

Optimization of Main Engine Fuel Consumption and Reduction of CO₂ Emission in Trawl Fisheries

Trol Gemilerinde Ana Makine Yakıt Tüketiminin Optimizasyonu ve CO₂ Emisyonlarının Azaltılması

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 4 Sayı: 2 (2018) 116-127

Aytekin SARICA^{1,*}, Yunus Emre FAKIOĞLU¹, Oğuzhan DEMİR¹, Ebrucan KALECİK¹, Gökhan GÖKÇE² Hüseyin ÖZBİLGİN³

¹Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Ana Bilim Dalı, Mersin, Türkiye, 33169

²Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Adana, Türkiye, 01380

³Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Mersin, Türkiye, 33169

ABSTRACT

In this study on the determination and optimization of fuel consumption in trawlers, a system has been established which could display and record of instant and total fuel consumption, speed, position and engine rpm in Lamas-1 research vessel. The ideal rpm values for cruising and trawling operation have been determined as 1000 rpm and 1400 rpm through the system respectively. The values obtained from cruise trials have been proved that speed increase of approximately 1 knot have been a hundred percent (100%) increase in the

fuel consumption. Furthermore, obtained ideal rpm value for trawl operation has been achieved up to 28% fuel savings. CO₂ emissions have been calculated from obtained cruising and trawling fuel consumptions. CO₂ emissions of optimized rpm values have been compared for both cruising and trawling operation values, and the reduction of 88% and 43% attained respectively.

Keywords: Trawl fisheries, fuel consumption, energy efficiency, CO₂ emission.

Article Info

Received: 03 June 2018

Revised: 27 July 2018

Accepted: 01 August 2018

* (corresponding author)

E-mail: saricaaytekin@hotmail.com

ÖZET

Trol gemilerinde yakıt tüketiminin tespiti ve optimizasyonu üzerine yapılan bu çalışmada Lamas-1 araştırma gemisine anlık ve toplam yakıt tüketimi, hız, konum ve makine devrini gösteren ve kaydedebilen bir sistem kurulmuştur. Sistem aracılığıyla seyir ve trol operasyonu için ideal devir değerleri sırasıyla 1000 rpm ve 1400 rpm olarak belirlenmiştir. Seyir denemeleri sonucunda elde edilen değerler, yaklaşık 1 knot hız artışı için yakıt tüketiminin %100 arttığını göstermiştir. Trol operasyonunda ise elde edilen ideal devirin %28'e varan yakıt tasarrufu sağladığı bulunmuştur. Trol operasyonu ve seyir için elde edilen yakıt tüketimleri üzerinden CO₂ emisyonları hesaplanmıştır. Optimize olarak tespit edilen devir değerlerinin CO₂ emisyonları hem seyir hem trol operasyonu için diğer verilerle karşılaştırılmış ve sırasıyla %88 ve %43 emisyon azalması elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Trol balıkçılığı, yakıt tüketimi, enerji etkinliği, CO₂ emisyonu.

1. GİRİŞ

Yakıt tüketimi ve enerji tasarrufu konusu makine gücüyle hareketini sağlayan balıkçı gemilerinin en önemli gider kalemlerinden birisini oluşturmaktadır. Uluslararası literatürde balıkçılık üzerine yapılan çalışmalar, yakıt tüketiminin toplam giderlerin %25-50'sini oluşturduğunu belirtmektedir (Tyedmers, 2001; Lam ve ark., 2011; Gaston ve ark., 2012; Cheilari ve ark., 2013; FAO, 2014). Bu maliyetin azaltılması için en uygun seyir ve trol çekim hızlarının tespit edilmesi ve kullanılması işlemlerinin yaygın olarak araştırıldığı dikkat çekmektedir (Sala ve ark., 2010; 2011; Poos ve ark., 2013; Laurens ve Dasira, 2014). Farklı durumlarda enerji tüketimlerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada yaklaşık 30 metre boyunda ve eşit makine gücüne (1207 HP) sahip iki trol gemisine yakıt ölçüm ve gemi çalışma verilerini görüntüleyebilen bir sistem (CorFu-m) kurulmuştur. Bu gemilerden biri demir gövdeli ve CPP (Controllable Pitch Propeller-Ayarlanabilir Pervane Açılı) diğeri ise ahşap gövdeli ve FPP (Fixed Pitch Propeller-Sabit Pervane Açılı) yapıya sahiptir. Seyir hızındaki 0,5 knot'lık bir

azalma ve pervanenin dakikadaki devir sayısındaki küçük bir düşüşle iki gemide de %10-15 arasında bir yakıt tasarrufu elde edilmiştir (Sala ve ark., 2010). Makine kullanım değerleri üzerinden yapılan hesaplamalarla kırıli trol gemileri için seyir hızının optimize edilmesiyle %35,6 (Sala ve ark., 2011) tasarruf öngörülürken benzer bir çalışmada modelleme yöntemiyle %40'a (Poos ve ark., 2013) varan yakıt tasarrufu tespit edilmiştir. Adriyatik'te 1000-1200 HP, 25-35 m boy, farklı pervane ve gövde yapısı özelliklerine sahip iki adet orta su trol gemisi üzerinde yapılan çalışmada da benzer yakıt ölçüm ve görüntüleme sistemi kullanılarak belirledikleri en uygun seyir hızı değeriyle %15'e yakın tasarruf elde edilmiştir (Laurens ve Dasira, 2014). Ulusal çalışmalarda makine devri ve gemi hızının balıkçı gemilerinde yakıt tüketimine etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Ayrıca yakıt tüketimini anlık olarak ölçüp kaydedebilen ve elde edilen değerlerin karşılaştırıldığı bir sistem de ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır. Uluslararası birçok çalışmada balıkçı gemilerinin ekosistem etkisi üzerinde odaklanıldığı, özellikle 1 kg ürün için tüketilen yakıtın ve salınan CO₂'nin yaygın

