

# Balıkçı Gemisi Soğutma Sisteminin Birinci Yasa Analizleri

A. Sinan KARAKURT ve Ümit GÜNEŞ<sup>1</sup>

## ÖZET

15. yüzyılın sonlarına doğru ticari balıkçılığın ortaya çıkışı ile devam eden yüzyıllarda büyük bir balıkçılık sanayisi oluşumu günümüzde sadece balık yakalamakla kalmayıp onu farklı proseslerde işleyip ayrıştıran ve muhafaza eden balıkçı filoların da olduğu endüstriyel balıkçılığın temellerini teşkil eder. İçerdiği protein miktarı ile neredeyse kırmızı ete denk olan ve bunun yanında üretilmesinde veya yakalanmasında etrafa salınan CO<sub>2</sub> eşdeğerlik miktarına göre daha çevreci olan deniz ürünleri neredeyse dünyanın tamamında tüketilmektedir. Ülkemiz, üç tarafı denizlerle çevrili olmasına karşın, balıkçılıkta ve balık tüketiminde gelişmiş bir ülke değildir. Yapılan bu çalışmada, içerisinde soğutma ve depolama ünitesi bulunan bir balıkçı teknesine ait soğutma sisteminin farklı çevresel etkilere sahip olan soğutucu akışkanlara ve değişken dizayn değerlerine göre performans analizleri gerçekleştirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğutma sistemi, performans analizi, balıkçılık

## 1. Giriş

Günümüzde nüfus ve buna bağlı olarak da gıda tüketimi artarken tarım alanları ve doğal kaynaklar azalmakta ve verimsizleşmektedir. Bu durumda yüksek besin değerine sahip gıdaların yetiştirilmesi ve üretilmesi oldukça önemli olmaktadır. Ancak, bu durumda üretilen ve yetiştirilen besin maddelerinin ne kadar çevreci olduğu sorusu ortaya çıkmaktadır. Aynı protein değerine sahip olmakla birlikte birim kütle başına CO<sub>2</sub> salınımı neredeyse üçte bir olan balık ve diğer deniz ürünlerinin kullanımının yaygınlaşması bu sorunun çözülmesine oldukça büyük katkılar sağlayacaktır [1].

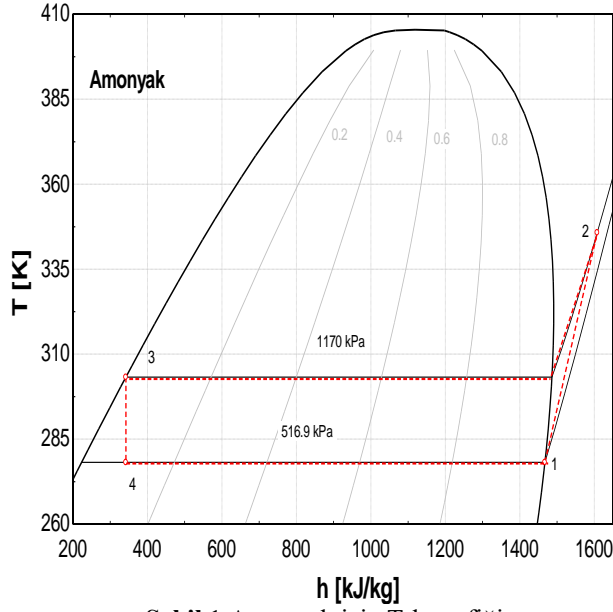
Yüksek besin ve düşük yağ miktarı nedeniyle önemli bir gıda olan balık aynı zamanda çok çabuk bozulabilen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle yakalanma anından itibaren oldukça hızlı ve iyi muhafaza edilmelidir. Balıkların soğutulmasında balık tipine, seyir-av süresine, işleme zamanı ve türüne göre farklı tipte soğutma sistemleri kullanılabilir [2]. Soğutma çevrimleri ile ilgili deneysel ve parametrik çalışmalar [3]–[5] yapılmış olmakla birlikte balıkçı teknesi soğutma sistemine yönelik ulusal ölçekte bir çalışma mevcut değildir. Yapılan bu çalışmada amonyaklı bir soğutma sisteminin balıkçı teknesine uygulaması termodinamiğin birinci yasaları çerçevesinde farklı akışkanlar ve farklı çalışma sıcaklıklarına göre parametrik olarak incelenecektir.

