

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ TEKNOLOJİLERİNİN
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN BÜTÜNLEŞİK
MODELLEMESİ

Mehmet ÖNAL

Ocak, 2019

İZMİR

GEMİ TEKNOLOJİLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN BÜTÜNLEŞİK MODELLEMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı Programı

Mehmet ÖNAL

Ocak, 2019

İZMİR

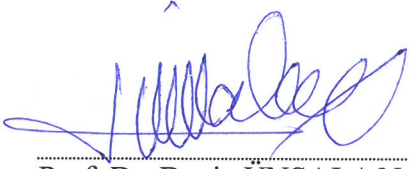
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MEHMET ÖNAL, tarafından **PROF.DR. KADRI TURGUT GÜRSEL** yönetiminde hazırlanan **“GEMİ TEKNOLOJİLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN BÜTÜNLEŞİK MODELLEMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof.Dr. K.Turgut GÜRSEL

Yönetici



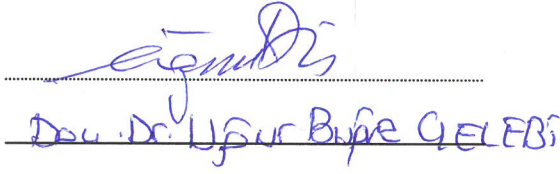
Prof. Dr. Deniz ÜNSALAN

Tez İzleme Komitesi Üyesi

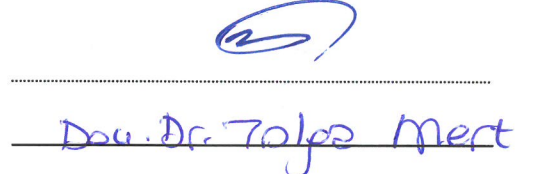


Prof.Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof.Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez bir çok insanın desteği olmasaydı mümkün olmazdı. Çalışmalarım süreci içerisinde bilgi ve tecrübelerini benimle her zaman paylaşan, teşviği, rehberliği ve sabrı ile bu çalışmanın ortaya çıkmasında öncü rol alan ve uzun bir süre tez danışmanlığımı da yapmış olan Sayın Prof. Dr. Gökdeniz Neşer’e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımın sağlıklı bir şekilde sonuçlanabilmesi için gerekli her noktada katkı sağlayarak bu çalışmanın gerçekleşmesinde çok önemli bir yeri olan kıymetli babam İsmail Önal’a yürekten teşekkür ederim.

Çalışmaların yürütülmesinde desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. K. Turgut Gürsel’e, farklı bakış açılarıyla çalışmaların bütüncül bir yaklaşım içerisinde şekillenmesine katkı sağlayan Prof. Dr. Nurdan Büyükkamacı’ya katkıları için teşekkür ederim.

Kocaeli Üniversitesi tarafından yürütülen Tersanelerin Deniz Çevresine olan Etkileri ve Temiz Üretim Tekniklerinin Belirlenmesi (TERTEMİZ) projesi kapsamında elde edilen bazı verilerden yararlanma imkanı sunan, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada veri analizi desteklerinden dolayı gemi inşaat ve gemi makinaları mühendisleri Gence Tunç’a ve Sinan İrtemek’e, bu çalışmanın ortaya çıkmasında kıymetli katkıları olan Doç Dr. Uğur Buğra Çelebi’ye, Gemi Geri Dönüşüm Sanayicileri Derneği Atık Yönetim Merkezi Sorumlusu Ersin Çeviker’e teşekkür ederim.

Son ama en az olarak değil, destek ve motivasyonlarını hiç br zaman esirgemeyen anneme, eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Mehmet ÖNAL

GEMİ TEKNOLOJİLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN BÜTÜNLEŞİK MODELLEMESİ

ÖZ

Bir geminin yaşam döngüsünün en yüksek çevresel etkileri, inşa ve ömür sonu / geri dönüşüm aşamasında meydana gelmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'deki ilgili sahalardan çelik tekne yapımı için toplanan veriler ve farklı tipteki gemiler için çelik tekne geri dönüşüm aşamalarından elde edilen veriler, çevresel etkileri belirlemek için SimaPro 8.2.3 yazılımı ve CML-IA metodolojisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Abiyotik tükenim, abiyotik tükenim (fosil yakıtlar), asitleştirme, ötrofikasyon, küresel ısınma, ozon tükenimi, insan toksisitesi, temiz sudaki ekotoksikite, deniz suyu ekolojik toksisitesi, toprak ekotoksikite ve fotokimyasal oksidasyon kategorilerine ait sonuçlar elde edilmiştir. Yaşam döngüsü envanterlerinden ve etki değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar, gemi inşasından kaynaklanan ilgili etkilerin ve gemi tipinin karmaşıklığının bu etkiler üzerinde yüzde 85 'lik önemli bir paya sahip olduğunu göstermiştir. Çalışma Yaşam döngüsü analizi (YDA)'nin gemi sahibi, tersane yöneticileri, klas toplulukları, gemi geri dönüşüm tesisleri ve denizcilik çevre endüstrilerindeki kamu otoriteleri gibi paydaşlara yardımcı olabilecek değerli bir araç olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam döngüsü analizi (YDA), gemi inşaatı, gemi geri dönüşümü, çevresel etkiler, çelik

INTEGRATED MODELLING OF SUSTAINABILITY OF SHIP TECHNOLOGIES

ABSTRACT

The highest environmental impacts of a ship's life cycle occurred during building and end-of-life / recycling phase. In this study, data gathered from the related sites in Turkey for steel hull building and its almost reverse process of steel hull recycling phases for different type of ships have been assessed by using SimaPro 8.2.3 software and CML-IA methodology to determine environmental impacts categories of abiotic depletion, abiotic depletion (fossil fuels), acidification, eutrophication, global warming, ozone depletion, human toxicity, freshwater aquatic ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity and photochemical oxidation. Results from life cycle inventories and impact assessment shown that 85 percent of the related impacts caused by shipbuilding and the complexity of the ship type have a significant effect on these impacts. The paper showed LCA to be a valuable tool which can help stakeholders such as ship owners, shipyards managers, classification societies, ship recycling facilities and public authorities in marine end environmental industries.

Keywords: Life cycle assessment (LCA), shipbuilding, ship recycling, environmental impacts, steel

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ - YDA VE GEMİ SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI.....	5
BÖLÜM ÜÇ - MATERYAL VE METOT.....	16
3.1 YDA Çalışmasının Amacı	16
3.2 Sistem Sınırları.....	18
3.2.1 Kabuller.....	18
3.3 Veri Kalitesi	19
3.3.1 Gemi İnşa Aşaması.....	19
3.3.2 İşletme Aşaması.....	22
3.3.3 Geri Dönüşüm Aşaması.....	22
3.4 YDA Yazılımı ve Veritabanı	25
3.4.1 Ecoinvent Veritabanı.....	27
3.5 YDA Yazılım Metodolojisi.....	29
BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR	32
4.1 Envanter Analiz Sonuçları	32
4.2 Çevresel Etki Sonuçları.....	36

BÖLÜM BEŞ - SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 47

KAYNAKLAR 51



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Beşikten mezara YDA kavramı	2
Şekil 1.2 Bir gemi için yaşam döngüsü analizi (YDA) kapsamı	4
Şekil 2.1 Gemi geri dönüşümünden kazanılan hurda miktarları	8
Şekil 2.2 YDA temelinde gemi bütünleşik modeli	9
Şekil 2.3 Yaşam döngüsü maliyetlendirmesi (YDM) bileşenleri	10
Şekil 2.4 Gemi yaşam döngüsü envanteri (YDE)	11
Şekil 2.5 Bir geminin yaşam döngüsü modeli	12
Şekil 3.1 YDA çalışmasının aşamaları.....	17
Şekil 3.2 SimaPro yazılımı ile oluşturulan asfalt tanker2 gemisine ait YDA akışı ...	27
Şekil 4.1 Abiyotik kaynak tükenim yüzdeleri.....	37
Şekil 4.2 Abiyotik kaynak tükenim (fosil yakıtlar) yüzdeleri.....	38
Şekil 4.3 Küresel ısınma yüzdeleri.....	39
Şekil 4.4 Ozon tükenimi yüzdeleri.....	40
Şekil 4.5 İnsan toksisite potansiyeli yüzdeleri	41
Şekil 4.6 Temiz su ekotoksisite potansiyeli yüzdeleri	41
Şekil 4.7 Deniz ekotoksisite potansiyeli	42
Şekil 4.8 Toprak ekotoksisite potansiyeli	43
Şekil 4.9 Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli yüzdeleri.....	43
Şekil 4.10 Asitleştirme potansiyeli yüzdeleri.....	44
Şekil 4.11 Ötrofikasyon yüzdeleri.....	45

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 EN ISO 14040 YDA standartları serisi	1
Tablo 1.2 Çevresel etki kategorileri	3
Tablo 2.1 Türk deniz ticaret filosunun gemi tipleri için gelişimi	6
Tablo 2.2 2015 yılı Türkiye gemi filosu yaş ortalaması	7
Tablo 2.3 YS gemilerden elde edilen malzemelerin LDT'nin yüzdesi miktarları	15
Tablo 3.1 Gemi inşa aşaması girdileri.....	20
Tablo 3.2 Gemi geri dönüşüm aşamasındaki girdi malzemeler	23
Tablo 3.3 Kullanılan malzemeler için veritabanı karşılıkları.....	28
Tablo 4.1 Çalışmada kullanılan gemi tiplerine göre hesaplanan örnek adetleri	32
Tablo 4.2 Bir römorkör için metallere göre emisyon değerleri	33
Tablo 4.3 Bir römorkör için kaynak malzemelere göre emisyonlar	34
Tablo 4.4 Etki kategorilerinde en yüksek (Y) ve en düşük (D) sonuçlar.....	46

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

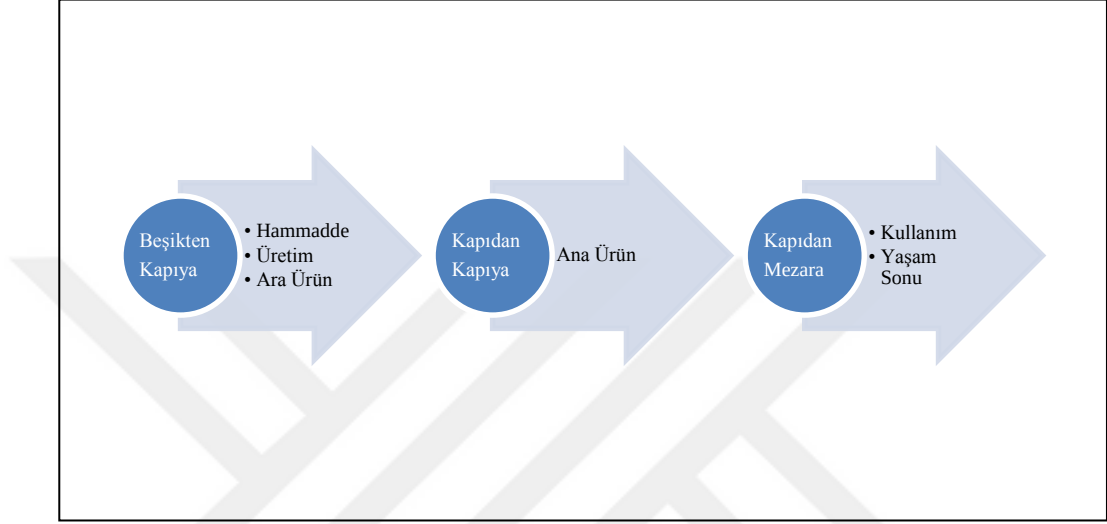
Denizcilik sektörünün önemi söz konusu olduğunda artık günümüzde yalnız bu sektörden elde edilebilecek kazançlar değil, bu sektörün gerek tükettiği kaynaklar (ham maddeler, enerji), gerekse de kaynak tüketimi nedeniyle sektörün yol açtığı çevresel olumsuz etkiler birlikte anılır olmuştur. (Nicolae, Popa, ve Beizadea, 2014). Çevresel olumsuz etkileri azaltmanın bir yolunun geri dönüşüm yoluyla malzemelerin etkin bir döngüye sokulmasının yanısıra, dönüştürülecek malzemelerin miktarının da azaltılması olduğu açıktır. Bir geminin yaşam döngüsünün yarattığı olumsuzluklara, gemi geri dönüşümü gibi süreçlerin uygulanmasıyla denizcilik endüstrisinin sürdürülebilir büyümesi sağlanabilecektir. Bu anlamda, ürünlerin ve hizmetlerin Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), sürdürülebilir büyüme hedeflerine ulaşmak için uygun bir araç olarak belirmektedir.

YDA yöntemi ISO 14040 serisinde ortaya konmuş bir kurallar dizisiyle uygulanabilir ki bu bağlamda bir YDA'nın içerdiği aşamalar da aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır. Analizin amaç ve kapsamının tanımlanması (ISO 14040), belirli bir sistemin girdi ve çıktı tiplerinin envanterinin oluşturulması (ISO 14041), girdi ve çıktı elemanlarına göre potansiyel çevresel etkilerin değerlendirilmesi (ISO 14042) ve sonuçların yorumlanması (ISO 14043) aşamaları ayrı ayrı tanımlanmıştır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1 EN ISO 14040 YDA standartları serisi (Kılıç, 2010).

TSE EN ISO 14040 Serisi Yaşam Döngüsü Analizi
TS EN ISO 14040:2007 Prensipler ve Çerçeve
TS EN ISO 14041:2003 Amaç ve Kapsam Tanımı ile Envanter Analizi
TS EN ISO 14042:2002 Hayat boyu etki değerlendirmesi
TS EN ISO 14043:2003 Hayat boyu yorumu
TS EN ISO 14044:2007 Gerekliler ve kılavuzlar

Mevcut araştırmalar, yaşam dongusunun üretim, işletme ve yaşam sonu (YS) süreçlerinden kaynaklanan atıkları ve emisyon hacmini azaltmak temelindeki çevresel etki değerlendirmelerine odaklanmıştır. Yaşam döngü kavramı, üretim aşamasından geri donuşum sürecine dek sürecek bir “beşikten mezara”, hatta “beşikten beşiğe” yaklaşımına karşılık gelir (şekil 1.1).



şekil 1.1 Beşikten mezara YDA kavramı

Beşikten kapiya aşaması YDA içerisinde tanımlanan “ana ürün” imalatı için gerekli olan hammadde ve ara ürünlerin tedarik sürecinin çevresel etkilerinin hesaplandığı aşamadır. Kapıdan kapiya aşamasında ise YDA sistemi içerisinde tanımlanan ana ürün imalatının çevresel etkileri belirlenmektedir. Kapıdan mezara aşamasında, son tüketici tarafından kullanımı gerçekleştirilen runun yaşam sonuna kadar olan süreci ele almaktadır.

YDA içerisinde belirlenen bu aşmalalar bir runun işletmeden işletmeye ve işletmeden kullanıcaya olan süreçlerinin ayrı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

YDA modellenmesi sonucunda evre etkilerinin karşılaştırılabilmesi için model sonuçları ilgili evre etki kategorisine göre analiz edilmektedir (Tablo 1.2).

Karbon ayakizi, ürünün üretilmesi ve kullanılması süreçlerini içeren bir zaman diliminde, dolaylı ve dolaysız olarak atmosfere yayılan sera gazlarının emisyonunu ifade etmektedir. Bir ticari gemi söz konusu olduğunda karbon ayakizi, bu geminin yaşam döngüsü boyunca yaktığı fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon anlaşılacaktır.

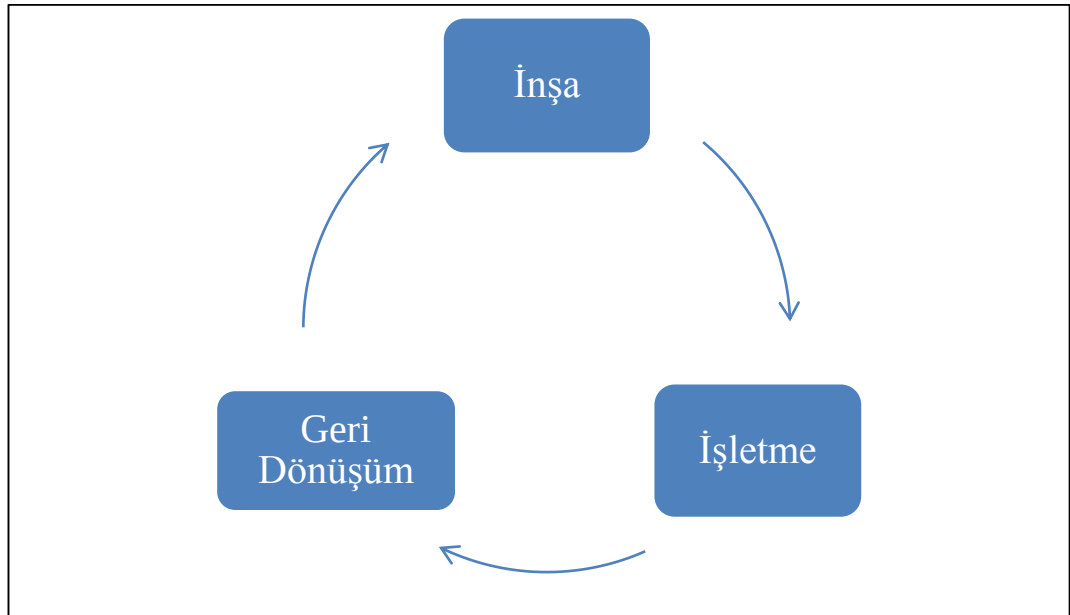
Tablo 1.2 Çevresel etki kategorileri (Kılıç, 2010)

Çevresel Etki Kategorileri	Birim (Eşdeğer)	Açıklama
Abiyotik Kaynakların Tükenim Potansiyeli (AKTP) (Abiotic Depletion Potential)	kg Sb	Madenler, fosil yakıtlar ve mineraller gibi yenilenebilir olmayan kaynakların çıkarılması, rezervlerin tükenmesi
Asitleştirme Potansiyeli (AP) (Acidification Potential)	kg SO ₂	Toprak ve suda asidik çökelmelere neden olan, proton verebilme yeteneğine sahip sülfürik asit, nitrik asit sülfür oksitler (SO ₂ , SO ₃) ve nitrojen oksitler (N ₂ O, NO ve NO ₂) gibi maddelerin salınması
Ötrofikasyon Potansiyeli (ÖP) (Eutrophication Potential)	kg PO ₄ ²⁻	Sudaki oksijen oranını düşüren ve biyokütle oluşumunun artmasına neden olan Azot (N) ve Fosfor (P) gibi aşırı besleyicilerin suya salınması
Temiz Su Ekotoksosite Potansiyeli (TSETP) (Fresh Water Aquatic Ecotoxicity Potential)	kg 1,4-D	Su canlıları üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin tatlı su ekosistemine salınması
Deniz Ekotoksosite Potansiyeli (DETP) (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential)	kg 1,4-D	Su canlıları üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin deniz ekosistemine salınması
İnsan Toksisite Potansiyeli (İTP) (Human Toxicity Potential)	kg 1,4-D	İnsan sağlığı üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin hava, su ve toprak yoluyla salınması
Toprak Ekotoksosite Potansiyeli (TETP) (Terrestrial Ecotoxicity Potential)	kg 1,4-D	Toprak ekosistemi üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin salınması
Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) (Global Warming Potential)	kg CO ₂	Sera gazlarının (CO ₂ , CH ₄ , CO ve NO _x) atmosfere yayılması
Ozon Tükenim Potansiyeli (OTP) (Ozone Depletion Potential)	kg CFC-11	Ozon tabakasının incelmeye neden olan kloroflorokarbon (CFC) emisyonu
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (FOP) (Photochemical Ozone Depletion Potential)	kg C ₂ H ₄	Fotokimyasal sis oluşumuna neden olan havada asılı partiküllerin meydana gelmesi
Enerji Tüketimi (ET) (Energy Consumption)	MJ	Yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının (örn. petrol, doğal gaz vb.) ve elektrik enerjisinin tüketimi, bu kaynakların elde edilmesi ve işlenmesi için tüketilen üretim enerjisi

Hava asitlenmesi, sülfür dioksit, nitrojen oksitler ve havaya karışan diğer asit emisyonlarının boyutunu ifade eder ki bu emisyonlar asit yağmurlarını oluşturarak havaya olduğu kadar su ve toprağa da zehirli madde etkisi yaparlar. Su ötrofikasyonu ise gemiden kaynaklanan ve denizel ekosisteme eklenen aşırı miktardaki besinlerle kendini gösterir. Atık sulardaki nitrojen ve fosfat aşırı bir alg patlamasına, suyun oksijeninin azalmasına ve giderek denizdeki yaşamın azalmasına neden olur.

