



KRUVAZİYER GEMİLERİN KARBON SALIMI TAHMİNİ: KUŞADASI LİMAN BÖLGESİ İÇİN SİSTEM DİNAMİKLERİ YAKLAŞIMI

Araş.Gör. Yiğit GÜLMEZ

Araş.Gör. Onur GÜNAY

Prof.Dr. A.Güldem CERİT



Giriş 1/3

Günümüzde pek çok gemi ana güç kaynağı olarak dizel makineler kullanmaktadır. Bu makineler günlük yaşantımızda kullanılan dizel makinelere oranla daha fazla karbondioksit (CO_2), Nitrojen oksit (NO_x) Sülfür oksit (SO_x), hidrokarbon (HC) ve diğer partiküller açığa çıkarmaktadır (Eyring vd.,2005).



Giriş 2/3

Dünyada toplam karbon salımının %13,2'sinin taşımacılık sektöründen (IPCC,2007) ve %2,8'inin deniz taşımacılığında (UNFCCC,2014) kaynaklandığı düşünüldüğünde kruvaziyer gemilerin turistik bölgelerde oluşturduğu salım büyük önem arz etmektedir. Özellikle yerleşim merkezlerine yakın olan ve yoğun gemi trafiğine sahip limanlarda hava kirliliği tartışılması gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.



Giriş 3/3

Çalışma kapsamında liman bölgelerinde egzoz salımlarını tahmin eden akademik çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalarda üç farklı yöntem uygulandığı görülmüştür. Bunlar;

- Gemi hareketlerini (seyir, manevra ve limanda bekleme) temel alan hareket odaklı çalışmalar,
- Hava kalitesinin cihazlar yardımıyla ölçümlenmesi sonucu elde edilen bulgulara dayanan çalışmalar,
- Gemilerin yakıt tüketimine göre tahmin yapan çalışmalar



Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kruvaziyer gemilerinin bulunduğu liman bölgesinde oluşturduğu karbon salımını, tahmin etmeyi ve karbon salımına etki eden değişkenlerin karbon salımını üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca çalışma sistem dinamikleri yaklaşımıyla karbon salımına etki eden değişkenlerin değişmesi halinde toplam karbon salımının nasıl etkilediğini incelemeyi amaçlamaktadır.



Metodoloji 1/2

Bu çalışmada karbon salımı tahmininde kullanılan yöntemlerden “yakıt tüketimi modeli” kullanılmıştır. Bu modelin uygulanabilmesi için çalışmanın yapıldığı dönemde incelenen gemilerin veya makinelerin harcamış olduğu yakıt türleri ve miktarları bilinmesi gereklidir. Yakıt türüne göre değişen CO₂ salım katsayısı ile harcanan toplam yakıt miktarı çarpılarak toplam CO₂ salım miktarı tahmin edilebilir (Trozzi, 2010: 4).



Metodoloji 2/2

Gemilerden kaynaklı karbon salımını etkileyen değişkenlerin toplam karbon salımına etkisinin analiz edilebilmesi için sistem dinamikleri yaklaşımı kullanılmıştır.

Sistem dinamikleri yaklaşımı, karmaşık konu ve sorunları anlamak, çerçeveselendirmek ve tartışmak için güçlü bir yöntem ve bilgisayar simülasyon modelleme tekniğidir (Forrester, 1971).



Veri Toplama Yöntemleri 1/2

Bir liman bölgesinde uğrak ve bekleme yapan gemilerin karbon salımının hesaplanabilmesi için liman bölgesinde gemilerin ana ve yardımcı makinelerinin çalışma saatleri ve yükleri, misafir sayıları ve personel sayıları kullanılmıştır. Ana ve yardımcı makinelerin çalışma saatlerine ulaşabilmek için gemilerin liman bölgesine giriş, yanaşma, kalkış ve liman bölgesinden çıkış saatleri kullanılmıştır.



Veri Toplama Yöntemleri 2/2

Yapılan literatür taraması ile çeşitli kaynaklardan liman bölgesine uğrak yapan gemilerin ana ve yardımcı makineleri ve modelleri ile gemilerin büyüklükleri ve inşa yıllarına ulaşılmıştır. Elde edilen inşa yılları ve makine tiplerine göre, gemilerde kullanılan ana ve yardımcı makinelerin 1 kw güç üretmek için bir saatte kaç gram yakıt harcaması gerektiğini gösteren özgül yakıt harcamalarına ulaşılmıştır.



