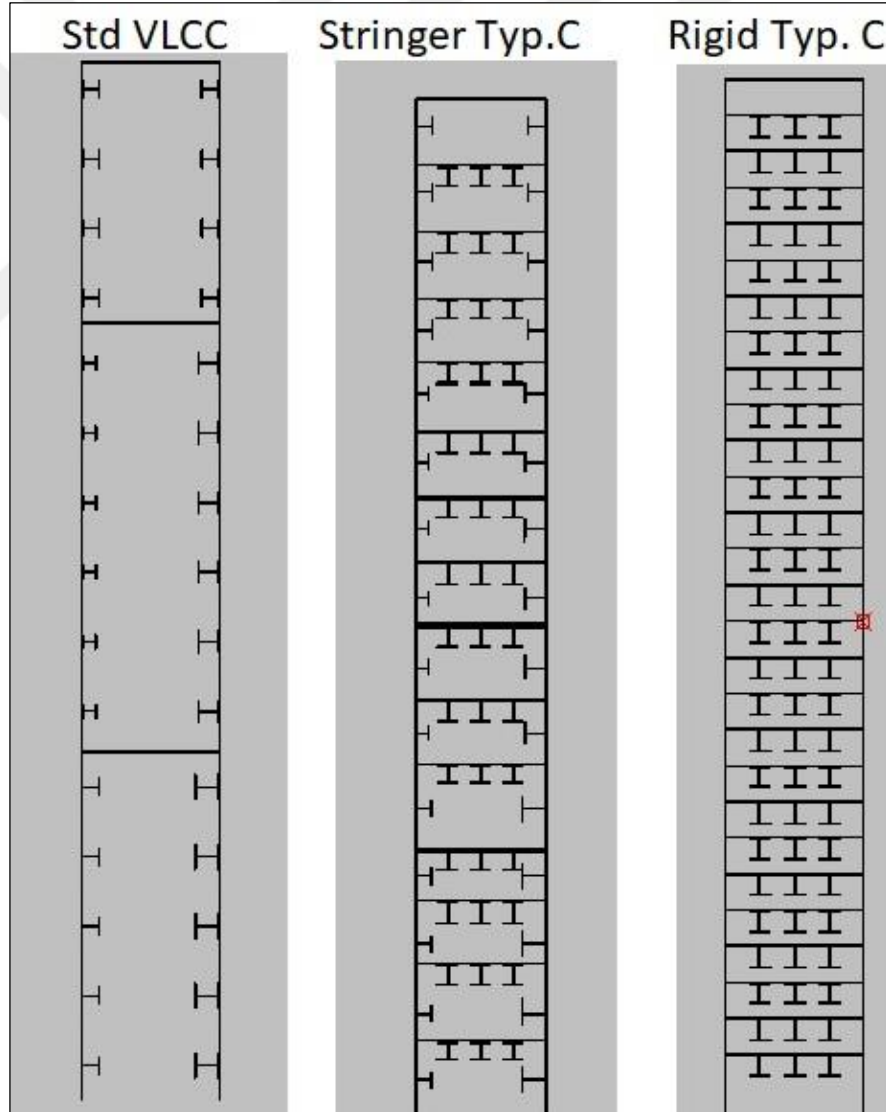
Çarpışma analizlerinde temel olarak çift cidarlı Standart “Very Large Crude Carrier” (VLCC) tasarımı incelenmiştir (Şekil 4.7a,c ve 4.8) (Törnqvist, 2003). Bu tasarımın çok benzerinin ele alındığı Liu ve diğ. (2021) ait yayındaki verilerin sağlanmasının ardından yapı elemanlarının cidar kalınlıkları %15 ve %30 olarak artırılarak analizler tekrarlanmıştır.