İklim değışikliği doğal olarak küresel bir olgu haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler Paris Anlaşması ile, bu olguyu acil önlem alınması gereken bir tehdit olarak görerek bu olumsuzlukla mücadelede amacını, 2030 tarihine kadar küresel sıcaklık artışını 2 Ç’de ve belki daha ideali 1.5 Ç’ de sınırlı tutmak olarak belirlemiştir. Sera gazı salınımları artışı devam ettiğinden (Le Qur, ve diğer, 2016), antlaşmadaki hedeflere varabilmek için, hızlı ve ciddi bir kesintinin yapılması gerekmektedir (Anderson ve Bows, 2011 ; Allen, Frame, Huntingford, Jones, ve Lowe, 2009). Bir bütün olarak denizcilik sektörü, son yıllarda bu tartışmaların odağında yer almakta ve gerekli katkıyı koyabilmek için önemli bir etkiyi sağlamaya çalışmaktadır (Gilbert ve Bows, 2012).

Bir gemi için yaşam döngüsü analizi (YDA) kapsamı şekil 1.2’ de gösterilmektedir. Bu alışma, yaşam döngüsü analizi ile aynı malzemeden üretilmiş olan gemilerin aynı ve farklı gemi tipleri içerisindeki çevresel etki sonuçlarının karşılaştırılabilmek, gemi inşa ve geri dönüşüm süreçleri içerisindeki evre dostu üretim odağında sürdürülebilirlik mühendislik yaklaşımının faydalanabileceği somut sonuçları ortaya koyabilmeyi amaçlamaktadır.



şekil 1.2 Bir gemi için yaşam döngüsü analizi (YDA) kapsamı

BÖLÜM İKİ

YDA VE GEMİ SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI

Uluslararası ticaretin en önemli birleştirici unsuru olan dünya deniz ticaret filosunun yaklaşık hacminin 1,5 milyar DWT ve dünya deniz ticaret hacminin de yılda 9 milyar ton'a ulaştığı günümüzde bu ticaret hacminin değeri de 9 trilyon Amerikan Doları büyüklüğüne ulaşmıştır. Bu kapsamda örneğin, Avrupa Birliği (AB) çerçevesinde deniz ticareti önemli rol oynamaktadır. 2015 yılı itibarı ile AB'nin üyesi olmayan üçüncü ülkelerle deniz taşımacılığı ile gerçekleştirdiği ticaret hacmi 1,777 milyar Avro seviyesine ulaşmıştır. Detaylı olarak incelendiğinde ise AB ithalatının %53'ünün deniz ticareti ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Yine AB tarafından üçüncü dünya ülkelerine gerçekleştirilen ihracatın da %48'inin deniz taşımacılığı ile yapıldığı görülmektedir (GİSBİR, 2017). Dünya ticareti açısından kilit noktada bulunan deniz yolu taşımacılığında Türkiye'de de 2017 yılı sonu itibarıyla faaliyette olan 78 tersanede 4,44 milyon DWT/yıl toplam tersane proje kapasitesi ile gemi inşası gerçekleştirilmekte ve dünya deniz taşımacılığı ve deniz ticaretine önemli katkılar sağlamaya devam edilmektedir. (UAB, 2018). Çok çeşitli gemi tiplerinin inşası gerçekleştirilen Türkiye'de (Tablo 2.1) de hammadde tedariki ve inşaa süreçleri yönetimleri konusunda da çevresel etkiler göz önünde bulundurularak sürdürülebilir mühendislik yaklaşımı odağında çalışmalar geliştirilmesi sektör açısından önem arz etmektedir. Bir gemi henüz proje aşamasında iken hesaplamalarda;

- Hammadde tedarik yöntemi
- İnşaa süreç yönetimi
- Hizmet ömrü yakıt sarfıyatı
- Geri dönüşüme tabi tutulması

dikkate alınarak çevresel etkilerin öngörülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda kullanılacak olan gemi özelinde YDA ile tüm çevresel etki kategorilerine ait veriler elde edilerek istenen yeterlilikteki gemilerin optimum çevresel etki ile inşaa edilmesi gerçekleştirilmiş olacaktır.

Tablo 2.1 Türk deniz ticaret filosunun gemi tipleri için gelişimi (DTGM, 2018)

Gemi Tipi	2014		2015		2016		2017	
	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT
Kuruyük	376	1.462.563	322	1.285.890	311	1.193.979	292	1.134.588
Konteyner	43	764.596	50	962.469	51	1.041.769	64	2.692.977
LPG Tankeri	6	30.789	7	39.389	7	39.389	6	33.880
Kimyevi Madde Tankeri	72	548.223	62	446.465	59	473.089	55	448.992
Asfalt Tankerleri	2	22.738	3	42.666	3	42.666	3	42.666
Yolcu Gemileri	109	41.708	116	38.023	125	37.966	129	38.018
Feribot	49	14.047	50	12.296	53	12.050	52	11.768
Balıkçı Gemileri	227	9.185	229	8.838	244	8.838	279	8.646
Römorkörler	126	2.776	133	2.776	148	2.776	153	2.776
Dökme Yük	102	4.398.401	85	3.988.931	80	3.718.584	64	2.692.977
Akaryakıt / İşlenmiş Ürün Tankerleri	87	870.957	94	886.761	94	888.409	93	1.187.184
Ham Petrol Tankerleri	2	300.544	2	300.544	2	300.544	4	615.450
Yüzer Havuz / Vinç	44	287	49	8287	53	13125,87	57	13125,87
Hizmet / Servis Gemileri	99	65.782	99	52.743	106	54.661	117	65.087
Özel Yat	101	837	121	2551,1	123	2551,1	121	2551,1

Ayrıca Tablo 2.2 de verilen, halen aktif olarak hizmet vermeye devam eden gemilerin yaş ortalamaları da dikkate alındığında sistemli bir şekilde sürdürülebilir mühendislik planlamalarının önemi ortaya çıkmaktadır. Denizcilik konjonktürü içerisinde ortalama gemi ömrünün 20-25 sene olduğu göz önünde bulundurulursa gelecek on yıl içerisinde genel yük, yolcu gemileri, römorkör ve servis gemileri, balıkçı gemileri, petrol ürünü taşıyan gemiler, ikmal tekneleri ve Ro-Ro gemileri filolarında yeni gemilere de ihtiyaç duyulacağı görülmektedir.

Ömrünü tamamlamış olan gemiler yeşil endüstri diye de adlandırılan gemi geri dönüşüm tesislerinde kullanılabilir hurda olarak tekrar endüstriyel süreç içerisine katılırlar. Gemi geri dönüşüm sürecinde hurda geminin metal malzemeleri yeniden kullanılır ya da levha çelik imalatı amacıyla haddehanelere gönderilir.

Tablo 2.2 2015 yılı Türkiye gemi filosu yaş ortalaması (GİSBİR, 2017)

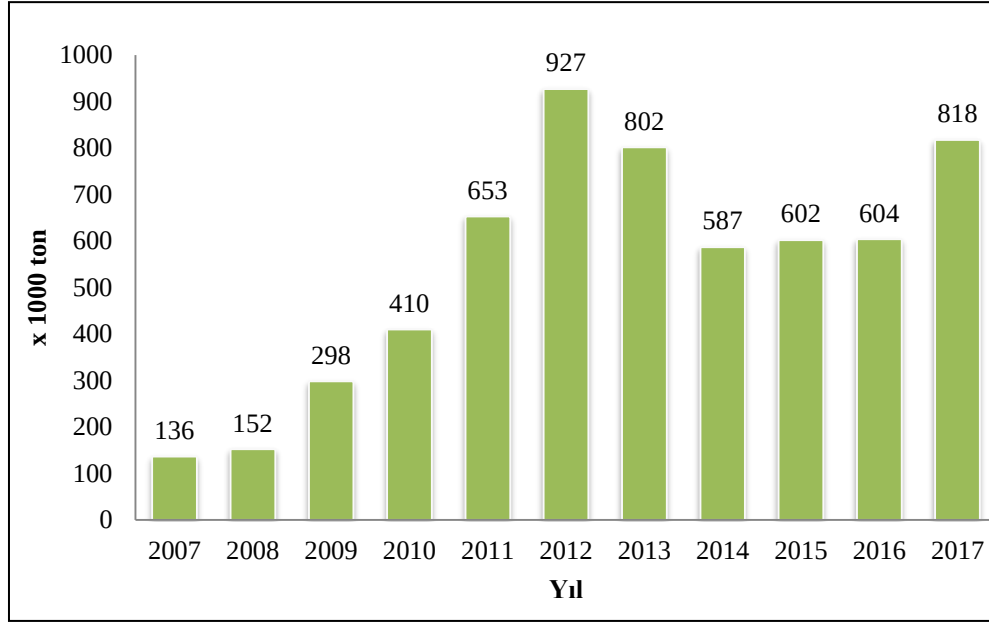
Gemi Tipi	Ortalama Yaş (2015yılı)
Genel Kargo	26,4
Kuruyük	11,1
Yolcu/Feribot	21,1
Kimyasal Tanker	8,8
Römorkör / Destek Gemileri	22,7
Diğer	25,0
Ürün tankeri	19,8
Balıkçılık	19,9
Konteyner	13,1
Ro-Ro	27,1
Ham Petrol Tankeri	6,9
İkmal Tankeri	27,0
LPG Tankeri	21,7
Asfalt Tankeri	11,7

Hurda gemilerin %98'inin çelik ve bunun da %95'inin yeniden kullanılabilir malzemeler olduğu göz önüne alındığında, beşikten beşiğe gemi yaşam döngüsü içerisinde gemi geri dönüşüm sürecinin sağlıklı veriler ile değerlendirilmesi de önem kazanmaktadır. Gemi Geri Dönüşüm Sanayicileri Derneği'nin (GEMİSANDER) 2017 yılı sektör raporunda hurda çeliğin geri kazanımıyla, enerjinin %74 ve hammadde kaynaklarının %90 oranında korunduğu, su tüketiminin %40 azaldığı ve atık su kirlenmesinde %76, hava kirlenmesinde %86, maden atıklarında %96 azalma olduğu gözlemlendiği belirtilmiştir (GEMİSANDER, 2018). Şekil 2.1'de son yıllar içerisinde gemi geri dönüşümü ile tekrar kullanıma kazandırılan hurda miktarları göz önüne alındığında da gemi inşa süreci ve gemi geri dönüşüm süreci arasındaki çevresel etki bağının ne kadar güçlü olduğu görülebilmektedir.

Bir gemi özelinde bütünleşik YDA çalışması yapabilmek için;

- Gemi inşa aşaması
- İşletme aşaması
- Geri dönüşüm aşaması

analizlerinin tamamının yapılabilmesi gerekmektedir.



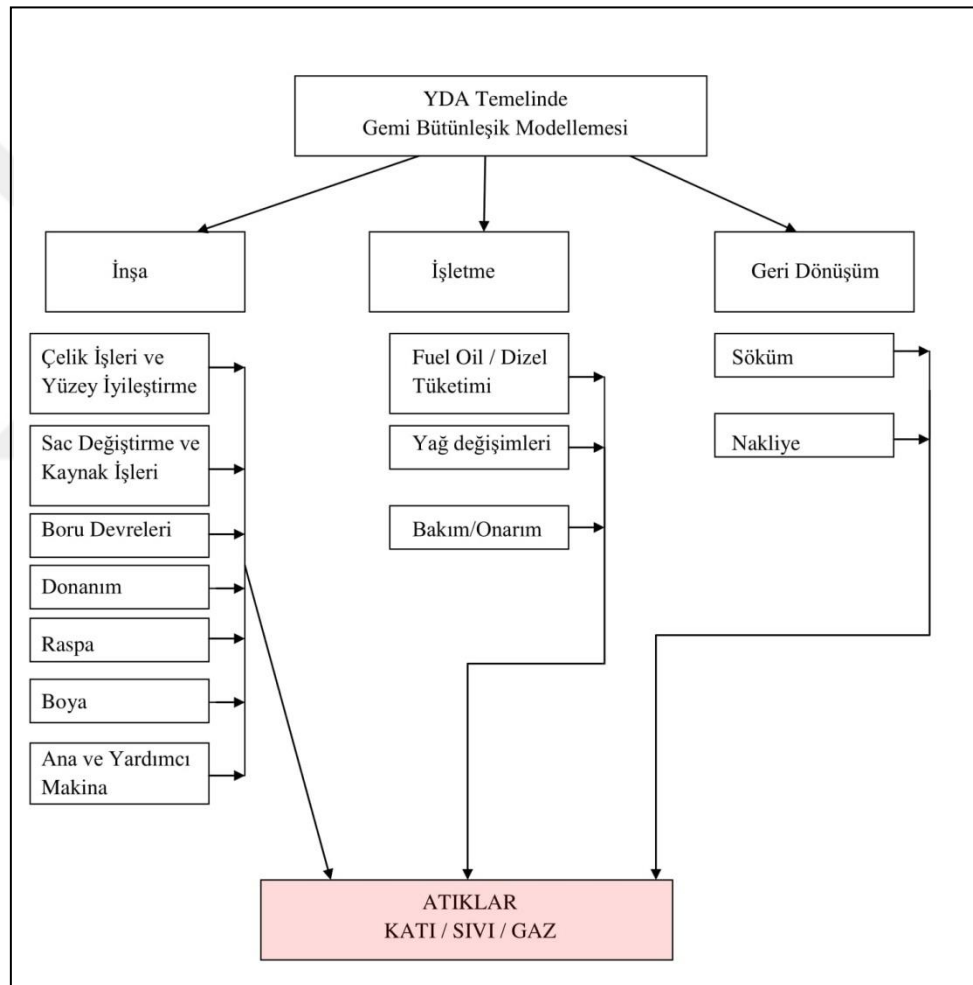
Şekil 2.1 Gemi geri dönüşümünden kazanılan hurda miktarları (TKYGM, 2018)

Şekil 2.2’de belirtilen YDA temelinde gemi bütünsel modellemesinin gerçekleştirilebilmesi için, inşa aşaması süreci içerisindeki verilerin elde edilerek, hammadde tedariki, malzemelerin birleştirilme/montaj süreci, kullanılan kaynak teli ve firesi, toplam elektrik tüketimi, O₂, CO₂, LPG, boya, izolasyon malzemeleri, kullanılan paneller, toplam kullanılan zincir uzunluğu ve boyutu, çapa demiri ağırlığı ve malzemesi, kaporta/kapı sayıları ve malzemeleri, toplam kullanılan modüler tuvalet ve duş sayıları, mobilya bilgileri, ırgatların sayısı, gemi inşasında faydalanan toplam işçilik miktarları (adam.ay) verilerinin sağlanması gerekmektedir. Bu verilerin elde edilmesi/ölçülmesi ile en detaylı YDA sonuçları elde edilebilmektedir.

İşletme aşamasında, gemi toplam hizmet ömrü içerisinde tüm operasyon YDA hesaplamalarının yapılabilmesi için gemi jurnallerinden temin edilebilecek olan günlük yakıt sarfiyatları bilgisi gerekmektedir. Ancak bu bilgi ile birlikte verilerin karşılaştırılabilmesi ve doğru analiz edilebilmesi için bu tüketimin bilgilerinin de ayrıca elde edilmesi gerekmektedir.

Bütünsel YDA çalışması içerisindeki aşamalardan biri olan gemi geri dönüşüm aşamasında servis ömrünü tamamlamış olan bir gemi için malzemenin tekrar

kullanımına olanak sağlanabilmesi için tercih edilmesi gereken bertaraf yöntemi bilinmelidir. Geri dönüşüm tesisine getirilen bir geminin YDA hesaplamalarının yapılabilmesi için metal parçalarından ayrı olarak gelmiş olan ve gemiden ayrılması için çalışılmış malzemelerin çıkarılması için kullanılan enerji ve iş gücü sarfiyat bilgilerinin, geminin karaya vurulmasından sonra metal kesme işlemleri için gerekli olan elektrik, O₂, LPG, kullanılan yakıt, varsa saha içi ulaşım ve tüm kesme operasyonları sırasında gerekli olan işçilik miktarlarının elde edilmiş/ölçümlenmiş olması gerekmektedir.



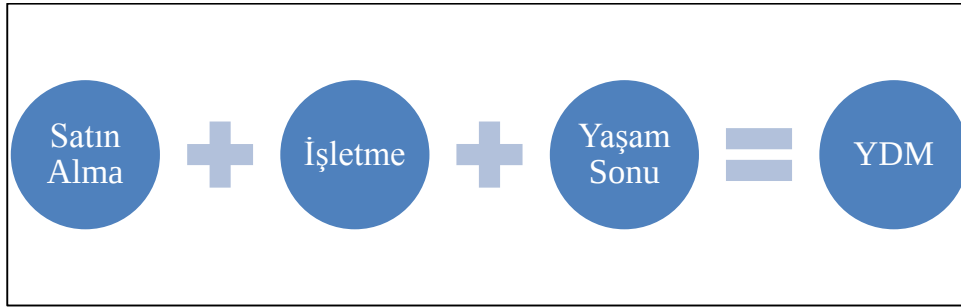
Şekil 2.2 YDA temelinde gemi bütünleşik modeli

YDA'da, elde edilen sonuçların Yaşam Döngüsü Yönetimi (YDY) yaklaşımında da kullanılma olanağı vardır. YDY ürünlerin ve hizmetlerin yaşam döngüsü boyunca

içerdiği maliyetlerin analizi için geliştirilmiş, Yaşam Döngüsü Maliyetlendirmesi (YDM) olarak da bilinen bir yöntemi de kapsamaktadır. Bu yöntemle örneğin bir geminin potansiyel alıcısı için YDM (Şekil 2.3), yalnız geminin kendi fiyatı için değil, aynı zamanda ömrü boyunca yol açacağı masraflar için de bir fikir verecektir (Aurich, Schweitzer ve Fucks, 2007; Dhillon, 2013; Shama, 2005). Bu bağlamda yaşam maliyeti şu unsurları içermektedir:

- Satın alma maliyeti,
- İşletme maliyetleri (yakıt, enerji, yedek parçalar, bakım-onarım, vb.)
- Yaşam sonu maliyetleri (geri dönüşüm, vb.)