olarak araştırıldığı görülmektedir (Cheilari ve ark., 2013; Driscoll ve Tyedmers, 2010; Suuronen ve ark., 2012). Avrupa'da balıkçılık sektöründeki 54 filoya ait toplam yakıt tüketimleri ve maliyetleri, ürün ağırlıkları ve değerleri, gemilerin sayısı ve yıllarını kapsayan bir çalışma yapılmıştır. Toplam maliyetler dâhilinde 2002-2008 yılları arasında yakıt fiyatlarındaki artışın ekonomik performansa ve enerji verimliliğine etkisi değerlendirilmiştir. 2008 yılında balığın kilogramı başına 1,81 kg CO₂ emisyonu gerçekleşmiş olup, orta su trolleri ve çevirme ağları için bu miktar 0,21 kg, 40 m'den büyük kırıklı troller için ise 9,5 kg CO₂ olarak bildirilmiştir (Cheilari ve ark., 2013). 1995-2006 yılları arasında Atlantik'te ringa türünün yakalanması üzerine yapılan bir çalışmada kullanılan yakıt ve salınan CO₂ gazının miktarı ve etkisi hesaplanmıştır. Gırgır, tek tekneyle çekilen orta su trolü ve çift tekneyle çekilen orta su trolü için CO₂ emisyonları sırasıyla 65 kg/t, 337 kg/t ve 365 kg/t olarak tespit edilmiştir (Driscoll ve Tyedmers, 2010). Özellikle trol gibi diğer av araçlarına nispeten daha yüksek yakıt tüketimi olan av araçları için çevreye olumsuz etkisi azaltılmış ve yakıt verimi yüksek; (LIFE: Low-Impact and Fuel-Efficient) balıkçılığın oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır (Suuronen ve ark., 2012). Yakıt tüketiminde olduğu gibi CO₂ emisyonlarının da balıkçı gemileri için sayısal yöntem kullanılarak hesaplandığı bir çalışmaya ulusal literatürde rastlanılmamıştır. Uluslararası birçok yayında çalışıldığı literatürde tespit edilen, hem balıkçının hem tüketicinin özellikle Avrupa'da önem verdiği ekosistem etkisi konusunda ilk sayısal hesaplama bu araştırma ile yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Yakıt Ölçüm Cihazının Kurulumu ve Testleri

Çalışma Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne ait Lamas-1 araştırma gemisinde, Mersin Körfezi olarak

tanımlanan; batıda Taşucu'ndan başlayarak doğuda Karataş'a kadar uzanan bölge sınırları içinde gerçekleştirilmiştir. Lamas-1 14,59 m boyunda ve 23 groston büyüklüğünde ahşap malzemeden yapılmış bir gemidir (Şekil 1). Gemide Volvo Penta D7A-TA model 6 silindirli, 4 stroklu, 237 HP bir ana makine ve 8,8 HP bir jeneratör mevcuttur. Gemi ana makinesi ve jeneratörü dizel yakıt enerjisiyle çalışmakta, ana makine yakıt pompası çıkışında 2-4 bar arasında basınç oluşmaktadır. Gemi ana makinesinin en yüksek yakıt tüketimi saatte 40 litredir. Mevcut haliyle makinenin en yüksek devri 2300 rpm (devir/dakika), üretici firma tarafından en yüksek torka ulaşılan devir sayısı ise 1600 rpm olarak belirtilmiştir. Geminin yeni karina bakımından sonraki maksimum hızı 12 knot, maksimum yakıt kapasitesi de 3200 litredir. Her iki tamburunda 6 mm çapında 1200 m uzunluğunda çelik tel mevcuttur. Köprü üstünde mevcut devir saati kadranı, veri elektronik olarak gelmesine rağmen 100 rpm'lik dilimler halinde anlık devri göstermektedir. Köprü üstünde ayrıca Raymarine a7 seri, 10 Hz bilgi alım hızına sahip, dokunmatik panelli bir GPS (Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi) cihazı, Furuno marka yankı iskandili (echo sounder), su üstü radarı ve haberleşme cihazları mevcuttur.