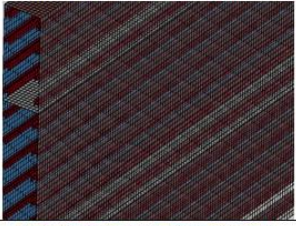
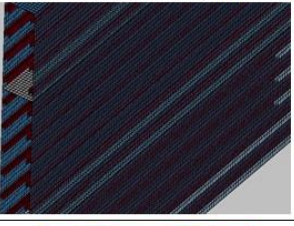
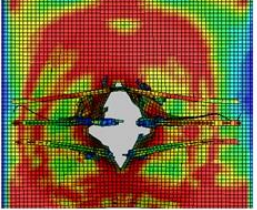
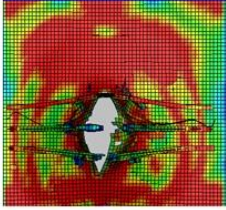
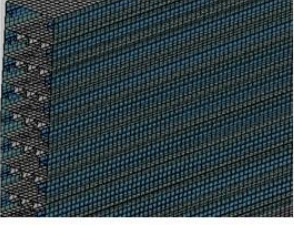
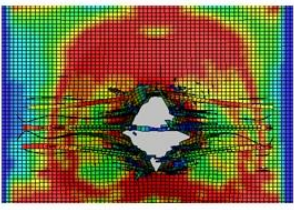
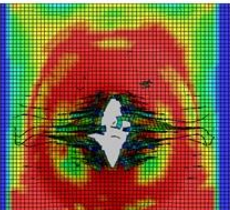
Şekil 4.7 Konstrüksiyon tipleri (Törnqvist, 2003)

İzleyen analizlerde Törnqvist'in (2003) çalışmasında yer alan Standart VLCC'den farklı bir konstrüksiyon olan Stringer tipi için yeni model oluşturulup analiz gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7c ve 4.8). Daha sonra bu konstrüksiyondaki yapı elemanların cidar kalınlıkları %15 ve %30 artırılarak analizler tekrarlanmıştır. Sonuçlar Stringer tipi konstrüksiyonun Standart VLCC'ye göre absorbe edebileceği enerjinin çok daha yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 4.9-4.11).

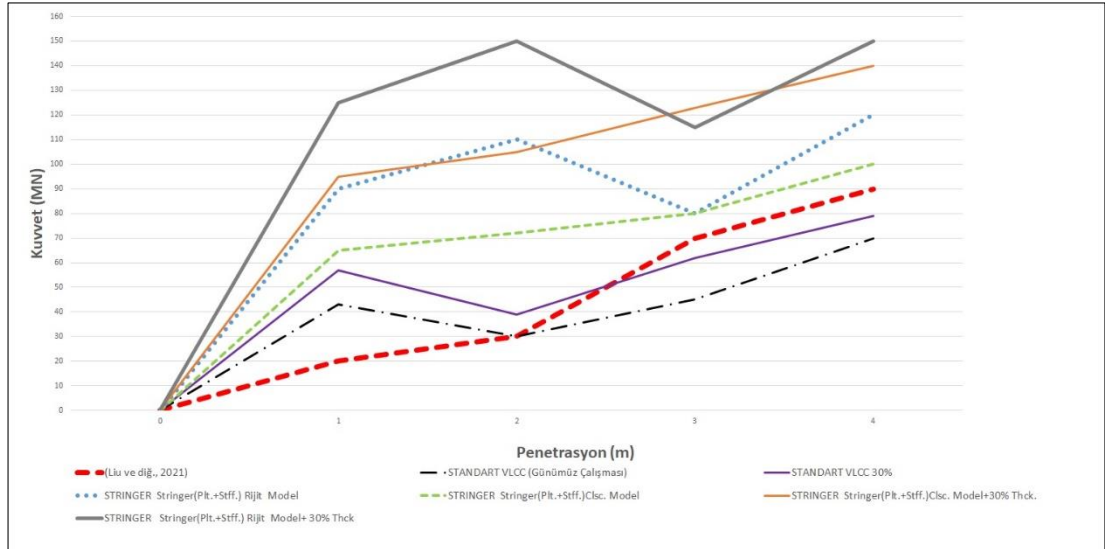
Standart VLCC tip ile Stringer tip konstrüksiyonlar ve bu konstrüksiyonlara ait yapı elemanlarının cidar kalınlıklarının %15 ve %30 oranında artırılması ile elde edilen analiz sonuçlarına ait hasar oluşumları Şekil 4.9'da, elde edilen sonuçlar ise 4.10 ve 4.11'de ayrıntılı olarak verilmektedir.