Örneklem 1/2

Bu çalışmada gemilerden kaynaklı karbon salımını tahmin etmek için örneklem olarak Kuşadası limanı seçilmiştir. Kuşadası limanı her yıl yüzlerce kruvaziyer gemisinin uğrak yaptığı büyük bir limandır. Yıllara göre Kuşadası limanına uğrak yapan gemilerin toplam yolcu sayıları Şekil 1'de gösterilmiştir. Örneklem kapsamında 01.03.2015 ile 01.11.2015 tarihleri arasında Kuşadası limanına uğrak yapan 1000'den fazla yolcu kapasiteli kruvaziyer gemileri incelenmiştir. Her bir gemi için ana ve yardımcı makinelerin model ve tipleri araştırılarak özgül yakıt harcamaları bulunmuştur.



Veri Toplama Süreci

Gemilerin liman bölgesine giriş, yanaşma, kalkış ve liman bölgesinden çıkış saatleri, ile müşteri ve personel sayıları gibi bilgilere ulaşmak üzere 20.11.2015 tarihinde Kuşadası Liman Başkanlığı ziyaret edilmiş, liman başkanlığı gemi hareket kayıtları incelenerek limanı kullanan gemilerle ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Limana uğrak yapan gemilere ait bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Kuşadası Limanına Uğrak Yapan Gemiler

Gemi				Jeneratör		
Adı	İşleten Firma	GT	İnşa Yılı	Güç	Modele Göre Özgül Yakıt Harcamı	Üretim Yılına Göre Özgül Yakıt Harcamı
				kw	g/kw.h	g/kw.h
CELEBRITY CONSTELLATION	Celebrity Cruises	91000	2007	60000	305	305
CELEBRITY EQUINOX	Celebrity Cruises	121878	2009	62400	170	175
CELEBRITY REFLECTION	Celebrity Cruises	121878	2012	62400	170	175
CELEBRITY SILHOUETTE	Celebrity Cruises	121878	2008	62400	170	175
CRYSTAL SERENITY	Crystal Cruises	68870	2002	52198	180	175
QUEEN VICTORIA	Cunards	90000	2007	63400	190	175
NIEUW AMSTERDAM	Holland America	86700	2009	64000	200	175
	Holland					

Tablo 1 devamı

MSC ORCHESTRA	MSC	92409	2007	58000	185	175
NORWEGIAN JADE	Norwegian	93558	2006	72000	185	175
N. SPIRIT	Norwegian	75388	1998	57600	180	185
RIVIERA	Oceania	66084	2011	49900	175	175
CELESTYAL CRYSTAL	Optimum	25611	1980	19124	225	205
CELESTYAL ODYSSEY	Optimum	25000	1999	16250	200	185
CELESTYAL OLYMPIA	Optimum	37584	1982	21060	210	205
EMERALD PRINCESS	Princess	113561	2006	67220	175	175
ISLAND PRINCESS	Princess	91627	2003	65200	260	260
OCEAN DREAM	Pullmantur	36674	1982	22200	200	205
RHAPSODY OF THE SEAS	Royal Caribbean	78878	1995	67200	190	185
SPLENDOUR OF THE SEAS	Royal Caribbean	69130	1995	58500	190	175
VISION OF THE SEAS	Royal Caribbean	78340	1997	36000	185	185
T.MAJESTY	Thomson	32396	1991	21120	195	185
THOMSON SPIRIT	Thomson	33930	1982	22400	190	205
MEIN SCHIFF 1	TUI Cruises	76998	1996	12200	190	185
MEIN SCHIFF 2	TUI Cruises	77303	1997	36000	185	185



Bulgular 1/6

Gemilerden kaynaklı karbon salımı hesaplanırken, yakıt miktarına göre yaklaşık olarak salım yapılan CO₂ miktarına ulaşmak için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Simmons, 2001: 3).

$$C_r = Q \times NCV \times EF \times (1 - S_f) \times F \times 3.66$$

C_r	Salım yapılan karbon miktarı (kg)
Q	Makinede yakılan yakıt miktarı (kg)
NCV	Yakıt kalorifik değeri (TJ/kg)
EF	Salım katsayısı (kg/TJ)
S_F	Karbondiyoksit depolama katsayısı
F	Yakıt oksidasyon katsayısı