Şekil 1. Lamas-1 araştırma gemisi

Geminin anlık ve toplam yakıt tüketimini ölçmek amacıyla, ana makine yakıt girişine bir adet, yakıt geri dönüşüne bir adet olmak üzere toplamda iki adet FLS marka,

ULF03.H.0.2 tipi düşük debiler için minyatür türbin debi ölçüm cihazı bağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Debi ölçüm cihazı (Debimetre)

Debi ölçüm cihazı 24 Volt doğru akım besleme bağlantısıyla, -10°C ile 60°C arasında, 6 bar en yüksek basınca kadar çalışmakta ve %1 hassasiyetle saatte 250 litreye kadar ana makine pompa çıkışında ve geri dönüşünde tüketilen yakıtı ölçebilecek özelliğindedir. Makinenin anlık devrini dijital olarak %0,5 hassasiyette ölçebilen bir elektronik takometre ana makine şaftı üzerine kurulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Devir ölçer (Takometre)

Debi ölçerler ve takometre cihazlarının ürettikleri sinyaller, dat4540 frekans/puls-akım veya frekans/puls voltaj çevirici aracılığıyla, 4-20mA, 0-20mA veya 0-10 volta çevrilmektedir. 4-20mA, 0-20mA veya 0-10 volt değerleri dat3017-i analog modül 8 kanallı sinyal çeviriciye aktarılarak analog bilgiyi dijital 16 bit formatına çevirmektedir. Dat3017-i analog modüle aynı zamanda RST model GPS aracılığıyla anlık zemine göre hız ve konum bilgileri de aktarılmaktadır. Blendajlı kablolarla dat3017-i analog

modüle aktarımı yapılan tüm bilgiler 800 milisaniyelik değerlendirme aralığıyla köprü üstüne monte edilmiş olan ht-60ts dokunmatik ekran operatör paneline (Şekil 4) 10 saniyelik aralıklarla ortalamaları yazılım tarafınca alınarak çıkarılabilir harici belleğe aktarılmaktadır. Panel dışarıya veri aktarımı için 64 gigabayt kapasiteye kadar arttırılabilen USB 2.0 çıkışına ayrıca 5,7" (diyagonal) dokunmatik ekrana, 320x240 ekran çözünürlüğüne, 32 bit işlemci sistemine sahiptir. Böylece köprü üstünde tüm verileri ekran üzerinde okuyup kayıt altına almak mümkün olmaktadır.



Şekil 4. Dokunmatik ekran operatör paneli

Denemelerin kıyaslanabilir doğru sonuçlar alabilmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü üzerinden alınan verilerce rüzgâr hızının en fazla 1-3 km/saat ve havanın açık olduğu şartlarda işlemler yapılmıştır. Ayrıca makine devri değiştirildiğinde akaryakıt tüketiminin yeni devirde sabitleneceği ana kadar geçen maksimum süre bu bölümde ölçülmüştür. Akaryakıt tüketim verilerinin 100'er rpm arttırılarak alınan değerlerinin ilk artış anındaki 20 saniyelik süreç tüketimin sabitlenme süreci olarak görülerek regresyon analizine dahil edilmemiştir.

2.2. Seyir İçin İdeal Devir Sayısının Belirlenmesi

Bu çalışma Mersin Körfezi'nde Aralık 2017-Ocak 2018 arasında, Tırtar Limanı açıkları 15-36 metre derinliklerde yürütülmüştür. Seyir değerleri için 4007 adet devir verisi değerlendirilmiş olup

yapılan seyir denemeleri rüzgâr her zaman geminin pupasından gelecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

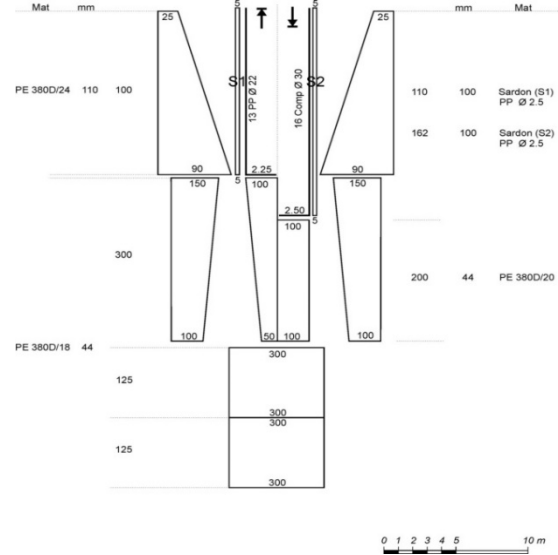
Bu amaçla seyir sırasındaki birim mesafede tüketilen en düşük akaryakıt miktarı için en uygun makine devir sayısı denemeleri yapılmıştır. Gemi aynı rotada seyrederken, makine devri 1000-2000 rpm arasında her 2 dakikada 100 rpm artırılarak seyir gerçekleştirilmiştir. Toplam 10 seyirde yapılan bu ölçümlerin her biri için 22, toplam süre olarak 220 dakika seyir yapılmıştır.

Öncelikle her devir için tüketilen akaryakıt miktarı regresyon analizine tabi tutulmuştur ve makinenin 100'lük devir dilimlerindeki ortalama saatteki tüketim miktarı tespit edilmiştir. Sonra GPS verileriyle her devir için gemi hızına regresyon analizi uygulanmıştır ve makinenin 100'lük rpm dilimlerindeki ortalama saatteki hızı tespit edilmiştir. Son olarak, her 100 rpm'lik (x) devir verileri o devir için elde edilen akaryakıt tüketiminin (L/saat) (c_x), hıza (mil/saat) (v_x) bölünmesiyle, bir mil mesafenin kat edilebilmesi için gerekli yakıt miktarı $a_x = c_x/v_x$ (L/mil) hesaplanmıştır. Daha sonra (a_x) değeri ile devir sayısı arasındaki ilişki analiz edilerek bir milin en düşük yakıtla seyredilebilmesi için uygulanması gereken devir değeri ve bu değerden uzaklaştıkça artan tüketimin oranı hesaplanmıştır. Regresyon analizleri Regresyon analizleri "Excel" (Microsoft Corporation, Redmond, WA) programı kullanılarak yapılmıştır.