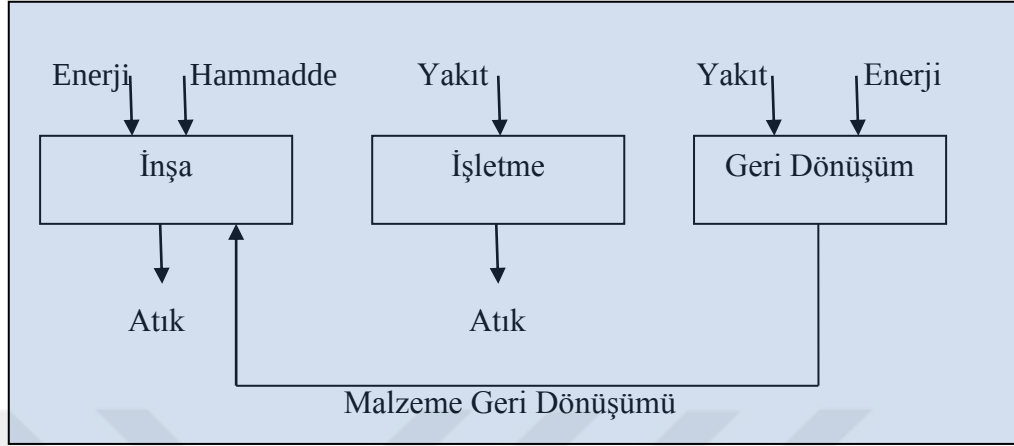
Görüldüğü gibi YDA, sektördeki ticari aktörlerin genel maliyet yapısındaki fırsatları değerlendirmelerine ve maliyetlerde belirgin tasarrufa ulaşmalarına imkan verdiği gibi, daha iyi tasarıma da, eldeki kaynakları daha etkin kullanarak, hatta oluşacak atıklarda dahi azaltım yoluyla, yardımcı olmaktadır. Denizcilik endüstrisinde YDA, “çevre dostu tasarım” veya “geri dönüşüm için tasarım” kavramlarının geliştirilmesi için de yararlı bir kullanım aracıdır.



Şekil 2.3 Yaşam döngüsü maliyetlendirmesi (YDM) bileşenleri

Bu tasarım yaklaşımıyla bir geminin kullanacağı hammaddelerin ve enerjinin optimizasyonunu tasarım aşamasında değerlendirerek tasarımı yönlendirmek ve böylelikle doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunmak mümkün olacaktır. Uygulamalarda görüldüğü gibi bu yaklaşım ürünün servis ömrünü arttırmakta, geri dönüşüm dahil bakım-onarım maliyetlerini azaltmakta ve böylelikle atıkları

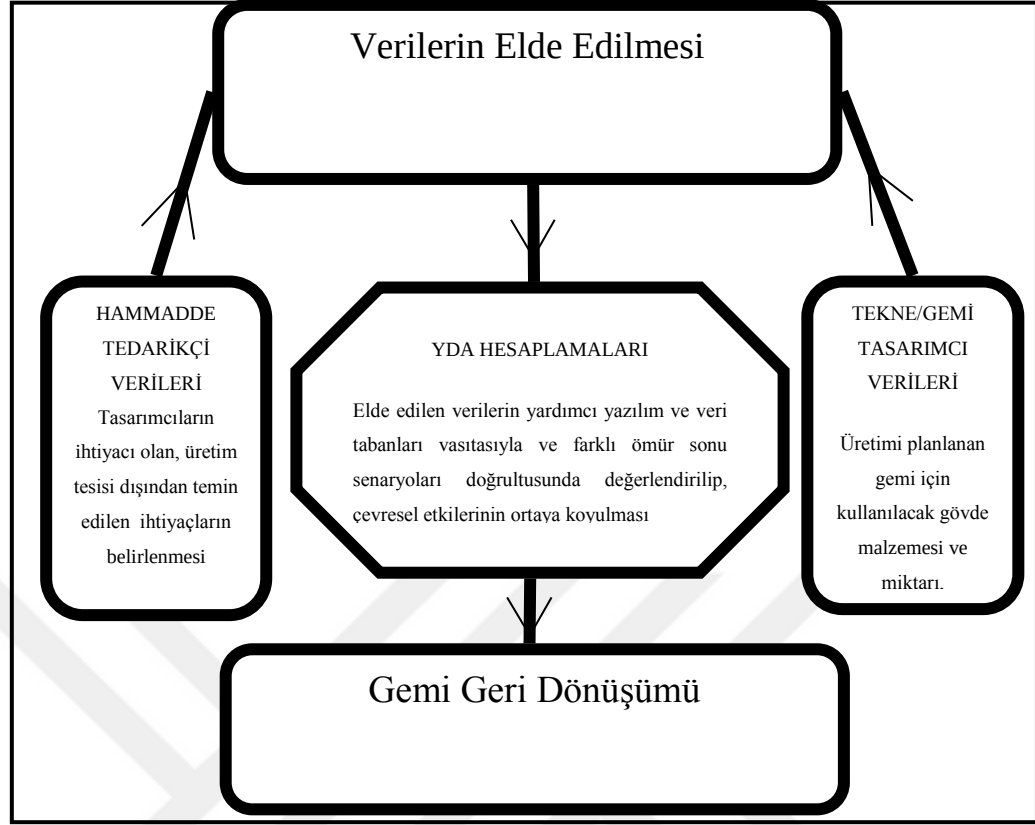
azaltmakta, geri dönüştürülen ve/veya yeniden kullanılma imkanı bulunan malzemelerin miktarını da arttırmaktadır (Lai, Lun, Wong, ve Cheng, 2011).



Şekil 2.4 Gemi yaşam döngüsü envanteri (YDE)

Çalışmalarda farklı aşamaları kapsayan yaklaşımlar kullanılmıştır. Shama (2005), tekne inşaat fazını araştırmışken, Kameyama, Hiraoka ve Tauchi (2007) bu inşaat fazına ilaveten, özel bir yazılım yardımıyla geminin işletme fazını da analize dahil etmiştir. Anılan bu araştırmalar YDA çalışmalarında, araştırmaya esas teşkil etmek üzere bulundukları sistemdeki akışların bütün fiziksel girdi ve çıktılarının bir envanterini oluşturmuşlardır ki bu liste, Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) olarak anılmaktadır (Şekil 2.4).

Denizcilik endüstrisi faaliyetlerinde yararlanılabilecek bir çevresel etki değerlendirmesine imkan sağlamak üzere geliştirilebilecek YDA tekniklerinin temelindeki bir kuramsal modelin sadeleştirilmiş hali de Şekil 2.5’ te sunulmaktadır.



Şekil 2.5 Bir geminin yaşam döngüsü modeli

1997'deki Kyoto Protokolü, Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization, IMO) üzerinden uluslararası deniz ticaretinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını sınırlandırma işlevini denizcilik sektörüne devretmiştir (Gilbert, Walsh, Traut, Kesieme, Pazouki, ve Murphy, 2018). 2011'de, IMO MARPOL hava kirliliği unsurlarını içeren EK VI' da bir düzenleme yapmış ve Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (Energy Efficiency Design Index, EEDI) ve Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı'nı (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP) uygulamaya koymuştur (Bazar ve Longva, 2011 ; Lloyd's Register, 2011). Fakat buna rağmen, deniz ticareti kaynaklı emisyonların dikkat çekici bir ölçüde artışı karşısında, bu ölçütler etkili olamamıştır (Smithy, ve diğer, 2014 ; Bazar ve Longva, 2011). Kabul edilebilir bir ölçekte yapılacak (Rahim, Islam, ve Kuruppu, 2016) yasal düzenlemeleri de kapsayacak bir sektörel anlayış değişikliği (Anderson ve Bows, 2011) gerekli olduğuna dair görüşler ağırlık kazanmaktadır.

Uluslararası havacılık faaliyetleri gibi denizcilik faaliyetlerinin de Paris Antlaşması'nın dışında tutulması nedeniyle IMO, Paris Antlaşmasındaki rolü nedeniyle ve bir sektör stratejisi belirleme yoluyla sera gazı emisyonlarının azaltılması için bir yol haritası geliştirmiştir.

Sonuçta IMO alternatif yakıtları da göz önüne alan sera gazı azaltımı için gerekli tüm olasılıkları değerlendiren bir anlayış içindedir (Gilbert, ve diğer, 2018).

Servis yaşamının sonuna (YS) gelen gemiler (End-of-life, EOL), gemi geri dönüşüm tesislerine nakit alıcı ya da broker aracılığıyla sahipleri tarafından satılır. Bazı durumlarda biri gemi sahibini, diğeri gemi geri dönüşümcüsünü temsil eden iki broker ve bir nakit alıcı bu sürece dahil olabilir (Jain, Pruyn, ve Hopman, 2016). YS, gemiler için gemi sahiplerinin sektörden elde edeceği paranın miktarı küresel, yerel, vb. bir çok etmene bağlı bir pazarlık sonucunda belirlenir. Küresel anlamda, önerilen fiyat YS gemi arzına ve hurda metal talebine bağlıdır. YS gemilerin arzı, deniz ticareti için gerekli gemi arzının azalması sonucunu doğuran ekonomik dar boğaz dönemlerinde, eğer bir de hurda metal talebi artıyorsa belirgin bir şekilde artacaktır (Stopford, 2009; Sarraf, ve diğer, 2010). Bunun temel nedeni geminin ağırlığının % 60-80 arasında çelikten oluşmasıdır (Bertram ve Schneetluth, 1998).

Ayrıca yerel anlamda ise, iş sağlığı ve güvenliği ve çevre standartları; hurda çeliğe olan talep; demir dışı metaller, kullanılmış makinalar, mobilyalar gibi diğer hurda türlerine olan yerel talep; işçi ücretleri ve uygulanan geri dönüşüm yöntemleri de (sahil, kızak, iskeleye bağlama ve kuru havuz) YS gemi fiyatlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynarlar (Sarraf, ve diğer, 2010). Örneğin Çin ve Türkiye ile kıyaslandığında Hindistan alt kıtasındaki tersaneler daha yüksek fiyatlar önermektedir; zira gemilerden elde edilen hemen herşeyin (gemi makinaları, motorlar, mobilyalar, tanklar, teçhizat, yardımcı donanımlar, vb.) yeniden kullanıma dönük üretim tesislerini de içeren büyük bir ikinci el pazarı güçlü bir şekilde anılan yönde oluşmuştur (Hiremath, Tilwankar, ve Asolekar, 2015 ; Rahman ve Mayer, 2015 ; Gregson, ve diğer, 2012).

YS gemilerin malzeme miktarları üzerinde yapılan araştırmalar gözden geçirilmiştir. Araba ya da uçak endüstrisinin aksine bu konuda oldukça somut bir literatür söz konusudur. Bu bağlamda temelde dört yöneme başvurulduğu görölmektedir: gemi geri dönüşümcülerle yapılan görüşmeler; bazı gemilerden alınan örnekler; bazı gemi geri dönüşüm tesislerinden alınan örnekler ve bazı gemilerin tarihsel verilerine de bakmak suretiyle gemi geri dönüşüm tesislerinde gerçekleştirilen girdi-çıkıı yöntemi. Andersen, ve diğeri (1999) çevresel kaygılarla bir YS VLCC (Very Large Crude Oil Carrier, Çok Büyük Petrol Tankeri) gemide örnekleme yaparak, malzemelerin miktarlarını belirlerken, Hiremath, ve diğeri, (2015) ve Sarraf, ve diğeri, (2010) çeşitli gemi tiplerinden kaynaklanan atık akışını miktar olarak belirlemiştir. Ayrıca Reddy, ve diğeri, (2003) de Hindistan'ın Gujarat eyaletindeki Alang-Sosiya gemi geri dönüşüm tersanelerinde, MT/gün biriminde olmak üzere ve sahilde örnekleme yaparak atık miktarlarını belirlemişlerdir. Burada verilen dört araştırma da atıklara odaklandığı için demir içrikli olan ya da olmayan metaller; makinalar ve yardımcı donanımlarını dikkate almadıkları için bu araştırmaların sonuçlarının benzer araştırmalarla karşılaştırılmasında sorunlar vardır.

Hiremath, ve diğeri, (2015) tarafından yapılan çalışma ise 241 gemiyi kullanarak, yani görece olarak çok geniş bir veri seti oluşturması nedeniyle dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, gemilerin üzerindeki malzemelerin zaman içinde değişmeleri (bunun bir sebebi ekonomikse, diğeri bir sebebi de değişen yasal düzenlemelerdir) söz konusudur.

Örneğin Uluslararası Denizcilik Örgütü, IMO; 2002 yılındaki SOLAS konvansiyonuyla asbesti tamamıyla yasaklamıştır, bu yasak 2011 yılında tüm gemiler ve gemilerdeki tüm donanımlar için genişletilmiştir (Lloyd's Register, 2011). Bazı çalışmalarda sintine suyu LDT'nin (geminin boş ağırlığı) bir yüzdesi olarak gösterilmektedir, fakat bu malzeme operasyonlar sırasında üretildiğinden DWT' nun (geminin yük ve yakıt, yağ, kumanya, vb. taşıyabileceği en fazla ağırlık) bir parçası olarak ele alınmalıdır (Eyres, 2007). Adak (2013), Andersen, ve diğeri (2001), Demaria (2010), Hess, ve diğeri (2001) ve Sujauddin, ve diğeri (2015) tarafından

yapılan çalışmalar YS gemilerin malzeme akışını belirlemeye yöneliktir ve Tablo 2.3'te sunulmaktadır.

Tablo 2.3 YS gemilerden elde edilen malzemelerin LDT'nin yüzdesi miktarları

Malzeme Akışları	Adak (2013)			Andersen ve diğer, (2001)		Demaria (2010)	Hess ve diğer, (2001)			Sujauddin ve diğer (2014)
	Gemi Tipleri			Gemi Tipleri		Gemi Tipleri	Gemi Tipleri			Gemi Tipleri
	Genel Kargo	Dökme Yük	Petrol Tankeri	Tanker	Dökme Yük	Gemi	Genel Kargo	Dökme Yük	Petrol Tankeri	Gemi
Demir Hurdası	64,50	68,50	76,50	74,40	63,15	75-85	56-70	61-71	72-81	85,00
Yeniden Eritilen Hturda	10,00	9,00	6,00			3,00	10,00	8-10	5-7	
Dökme Demir	1,75	2,00	2,50				2-5	2-3	2-3	
Demir Olmayan Hurdası	0,75	1,00	1,25	0,07	0,12	1,00	1,00	1,00	1-2	0,40
Makina	6,00	3,50	1,25	14,00	19,00	10-15	4-8	2-5	1-2	8,60
Elektrikli ve Elektronik Ekipman				2,50	5,00					
Mineraller				0,50	2,50					
Pilastikler				0,50	1,20					
Sıvı, Kimyasal ve Gaz				2,03	1,03					
Yağlar						2,00	5,00	1-5	1-2	
Doğramalar				5,00	6,00					
Ahşap ve Mobilya						2,00				
Diğer	5,00	3,00	1,50	1,00	2,00					
Yakma, Kesme Kayıpları ve Atık						5-10				6,00
Yük kaybı	12,00	13,00	11,00				9-15	10-16	10-12	

BÖLÜM ÜÇ

MATERYAL VE METOT

3.1 YDA Çalışmasının Amacı

Bu çalışmanın amacı, çelik malzeme ile üretilmiş farklı gemi tiplerinin inşa aşamasındaki çelik işleme ve geri dönüşüm sonrası hurda kazanımı süreçlerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılarak gemi tipine göre çevresel etki değerlerinin değişiminin ortaya konmasıdır. Bu karşılaştırma sonrasında yapılabilecek değerlendirmeler ile gemi tipleri özelinde çelik işleme ve geri dönüşüm süreçleri ile ilgili süreç iyileştirme ve sürdürülebilir mühendislik yaklaşımları ortaya konabilecektir.

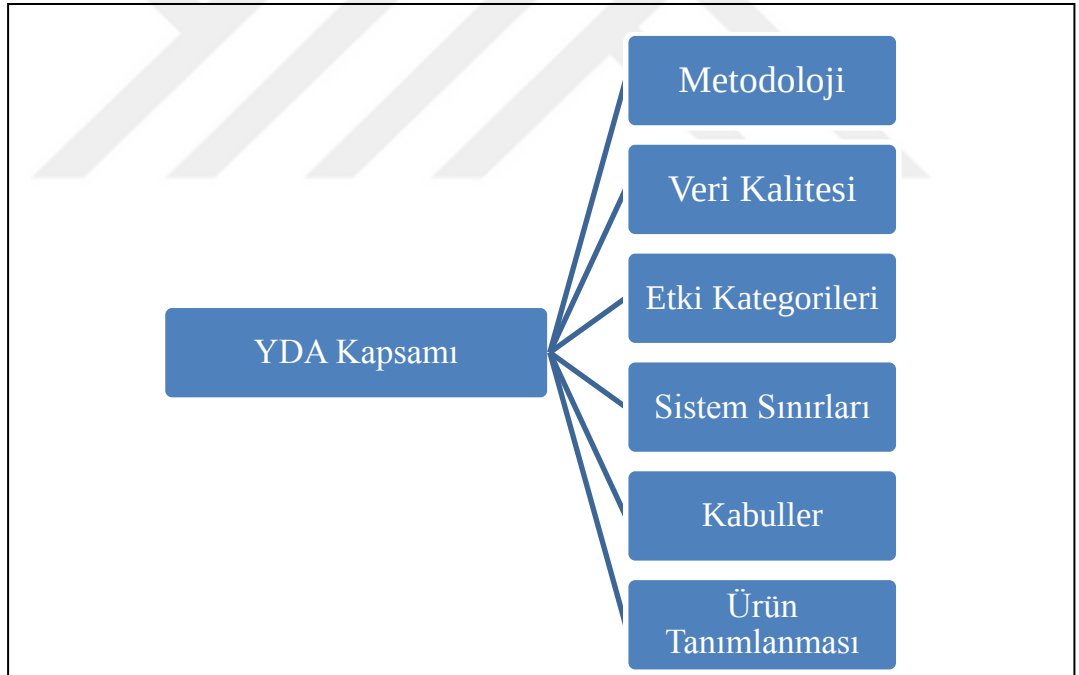
Malzeme odaklı olarak gerçekleştirilen bu çalışmadaki gemi yaşam döngüsü analizi içerisinde çelik işleme ve geri dönüşüm süreçleri ele alınmıştır. İnşa süreci içerisinde hammadde tedariki sonrasında gemi gövdesini oluşturabilmek için gerekli sistem girdileri ele alınmıştır. Geri dönüşüm sürecinde de gerek inşa süreci içerisinde fire olarak hurdaya ayrılan çelik malzemeler gerekse de servis ömrünü tamamlamış gemiden hurda olarak ayrılan çelik ile ilgili gerekli girdi hesaplamaları dikkate alınmıştır. Bir gemi bütünsel YDA aşamalarından olan işletme aşaması yakıt sarfiyat hesaplamaları bu yaşam döngüsü analizi çalışması için sisteme, ilgili her bir geminin yakıt jurnallerine göre ve seyir rotalarına göre ve dizel/fuel oil yakıt oranlarının belirlenmesine göre alınacak veriler ışığında ayrı bir değerlendirme ve çalışma olmasından dolayı, eklenmemiştir.