Bulgular 2/6

Gemilerde ana makinelerin çalıştıkları süreçte harcamış oldukları yakıt miktarları geminin anlık hızının maksimum hızına oranının kübü alınarak tahmin edebilebilir (California Air Resources Board, 2008:20). Bu tahmin için kullanılacak olan manevra sırasındaki gemi hızı birçok değişkene bağlıdır. Bu çalışmada gemi hızı 9 millik bölgenin ilk 4 millik kısmında 20 deniz mili, pilot alınan bölge olan son 5 mil ile son 0.5 millik mesafe arasında 6 deniz mili ve son yarım milde ise 3 deniz mili olarak kabul edilmiştir.



Bulgular 3/6

Bu hız değerlerine göre yaklaşık makine yükleri hesaplanmış, bu yüklerin ağırlıklı ortalamaları alınmış ve bulunan ortalama yük değerlerine göre liman bölgesinde harcanan yakıt ve salım yapılan karbondioksit miktarları tahmin edilmiştir.



Bulgular 4/6

Gemilerde kullanılan jeneratörlerin çalışma yükünü tahmin edebilmek için Howitt vd. (2010)'lerinin çalışmaları sonucu ulaşılmış oldukları kruvaziyer gemilerinde kişi başına harcanan enerji miktarı 1600MJ/gün.misafir olarak kullanılmıştır. Makinelerin çalışma yükü, markası, modeli ve üretim yılı verilerine göre yaklaşık özgül yakıt harcamalarını gösteren “IMO GHG Study” (2009) verileri kullanılarak her bir gemi için kullanılan yardımcı makinelerin yaklaşık özgül yakıt harcamaları modele dahil edilmiştir.



Bulgular 5/6

Yapılan hesaplamaların ayrıntısını gösterebilmek için Tablo 2'de MS Crystal Serenity gemisinin Kuşadası limanındaki karbon salımı tahminleri örnek olarak gösterilmiştir. Crystal Serenity gemisi ana makine olarak toplamda 17700 kw'lık iki adet Azimuth Thruster'a, jeneratör olarak ise hem ana makinenin hem de geminin diğer elektrik ihtiyaçlarını karşılamak üzere 6 adet Wärtsilä 12V38B tipi ($8700 \cdot 6 = 52200 \text{kw}$) makineye sahiptir. Gemide elektrikli sevk sistemi olduğu için ana makinede harcanan güç için salım yapılan karbon miktarı jeneratörler üzerinden gösterilmiştir.

Tablo 2: Crystal Serenity Gemisi İçin Tahmin Edilmiş Toplam CO₂ Salımı Tablosu

Tarih	Müşteri Sayısı	Mürettebat Sayısı	Toplam Yolcu Sayısı	Günlük Toplam Yolcu Enerji Harcamı	Gemi Hızı (knot)	Liman Yanaşma Saati	Liman Ayrılma Saati	Kaldığı Süre	Ana Makine Ortalama Yük	Ana Makine Yakıt Harcamı	Jeneratörler Yakıt Harcamı	Toplam CO ₂ Salımı
				kw				gün	%	ton	ton	ton
6/10/15	880	630	1510	27935	20	7:30	22:00	0.60	4.81	1.89	20.95	60.75
9/15/15	760	625	1385	25622	21	7:15	22:00	0.61	4.81	1.89	18.41	53.98
9/22/15	764	625	1389	25696	21	7:00	23:30	0.69	4.81	1.89	20.70	60.08
10/9/15	849	628	1477	27324	22	7:00	22:00	0.63	4.81	1.89	20.91	60.64



Bulgular 6/6

Tablo 3'te ise çalışma kapsamında incelenen tüm gemiler için her seferinde ayrı ayrı hazırlanmış değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmış olan toplam karbon salımı tahminleri gösterilmiştir.