2.3. Trol Çekimi için İdeal Devir Sayısının Belirlenmesi

Geminin trol çekimi sırasındaki birim mesafede tüketileceği en düşük akaryakıt miktarı için uygulanması gereken makine devir sayısı, çekim denemeleri rüzgâr her zaman geminin pupasından gelecek şekilde tespit edilmiştir. Gemi aynı rotada trol çekimi yaparken makine 1300-1600 rpm arasında her 10 dakikada bir önce 100 birim artırılarak sonra 1600-1300 rpm arası aynı yöntemle azaltılarak trol çekimi gerçekleştirilmiştir. 355 adet devir

verisinin değerlendirildiği trol çekiminin toplam süresi 70 dakikadır. Çalışmada 600 göz tek yaka demersal trol ağı kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. 600 göz tek yaka demersal trol ağının teknik planı (Özbilgin ve ark., 2013)

Makine devrinin hızla ve yakıtla ilişkisi regresyon analizleriyle incelenmiştir. Ayrıca bir mil için tüketilen yakıt miktarı (a_x) ile devir sayısı arasındaki ilişkiye de aynı şekilde regresyon analizi uygulanarak en düşük yakıtla bir mil trol çekiminin düzgün bir şekilde uygulanabilmesi için gereken devir değeri ve bu değerden uzaklaştıkça artan tüketimin oranı hesaplanmış ve kutu-bıyık grafiği ile gösterilmiştir. Regresyon analizleri "Excel" (Microsoft Corporation, Redmond, WA) programı kullanılarak yapılmıştır.

2.4. CO₂ Emisyonunun Hesaplanması

Toplam CO₂ emisyonu hesaplamalarında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) Tier 1 yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde birim zaman ya da toplamda yanmada kullanılan yakıtın miktarı değer olarak gigagrama çevrilmiştir. IPCC tablolarından elde edilen dizel yakıtı ait yanma faaliyetlerinden kaynaklanan net kalorifik değer, karbon emisyon faktörü ve meydana gelen

yanmada karbonun oksitlenme oranı aynı tablodan elde edilerek çarpılmıştır. Ayrıca elde edilen değer, CO₂ moleküler ağırlığının karbonun molekül ağırlığına oranı ile çarpılarak, oksitlenmiş karbon emisyon değeri, CO₂ emisyon değerine dönüştürülmüştür. Elde edilen CO₂ emisyon değeri ton CO₂ veya 10⁻³ ile çarpılarak Gg (Gigagram) CO₂ birim değerinde yani kiloton CO₂ biriminde ifade edilmiştir.

CO₂ emisyonu = Tüketilen Yakıt Miktarı (Kt) x Çevrim Katsayıları (43 TJ/Kt) x Emisyon Faktörü (Dizel Yakıt İçin: 20,2 tC/TJ) x Verimlilik Katsayısı (0,99) x CO₂ Çevrim Katsayısı (44/12) (1) (Pekin, 2006).

Kt = Kiloton = Gigagram
TJ/Kt = Net Kalori Değeri

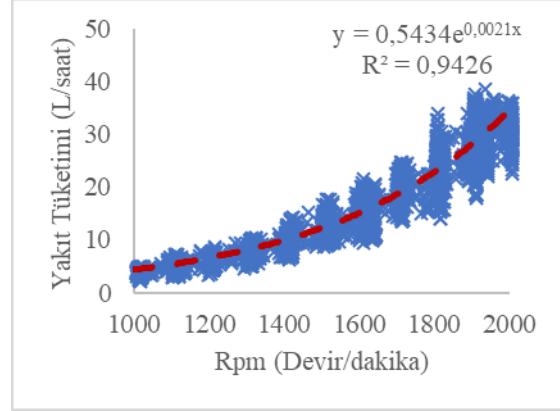
3. BULGULAR

3.1. Yakıt Tüketimi Ölçümleri

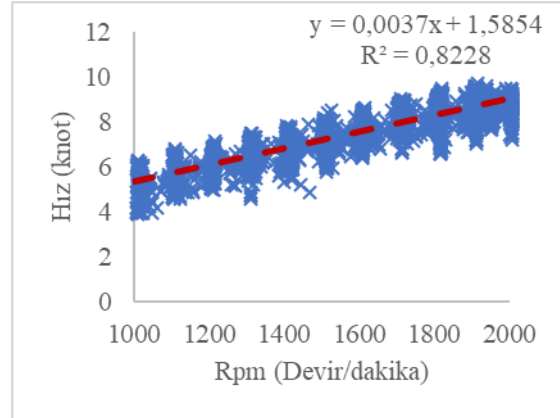
Gemi ana makinesinin en düşük devri 800 rpm olsa da 1000 rpm altında gemi ana makinesinin verimli olarak çalışmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle seyir için makinenin verimli çalıştığı devir aralığı 1000-2000 rpm olarak belirlenmiştir. Seyir anında anlık ve toplam yakıt tüketiminin, devir sayısının, hızın ve konumun değişimleri takip edilmiş, değişimler kayıt altına alınmıştır. İki günlük denemelerin sonucunda cihazın değerleri düzenli olarak okuyup kayıt edebildiği tespit edilmiştir.