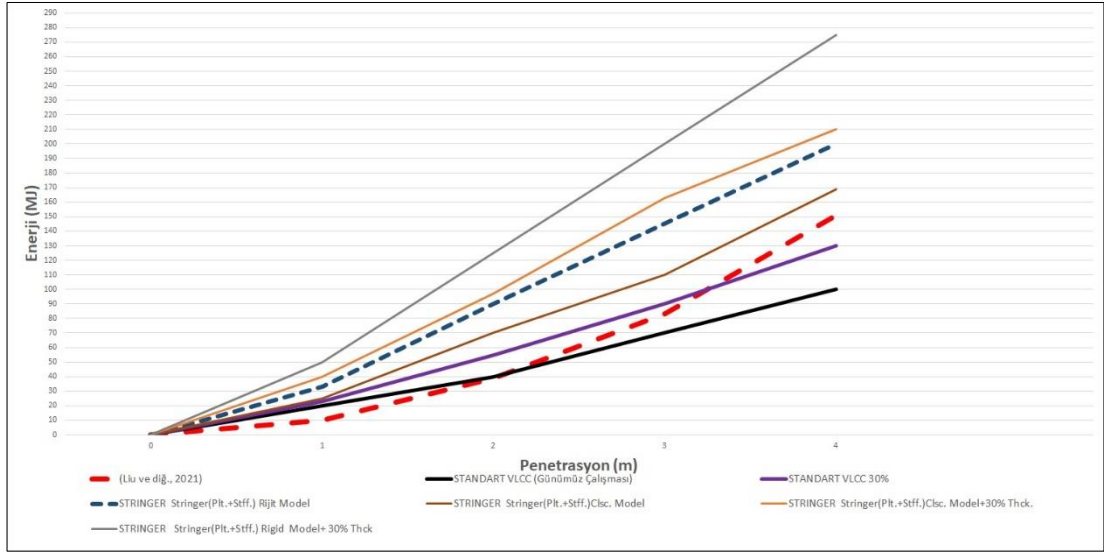
Şekil 4.8 Seçilerek modellenen Standart VLCC tip ile Stringer tip konstrüksiyonlar

KONSTRUKSIYON MODELLERİ VE ANALİZLERİ	
Standart VLCC(Günümüz Çalışması)	Standart VLCC(Günümüz Çalışması)+30%Thck.
	
	
Stringer Tip&Stringer Tip(+30% Thck.)	Stringer Rijit Model&(+30% Thck.)
	
	