Tablo 3: Tüm Gemiler İçin Tahmin Edilmiş Toplam CO₂ Salımı Tablosu

Gemi Adı	Sefer Sayısı	Ortalama Misafir Sayısı	Ortalama Mürettebat Sayısı	Ortalama Günlük Toplam Yolcu Enerji Harcamı	Maksimum Gemi Hızı	Liman Bölgesi Toplam Bulunma Süresi	Ana Makine Yakıt Harcamı	Jeneratör Yakıt Harcamı	Toplam CO2 Salımı	Sefer Başına Ortalama CO2 Salımı
				kw.h	kt	gün	ton	ton	ton	ton
CELEBRITY CONSTELLATION	9	2223	1097	41131	24	0.47	5.36	70.55	1817,6	201.9
CELEBRITY EQUINOX	8	2876	1252	53215	24	0.46	2.79	51.05	1145.9	145.2
CELEBRITY REFLECTION	16	3205	1364	59292	24	0.47	2.79	58.1	929.65	58.1
CELEBRITY SILHOUETTE	2	2774	1251	51328	24	0.46	2.79	48.69	273.94	136.97
CELESTYAL CRYSTAL	21	760	356	14064	21	0.29	1.48	10.44	666.7	31.74
CELESTYAL ODYSSEY	18	503	337	9299	22	0.27	1.15	5.79	332.7	18.48
CELESTYAL OLYMPIA	61	1182	490	21883	21	0.29	2.25	15.94	2953.1	48.41
CRYSTAL SERENITY	4	880	627	15045	22	0.63	1.88	20.24	235.45	58.86
EMERALD PRINCESS	5	3127	1155	57853	22	0.44	3.99	55.6	776.85	153.3