Bu çalışmanın bir diğer amacı da, gemi özelinde yaşam döngüsü analizi ile aynı malzemeden üretilmiş olan gemilerin aynı ve farklı gemi tipleri içerisindeki çevresel etki sonuçlarının karşılaştırılabilirlik, gemi inşa ve geri dönüşüm süreçleri içerisindeki çevre dostu üretim odağında sürdürülebilirlik mühendislik yaklaşımının faydalanabileceği somut sonuçları ortaya koyabilmesidir.

Bu çalışma içerisinde, gemi inşa süreci içerisindeki çelik işleme operasyonu ve gemi geri dönüşüm süreci içerisinde hurda kazanım operasyonu ele alınmıştır. Bir ton çeliğin inşa sürecinde ve geri dönüşüm sürecinde minimum çevresel etki ile işlenebilmesi amacıyla çalışma kapsamında ele alınan gemiler için kullanılmış olan ve yaşam sonunda hurdaya ayrılmış olan toplam çelik ağırlıkları neticesinde ortaya çıkan çevresel etkiler hesaplanmıştır.

YDA çalışmasının amaçları ile birlikte aşamaları da gemi özelinde belirlenmiştir (Şekil 3.1).

Karşılaştırmalı bir çalışmada, fonksiyonel birimin de tüm ürün sistemlerinde aynı olması gerekmektedir. YDA çalışmasında fonksiyonel birim belirlenirken fiziksel bir üründen ziyade ürünün işlevi ile ilgili olmalıdır.



Şekil 3.1 YDA çalışmasının aşamaları

Çalışmada fonksiyonel birim olarak gemi tiplerine göre değişen ve bir geminin inşası ve geri dönüşümü için gerekli olan, çeliğin işlenmesi ve geri dönüşüm süreci değerleri ele alınmıştır.

3.2 Sistem Sınırları

Çalışmada özellikle gelecek on yıl içerisinde filolarındaki kullanım ömrü göz önüne alındığında yeni gemilere ihtiyaç duyulacak olan gemi tiplerinden olan genel yük, yolcu gemileri, römorkör, servis gemileri, balıkçı gemileri, petrol ürünü taşıyan gemilere yer verilmiştir. Bu gemi tiplerine ek olarak ayrıca duba, dalgıç gemisi, motor yat, feribot, araştırma gemisi, tarama gemisi ve yelkenli gemi tiplerine ait veriler de analiz edilmiştir.

Çalışma içerisinde on dört adet römorkör, yedi adet yolcu gemisi, sekiz adet balıkçı gemisi, beş adet servis destek gemisi, beş adet duba, bir adet kuruyük gemisi, bir adet konteyner gemisi, bir adet motor yat, bir adet feribot, bir adet yelkenli, iki adet petrol tankeri, bir adet kimyasal tanker, bir adet LPG tankeri ve iki adet asfalt tankeri ele alınmıştır.

İlgili gemilere ait analizlerin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan verilere tersaneler tarafından doldurulan anket formları vasıtası ile ulaşılmıştır. Bu formlar, T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın, Kocaeli Üniversitesi tarafından yürütülen Tersanelerin Deniz Çevresine olan Etkileri ve Temiz Üretim Tekniklerinin Belirlenmesi (TERTEMİZ) projesi kapsamında tersanelere ulaştırılmış olup, çalışmaya esas olan sistem girdi ve çıktıları, tersane verileri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Kabuller

Çalışmanın amaçlarından biri olan gemi çelik gövdesi inşa ve geri dönüşüm aşamalarındaki toplam çevresel etki hesaplanmasındaki girdi ve çıktılarda, YDA sistematigi içerisinde de yer alan ölçüde bir takım kabuller yapılmıştır.

Gemi tiplerine göre elde edilen verilerde bazı tersaneler yıllık elektrik tüketimlerini ve toplam çelik işleme kapasitelerini belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan gemi tipleri için de gemi özelinde kullanılan çelik tonajına göre tersanenin

bir sene içerisindeki toplam elektrik tüketimi ve yıllık çelik işleme tonajına göre yaklaşık ton başına elektrik tüketimi hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonrasında ortaya çıkan ton başına elektrik tüketimi verisi, ilgili geminin gövdesinin inşası için gerekli olan toplam çelik tonajına göre oranlanarak ilgili geminin inşası için gerekli toplam elektrik tüketimi ortaya çıkarılmıştır.

3.3 Veri Kalitesi

Bütünleşik YDA çalışması içerisindeki gemi tiplerine ait ilgili tüm veriler tersanelerdeki ve gemi geri dönüşüm tesislerindeki saha verilerine dayanmaktadır. İlgili veriler, tersanelere mal giriş kayıtları, yıllık toplam elektrik tüketimi, geminin inşası için gerçekleştirilmiş olan satın almalar, geri dönüşüm tesislerindeki yıllık elektrik ve yakıt tüketim verileri ve söküm aşaması için gerekli olan satın alma verilerine göre belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler farklı gemi inşaat ve gemi makinaları mühendisleri ve geri dönüşüm tesis sorumluları ile market verileri tutarlılığı açısından da değerlendirilmiş ve market değerleriyle uyumluluğu gözlemlenmiştir.

Gemi inşa ve geri dönüşüm aşamalarının minimum çevresel etki ile gerçekleştirilmesi için bir hesaplama sistemi ortaya koymayı amaçlayan bu çalışmada kullanılan veriler birebir gemi inşa ve geri dönüşüm süreçleri içerisinde ölçülmemiştir. Ancak çift taraflı analiz neticesinde ortaya konan hesaplama sisteminin neticelerinin sağlıklı olması için en yakın verilere ulaşılabilme noktasında çoklu analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Gemi İnşa Aşaması

Gemi yaşam döngüsü analizinin ilk adımını oluşturan gemi inşa aşamasında, tersane içerisinde yapılan işlemlerin bir bütünü ele alınmalıdır. Bu kapsamda gemi gövdesi işlemleri, boya işlemi, makina/ekipman yerleşimi, izolasyon malzemeleri,

tuvalet/duş kabinleri ve yerleşimi, zincir yerleşimi, gemi tipine göre ilgili boru işlemleri, vs gibi gemiye ait tüm tersane süreçleri incelenebilmektedir. Bu çalışma gemi inşası sırasındaki çelik tedarik ve işleme sürecinin çevresel etki değerlerini hesaplamayı amaçladığından dolayı, gemi inşa aşamasına ait olan girdi ve çıktılar gemi gövdesi işlemleri ile sınırlandırılmış olup hesaplamalar bu işlem özelindeki veriler doğrultusunda yapılmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Gemi inşa aşaması girdileri

Gemi Tipi	Gemi Adı	İnşa Sürecindeki Girdi Malzemeler				
		Çelik (ton)	O ₂ (ton)	CO ₂ (ton)	LPG (ton)	Elektrik (kwh)
RÖMORKÖR	R1	317	9,011	6	2	26311
	R2	341,7	10,4335	6,8	1,6	28368,48
	R3	290	13,1435	10	1,9	24076,264
	R4	115,6	6,0975	5,3	1,2	9597,2969
	R5	445	18,428	14	3,6	36944,612
	R6	183	7,4525	7,9	1	15192,952
	R7	330	10,7045	15,5	1,1	27397,128
	R8	19	0,586715	0,070	0,27	1577,4104
	R9	33	2,2	3,7	0,13	2739,7128
	R10	90	6,6395	0,4	0,6	79009,542
	R11	50	4,065	1	-	2093
	R12	21	4,065	1,5	-	879,06
	R13	400	20000	6750	25	20000
	R14	315	20	5	-	13185,9
YOLCU GEMİSİ	Yolcu1	300	9770,07	3848,3	9160	1888006,6
	Yolcu2	80	8,13	2	-	3348,8
	Yolcu3	90	9,485	2,5	-	3767,4
	Yolcu4	85	8,13	2,5	-	3558,1
	Yolcu5	60	6,0975	1,5	-	2511,6
	Yolcu6	250	20,325	5	-	10465
	Yolcu7	190	15	4	-	7953,4
BALIKÇI GEMİSİ	Balıkçı1	70	9	3,5	-	2930,2
	Balıkçı2	50	5	1,5	-	2093
	Balıkçı3	1486	93,368	351	34,2	1304535,3
	Balıkçı4	20	3,252	0,5	0,1	1010
	Balıkçı5	90	1,016	1	0,5	4545
	Balıkçı6	30	2,0325	0,5	-	1255,8
	Balıkçı7	9	1,355	0,3	-	376,74
	Balıkçı8	959	78,862	183	39,15	841890,56

Tablo 3.1 devamı

Gemi Türü	Gemi Adı	İnşa Sürecinde Girdi Malzemeler				
		Çelik (ton)	O ₂ (ton)	CO ₂ (ton)	LPG (ton)	Elektrik (kwh)
SERVİS / DESTEK GEMİSİ	Servis1	2888	431,686	1585	900	2535328,4
	Servis2	25	2,439	0,6	-	1046,5
	Servis3	40	6,775	2	-	1674,4
	Servis4	1186	24	40	12	1500000
	Servis5	5	0,8	0,4	-	209,3
DUBA	Duba1	1040	49,239	178	-	912999,15
	Duba2	24	0,6978	0,6	-	1004,64
	Duba3	340	27,1	5	-	14232,4
	Duba4	5000	40582	15985	38050	7842358,3
	Duba5	6242	43352,43	17076,3	40646	8377591,1
YAT / YELKENLİ	Yat1	250	15	5	-	10465
	Yelkenli1	60	4,065	1	-	2511,6
KARGO / TANKER	Oil Tanker1	1400	62	100	16,5	1229037,3
	Oil Tanker2	4223	312,451	1128	20,5	3707303,2
	Kimyasal Tanker1	4028	251,554	934	10,5	3536115,9
	LPG Tanker1	1600	17,1597	39	7,05	1404614
	Asfalt Tanker1	4675	53,004	20,878	49,697	1024298,65
	Asfalt Tanker2	2880	38,1525	15,028	35,77	737273,91
	Kuruyuk1	2000	50	32	70	50000
	Konteyner1	7700	50,345	193,80	472	9729023,3
	Feribot1	2940	33,5483	132,14	314,5	6483012,2

Gemi inşa aşamasına ait olan girdi ve çıktı verileri tersanelerden inşası tamamlanmış gemiler kapsamında elde edilmiştir. Bu çerçevede gemi tiplerine göre kullanılan girdilerde toplam çelik, O₂, CO₂, LPG ve gemi inşası için kullanılmış olan toplam elektrik verilerinden yararlanılmıştır. İlgili hesaplamalar kapsamında O₂ için belirli veriler m³ bazı veriler ton biriminden elde edildiğinden dolayı hesaplamalarda tüm veriler ton birimine çevrilmiştir. Bu çevirme kapsamında da m³ biriminden elde edilmiş olan veriler markette satılan veriler değerlendirildiğinde 1,355 kg/m³ yoğunluğu dikkate alınarak ton birimine çevrilmiştir.

İnşa aşamasına ait olarak elde edilmiş tüm veriler gemilerin inşa aşamalarında ölçülmüş veriler olmayıp ilgili üreticiler tarafından elde edilmiş yaklaşık değerleri içermektedir. Bu kapsamda kurulan YDA sistemi bu yaklaşık veriler üzerinden çalıştırılmıştır.

3.3.2 İşletme Aşaması

Bir gemi özelinde gerçekleştirilecek olan bütünleşik yaşam döngüsü analizi içerisindeki bir diğer aşama da, gemi inşa sonrasında geri dönüşüm sürecine kadar geçen geminin işletme ömrüdür. Bu aşama içerisindeki hesaplamalarda ortalama 20 - 25 yıl içerisindeki tüm sefer noktalarına, seyir rotalarına, ana ve yardımcı makina güçlerine, makina sistemleri içerisindeki yağ değişim zamanlarına, dizel / fuel oil geçiş zamanlamalarına ve seyir esnasındaki hızlara göre veriler elde edilmeli ve hesaplamalar bu veriler ışığında gerçekleştirilmelidir. İşletme aşaması içerisindeki çevresel etki değerlerinin hesaplanması ve diğer gemiler ile karşılaştırılabilmesi için gerekli olan bu veriler geminin işletme ömrü süresince tüketmiş olduğu yakıt ve yağ hesaplamalarına dayanmaktadır. Makinalar için gerekli bakım zamanlamaları, geminin havuzlanma periyotları ve ortalama limanlarda kaldığı süreler düşüldüğünde kesintisiz kullanım zamanının yaklaşık 15-17 yıl kadar olduğu görülmektedir.

Bu çalışma gemilerdeki çelik işleme ve geri dönüşüm süreci ile sınırlandırıldığından dolayı işletme aşaması yaşam döngüsü analizi hesaplamalarına dahil edilmemiştir.

3.3.3 Geri Dönüşüm Aşaması

Bu çalışma özelinde, bütünleşik gemi yaşam döngüsü aşamalarından sonuncusu olarak gemi geri dönüşüm aşaması değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamındaki senaryoda, Aliaga'daki (İzmir) bir gemi geri dönüşüm tesisine gelmiş olan bir geminin çelik hurdaya ayrılma sürecindeki O₂, Dizel yakıtı, LPG ve elektrik tüketimleri ele alınmıştır (Tablo 3.2). Gemi geri dönüşüm tesisinde kesme ve

hurdaya ayırma işlemi sonrasında toplanan tüm çelik hurdaların tesise 15 km uzaklıkta olan bir haddehaneye gönderilmesi senaryosu da hesaplamalara eklenmiştir.

Tablo 3.2 Gemi geri dönüşüm aşamasındaki girdi malzemeler

Gemi Türü	Gemi Adı	Geri Dönüşüm Aşaması Girdi Malzemeler							
		Çelik			Hurda Nakliye (tkm)	O ₂ (kg)	Dizel (ton)	LPG (kg)	Elektrik (kwh)
		Toplam (ton)	İnşa Firesi	Tesiste Geri Dönüş.					
RÖMORKÖR	R1	317	17%	83%	4755	7925	0,7925	676,47	792,5
	R2	341,7	17%	83%	5125,5	8542	0,8542	729,18	854,25
	R3	290	17%	83%	4350	7250	0,725	618,86	725
	R4	115,6	17%	83%	1734	2890	0,289	246,69	289
	R5	445	17%	83%	6675	11125	1,1125	949,63	1112,5
	R6	183	17%	83%	2745	4575	0,4575	390,52	457,5
	R7	330	17%	83%	4950	8250	0,825	704,22	825
	R8	19	17%	83%	285	475	0,0475	40,546	47,5
	R9	33	17%	83%	495	825	0,0825	70,422	82,5
	R10	90	10%	90%	1350	2250	0,225	192,06	225
	R11	50	8%	92%	750	1250	0,125	106,7	125
	R12	21	8%	92%	315	525	0,0525	44,814	52,5
	R13	400	3%	97%	6000	10000	1	853,6	1000
	R14	315	10%	90%	4725	7875	0,7875	672,21	787,5
YOLCU GEMİSİ	Yolcu1	300	15%	85%	4500	7500	0,75	640,2	750
	Yolcu2	80	8%	92%	1200	2000	0,2	170,72	200
	Yolcu3	90	8%	92%	1350	2250	0,225	192,06	225
	Yolcu4	85	8%	92%	1275	2125	0,2125	181,39	212,5
	Yolcu5	60	8%	92%	900	1500	0,15	128,04	150
	Yolcu6	250	8%	92%	3750	6250	0,625	533,5	625
	Yolcu7	190	10%	90%	2850	4750	0,475	405,46	475
BALIKÇI GEMİSİ	Balikci 1	70	8%	92%	1050	1750	0,175	149,38	175
	Balikci 2	50	8%	92%	750	1250	0,125	106,7	125
	Balikci 3	1486	13,4%	86,6%	22290	37150	3,715	3171,1	3715
	Balikci 4	20	9%	91%	300	500	0,05	42,68	50
	Balikci 5	90	9%	91%	1350	2250	0,225	192,06	225
	Balikci 6	30	8%	92%	450	750	0,075	64,02	75
	Balikci 7	9	5%	95%	135	225	0,0225	19,206	22,5
	Balikci8	959	23%	77%	14385	23975	2,3975	2046,5	2397,5

Tablo 3.2 devamı

Gemi Türü	Gemi Adı	Geri Dönüşüm Aşaması Girdi Malzemeler							
		Çelik			Hurda Nakliye (tkm)	O ₂ (kg)	Dizel (ton)	LPG (kg)	Elektrik (kwh)
		Toplam (ton)	İnşa Firesi	Tesiste Geri Dönüş.					
SERVİS DESTEK GEMİSİ	Servis1	2888	15%	85%	43320	72200	7,22	6162,9	7220
	Servis2	25	8%	92%	375	625	0,0625	53,35	62,5
	Servis3	40	8%	92%	600	1000	0,1	85,36	100
	Servis4	1186	8%	92%	17790	29650	2,965	2530,9	2965
	Servis5	5	6%	94%	75	125	0,0125	10,67	12,5
DUBA	Duba1	1040	11%	89%	15600	26000	2,6	2219,3	2600
	Duba2	24	5%	95%	360	600	0,06	51,216	60
	Duba3	340	8%	92%	5100	8500	0,85	725,56	850
	Duba4	5000	15%	85%	75000	125000	12,5	10670	12500
	Duba5	6242	15%	85%	93630	156050	15,605	13320,4	15605
KARGO / TANKER	Oil Tanker 1	1400	10%	90%	21000	35000	3,5	2987,6	3500
	Oil Tanker 2	4223	18%	82%	63345	100700	10,557	9011,8	10557,5
	Kimyasal Tanker1	4028	15%	85%	60420	100700	10,07	8595,7	10070
	LPG Tanker 1	1600	15%	85%	24000	40000	4	3414,4	4000
	Asfalt Tanker 1	4675	15%	85%	70125	116875	11,687	9976,4	11687,5
	Asfalt Tanker 2	2880	15%	85%	43200	72000	7,2	6145,9	7200
	Kuruyuk	2000	5%	95%	30000	50000	5	4268	5000
	Konteyner	7700	15%	85%	115500	192500	19,25	16431,8	19250
	Feribot	2940	15%	85%	44100	73500	7,35	6273,9	7350
YAT / YELKENLİ	Yat	250	8%	92%	3750	6250	0,625	533,5	625
	Yelkenli	60	8%	92%	900	1500	0,15	128,04	150

Çalışma içerisindeki süreçleri içeren gemi geri dönüşüm aşamasındaki hesaplamalar için Gemi Geri Dönüşüm Sanayicileri Birliği tarafından temin edilen ve çelik hurda ayırma süreci için ortalama ton başına tüketim verilerinden yararlanılmıştır.