Şekil 4.9 Farklı tip konstrüksiyonlar ve hasar durumları

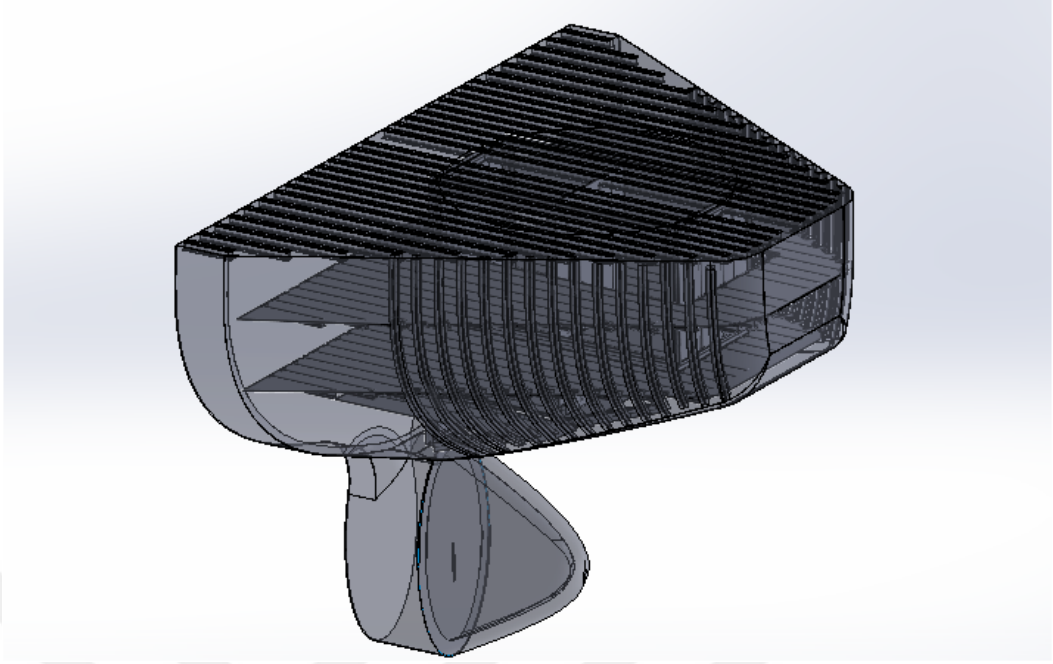


Şekil 4.10 Standart VLCC tip ile Stringer tip konstrüksiyonlara ait oluşan kuvvet ve penetrasyon diyagramı



Şekil 4.11 Standart VLCC tip ile Stringer tip konstrüksiyonlara ait absorbe edilen enerji ve penetrasyon diyagramı

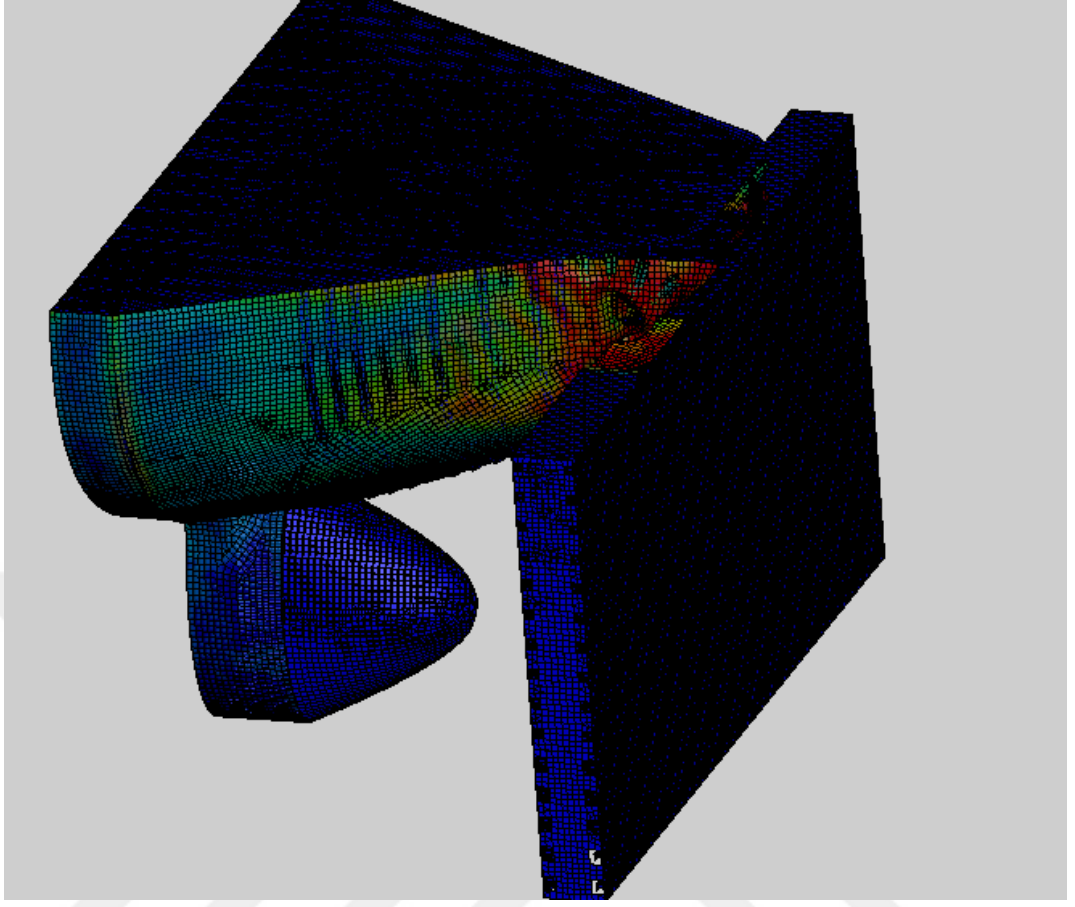
Dolayısı ile çarpışmaya karşı çok daha mukavim bir gemi konstrüksiyonunun henüz tasarım aşamasında çok daha ayrıntılı olarak ele alınması ve incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Zırhlı korumaya sahip savaş gemileri kadar olmasa da yine de çok rijit ve mukavim olmalarına rağmen, gemilerin bordalarının, çarpan gemilerin yumrubaşları tarafından her zaman yaralanabileceği kesindir. Bu nedenle, yalnızca çarpılan gemilerin bordalarının değil, bundan daha önemlisi, aynı zamanda çarpan gemilerin yumrubaşlı baş bodoslama konstrüksiyonlarının çarpma riskine karşı yeniden tasarlanarak oluşan hasarın önemli oranda sınırlandırılması gerektiği aşamaya gelinmiştir (Şekil 4.12-4.13).