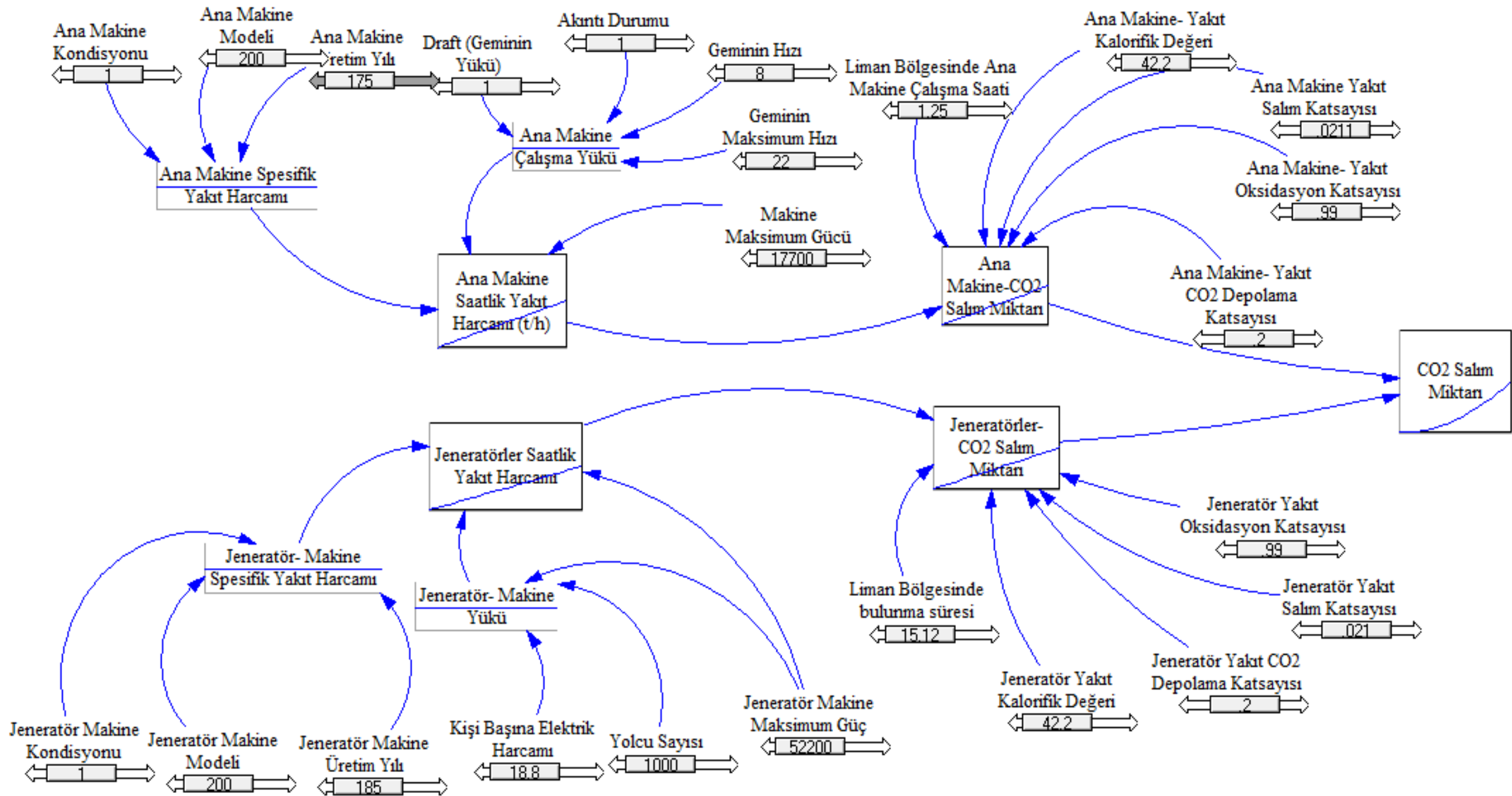
Tablo 3 devamı

ISLAND PRINCESS	6	2192	889	40555	21	0.35	5.03	43.93	781.52	130.24
MEIN SCHIFF 1	3	2005	871	37099	22	0.49	1.99	40.63	340.2	113.39
MEIN SCHIFF 2	3	1873	824	34657	22	0.47	2.4	35.79	304.78	101.59
MSC ORCHESTRA	1	2614	931	48359	23	0.46	2.61	47.87	134.29	134.29
NIEUW AMSTERDAM	5	2133	855	39475	24	0.5	2.19	44.2	617.02	123.4
NORWEGIAN JADE	15	2602	1027	48141	24	0.41	3.25	42.82	1838.26	122.55
NORWEGIAN SPIRIT	16	2166	906	40066	24	0.33	3.37	29.25	1389.1	86.81
OCEAN DREAM	2	968	384	17908	21	0.5	2.76	21.65	129.91	64.95
QUEEN VICTORIA	4	1996	975	36926	24	0.49	3.09	39.69	455.28	113.82
RHAPSODY OF THE SEAS	12	2190	778	40509	22	0.46	3.71	41.84	1454.3	121.2
RIVIERA	4	1215	771	22473	20	0.4	4.2	18.67	243.33	60.83
SPLENDOUR OF THE SEAS	11	1938	776	35859	24	0.39	2.36	30.81	970.96	88.26
THOMSON MAJESTY	10	1492	633	27609	20	0.41	2.43	25.81	751.39	75.13
THOMSON SPIRIT	14	1246	491	23059	21	0.42	2.32	23.1	946.89	67.63
VISION OF THE SEAS	7	2262	917	41852	22	0.45	3.44	41.76	841.93	120.27
ZUIDERDAM	6	1916	801	35449	24	0.48	4.37	62.69	1070.51	178.41