3.2. Seyir İçin İdeal Devir Sayısı

Öncelikle makine devir sayısının yakıt tüketimiyle ve seyir hızıyla olan ilişkileri regresyon analiziyle incelenmiştir. Yakıt tüketimi için $y=0,5434e^{0,0021x}$ ve seyir hızı için ise $y=0,0037x+1,5854$ denklemleriyle anlamlı ($p<0,05$) istatistiksel veriler sunmaktadır. (Şekil 6 ve 7)

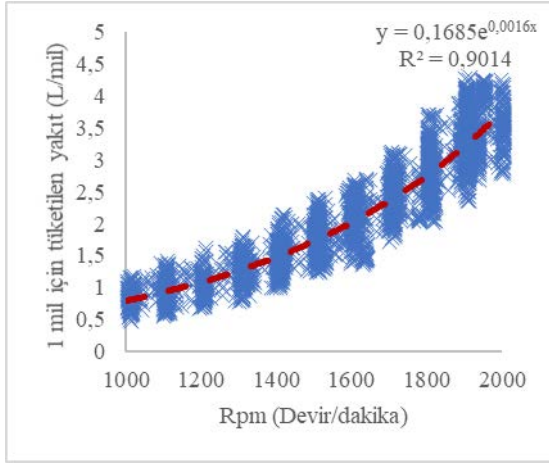


Şekil 6. Seyir için devir sayısı-yakıt tüketimi ilişkisi



Şekil 7. Seyir için devir sayısı-hız ilişkisi

Birim mesafedeki yakıt tüketimi ve devir sayısı ilişkisi (Şekil 8) için de regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda $y=0,1685e^{0,0016x}$ denklemi elde edilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) bir ilişki bulunmuştur.



Şekil 8. Seyir için birim mesafedeki yakıt tüketimi ve devir sayısı ilişkisi

“x” bağımsız değişkeni devir için 1000-2000 arasında değerlendirilmiş ve en düşük devir sayısı olan 1000 rpm en az yakıt tüketimiyle en fazla mesafenin alındığı durum olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Seyir durumu verileri

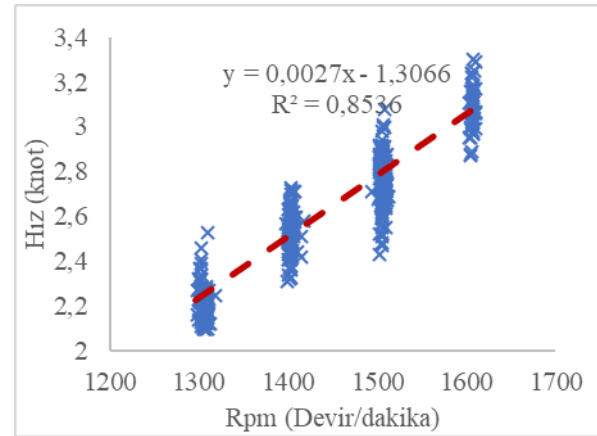
Rpm (Devir/Dakika)	1 mil için tüketilen yakıt (L/mil)	Hız (knot)	Yakıt tüketimi (L/saat)
1000	0,83	5,28	4,43
1100	0,97	5,65	5,47
1200	1,14	6,02	6,75
1300	1,34	6,39	8,33
1400	1,58	6,76	10,27
1500	1,85	7,13	12,68
1600	2,17	7,50	15,64
1700	2,55	7,87	19,29
1800	3,00	8,24	23,80
1900	3,52	8,61	29,37
2000	4,13	8,98	36,23

Yapılan seyir denemelerinde en uygun seyir hızı aynı zamanda en düşük makine devir sayısı ve hızının elde edildiği 1000 rpm olarak belirlenmiştir. Ayrıca devir sayısının hızla artışı doğrusal bir denklemlerle

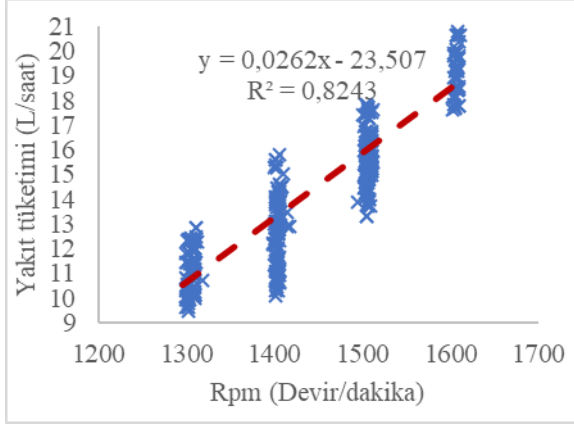
açıklanırken yakıt tüketiminin üstel bir artış karakteristiğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Arttırılan her 300-400 rpm aralığında hızda ortalama 1 knot civarında bir artış olurken, yakıt tüketim değerlerinin ortalama %100'e yakın arttığı tespit edilmiştir. Yapılan gözlemler doğrultusunda seyirde ortalama kullanılan devir sayısının 1800-1900 rpm aralığında olduğu görülmüştür. Devir sayısının %10 azaltılarak seyir yapılması hızda %10 civarında düşüşe sebep olurken ortalama %30 yakıt tasarrufunun elde edilmesini sağlamaktadır.