Bu veriler ışığında yapılan hesaplamalar neticesinde, ilgili gemi tipinin toplam çelik tonajı üzerinden geri dönüşüm aşaması çevresel etkileri hesaplama sistemi ortaya konmuştur.

,Çelik hammadde girdisi inşa aşamasında gerçekleştiğinden dolayı, geri dönüşüm aşaması YDA hesaplamaları içerisinde ayrıca bir sistem girdisi olarak çelik tanımlanmamıştır. Bunun yerine bütünleşik bir sistem kurularak inşa aşamasında ortaya çıkan çeliğin hurdaya ayrılması için gerekli girdiler hesaba katılarak çevresel etkiler ortaya konmuştur.

Geri dönüşüm aşamasında girdi olarak çelik bulunmamasına karşın, çıktı olarak ilgili geminin tonajı kadar hurda çelik sistem çıktısı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca geri dönüşüm aşamasında ortaya çıkan hurda çeliğe ek olarak, inşa aşamasında fire olarak çıkan çelik de yine ilgili gemi için alınmış veriler doğrultusunda hurda çelik olarak değerlendirilmiş ve sisteme eklenmiştir.

Geri dönüşüm tesisi ile haddehane arasındaki mesafeden (GTH) kaynaklı gemi geri dönüşüm aşamasında hurdaya ayrılan çeliğin tesisten haddehaneye kadar taşınma Denklem 3.1'deki gibi verilmektedir:

$$\text{Hurda Nakliye (tkm)} = \text{GTH (km)} \times \text{Toplam hurdaya ayrılan çelik (ton)} \quad (3.1)$$

3.4 YDA Yazılımı ve Veritabanı

Bu çalışmada bütünleşik YDA hesaplamaları için SimaPro yazılımı (versiyon 8.2.3.0) kullanılmıştır. Bu yazılımdaki arayüz sayesinde ilgili girdiler ve çıktılar yazılım içerisinde tanımlanmaktadır. Çevresel etki katsayıları üzerinden yapılan matris hesaplamaları neticesinde tanımlanmış olan ilgili girdi ve çıktıların çevresel etkileri ilgili kategoriler üzerinden görülebilmektedir.

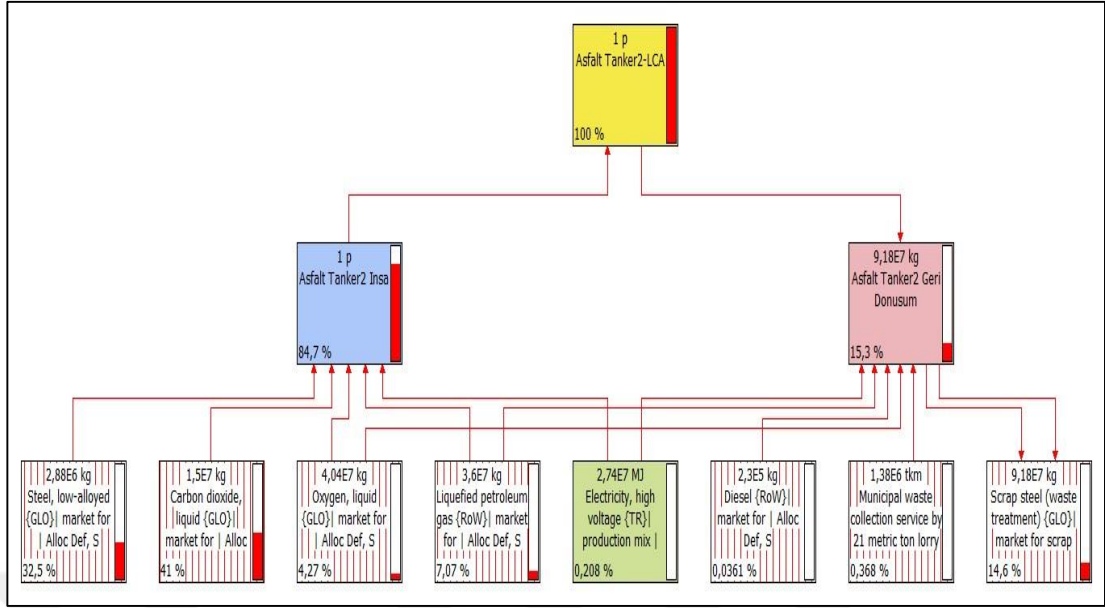
Yazılım Şekil 3.2’de gösterildiği gibi sistem girdileri ve çıktıları ile oluşturulan akışlar üzerinden hesaplamaları gerçekleştirmektedir. Elde edilen veriler yazılım içerisinde tanımlanmakta ve sonrasında ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmektedir.

SimaPro, YDA sonuçları elde etmek için yaygın olarak kullanılan ve güvenilir bir yazılımdır. Sürdürülebilir ürün geliştirme ve sürdürülebilirlik hedeflerini tanımlama, analiz ve takip etme gibi birçok amaç doğrultusunda kullanımı olan SimaPro, uluslararası ve yerel kurumlar, danışmanlık merkezleri, üniversite ve araştırma merkezleri tarafından tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında sadece çevresel etki kategorileri üzerinden çalışılmış olan SimaPro ile,

- Karbon ayakizi hesaplamaları
- Ürün tasarımı ve ekotasarım
- Çevresel ürün bildirimleri
- Ürünlerin veya hizmetlerin çevresel etkisi
- Çevresel raporlama
- Temel performans göstergelerinin belirlenmesi

çalışmaları da gerçekleştirilebilmektedir.

YDA hesaplamalarında uzun vadeli etkileride hesaba dahil edilmiştir. “Uzun vade”, yüz yıldan uzun bir süre olarak kabul edilmektedir. Ağırlıklı olarak yüz yıldan uzun olan büyük zaman dilimlerinde meydana gelen emisyonlar, belirli alt kategorilere (uzun vadeli olarak etiketlenmiş) atanır (SimaPro, 2018).



Şekil 3.2 SimaPro yazılımı ile oluşturulan asfalt tanker2 gemisine ait YDA akışı

3.4.1 Ecoinvent Veritabanı

Ecoinvent veritabanı, İsviçreYaşam Döngüsü Envanterleri merkezi olarak çalışmaya başlayan Ecoinvent Center tarafından oluşturulmuştur. Ecoinvent Merkezi, 1997 yılında, İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü Zürich (ETH Zürich) ve Lozan, Paul Scherrer Enstitüsü (PSI), İsviçre Federal Malzeme Test ve Araştırma Laboratuvarları (EMPA) iş birliği ile kurulmuştur (Ecoinvent, 2018).

18 Haziran 2013'ten bu yana ise *ecoinvent*, aktif üyeleri olan beş enstitüden oluşan bağımsız bir dernek olarak çalışmaktadır. Bu adımla, ecoinvent, eko-tasarım araçlarının, karar vericilerin, endüstrinin yaratıcıları için bir veri tabanının daha da geliştirilmesini sağlayarak, kâr amacı gütmeyen bir organizasyon haline gelmiştir.

Ecoinvent v3 veritabanı, enerji üretimi, taşımacılık, inşaat malzemeleri, kimyasal madde üretimi, metal üretimi ve meyve ve sebzeler gibi çeşitli sektörlerden YDE verilerini içermektedir. Tüm veri tabanı, her biri süreç düzeyinde bir yaşam döngüsü envanterini açıklayan 10.000'in üzerinde bağlantılı veri kümesinden oluşur.

Tablo 3.3 Kullanılan malzemeler için veritabanı karşılıkları

Kaynak	Materyal Adı	Kullanılan Malzeme
Ecoinvent 3	Çelik, düşük alaşımlı {GLO} piyasa için, Alloc Def, S	Çelik
	Karbon dioksit, sıvı {GLO} piyasa için Alloc Def, S	CO ₂
	Oksijen, sıvı {GLO} piyasa için Alloc Def, S	O ₂
	Likit Petrol Gazı {RoW} piyasa için Alloc Def, S	LPG
	Elektrik, yüksek voltaj {TR} üretim karışımı Alloc Def, S	Elektrik
	Dizel {RoW} piyasa için Alloc Def, S	Dizel
	21 metrik ton kamyon ile atık taşıma {GLO} } piyasa için Alloc Def, S	Hurda Taşıma
	Hurda Çelik (atık yönetimi) {GLO} hurda çelik piyasası için Alloc Def, S	Hurda Çelik

SimaPro, her biri ekolojik veri tabanında bulunan tüm süreçleri kapsayan, ancak farklı sistem modelleri kullanan ve birim veya sistem süreçlerini içeren dört kitaplık içerir. Sistem modeli 'atama, varsayılan' olmak üzere iki metodolojik seçenek içerir:

1) Piyasa etkinlik veri kümelerinde açıklandığı gibi ortalama ürün tedarikini kullanır ve

2) Çoklu ürün veri kümelerini tek ürün veri kümelerine dönüştürmek için bölümlere (ayırma) kullanır.

Akışlar, bazı piyasa kusurları ve dalgalanmalar için düzeltilen ekonomik gelir olan “gerçek değerine” göre tahsis edilir. Bu varsayılan sistem modeli olarak kabul edilir. Sonuçta ortaya çıkan sistem modeli, bu iki metodolojik seçeneği farklı şekilde ele alır:

1) Piyasa etkinlik veri setlerine ve teknoloji düzeyine dahil edilen bilgilere dayanarak kısıtlanmamış ürünlerin tüketimini kullanır,

2) Çoklu ürünü dönüştürmek için ikame ürün/sistem (sistem genişletme) kullanır.

Elde edilen malzeme verilerinin veritabanı içerisindeki materyal adı olarak karşılıkları Tablo 3.3’te verilmiştir.

3.5 YDA Yazılım Metodolojisi

Çalışmada YDA hesaplamaları için CML-IA-temel (baseline) metodolojisi kullanılmıştır.

CML-IA, Hollanda'daki Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Merkezi (CML) tarafından geliştirilen bir YDA metodolojisidir. Bu yöntem, CML 2 temelindeki 2000'in bir güncellemesidir ve Nisan 2013'te CML tarafından yayımlanmıştır (sürüm 4.2). Elde edilen yeni veriler doğrultusunda, bir çok etki kategorisinde, maddeler eklenmiş ve kaldırılmış ve / veya karakterizasyon faktörleri güncellenmiştir (CML, 2018).

CML-IA yöntemi, problem odaklı (orta nokta) yaklaşımı detaylandırır. CML Kılavuzu, gruplandırılmış etki değerlendirme kategorilerinin bir listesini sağlar:

A: Zorunlu etki kategorileri (Çoğu YDA'da kullanılan kategori göstergeleri)

B: Ek etki kategorileri (operasyonel göstergeler mevcuttur, ancak genellikle YDA çalışmalarına dahil değildir)

C: Diğer etki kategorileri (operasyonel göstergeler mevcut değildir, bu nedenle YDA'ya kantitatif olarak dahil edilmesi imkansızdır)

SimaPro'daki CML yönteminde sadece temel göstergeler mevcuttur. Genel olarak, bu göstergeler e-tablodakilerden farklı değildir. Elektronik tablonun SimaPro veri tabanının madde listesinde halihazırda bulunan madde isimlerinin eş anlamlılarını içermesi durumunda, mevcut isimler kullanılmaktadır. Tarımsal toprak ve endüstriyel toprak emisyonlar konusunda bir ayrıma tabi tutulur. Zirai toprak için emisyonlar, "tarım" sütununu "alt parça" sütununa yerleştirilerek netleştirilir; deniz suyundaki emisyonlar 'okyanus' ile belirtilirken, tatlı sudaki emisyonlar boş iken mevcut süreç kayıtlarındaki suya yönelik tüm emisyonların temiz suya ait emisyon olduğu varsayılmaktadır.

CML yöntemi içerisinde hesaplanan etki kategorileri; Abiyotik kaynakların tükenmesi kapsamında iki farklı etki kategorisi olarak değerlendirilir, Abiyotik tükenmesi (elementler, nihai rezervler) ve abiyotik tükenmesi (fosil yakıtlar). Abiyotik tükenmesi (elementler, nihai rezervler), sistemdeki girdilere bağlı olarak minerallerin ekstraksiyonu ile ilgilidir. Abiyotik Çöktürme Faktörü (ADF), konsantrasyon rezervlerine ve depolanma oranına bağlı olarak her bir mineral ekstraksiyonu (kg antimon eşdeğeri / kg ekstraksiyonu) için belirlenir. Fosil yakıtların abiyotik tükenmesi, kg cinsinden m³ fosil yakıtı için MJ cinsinden ifade edilen Alt Isıtma Değeri (LHV) ile ilgilidir. Yöntem içerisinde LHV'nin alınmasının nedeni ise bu şekilde fosil yakıtların tamamen ikame edildiği düşünülmektedir.

Küresel ısınma potansiyelinde, karakterizasyon faktörlerinin geliştirilmesi için Devletlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından geliştirilen karakterizasyon modeli seçilmiştir. Faktörler, 100 yıl (GWP100), kg karbondioksit eşdeğer / kg emisyonunda, Küresel Isınma Potansiyeli olarak ifade edilmektedir.

Ozon tabakasının tükenmesi (kararlı durum), karakterizasyon modeli, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından geliştirilmekte ve farklı gazların ozon tükenme potansiyelini tanımlamaktadır (kg CFC-11 eşdeğer / kg emisyonu).

İnsan toksisitesi (HTP inf), Tatlı su sucul ekotoksikite (FAETP inf), Deniz suyu ekotoksikolojisi (MAETP inf) ve Karasal ekotoksikite (TETP inf). İnsan Toksikite Potansiyelleri (HTP) olarak ifade edilen karakterizasyon faktörleri, USES-LCA ile hesaplanarak maruziyet ve toksik maddelerin sonsuz bir zaman dilimi için etkilerini açıklamaktadır. Her bir toksik madde için HTP'ler 1,4-diklorobenzen eşdeğer / kg emisyon olarak ifade edilir. Fotokimyasal oksidasyon (yüksek NO_x) modeli Jenkin, Hayman ve Derwent tarafından geliştirilmiştir ve kg emisyon başına kg etilen eşdeğerinde ifade edilen fotokimyasal oksidasyonu tanımlamaktadır.

Asitleme (ortalama Avrupa toplamı), asitlenme potansiyeli, kg emisyon başına kg SO₂ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir. Model, Huijbregts tarafından geliştirilmiştir.

Ötrofikasyon, Heijungs ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve kg emisyon başına kg PO₄ eşdeğerinde ifade edilen ötrofikasyon potansiyelini ifade etmektedir. (Guinee, 2001).



BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Çalışmada, bütünleşik YDA hesaplaması gerçekleştirilen gemi tipleri öncelikle kendi kategorileri içerisinde incelenmiştir. Bu inceleme ile her bir gemi için tüm etki kategorilerine göre inşa ve geri dönüşüm aşamalarına ait olan çevresel etki değerleri ortaya çıkarılmıştır. Sonrasında her bir gemi tipi kapsamında ilgili etki kategorisi ortalamaları çıkarılmıştır. Hesaplanan çevresel etki ortalamaları ile tüm gemi tipleri birbirleri ile karşılaştırılabilmiştir. Sonuçlar balıkçı, römorkör, servis, kargo-tanker ve yolcu gemileri, yat-yelkenli ve dubalar olarak gemi tipleri çerçevesinde ortaya konmuştur (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Çalışmada kullanılan gemi tiplerine göre hesaplanan örnek adetleri

Gemi Tipi	Hesaplanan Örnek Adedi
Balıkçı	8
Römorkör	14
Servis	5
Kargo-Tanker	9
Yolcu Gemisi	7
Yat-Yelkenli	2
Duba	5

4.1 Envanter Analiz Sonuçları

Çalışma sonuçları içerisinde, sistem sınırları kapsamında gerçekleşen enerji tüketimi, ham madde kullanımı ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan çevresel emisyonların da incelemesi yapılmıştır.

Neşer ve diğer (2012), 2009 – 2010 yıllarında yaptıkları araştırmada, gemi geri dönüşüm tesislerinin yerleşmiş olduğu Çandarlı Körfezi'nin kıyılarında, ağır metal kirliliği saptamışlardır. Civa (Hg), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), krom (Cr), bakır

(Cu), çinko (Zn), manganez (Mn) ve nikel (Ni) ölçümleri sonucunda Pb, Cr, Cu, Zn ve Ni ağır metallerinin konsantrasyonlarının Akdeniz genelinde rastlanan alt değerlere göre oldukça yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Tablo 4.2 Bir römorkör için metallere göre emisyon değerleri

Ağır Metal Adı	Emisyon Yeri	İnşa	Geri Dönüşüm
Demir	Hava (kg)	2,79	0,474
	Su (tn.lg)	1,74	37,7
	Toprak (kg)	13,6	2,64
Krom	Hava (kg)	22,9	0,0257
	Su (g)	35,1	62,1
	Toprak (g)	6,24	1,35
Manganez	Hava (g)	443	18,9
	Su (kg)	489	442
	Toprak (g)	421	82,6
Çinko	Hava (kg)	5,82	0,0633
	Su (kg)	180	39,9
	Toprak (g)	237	62,5
Kadmiyum	Hava (g)	42	4,96
	Su (kg)	3,04	0,583
	Toprak (mg)	409	97,2
Nikel	Hava (g)	861	50,1
	Su (kg)	121	190
	Toprak (g)	2,28	0,582
Kurşun	Hava (kg)	2,05	0,045
	Su (kg)	4,21	68,7
	Toprak (g)	4,92	1,33
Civa	Hava (g)	306	0,984
	Su (g)	63,9	3,11
	Toprak (mg)	2,99	1,51
Bakır	Hava (kg)	1,4	0,0732
	Su (tn.lg)	0,0399	2,41
	Toprak (g)	18,7	2,46

Her gemi tipi için yaklaşık beş yüz envanterin analiz sonucu bulunmaktadır. Bu nedenle yaşam döngüsü envanterinde, konsantrasyonları yüksek çıkan ağır metallere özel bir önem verilmiştir. Bunların havaya, suya ve toprağa olan emisyonları Tablo 4.2’ de bir römorkörün (R2) her iki aşaması için sunulmaktadır.