Sistem Dinamikleri Modeli 1/2

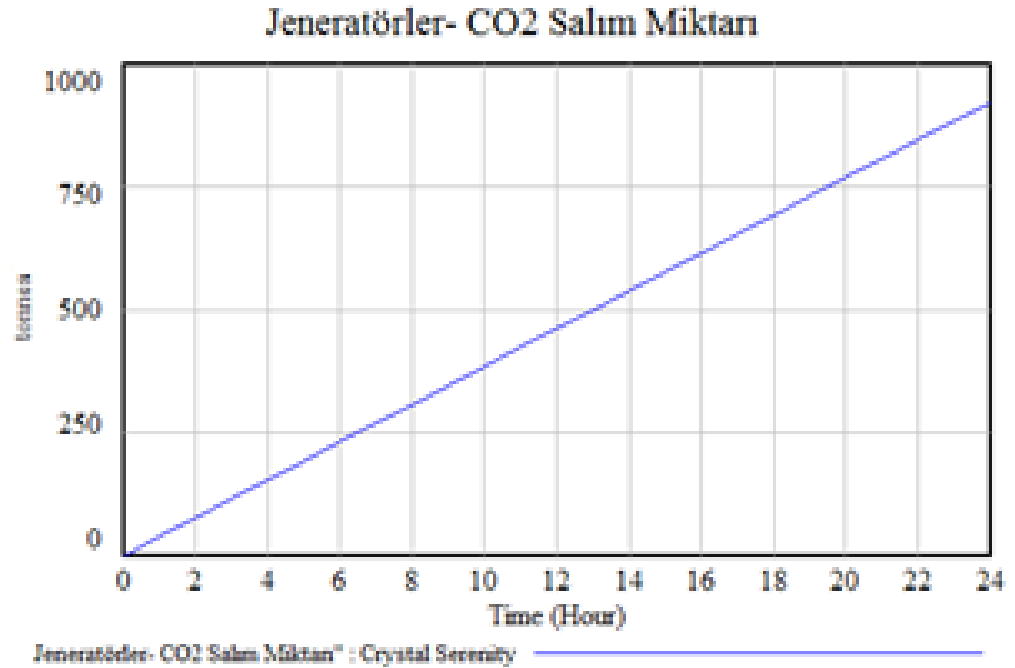
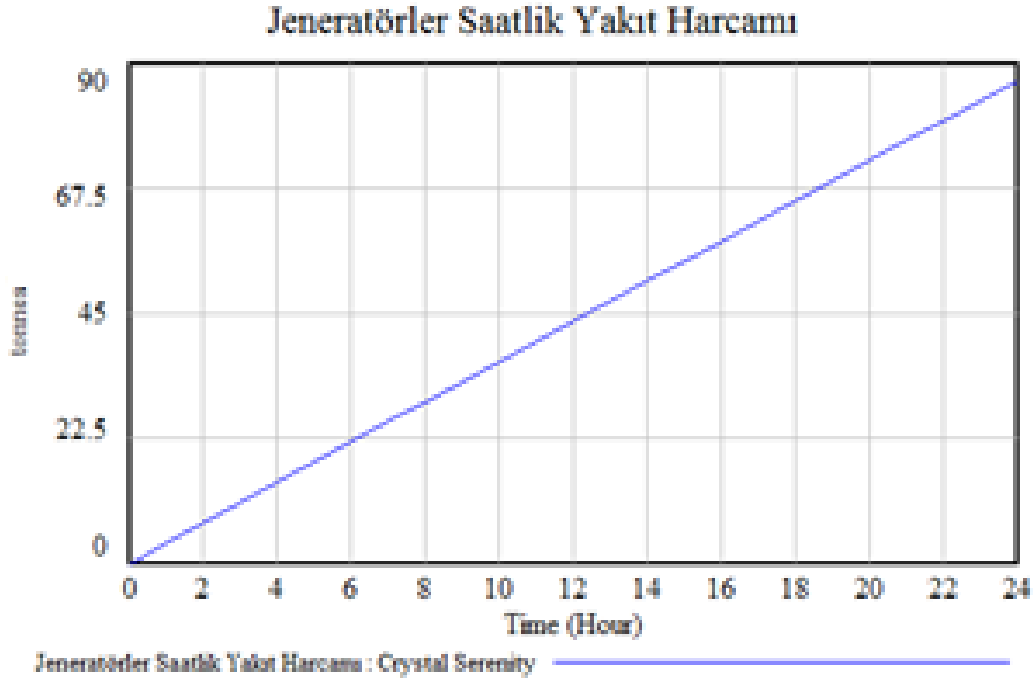
Belirlenen tüm değişkenlerin toplam salıma etkilerinin daha iyi analiz edilebilmesi için bir sistem dinamikleri modeli oluşturulmuştur. Şekil 2'de görülen sistem dinamikleri modelinde değişkenler Crystal Serenity gemisine göre ayarlanmıştır. Gemide elektrikli sevk sistemi kullanıldığı için normal şartlarda ana makinesinden karbon salımı meydana gelmemektedir. Modelde görülen ana makine yakıt harcamı ve karbon salımı ana makine için gereken elektriği üretmek için harcanan yakıt ve salınan karbon miktarıdır.



Şekil 2 : Gemilerin Yakıt Harcamalarını ve CO₂ Salımlarını Gösteren Sistem Dinamikleri Modeli

Sistem Dinamikleri Modeli 2/2

Crystal Serenity gemisinin yardımcı makinelerinin liman periyodunda günlük yakıt harcamı ve CO₂ salımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2 : Gemilerin Yakıt Harcamalarını ve CO₂ Salımlarını Gösteren Sistem Dinamikleri Modeli



Çalışmanın Kısıtları 1/3

Sistem dinamikleri modeli kurulurken bazı bilgilere ulaşmak mümkün olmadığı veya daha ayrıntılı bir çalışma gerektirdiği için bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller;

- Gemilerin ana makinelerinin liman yanaşma ve kalkışlarındaki çalışma yükü tahmin edilirken gemi hızı liman bölgesi olarak kabul edilen 9 millik bölgenin ilk 4 millik kısmında 20 deniz mili, pilot alınan bölge olan son 5 mil ile son 0.5 millik mesafe arasında 6 deniz mili ve son yarım milde ise 3 deniz mili olarak kabul edilmiştir.