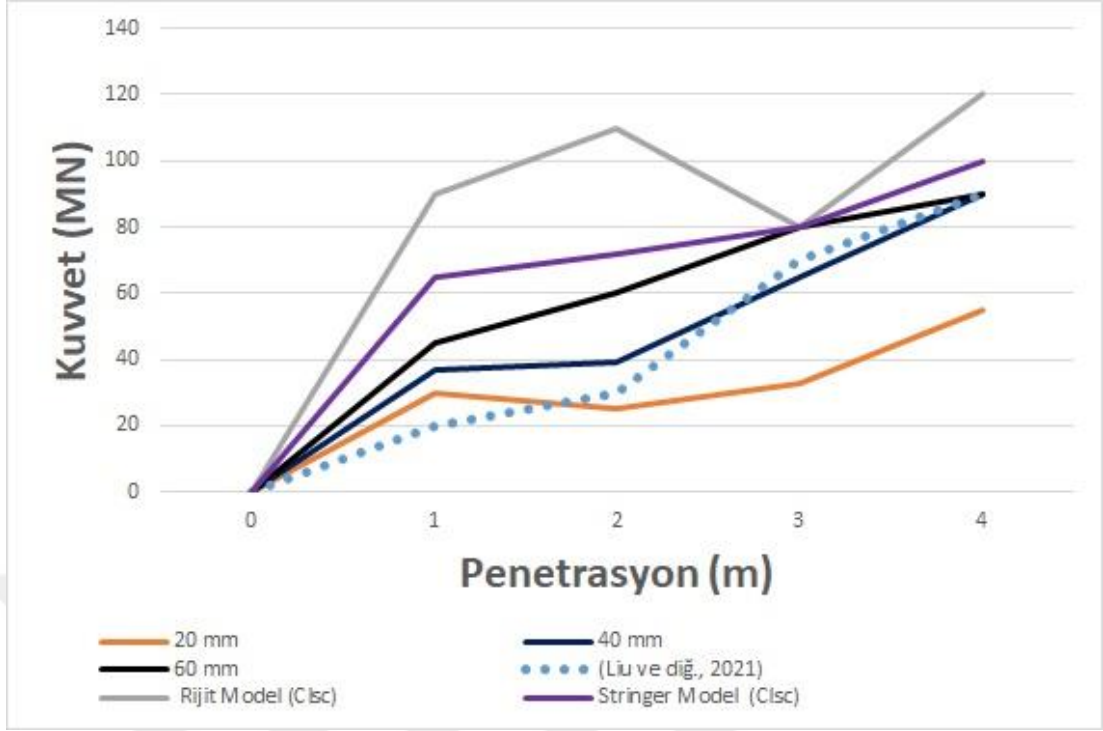
Şekil 4.12 Yeni tip yumrubaş modeli

4.3 Yeni Bir Baş Bodoslama Tasarımı

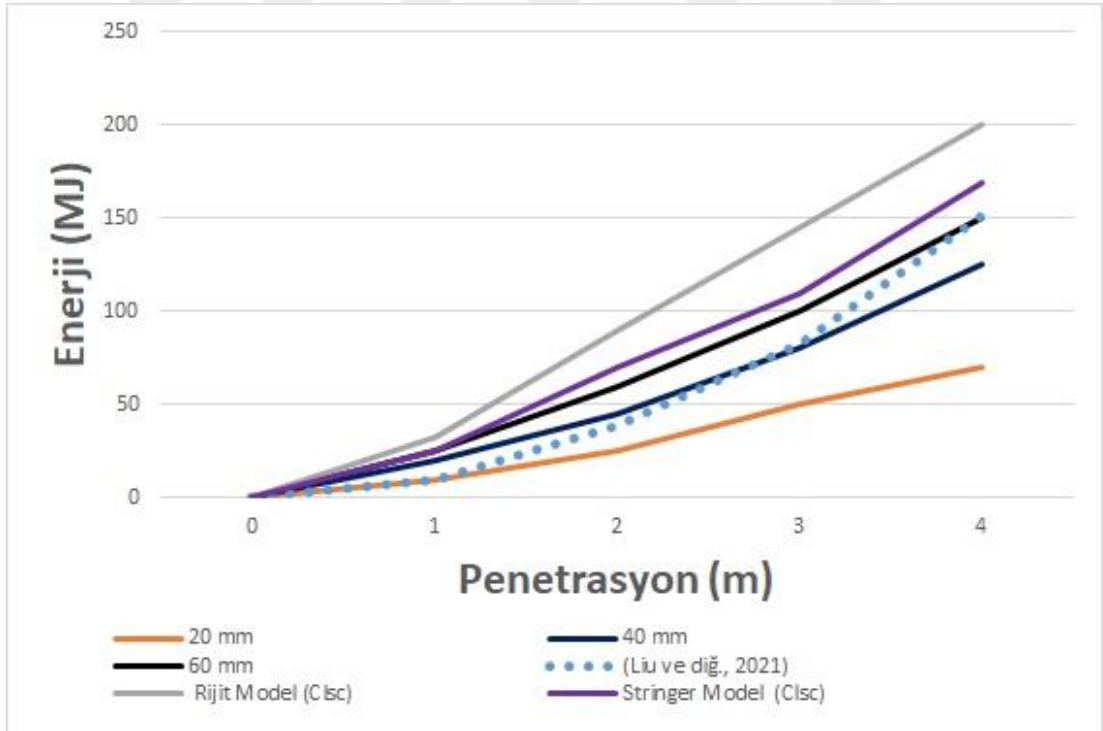
Çarpışma durumunda temel hedef, çarpılan gemilerin bordalarının ağır hasar almadan önce, çarpan gemilerin iyi tasarlanmış baş bodoslamalarının hasar alarak ortaya çıkan enerjiyi sönmölemeleri olmalıdır. Bu şekilde ağır çevre felaketlerinin, yüksek maliyetli hasar oluşumunun ve yüksek tazminat ödemelerinin önüne geçilebilecektir. Bu nedenle baş bodoslama tasarımında uygulanması gereken temel tasarım değişikliği, çarpışma sırasında “koçbaşı” işlevine sahip rijit yapıdaki yumrubaşların tamamen baş bodoslamaların altına yerleştirilmesi/gizlenmesi zorunluluğudur (Şekil 4.12-4.13). Böylelikle çarpışma anında, rijit yumrubaş çarpılan geminin bordasını yaralamadan, geniş bir yüzey alanına sahip baş bodoslama, çarpılan geminin üst borda ve güverte bölgesinde geniş bir alana temas ederek, iç saca ulaşmadan ortaya çıkan enerjinin sönmölenmesi sağlanabilecektir (Şekil 4.13-4.15). Baş bodoslama bölgesinde yüksek yoğunluklu polietilen (High Density Polyethylene, HDPE) vb. malzemelerin kullanımı, çarpılan gemide hasarın çok daha sınırlı olmasını sağlayacak, çarpan geminin baş bodoslaması tampon işlevini üstlenerek enerjinin büyük kısmını sönmöleyecektir.