3.3. Trol Çekimi İçin İdeal Devir Sayısı

Aynı hat üzerinde en düşük yakıt tüketimiyle en uygun trol çekim makine devir sayısının tespit edilebilmesi için devir sayısı, hız ve yakıt tüketimleri sırasıyla belirlenmiştir. Öncelikle makine devir sayısı hız ve ardından da yakıt tüketimiyle ilişkisi regresyon analiziyle belirlenmiştir. Devir sayısı-hız ilişkisi için $y=0,0027x-1,3066$ ve devir-yakıt ilişkisi için $y=0,0262x-23,507$ denklemleri elde edilerek regresyon analizi sonucu ($p<0,05$) olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı bir veri sunmaktadır (Şekil 9 ve 10).

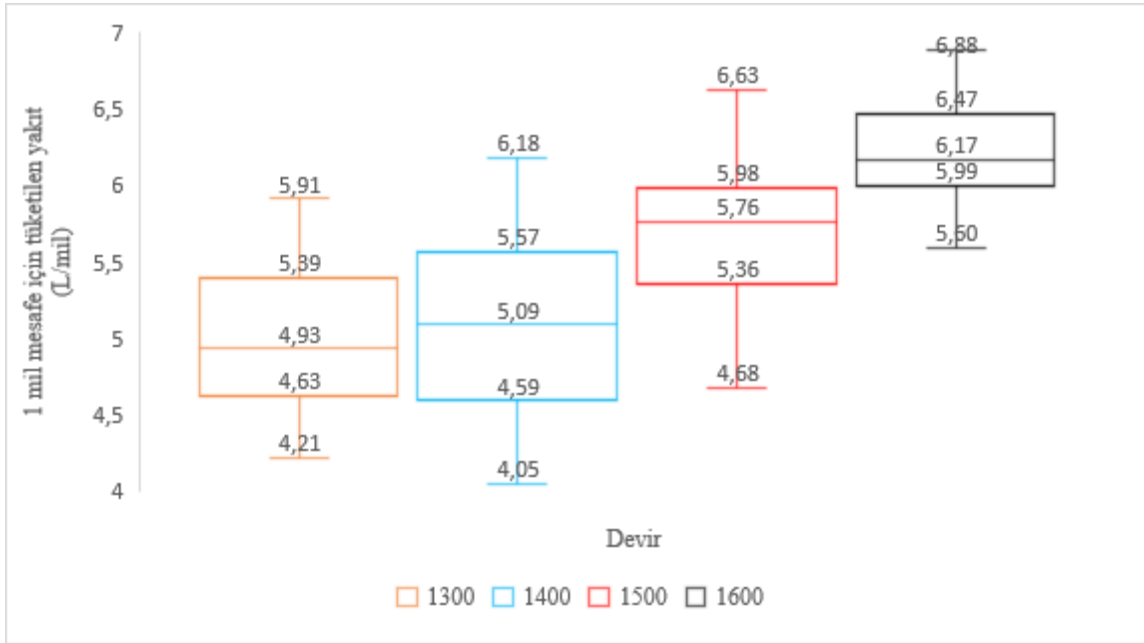


Şekil 9. Trol çekimi makine devir sayısı-hız ilişkisi



Sonuç olarak ise trol çekiminde 1 mil mesafenin kat edilebilmesi için en uygun devir sayısı değeri regresyon analizi sonucunda $y=0,0038x$ (Şekil 11) denklemiyle istatistiksel açıdan anlamlı şekilde elde edilmiştir ($p<0,05$).

Şekil 10. Trol çekimi makine devri-yakıt tüketimi ilişkisi



Şekil 11. Trol çekimi birim mesafedeki tüketim ve devir sayısı ilişkisi kutu-bıyık grafiği

Tablo 2. Trol çekiminde operasyonundan elde edilen veriler

Rpm	1 mil için tüketilen yakıt (L/mil)	Hız (knot)	Yakıt Tüketimi (Litre/saat)
1300	4,93	2,2	10,55
1400	5,09	2,47	13,17
1500	5,76	2,74	15,79
1600	6,17	3,01	18,41

Elde edilen bulgular hem 1 mil için tüketilen toplam yakıt hem de saatlik yakıt tüketiminde makine için en uygun değer 1300 rpm olduğunu göstermiştir (Tablo 2). Ancak ortalama çekim hızının 2,2 knot olarak elde edildiği bu devirde kapıların veya av aracının farklı zemin veya akıntı durumlarında düzgün şekilde çalışmasının sorun oluşturabileceği düşünülmüştür. 1400 ve 1300 rpm değerlerinde 1 mil için tüketilen yakıt ve saatlik tüketilen yakıt miktarlarında sırasıyla %3 ve %2,5'lik artış görülse de av aracının düzgün ve verimli çalışabilmesi ve kutu-bıyık grafiğindeki 1300 rpm yakıt tüketim değerleriyle arasında belirgin istatistiksel tüketim farkı görülmemesi nedeniyle 1400 rpm en uygun değer olarak kabul edilmiştir. İdeal devir değeri 1400 rpm olarak kabul edilmesiyle

1500 rpm için yakıt tüketiminde saatte %16, 1600 rpm için saatte %28 yakıt tasarrufları elde edilmiştir. Ayrıca 1 mil mesafede tüketilen yakıt miktarında da 1500 ve 1600 rpm verilerine kıyasla sırasıyla %7 ve %16 yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

3.4. CO₂ Emisyonu

Seyir ve trol çekiminde tüketilen dizel yakıt miktarı üzerinden IPCC Tier 1 yöntemi kullanılarak CO₂ emisyon miktarı hesaplanmıştır (Tablo 3 ve 4). Hesaplama sonucunda 1 ton dizel yakıt için yaklaşık 3,153 ton CO₂ emisyonu meydana geldiği belirlenmiş olup tüm hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır.