Çalışmanın Kısıtları 2/3

- Makinelerin kondisyon kayıplarından oluşabilecek yakıt harcam ve salım değişiklikleri göz ardı edilmiştir.
- Gemilerde misafir başına harcanan günlük elektrik enerjisi miktarı Howitt vd. (2010)'nin yapmış olduğu çalışmanın sonuçları baz alınarak 1600 MJ olarak kabul edilmiştir.
- Hava ve deniz durumunun etkileri sistem dinamikleri modelinde değişken olarak sisteme dahil edilmiştir. Ancak örnek olarak hesaplanan modelde bu etkiler ihmal edilmiştir.



Çalışmanın Kısıtları 3/3

- Gemilerde kullanılabilecek salım indirgeme teknolojileri ihmal edilmiştir.
- Tüm gemiler için ana makine ve jeneratörde kullanılan yakıt 42.2 kalorifik değere sahip ağır fuel oil olarak kabul edilmiştir. Ancak başka bir yakıt türüne göre hesaplama yapılacağı zaman kullanılan yakıtın kalorifik değeri sisteme dahil edilerek yeni hesaplamalar yapılabilir.



Sonuçlar ve Öneriler 1/4

Çalışma kapsamında Kuşadası limanına uğrak yapan 1000 yolcu kapasitesinin üstündeki kruvaziyer gemilerinin 264 hareketi incelenmiş ve yakıt harcam modeli ile liman bölgesinde harcamış oldukları toplam yakıt harcamı tahmini yapılmıştır. Buna göre örneklem kapsamındaki gemilerin yanaşma ve kalkış manevralarında ana makinelerinin toplam 709.1 MT fuel oil harcadığı tahmin edilmektedir. Limanda bekleme sürelerinde ise aynı dönemde jeneratörlerin toplamda 7964.79 MT fuel oil harcadığı tahmin edilmektedir. Buna göre toplamda 19584 ton CO₂ salımı yapıldığı tahmin edilebilir.



Sonuçlar ve Öneriler 2/4

Kurulan sistem dinamikleri modeliyle gemilerden kaynaklı toplam karbon salımını dolaylı olarak veya doğrudan etkileyen faktörler belirlenmiş ve toplam salıma etkileri incelenmiştir. Örneğin oluşturulan modele göre ana makine kondisyonunda oluşacak bir değişim, ana makine özgül yakıt harcamasını arttırmakta bu da ana makine saatlik yakıt harcamı ve salım yapmış olduğu toplam karbon salımını artmaktadır. Geminin manevra hızı arttıkça ana makinenin çalışma yükü artacak ve dolaylı olarak ana makine tarafından yapılacak olan salım miktarı artacaktır.



Sonuçlar ve Öneriler 3/4

Çalışma sonuçları kruvaziyer gemilerin çok yüksek enerji harcamaları olduğunu ve aynı büyüklükteki kara tesislerine göre çok yüksek karbon salımına sebep olduğunu göstermektedir. Gemilerin ortaya çıkardığı yüksek karbondioksit salımları özellikle kruvaziyer turizmi için kullanılan turistik bölgeler için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bölgelerde hava kirliliğinin artması bölgenin turizm potansiyelini olumsuz etkileyecektir. Bu sebeple bu bölgelerin hava kirliliği seviyelerinin daha düşük değerlere indirilebilmesi için çalışmalar yapılmalıdır.



Sonuçlar ve Öneriler 4/4

Limanlarda gemilerden kaynaklı salımların indirgenebilmesi için gemilerin liman süreçlerinde elektrik ihtiyacını karşılamak üzere sahil bağlantısının kullanılması teşvik edilebilir. Ayrıca gemilerin salım indirgeme teknolojilerini daha aktif bir şekilde kullanabilmesi için çalışmalar yapılabilir.

TEŐEKKÜRLER

Yazarlar çalışmanın verilerin elde edilmesindeki desteklerini esirgemeyen T.C. Ulaőtırma, Denizcilik ve Haberleőtme Bakanlığı Kuşadası Liman Başkanlığı'na ve 3. Ulusal Deniz Turizmi Kongresi Bilim Kurulu hakemlerine değerli katkı ve önerileri için teőtakkür ederler.