Tablo 4.3 Bir römorkör için kaynak malzemelere göre emisyonlar

Ağır Metal Emisyon	Kaynak Malzeme	İnşa	Geri Dönüşüm
Demir (Hava) (kg)	Çelik	2,72	-
	O ₂	0,0305	0,0264
	Hurda Çelik	-	0,444
Demir (Su) (tn.lg)	Çelik	1,68	-
	Hurda Çelik	-	37,6
Demir (Toprak) (kg)	Çelik	13,4	-
	Hurda Çelik	-	2,52
Bakır (Hava) (kg)	Çelik	1,38	-
	Hurda Çelik	-	0,0675
Bakır (Su) (tn.lg)	Çelik	0,0394	-
	Hurda Çelik	-	2,41
Bakır (Toprak) (g)	CO ₂	0,25	-
	O ₂	0,602	0,52
	Çelik	17,8	-
	Hurda Çelik	-	1,88
Civa (Hava) (g)	Çelik	305	-
Civa (Su)	Elektrik	4,31	0,137
	O ₂	0,676	0,584
	Hurda Çelik	-	2,35
	Çelik	58,5	-
Civa (Toprak) (mg)	Dizel Yakıt	-	0,0687
	Elektrik	-0,166	-0,00528
	LPG	0,125	0,0599
	Nakliye	-	0,144
	O ₂	-0,117	-0,101
	Hurda Çelik	-	1,34
	Çelik	3,19	-
Kadmiyum (Hava) (g)	CO ₂	1,06	-
	Hurda Çelik	-	4,55
	Çelik	40,5	-
Kadmiyum (Su) (kg)	Hurda Çelik	-	0,58
	Çelik	3,01	-
Kadmiyum (Toprak) (mg)	O ₂	5,85	5,06
	Hurda Çelik	-	90,3
	Çelik	397	-
Kurşun (Hava) (kg)	Hurda Çelik	-	0,0415
	Çelik	2,04	-

Tablo 4.3 devamı

Ağır Metal Emisyon	Kaynak Malzeme	İnşa	Geri Dönüşüm
Kurşun (Su) (kg)	Hurda Çelik	-	68,7
	Çelik	4,14	-
Kurşun (Toprak) (g)	Hurda Çelik	-	1,24
	Çelik	4,83	-
Krom (Hava) (kg)	Çelik	22,9	-
Krom (Su) (g)	Elektrik	1,22	0,0389
	O ₂	0,556	0,48
	Hurda Çelik	-	60,8
	Çelik	32,6	-
Krom (Toprak) (g)	Elektrik	0,0836	0,00266
	LPG	0,0577	0,0277
	O ₂	0,0899	0,0777
	Hurda Çelik	-	1,15
	Çelik	5,95	-
Çinko (Hava) (kg)	Çelik	5,81	-
Çinko (Su) (kg)	Hurda Çelik	-	39,4
	Çelik	177	-
Çinko (Toprak) (g)	Hurda Çelik	-	60,9
	Çelik	234	-
Manganez (Hava) (g)	Hurda Çelik	-	16,6
	Çelik	437	-
Manganez (Su) (kg)	Elektrik	12,5	0,398
	Hurda Çelik	-	440
	Çelik	472	-
Manganez (Toprak)	O ₂	7,2	6,22
	Hurda Çelik	-	74,9
	Çelik	407	-
Nikel (Hava) (g)	Hurda Çelik	-	44,8
	Çelik	844	-
Nikel (Su) (kg)	Hurda Çelik	-	190
	Çelik	119	-
Nikel (Toprak) (g)	O ₂	0,023	0,0199
	Hurda Çelik	-	0,539
	Çelik	2,22	-

341,7 ton çelik kullanılan römorkör için envanter sonuçlarındaki toplam emisyon değerleri, YDA sistemi içerisinde girdi ve çıktı olarak tanımlanan materyallerden

oluşmaktadır. Çalışma içerisinde bir römorkör gemisine ait olan emisyon değerlerinin sistem içerisindeki kaynak malzemeleri de Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’ te verilen değerlerin hesaplanmaları sırasında belirli bir orandan (cut off value) faydalanılmıştır. Envanter analizleri sonuçlarının alınması sırasında genellikle kullanılan bu yöntem ile belirli bir yüzde altında olan etkiler göz ardı edilebilmekte ve en yüksek etkiyi gösteren sistem girdi ve çıktıları ön plana çıkarılmaktadır. Bu oran YDA hesaplamalarında genellikle %1 ile %5 arasında alınmaktadır (Bjarnadóttir, Friðriksson, Johnsen, ve Sletsen, 2002). Çalışma kapsamındaki envanter analizi sonuçlarında bu oran %1 olarak alınmıştır.

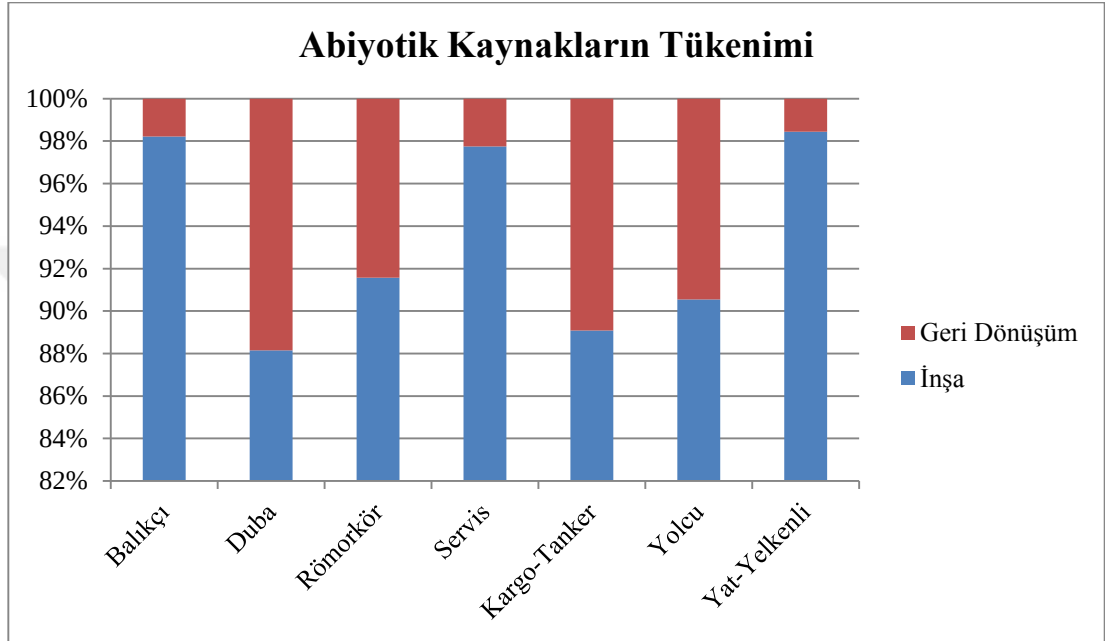
Envanter analizi sonuçlarında, ele alınmış olan kaynak ve emisyonların negatif değerleri, fosil enerjinin atık arıtımından üretilen enerjiden ikame edilmesi nedeniyle çevresel tasarrufları göstermektedir (Zuin, Belac, ve Marzi, 2009).

4.2 Çevresel Etki Sonuçları

Tüm gemi tiplerine ait ortalama abiyotik kaynakların tüketimi, abiyotik kaynakların tüketimi (fosil yakıtlar), küresel ısınma (GWP100a), ozon tüketimi, insan toksisite potansiyeli, temiz su ekotoksisite potansiyeli, deniz ekotoksisite potansiyeli, toprak ekotoksisite potansiyeli, fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli, asitleştirme potansiyeli ve ötrofikasyon etki kategorileri için karşılaştırılmıştır.

Her gemi tipi için ayrı olarak hesaplanan çevresel etki değerlerinde öncelikle toplamda elli geminin ilgili on bir kategorisi için her bir gemi özelinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu veriler ışığında gemiler, gemi tipi kategorilerine ayrılarak her bir çevresel etki kategorisi için ortalama değerler elde edilmiştir. Çalışmanın karşılaştırılabilir sonuçlar verebilmesi adına izlenen bu yöntem ile ele alınan gemi tiplerine ait tasarım farklılıklarının çelik işleme ve geri dönüşümüne olan çevresel etkileri gözlemlenebilmiştir.

Şekil 4.1’de sistemdeki girdilere bağlı olarak minerallerin ekstraksiyonunu gösteren abiyotik kaynakların tükenimi etki kategorisine göre gemi tiplerinin inşa ve geri dönüşüm aşamalarındaki çevresel etki yüzdeleri ortalamalarının karşılaştırılması verilmiştir.



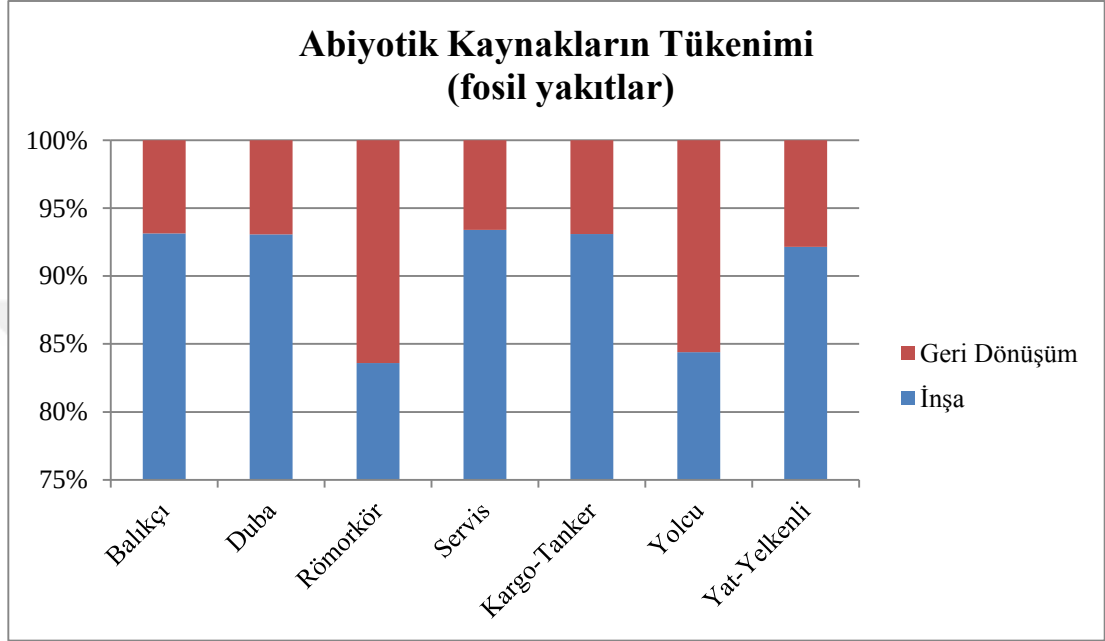
Şekil 4.1 Abiyotik kaynak tükenim yüzdeleri

Çalışmadaki YDA hesaplamalarında inşası için 5 ton çelik kullanılan gemiden (Servis5) 7700 ton çelik kullanılan gemiye kadar (Konteyner) inşasında farklı tonajlarda çelik kullanılmış olan gemiler ele alınmıştır.

Fosil yakıtlar gibi yenilebilir olmayan kaynakların ve rezervlerin tükenimini ele alan abiyotik kaynakların tükenimi (fosil yakıtlar) etki kategorisine ait YDA sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir.

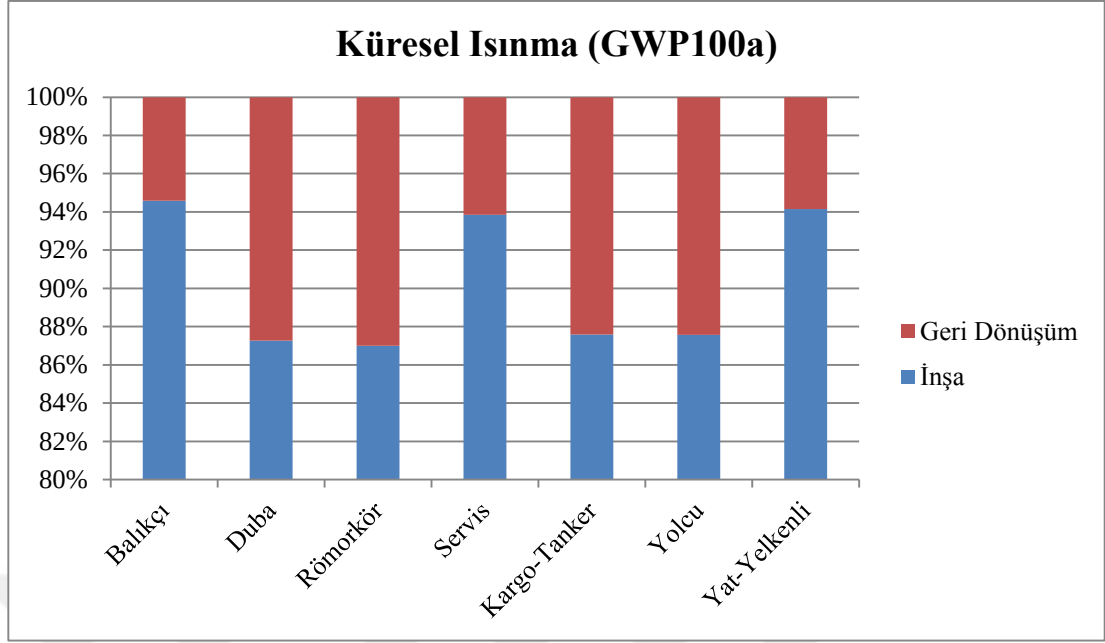
Bu çalışma kapsamında ele alınan veriler gemi tiplerine göre kullanılan çeliğin işlenmesi ve geri dönüşümü odağındadır. Böylece her bir gemi tipi özelinde çeliğin işlenmesi için gerekli olan enerji ve diğer girdiler hesaplanarak malzeme odaklı bir karşılaştırma yapılması mümkün kılınmıştır. Bu yaklaşım ile her çevresel etki

kategori için yapılan inş ve geri dönüşüm ortalama yüzde karşılaştırması gemilerin toplam DWT değerlerinden bağımsız olarak gemi tipi için gerekli inş ve geri dönüşüm spesifikasyonlarının değerlendirilmesini sağlamıştır.



Şekil 4.2 Abiyotik kaynak tüketim (fosil yakıtlar) yüzdeleri

Şekil 4.3’de değerlendirilen küresel ısınma potansiyeli etkisi ile 100 yıl (GWP100), kg CO₂ eşdeğer / kg emisyonunda sera gazlarının atmosfere yayılmasının sonuçları karşılaştırılmıştır. Küresel ısınma potansiyeli değerleri incelendiğinde, gemi tipleri için inş aşamasından kaynaklanan etkilerin en az %87 oranında bir ağırlık kazanmış olduğu görülmektedir. Duba, römorkör, yolcu tekneleri, kargo ve tankerlerde inşanın diğer gemi tiplerine nazaran daha az etkidiği, bununla birlikte en yoğun inş etkisinin balıkçı, servis, yat ve yelkenli teknelerinde görüldüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.3 Küresel ısınma yüzdeleri

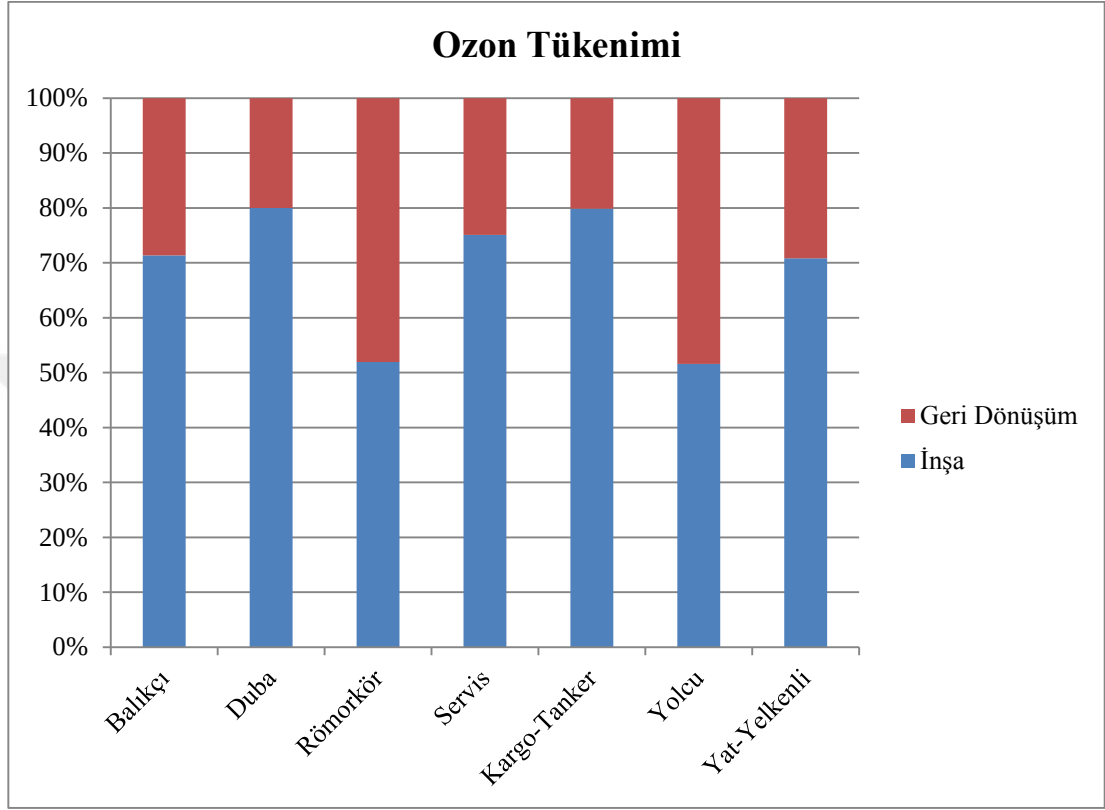
Tersanelerdeki inşa sürecini ve geri dönüşüm tesislerindeki söküm sürecini inceleyen YDA hesaplamaları içerisinde çelik hammadde tedariki ve haddehaneye hurda nakliyesi de yer almaktadır. Bu iki değerlendirmenin sonuçlara etkisi inşa ve geri dönüşüm aşamalarındaki tesis dışı çevresel etki olarak değerlendirilmekte, ancak hesaplamalarda inşa ve geri dönüşüm aşamalarına dahil edilmektedir.

YDA aşamaları içerisindeki inşa ve geri dönüşüm süreçleri neticesinde ortaya çıkan farklı gazların ozon tüketimine olan etkisi Şekil 4.4’ te insan toksisite potansiyeli etki kategorisi de Şekil 4.5’te belirtilmiştir.

Ozon tüketimi potansiyeli değerleri incelendiğinde, diğer gemi tiplerine göre daha az oranda etki oluşan römorkör ve yolcu tekneleri için inşa ve geri dönüşüm aşamalarından kaynaklı değerlerin yaklaşık eşit ve %50 oranında, balıkçı, duba, servis, yat ve yelkenli tekneleri için inşa aşamasında %70 oranında bir etki olduğu tespit edilmiştir.