Şekil 4.13 Yeni tip yumrubaş modeli ve hasar durumu



Şekil 4.14 Yeni tip yumrubaş modelinin sönümlediği kuvvet



Şekil 4.15 Yeni tip yumrubaş modelinin sönümlediği enerji

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Herhangi bir geminin bir tankere veya tankerlerin birbirlerine çarpmasıyla denize petrol veya türevlerinin yayılması ve bunun sonucunda yayılan bu kirliliğin kıyı ve denizel ekosistemi olumsuz yönde etkilemesi kaçınılmazdır. Çarpışma sırasında, çarpılan gemilerin bordalarının ağır hasar almadan önce, çarpan gemilerin iyi tasarlanmış baş bodoslamalarının hasar alarak ortaya çıkan enerjiyi sönmömleri temel hedeflerden biri olmalıdır. Çünkü bu tip bir yaralanmada yakıt taşıyan tankların zarar görme olasılığı bulunmamaktadır. Böylelikle denizel çevre güvenliği ön planda tutulurken, ayrıca yüksek maliyetli hasarlardan ve sigorta ödemelerinden kaçınılması da mümkün olacaktır. Bu tez çalışmasında, öncelikle literatürde bulunan deney ve simölasyonların modellenerek sağlanması, böylelikle izleyen aşamada yapılacak analizlerin validasyonu sağlanmıştır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerde, çift cidarlı konstrüksiyon olan Standart VLCC ve Stringer tipi gemi gövde konstrüksiyonları, üç boyutlu olarak modellenmiş, farklı tip gemi baş bodoslamalarının bu konstrüksiyonlara çarpmaları sonucu gerçekleşen hasarların analizleri ANSYS-LS DYNA yazılımı ile yapılmıştır. Analizlerde çarpışma koşulları, yapılan kabuller ve yazılımın kullanım arayüzleri detaylıca açıklanmıştır. Ayrıca ampirik bir formöl yardımıyla ön tahmin hesabı gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde absorbe edilen enerjinin kullanılan malzeme, cidar kalınlıkları ve geometri koşullarıyla değişimi izlenmiştir. Elde edilen Kuvvet-Penetrasyon ve Enerji-Penetrasyon değişimleri yorumlanmıştır.