Tablo 3. Seyir için CO₂ emisyon bulguları

Rpm (Devir/Dakika)	Toplam yakıt tüketimi (L/saat)	CO ₂ emisyon miktarları (kg/saat)
1000	4,43	13,97
1100	5,47	17,25
1200	6,75	21,28
1300	8,33	26,26
1400	10,27	32,38
1500	12,68	39,98
1600	15,64	49,31
1700	19,29	60,82
1800	23,80	75,04
1900	29,37	92,60
2000	36,23	114,23

Tablo 4. Trol çekimi için CO₂ emisyon bulguları

Rpm (Devir/Dakika)	Toplam yakıt tüketimi (L/saat)	CO ₂ emisyon miktarları (kg/saat)
1300	10,55	33,26
1400	13,17	41,52
1500	15,79	49,78
1600	18,41	58,05

Seyir durumunda 1000-2000 rpm arasında CO₂ emisyonunda %88'e yakın artış görülmüş olup ideal olarak bulunan 1000 rpm hem yakıtta tasarruf sağlarken hem de ekosisteme zararı azaltılmış makine kullanım değeri olarak tespit edilmiştir. Trol çekiminde ise 1300-1600 rpm arasında benzer şekilde %43'e yakın CO₂ emisyonunda artış bulunmuştur.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada trol gemilerinde yakıt tüketiminin ve ekosisteme verilen zararın belirlenmesi ve azaltılması amacıyla Lamas-1 araştırma gemisiyle seyir ve trol çekimi için optimize edilmiş makine kullanım değerleri tespit edilmiştir. Bu araştırmanın yapılmasında gemiye anlık ve toplam yakıt tüketimini, seyir hızını, konumu ve makine devir sayısını görüntüleyen ve kaydedebilen cihazlar kurulmuş ve bu tarz bir sistem ulusal alanda ilk kez kullanılmıştır. Sistem sayesinde seyir için 1000-2000 rpm aralığında yapılan denemelerde 4007 adet devir verisi değerlendirilmiş ve en uygun seyir hızının en düşük seyir devri ve hızının elde edildiği 1000 rpm ve 5,28 knot olduğu tespit edilmiştir. 5,28-8,98 knot seyir hızı aralığında verimli şekilde çalışabildiği görülen gemide 1 knot hız artışının elde edilebilmesi için toplam yakıt tüketiminin %100'e yakın arttığı tespit edilmiştir. Ortalama 1800-1900 rpm aralığında seyir yapan gemide makine

devir sayısında yapılacak sadece %10 civarında bir azalmanın %30'a yakın yakıt tasarrufu sağladığı bulunmuştur. Hız denemeleri farklı birçok araştırmada görülmekte olup (Sala ve ark., 2010; 2011; Poos ve ark., 2013; Laurens ve Dasira, 2014), gemi makinesinin çalışması ve yakıt tüketiminin sistem üzerinden takip edilerek en uygun değerlerin belirlenmesi veya hız düşümleri ile yakıt tüketiminde belirgin tasarruflar elde edilmiştir. Ancak balıkçının zaman kısıtlaması olduğu durumlarda, devir sayısı uygulamasının ne kadar etkin olacağına cevabının ticari sahada araştırılarak görülmesi gereklidir.

Trol çekimi için ise 1300-1600 rpm ve 2,2-3,01 knot değerleri arasında yapılan denemelerde 355 adet devir verisi değerlendirilmiştir. 1300 rpm ve 2,2 knot değerleri en düşük yakıt tüketimine sahip bulursa da operasyonun güvenliği açısından 1400 rpm ve 2,47 knot tercih edilmiş ve %28'e ulaşan yakıt tasarrufu elde edilmiştir. Trol çekimleri gemi makinesinin yüksek güç ürettiği, dolayısıyla normal seyir halindeki devir sayısı değerinden daha fazla yakıt tüketimlerinin gerçekleştiği operasyonlardır (Poos ve ark., 2013). Trol operasyonundaki tüketimi azaltmak için yapılan çalışmalarda hız düşümleri yapılarak sürüklenme direnci düşürülmüş ve av miktarında istatistiksel olarak önemli bir değişim olmaksızın net gelir miktarında belirgin artışlar elde edilmiştir (Parente ve ark., 2008). Devir sayısındaki değişimlerin

yakıt tüketimine etkisi belirgin olmakla birlikte, bu değişimlerin operasyondaki rolünü net olarak görebilmek için sisteme yük hücreleri (kantar) eklenerek trol telindeki ve torbadaki dirençlerin değerlerinin de görülmesi gerektiği düşünülmektedir.