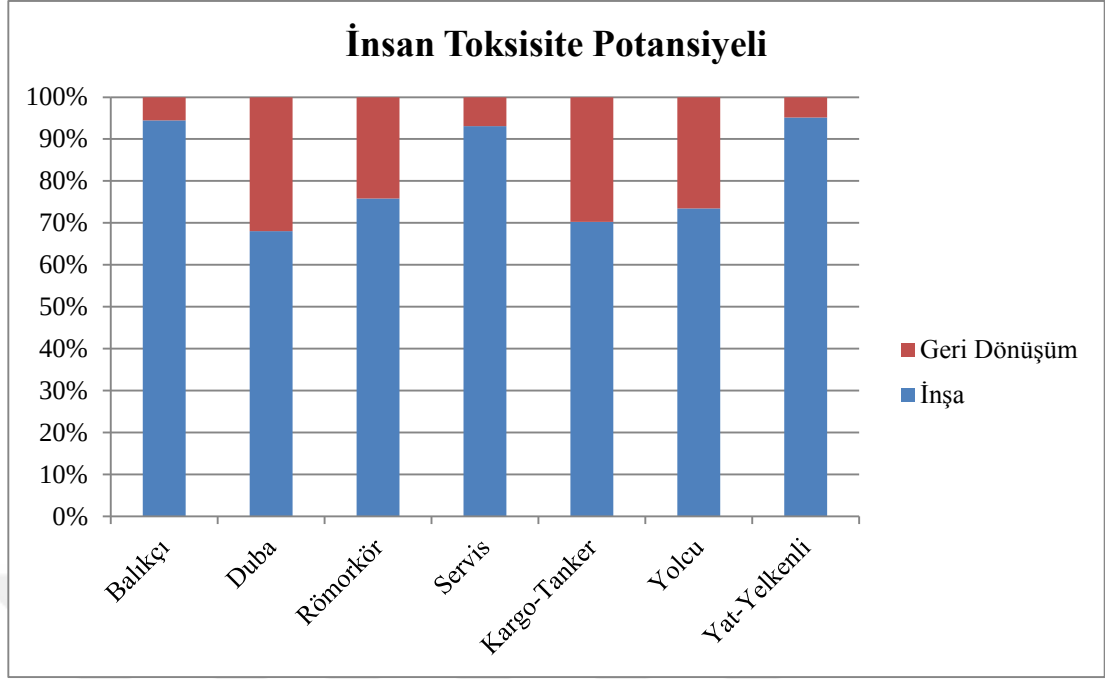
İnsan toksisite potansiyeli değerlerinde ise (Şekil 4.5) , gemi tipleri için inşa aşamasından kaynaklanan etkilerin en az %70 oranında bir ağırlık kazanmış olduğu

görülmektedir. Römorkör ve yolcu teknelerinde inşanın diğer gemi tiplerine nazaran daha az etkidiği, bununla birlikte en yoğun inşa etkisinin balıkçı, servis, yat ve yelkenli tiplerinde görüldüğü tespit edilmiştir.

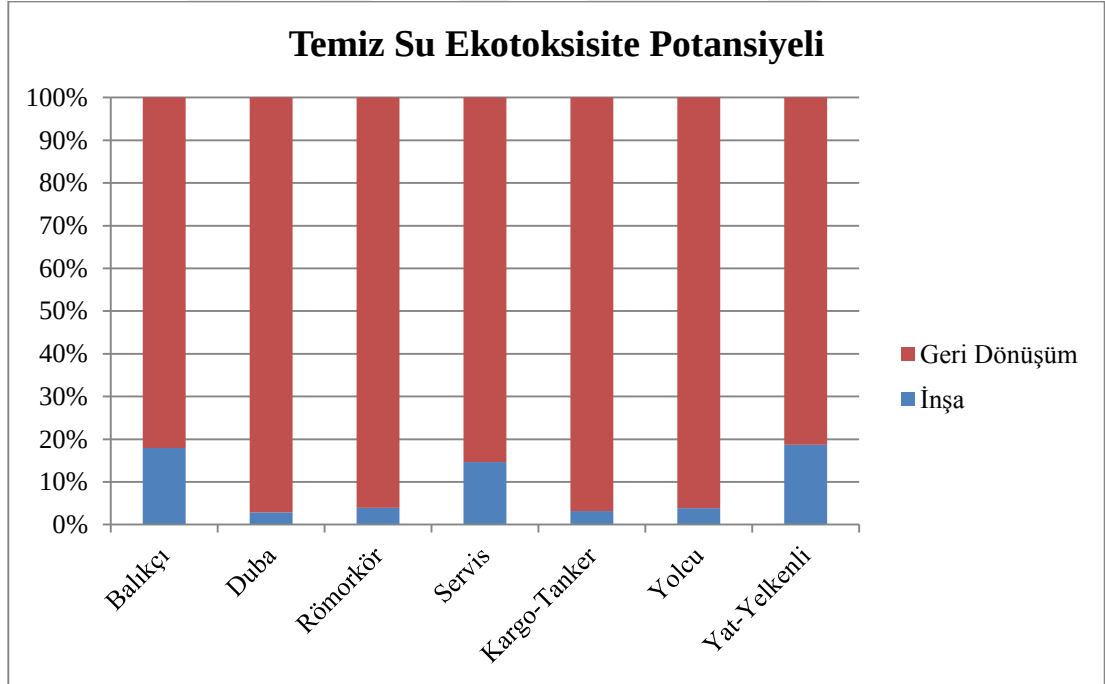


Şekil 4.4 Ozon tükenimi yüzdeleri

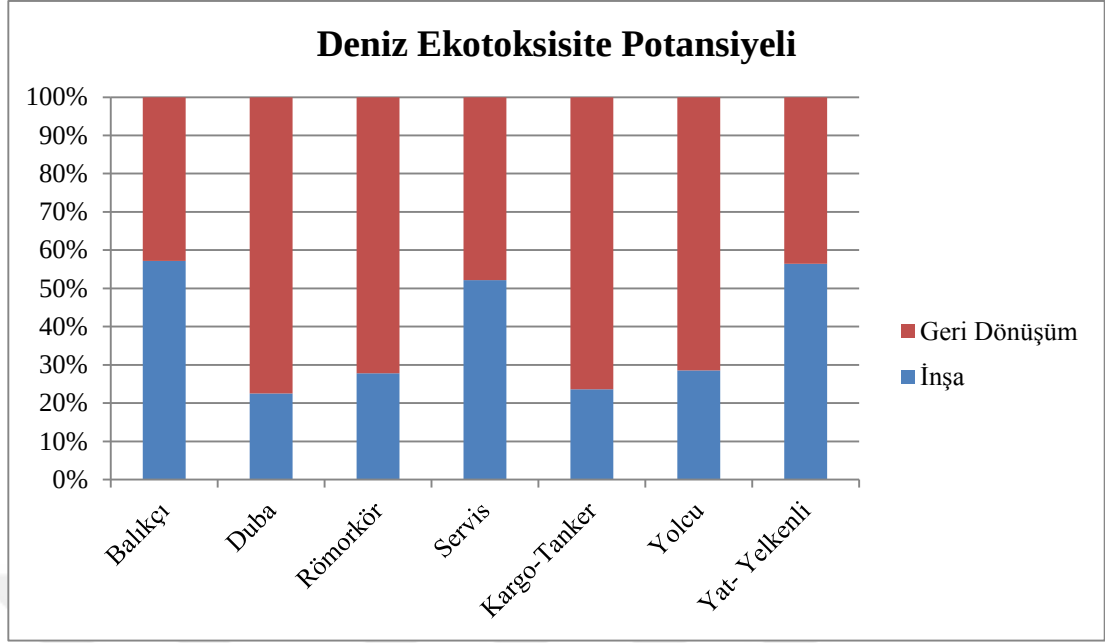
Diğer etki kategorilerinden farklı olarak geri dönüşüm aşamasının etkilerinin daha ağırlıklı çıktığının gözlemlendiği temiz su ekotoksisite potansiyeli (Şekil 4.6) ve deniz ekotoksisite potansiyeli (Şekil 4.7) gemi tiplerine göre geri dönüşüm süreç etkilerinin ortalamalarını göstermektedir.



Şekil 4.5 İnsan toksisite potansiyeli yüzdeleri



Şekil 4.6 Temiz su ekotoksisite potansiyeli yüzdeleri

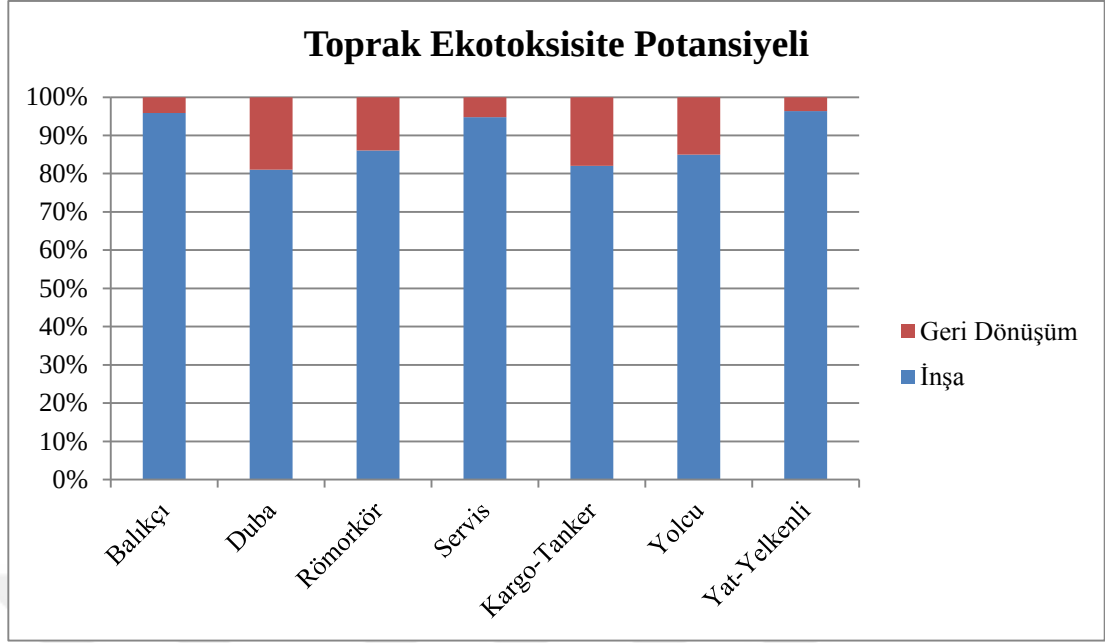


Şekil 4.7 Deniz ekotoksosite potansiyeli

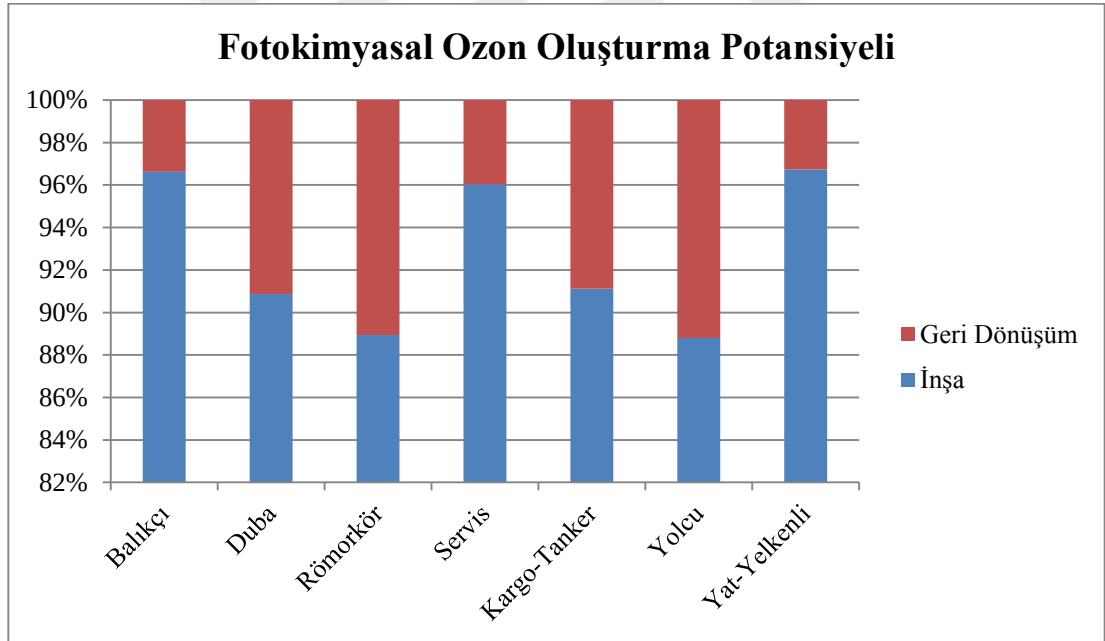
Temiz su ekotoksosite potansiyeli değerlerinde, gemi tipleri için geri dönüşüm aşamasından kaynaklanan etkilerin en az %45 oranında bir ağırlık kazanmış olduğu görülmektedir. Duba, römorkör, yolcu tekneleri, kargo ve tankerlerde geri dönüşümün diğer gemi tiplerine nazaran daha fazla etkili olduğu, bununla birlikte en az geri dönüşüm etkisinin balıkçı, servis, yat ve yelkenli teknelerinde görüldüğü tespit edilmiştir.

Deniz ekotoksosite potansiyeli değerleri incelendiğinde, diğer gemi tiplerine göre daha az oranda etki oluşumuna neden olan balıkçı, servis ve yolcu tekneleri için inşa ve geri dönüşüm aşamalarından kaynaklı değerlerin yaklaşık %50 oranında, duba, römorkör, yolcu gemileri, kargo ve tanker için geri dönüşüm aşamasında %75 oranında bir etki olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.8’de gösterilen toprak ekotoksosite potansiyeli değerlerine göre, duba, römorkör, kargo-tanker ve yolcu gemisi gemi tipleri için inşa aşamasında yaklaşık %80-85 oranında, balıkçı, servis gemileri ile yat ve yelkenliler için ise %95 oranında bir etki değeri ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. En yüksek inşa etkisinin de balıkçı ve yat-yelkenli tiplerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8 Toprak ekotoksosite potansiyeli

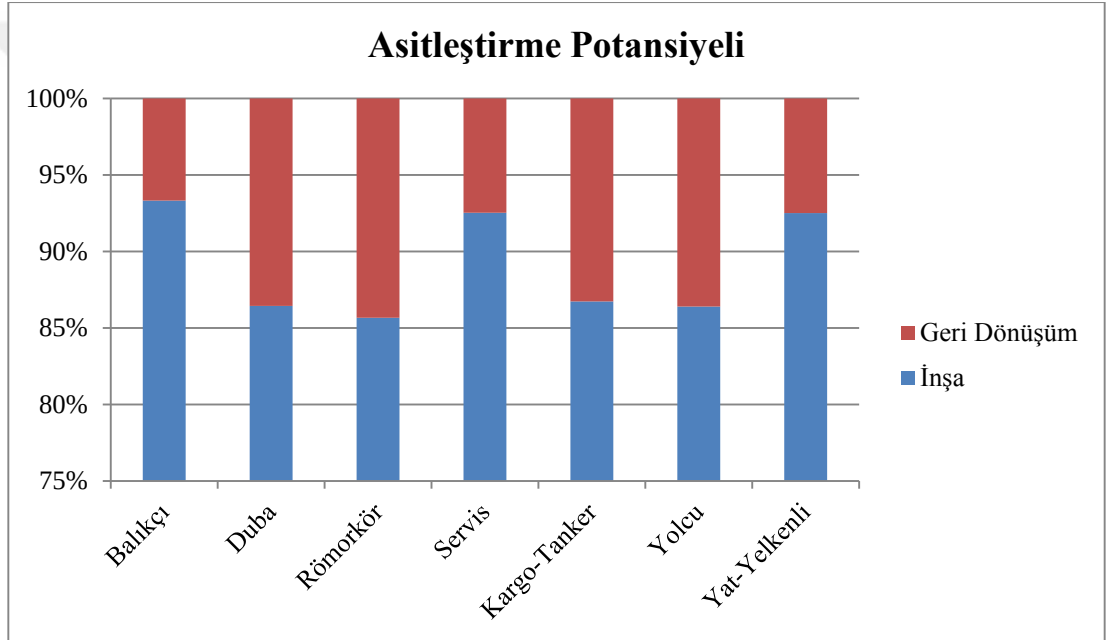


Şekil 4.9 Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli yüzdeleri

Fotokimyasal ozon oluşturma değerlerine göre (Şekil 4.9), her gemi tipi için inşa aşamasından kaynaklanan etkilerin en az %89 oranında bir ağırlık kazanmış olduğu görülmektedir. Römorkör ve yolcu gemi tiplerinde inşa aşamasının diğer gemi tiplerine nazaran daha az etkidiği, bununla birlikte fotokimyasal ozon oluşturma

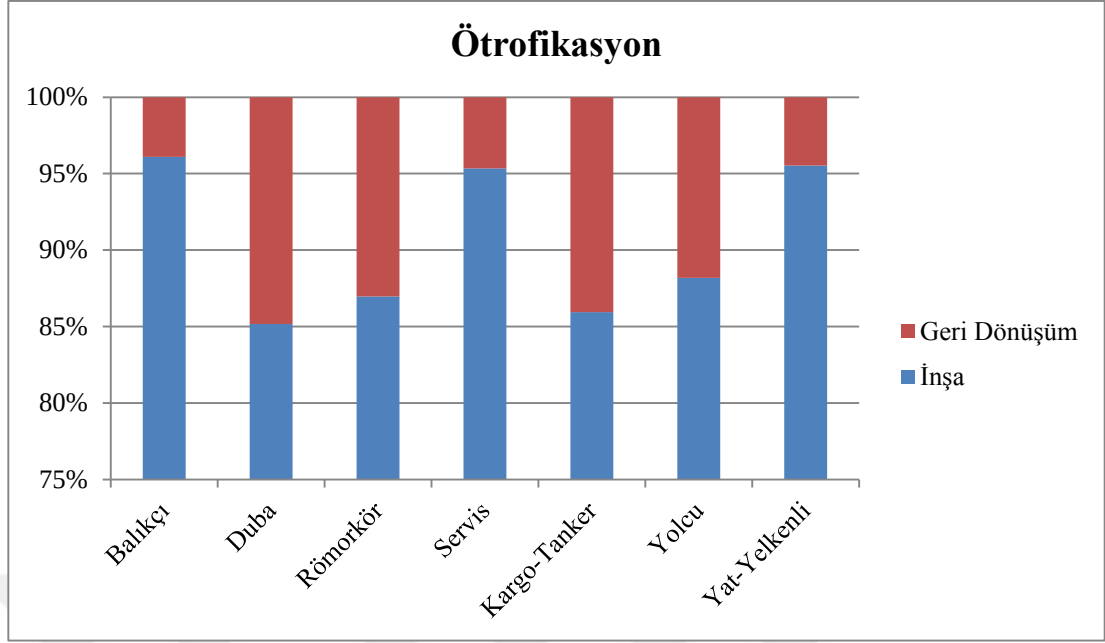
potansiyeli etkisinin en yoğun inşaa etkisinin balıkçı, servis, yat ve yelkenli teknelerinde görüldüğü tespit edilmiştir.