Öneri olarak, sadece (çarpılan) gemilerin bordalarının değil, aynı zamanda (çarpan) gemilerin baş bodoslama konstrüksiyonlarının da iyileştirilerek, hasarın sınırlandırılması zorunluluğı ortaya çıkmıştır. Yani çarpışma anında temel hedef, çarpılan gemilerin bordalarının ağır hasar almadan önce, çarpan gemilerin iyi tasarlanmış baş bodoslamalarının hasar alarak ortaya çıkan enerjiyi sönmömleri zorunluluğudur. Bu tez kapsamında baş bodoslama tasarımında uygulanması gereken temel tasarım değişikliği, çarpışma sırasında “koçbaşı” işlevine sahip rijit yapıdaki yumrubaşların tamamen baş bodoslamaların altına gizlenmesi zorunluluğı olmuştur. Böylelikle çarpışma anında, rijit yumrubaş çarpılan geminin bordasını yaralamadan,

geniş bir yüzey alanına sahip baş bodoslama, çarpılan geminin borda ve güverte bölgesinde geniş bir alana temas ederek, i saca ulaşmadan ortaya çıkan enerjinin sönümlenmesi mümkündür. Baş bodoslama bölgesinde HDPE vb. malzemelerin kullanımı, çarpılan gemide hasarın çok daha sınırlı olmasını sağlayacak, çarpan geminin baş bodoslama tampon işlevini üstlenerek enerjinin büyük bölümünü snmleyecektir.

Bu tezin devamı olarak, çok farklı baş bodoslama konstrüksiyonlarının tasarlanarak küçük ölçekli testlerinin yapılması ve izleyen aşamada simlasyonların bu deneylerle doğrulanasak, çarpışmalar sırasında sönümlenen enerjinin maksimize edilmesi yanında, yeni baş bodoslama formuna bağlı olarak geminin denizcilik özelliklerinin de araştırılması zorunlu hale gelmiştir.

KAYNAKLAR

- Biçer, M. (2023). Kompozit yapıların mekanik davranışlarının denizel çevresel etkiler altında modellenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Ehlers, S., Broekhuijsen, J., Alsos, H. S., Biehl, F., & Tabri, K. (2008). Simulating the collision response of ship side structures: A failure criteria benchmark study. *International Shipbuilding Progress*, 55(1-2), 127-144.
- Gürsel, K. T., Nane, S. N. (2010). Non-linear finite element analyses of automobiles and their elements in crashes. *International journal of crashworthiness*, 15(6), 667-692.
- ITOPF (2023)-Oil Tanker Spill Statistic 2022, [Broşür].
https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Tanker_Spill_Statistics_2023
- Lehmann, E., Peschmann, J. (2002). Energy absorption by the steel structure of ships in the event of collisions. *Marine Structures*, 15(4-5), 429-441.
- Liu, B., Villavicencio, R., Pedersen, P. T., & Soares, C. G. (2021). Analysis of structural crashworthiness of double-hull ships in collision and grounding. *Marine Structures*, 76, 102898.
- LS-DYNA Manual R13.0.Vol I-II-III, (19 Aralık 2022) LSTC Livermore Software Technology Corporation, www.dynasupport.com/manuals.
- Odabaşı, A. Y. (2010). İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Bölümü 2010-2011 Güz Yarıyılı
<https://docplayer.biz.tr/969080-Hazirlayan-prof-dr-a-yucel-odabasi.html>.
- Onay, M. G., Pehlivanoglu-Mantas, E., Martins, F. Oil Spill Modeling in East Mediterranean. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2020, 35.4: 1737-1750.

Paik, J. K. (2007). Practical techniques for finite element modelling to simulate structural crashworthiness in ship collisions and grounding (Part II: Verification). *Ships and Offshore Structures*, 2(1), 81-85.

Törnqvist, R. (2003). Design of Crashworthy Ship Structures. Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.

UNCTAD, (TD/STAT.47), United Nations, 2022, https://unctad.org/system/files/official-document/tdstat47_en.pdf.

Windyandari, A., Kurdi, O., Sulardjaka, S. ve Tauviqirrahman, M. (2022). Bow structure damage analysis for hybrid coir-glass fiber composite fishing boat hull subjected to front collision load, *Curved and Layer. Struct.*, 9, 236–257.

Zhang, S. (1999). The mechanics of ship collisions. Institute of Naval Architecture and Offshore Engineering, pp. 196-197, ISBN 87-89502-05-1, Denmark.