Seyir ve trol operasyonlarında elde edilen değerler ile IPCC Tier 1 yöntemi kullanılarak CO₂ emisyonları her bir devir değeri için hesaplanmıştır. Optimizasyon sonucu elde edilen seyir için 1000 rpm, trol çekimi için 1400 rpm değerleriyle sırasıyla %88 ve %43 CO₂ emisyon miktarında azalma elde edilmiştir. Balıkçı gemilerinde kullanılan makinelerinin CO₂ emisyon değeri olarak ekosisteme etkisinin sayısal yöntemler kullanılarak ulusal alanda ilk kez hesaplanıp tespit edildiği bu çalışma bulguları uluslararası çok sayıda çalışmada görülmektedir (Cheilari ve ark., 2013; Driscoll ve Tyedmers, 2010; Suuronen ve ark., 2012) Thomas ve ark., 2010; Hansen ve ark., 2013; Marlen, 2012). Bu etkinin belirlenmesi için ölçüm cihazlarının kullanımı mümkün olmakla birlikte diğer ekosisteme zararlı gazların etkileri de tespit edilebilmektedir. Başlangıç olarak yapılan bu çalışmanın geliştirilerek balıkçının ve tüketicinin konu hakkında bilinçlendirilmesi gereklidir. Yeni çalışmalarda bu alandaki eksikliklerin giderilmesi için diğer balıkçılık çeşitlerinin yakıt tüketimlerinin ve ekosistem etkilerinin neler olduğu ve bu etkilerin azaltılması için alınması gereken önlemlerin çalışılması önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Araştırma araçlarının teminindeki desteklerinden ötürü 1150647 numaralı, “Trol Ağzında Balık Davranışları ve Kurşun Yaka Modifikasyonlarının Tür Seçiciliğine Etkisi” başlıklı TÜBİTAK projesine teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

Tyedmers P.H. 2001. Energy consumed by North Atlantic Fisheries. Zeller D, Watson R, Pauly D, editors. Fisheries impacts on North Atlantic Ecosystems: catch, effort and national/regional datasets. Fisheries Centre Research Reports, 9(3): 12–34.

Lam, V.W.Y., Sumaila, U.R., Dyck, A., Pauly, D., Watson, R., (2011) Construction and first applications of a global cost of fishing database. *Ices Journal of Marine Science*, 68. doi:10.1093/icesjms/fsr121

Gaston, T., Thomas, G., Maynard, D., Frost, R., 2012. Energy efficiency through bycatch reduction –a radical approach. Proceedings of the Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain.

Cheilari, A., Guillen, J., Damalas, D., Barbas, T., (2013). Effects of the fuel price crisis on the energy efficiency and the economic performance of the European Union fishing fleets. *Marine Policy* 40: 18–24. doi: 10.1016/j.marpol.2012.12.006.

FAO, 2014. The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Sala, A., De Carlo, F., Buglioni, G., Luchetti, A. 2010. Coriolis fuel mass flow metering for fishing vessels. First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain.

Sala, A., De Carlo, F., Buglioni, G., Luchetti, A., (2011). Energy performance evaluation of fishing vessels by fuel mass flow measuring system. *Ocean Engineering* 38: 804-809. doi:10.1016/j.oceaneng.2011.02.004

Poos, J.J., Turenhout, M.N.J., van Oostenbrugge, H.A.E., Rijnsdorp, A.D., (2013). Adaptive response of beam trawl fishers to rising fuel cost. *ICES Journal of Marine Science* 70(3): 675–684. doi:10.1093/icesjms/fss196

Laurens J.M., Dasira, A., 2014. Improving the propulsive efficiency of an Indonesian trawler. Third International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain.

Driscoll, J., Tyedmers, P., (2010). Fuel use and greenhouse gas emission implications of fisheries management: the case of the New England atlantic herring fishery. *Marine Policy* 34: 353–359. doi:10.1016/j.marpol.2009.08.005

Suuronen, P., Chopina, F., Glassb, C., Løkkeborgc, S., Matsushitad, Y., Queirolo, D., Rihanf, D., (2012). Low impact and fuel-efficient fishing-Looking beyond the horizon. *Fisheries Research* 119–120: 135–146. doi: 10.1016/j.fishres.2011.12.009

Özbilgin, H., Gökçe, G., Özbilgin, Y., Eryaşar, A.R., Kalecik, E., Bozaoğlu, A.S. 2013. *Mersin Körfezi Trol Balıkçılığında Tür ve Boy Seçiciliğini Arttırmaya Yönelik Araştırmalar*. TÜBİTAK 109O684 Proje Final Raporu.

Pekin, M.A. (2006). Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99 s.

Parente, J., Fonseca, P., Henriques, V., Campos A., (2008). Strategies for improving fuel efficiency in the Portuguese trawl fishery. *Fisheries Research* 93: 117–124. doi:10.1016/j.fishres.2008.03.001

Thomas, G., O'Doherty, D., Sterling, D., Chin, C., (2010). Energy audit of fishing vessels. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: *Journal of Engineering for the Maritime Environment* 224: 87-101. doi: 10.1243/14750902JEME186

Hansen, U.J., Tørring, P., Nielsen, J.W., Rønfeldt, J.L., 2013. Using Best Available Technology drastically improve Fuel Efficiency in Trawl Fisheries. Annual Meeting of the ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour LIFE mini symposium, Bangkok.

Marlen, B.V., 2012. Innovative energy saving fishing gears in the Dutch fleet. *Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing*, Vigo, Spain.