Asitleştirme potansiyeli değerlerine göre ise (Şekil 4.10), duba, römorkör, yolcu tekneleri, kargo ve tankerlerde inşaa aşamasından kaynaklanan etkiler en az %85 oranında bir ağırlık kazanmıştır. Balıkçı, servis, yat ve yelkenlilerin inşaa aşamasının diğer gemi tiplerine nazaran daha fazla etkidiği ve asitleştirme potansiyeli değer yüzdesinin %90 oranının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10 Asitleştirme potansiyeli yüzdeleri

Ötrofikasyon değerleri incelendiğinde (Şekil 4.11), her gemi tipi için inşaa aşamasından kaynaklanan etkilerin en az %85 oranında bir ağırlık kazanmış olduğu görülmektedir. Duba, römorkör, yolcu gemisi, kargo ve tankerlerde inşaa aşamasının diğer gemi tiplerine nazaran daha az etkidiği, bununla birlikte en yoğun inşaa etkisinin balıkçı, servis gemileri ve yatlar ve yelkenli teknelerde %96 civarında görüldüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.11 Ötrofikasyon yüzdeleri

Çalışma sonuçlarına göre ilgili her bir etki kategorisi içerisinde inşa ve geri dönüşüm aşamalarında en yüksek ve en düşük yüzdelerin hesaplandığı gemi tipleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Temiz su ve deniz ekotoksosite potansiyeli etki kategorilerinde belirleyici faktörün ilgili gemi tipi için kullanılmış olan çeliğin geri dönüştürülme aşaması olduğundan dolayı bu iki etki kategorisinde geri dönüşüm aşamasına ait en yüksek ve en düşük yüzdeler dikkate alınmıştır.

Tablo 4.4 Etki kategorilerinde en yüksek (Y) ve en düşük (D) sonuçlar

Etki Kategorisi	İnşa	Geri Dönüşüm
Abiyotik Kaynakların Tükenimi	Y: Yat ve Yelkenli D: Duba	
Abiyotik Kaynakların Tükenimi (fosil yakıtlar)	Y: Balıkçı gemisi, duba, tanker, kargo D: Römorkör, yolcu gemisi	
Küresel Isınma	Y: Balıkçı gemisi D: Duba, römorkör	
Ozon Tükenimi	Y: Duba, kargo-tanker D: Römorkör, yolcu gemisi	
İnsan Toksisite Potansiyeli	Y: Yat ve yelkenli D: Duba	
Temiz Su Ekotoksisite Potansiyeli		Y: Duba D: Yat ve Yelkenli
Deniz Ekotoksisite Potansiyeli		Y: Duba D: Yat ve Yelkenli
Toprak Ekotoksisite Potansiyeli	Y: Yat ve Yelkenli D: Duba, kargo-tanker	
Forokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli	Y: Yat ve Yelkenli D: Römorkör, yolcu gemisi	
Asitleştirme Potansiyeli	Y: Balıkçı gemisi, yat ve yelkenli D: Römorkör	
Ötrofikasyon	Y: Balıkçı gemisi D: Duba	

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Farklı gemi tiplerine göre kullanılan çeliğin inşa aşamasında işlenmesi ve geri dönüşüm aşamasında hurdaya ayrılması süreçlerindeki toplam çevresel etkileri ortaya koymayı amaçlayan çalışmada YDA temelinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler için gelecek on yıl içerisinde filolarındaki kullanım ömrü göz önüne alındığında, yenilerine ihtiyaç duyulacak olan gemi tiplerinden olan on dört adet römorkör, yedi adet yolcu gemisi, sekiz adet balıkçı gemisi, beş adet servis destek gemisi, beş adet duba, bir adet kuruyük gemisi, bir adet konteyner gemisi, bir adet motor yat, bir adet feribot, bir adet yelkenli, iki adet petrol tankeri, bir adet kimyasal tanker, bir adet LPG tankeri ve iki adet asfalt tankeri ele alınmıştır.

Çalışmada YDA sistem sınırları, gemi inşa süreci içerisinde çelik işleme operasyonu ve gemi geri dönüşüm süreci içerisinde hurda kazanım operasyonu olarak belirlenmiştir. Bir ton çeliğin inşa sürecinde ve geri dönüşüm sürecinde minimum çevresel etki ile işlenebilmesi amacıyla çalışma kapsamında ele alınan gemiler için kullanılmış olan ve yaşam sonunda hurdaya ayrılmış olan toplam çelik ağırlıkları neticesinde ortaya çıkan çevresel etkiler on bir farklı etki kategorisi için hesaplanmıştır.

İnşa aşamasındaki ilgili girdiler çelik hammadde, O₂, CO₂, LPG ve elektrik tüketim verilerinden oluşmaktadır. Çeliğin işlenmesi için gerekli olan kaynak teli kullanımı, kaynak teli firesi ve işçilik değerleri çalışma kapsamında ele alınan gemi tipleri için ölçümlenmiş ve karşılaştırılabilir veriler elde edilemediğinden dolayı hesaplama dışında tutulmuştur. Çalışma amacı olarak belirlenen, çelik işleme çevresel etkileri hesaplaması dışında kalan ancak tersane süreci içerisinde yer alan, boru, boya, izolasyon malzemeleri, paneller, kapılar, tuvaletler ve duşlar, mobilyalar, ırgatlar, zincir, çapa demiri, elektrik işçiliği, boya işçiliği ve donatım işçiliği gibi gemi donatımına ait veriler ise çalışma amacı dışında yer almasından dolayı inşa aşaması hesaplamalarında yer verilmemiştir.

Çelik geri dönüşümünün çevresel etkilerinin ortaya konduğu geri dönüşüm aşamasında ise tesiste bulunan geminin toplam çelik gövdesinin hurdaya ayrılması için gerekli olan işlemlerin gerçekleşmesinde kullanılan O₂, LPG, dizel yakıt ve elektrik tüketim verileri kullanılmıştır. Ayrıca geri dönüşüm tesisinde hurdaya ayrılan çeliğin tesise 15 km uzaklıkta bulunan haddehaneye nakliyesinin toplam çelik tonajı için çevresel etkileri de hesaplanmıştır.

Çalışmanın amacı bir geminin inşası için kullanılan çeliğin hammadde tedariki, işlenmesi ve geri dönüşüm için hurdaya ayrılması süreçleri kaynaklı çevresel etkileri incelemek olduğundan dolayı işletme aşamasındaki yakıt tüketim verilerinden kaynaklı çevresel etki hesabı çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

Abiyotik kaynakların tükenimi potansiyeline göre (Şekil 4.1) inşa aşamasında en yüksek oran yat ve yelkenli teknelerde olurken en düşük oran dubalarda elde edilmiştir. Abiyotik kaynakların tükenim potansiyeli (fosil yakıtlar) (Şekil 4.2) etki kategorisinde ise balıkçı gemileri, duba, kargo, servis, yat-yelkenli ve tanker gemilerinde inşa aşaması en yüksek oranda olurken, römorkör ve yolcu gemileri en düşük oranda gerçekleşmiştir.

Küresel ısınma potansiyeli (Şekil 4.3) değerlerine göre balıkçı gemileri inşa aşaması en yüksek oranda yer alırken duba, römorkör ve yolcu gemileri en düşük oranda elde edilmiştir.

Ozon tükenimi potansiyeli (Şekil 4.4) sonuç grafiğinde duba, kargo ve tanker gemileri inşa aşaması en yüksek oranda, yolcu gemileri ise en düşük oranda yer almaktadır.

İnsan toksisite potansiyeli sonuç grafiğine göre (Şekil 4.5) balıkçı gemileri ile yat ve yelkenliler inşa aşaması en yüksek oranda, ise en düşük oranda ise dubalara ait verilerde elde edilmiştir.

Geri dönüşüm aşaması çevresel etkilerinin daha ağırlıkta olduğu temiz su ekotoksosite potansiyeli (Şekil 4.6) ve deniz ekotoksosite potansiyeli (Şekil 4.7) verileri incelendiğinde geri dönüşüm aşaması oranı dubalarda en yüksek oranda çıkarken, yat ve yelkenlilerde balıkçı gemileri ile birlikte en düşük etki oranı elde edilmiştir.

Balıkçı gemileri, yat ve yelkenliler inşa aşaması toprak ekotoksosite potansiyeli (Şekil 4.8) değerlerine göre en yüksek oranda, duba, kargo ve tankerler de ise en düşük oranda görülmüştür.

Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (Şekil 4.9) sonuçlarına göre balıkçı gemileri, yat ve yelkenli tekneler inşa aşaması en yüksek oranda, yolcu gemileri ve römorkörler en düşük oranda, asitleştirme potansiyeli verilerine göre ise (Şekil 4.10) balıkçı gemileri inşa aşaması en yüksek oranda çıkarken, römorkörler en düşük oranda yer almıştır.

Balıkçı ve servis gemileri ile yat-yelkenli teknelerin inşa aşamasının ötrofikasyon sonuçlarına göre (Şekil 4.11) en yüksek oranda, dubaların ise en düşük oranda olduğu gözlemlenmiştir.

Yat ve yelkenlilerin üç, balıkçı gemilerinin dört, kargo ve tankerlerin iki, yolcu gemilerinin bir, dubaların ise iki farklı etki kategorisinde en yüksek inşa aşaması değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Etki kategorilerine göre en düşük inşa aşaması oranları incelendiğinde yat ve yelkenliler bir, römorkörler üç, kargo ve tankerler iki, dubalar üç farklı kategoride en düşük oranda yer almıştır.

İlgili sonuçlarda çelik hammadde tedarik süreci ve tersane çelik işleme süreci bir bütün olarak inşa aşaması içerisinde yer almaktadır. Çevresel etki kategorilerinde daha yüksek oranda yer alan inşa aşamasında bu etkinin büyük kısmının çelik ham madde tedarik sürecinden geldiği gözlenmiştir.

Genel olarak, çalışmanın sonuçlarından formu daha sade olan gemi tipleri inşasının çevresel etkilerinin daha düşük oranda olduğu görülmektedir. Gemilerin tasarım aşamasında çevresel etki odaklı çalışmaların yapılması ile bu etkilerin daha da düşürülebileceği gözlemlenmektedir.

Optimum hammadde kullanımının yanı sıra çeliğin işlenmesi ve geri dönüştürülmesi aşamalarındaki girdilerin, tasarım aşamasında değerlendirilmesi yeni gemilerin daha çevreci bir yaklaşımla inşa edilmesine olanak sağlayabilecektir. Hurdaya ayrılmak üzere geri dönüşüm tesislerine giden gemilerde de, söküm işlemleri öncesinde yapılabilecek malzeme girdi hesaplamaları ile, ilgili geminin hurdaya ayrılma aşamasında oluşabilecek çevresel etkilerin minimumda tutulması sağlanabilecektir.

Gemiler özelinde geliştirilebilecek bütünlük YDA çalışmaları ile henüz daha tasarım aşamasında olan bir geminin inşa, işletme ve geri dönüşüm aşamalarına yönelik çevresel etkileri görülebilecektir. Tasarımcının, yaptığı bir değişikliğin ilgili geminin tekrar ham madde olarak değerlendirilme sürecine kadar olan tüm çevresel sonuçları üzerindeki etkisi gözlemlenebilecektir. Ayrıca, gemiler özelinde yapılabilecek olan uluslararası düzenlemeler ile daha çevre dostu tedarik zincirleri oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adak, S. (2013). *EIA and EMP for Ship Recycling Facility Near Mundra West Port in Kachchh District*. Guafat: MECON Limited.
- Allen, M., Frame, D., Huntingford, C., Jones, C., ve Lowe, J. (2009). Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature*, 458(7242) , 1163.
- Andersen, A., Endresen, Q., Hall, S., Jose, P., Kattan, R., Orrick, P.,ve diğer (2001). *Technological and Economic Feasibility Study of Ship Scrapping in Europe*. Novic: Rapor No:2000-3527, DNV.
- Andersen, A., Rostad, A., ve Bjornbom, E. (1999). *Decomissioning of ships environmental protection and ship demolition practices*. Hovik: DNV.
- Anderson, K., ve Bows, A. (2011). Beyond ‘dangerous’ climate change: emission scenarios for a new world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934) , 20-44.
- Aurich, J., Schweitzer, E., ve Fucks, C. (2007). Life cycle management of industrial product - service systems. S. Takata ve U. Yasushi içinde, *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*. (171-176). Londra: Springer.
- Bazar, Z., ve Longva, T. (2011). *Assessment Of IMO Mandated Energy Efficiency*. Loyd's Register ve DNV.
- Bertram, V., ve Schneetluth, H. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Bjarnadóttir, H., Friðriksson, G., Johnsen, T., ve Sletsen, H. (2002). *Guidelines for the use of LCA in the waste management sector*. Finlandiya: Nordtest.

CML. (2018, 12 5). *CML-IA Characterisation Factors*. 12.05.2018
UniversiteitLeiden:<https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>

Demaria, F. (2010). Shipbreaking at Alang–Sosiya (India): an ecological distribution conflict. *Ecological economics*, 70(2) , 250-260.

Dhillon, B. (2013). *Life Cycle Costing, Techniques, Models and Applications*. Routledge.

DTGM. (2018). *150 GT ve Üzeri Gemi Cinslerine Göre DWT ve Adet Gelişimi*. Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü Planlama ve Bilgi Yönetimi Daire Başkanlığı.

Ecoinvent. (2018, 12 10). *Ecoinvent History*. 12.10.2018 Ecoinvent:
<https://www.ecoinvent.org/about/history/history.html>

Eyres, D. (2007). *Ship Construction*. Oxford: Butterworth - Heinemann.

GEMİSANDER. (2018). *Gemi Geri Dönüşüm Sanayicileri Derneği 2017 Yılı Sektör Raporu*. İzmir: GEMİSANDER.

Gilbert, P., ve Bows, A. (2012). Exploring the scope for complementary sub-global policy to mitigate CO₂ from shipping. *Energy Policy*, 50 , 613-622.

Gilbert, P., Bows-Larkin, A., Marder, S., ve Walsh, C. (2015). Technologies for the high seas: meeting the climate challenge. *Carbon Management*, 5(4) , 447-461.

Gilbert, P., Walsh, C., Traut, M., Kesieme, U., Pazouki, K., ve Murphy, A. (2018). Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. *Journal of Cleaner Production*, 172 , 855-866.

GİSBİR. (2017). *GİSBİR Sektör Raporu 2015-2016*. İstanbul: GİSBİR.

Gregson, N., Crang, M., Ahamed, F., Akter, N., Ferdous, R., Foisal, S., ve diğer. (2012). Territorial agglomeration and industrial symbiosis: Sitakunda-Bhatiary, Bangladesh, as a secondary processing complex. *Economic Geography*, 88(1), 37-58.

Guinee, B. (2001). Handbook on Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment* , 311-313.

Hess, R., Rushworth, D., Hynes, M., ve Peters, J. (2001). *Disposal Options for Ships*. Santa Monica: RAND Corporation.

Hiremath, A., Tilwankar, A., ve Asolekar, S. (2015). Significant steps in ship recycling vis-a-vis wastes generated in a cluster of yards in Alang: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 87 , 520-532.

Jain, K. P., Pruyn, J. F. J., ve Hopman, J. J. (2016). Quantitative assessment of material composition of end-of-life ships using onboard documentation. *Resources, Conservation and Recycling*, 107 , 1-9.

Kameyama, M., Hiraoka, K., ve Tauchi, H. (2007). *Study on Life Cycle Impact Assessment for Ships*. Tokyo,Japan: National Maritime Research Institute.

Kılıç, E. (2010). *Deri Endüstrisi Arıtma Çamurlarından kromun Oksidatif Yöntemle Geri Kazanılması ve Çevresel Etkisinin Yaşam Döngüsü Analiziyle Değerlendirilmesi*. İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Lai, K. H., Lun, V., Wong, C., ve Cheng, T. (2011). Green shipping practices in the shipping industry: Conceptualization, adoption, and implications. *Resources Conservation and Recycling* , 631-638.
- Le Quéré, C., Andrew, R., Canadell, J., Sitch, S., Korsbakken, J., Peters, G., ve diğer (2016). Global Carbon Budget 2016. *Earth System Science Data* , 605-649.
- Neşer, G., Kontas, A., Ünsalan, D., Uluturhan, E., Altay, O., Darılmaz, E., ve diğer. (2012). Heavy metals contamination levels at the Coast of Aliğa (Turkey) ship recycling zone. *Marine Pollution Bulletin* 64 , 882 - 887.
- Nicolae, F., Popa, C., ve Beizadea, H. (2014). Application of Life Cycle Assessment (LCA) in Shipping Industry. *E-proceedings of 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference(SGEM14)*, (289-296). Albena, Bulgaristan.
- Rahim, M., Islam, M., ve Kuruppu, S. (2016). Regulating global shipping corporations' accountability for reducing greenhouse gas emissions in the seas. *Marine Policy*, 69 , 159-170.
- Rahman, S., ve Mayer, A. (2015). How social ties influence metal resource flows in the Bangladesh ship recycling industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 104 , 254-264.
- Reddy, M., Basha, S., Kumar, V., Joshi, H., ve Ghosh, P. (2003). Quantification and classification of ship scraping waste at Alang–Sosiya, Hindistan. *Marine pollution bulletin*, 46(12) , 1609-1614.
- Register, L. (2011). *Classification News Statutory Alert Asbestos on Board Ships – Contravention of SOLAS Requirements*. Londra: Loyd's Register.
- Register, L. (2011). *LR MEPC 62 Executive Summary*. Loyd's Register.

Sarraf, M., Stuer-Lauridsen, F., Dyoulgerov, M., Bloch, R., Wingfield, S., ve Watkinson, R. (2010). *The ship breaking and recycling industry in Bangladesh and Pakistan*. Washington, DC: World Bank.

Shama, M. (2005). Life Cycle Assessment of Ships. G. Soares, Y. Garbatov, ve N. Fonseca içinde, *Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources* (1751-1758). Londra: Taylor and Francis Group.

SimaPro. (2018,12,1). *SimaPro FAQ*. 12.01.2018 SimaPro: <https://support.simapro.com/articles/FAQ/What-is-the-period-of-time-meant-by-long-term>

Smithy, T., Anderson, B., Corbert, J., Hanayama, S., O'Keeffe, E., Parker, S., ve diğer (2014). *Third IMO GHG Study*. Londra: International Maritime Organization, (IMO).

Stopford, M. (2009). *Maritime Economics*. 3.baskı, Londra: Routledge.

Sujauddin, M., Koide, R., Komatsu, T., Hossain, M., Tokoro, C., ve Murakami, S. (2015). Characterization of ship breaking industry in Bangladesh. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1) , 72-83.

TKYGM. (2018). Tersaneler ve kıyı yapıları genel müdürlüğü 2017 yılı genel istatistikler. Ankara: Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı.

UAB. (2018). *Faaliyette Bulunan Tersaneler ve Gemi Geri Dönüşüm Tesisleri*. Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü.

Zuin, S., Belac, E., ve Marzi, B. (2009). Life cycle assessment of ship-generated waste management of Luka Koper. *Waste Management* 29 , 3036 - 3046.