## 2. Termodinamik Model ve Analizler

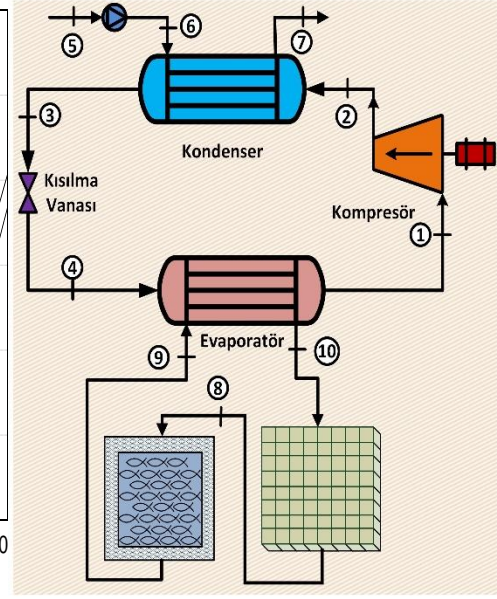
Analizleri yapılan balıkçı teknesi soğutma sistemi iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki sisteme giren balığın 278 K sıcaklığındaki soğutucu su ile ön soğutma işlemine tabi tutulduğu ve daha sonra da kasalara konularak 273 K sıcaklığında soğuk depo bölmesinde kara tesislerine teslim edilene kadar muhafaza edildiği kısımdır. İhtiyaç duyulan soğutma yükünü temin edecek amonyaklı soğutma çevrimi de sistemin ikinci kısmını oluşturmaktadır. Modellenen soğutma sisteminin şeması ve bu sistemdeki amonyak çevrimine ait sıcaklık-entalpi (T-h) grafiği Şekil 1 ve 2’de verilmiştir.

---

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği  
Tel: +90(212) 383 3009, [asinan@yildiz.edu.tr](mailto:asinan@yildiz.edu.tr), [ugunes@yildiz.edu.tr](mailto:ugunes@yildiz.edu.tr)



Şekil 1 Amonyak için T-h grafiği



Şekil 2 Soğutma sistemi

Kondenserdeki soğutucu su debisi buradaki ısı yükünden yola çıkarak çevre şartlarında deniz suyunun sisteme girişi referans alınarak hesaplanmıştır. Sisteme birim zamanda giren balık kütesinden hesaplanan soğutucu su debisi ön soğutma ve depolama ünitelerinden eşit şekilde geçtiği kabul edilmiştir.

$$\dot{Q}_{Con} = \dot{m}_3 * (h_2 - h_3) = \dot{m}_6 * (h_7 - h_6) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{sw} = A_{sw} * k_{sw} * (T_{sw} - T_{stor}) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{ME} = A_{ME} * k_{ME} * (T_{ME} - T_{stor}) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_f * Cp_f * (|T_{f,out,B} - T_{stor}|) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_A = \dot{Q}_f + \dot{Q}_{sw} + \dot{Q}_{ME} \quad (5a)$$

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_{12} * (h_{12} - h_{11}) \quad (5b)$$

$$\dot{Q}_{f,B} = \dot{m}_f * Cp_f * (|T_{sw} - T_{f,out,B}|) \quad (6a)$$

$$\dot{Q}_{f,B} = \dot{m}_8 * (h_8 - h_{10}) \quad (6b)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_A + \dot{Q}_{f,B} \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{Evap} = \dot{m}_4 * (h_1 - h_4) = \dot{m}_9 * (h_9 - h_{10}) \quad (8)$$

Sistemde tüketilen toplam enerji miktarı kompresör ve pompalarda tüketilen enerji miktarlarının yani o elemanlardaki entalpi farkının soğutucu akışkan debisi ile çarpılması ile elde edilen değerlerin toplanmasıyla bulunmuştur, Denklem 9-12.

$$\dot{W}_p = \dot{m}_5 * (h_6 - h_5) \quad (9)$$

$$\dot{W}_C = \dot{m}_{ammo} * (h_2 - h_1) \quad (10)$$

$$\dot{W}_{Top} = \dot{W}_p + \dot{W}_C \quad (11)$$

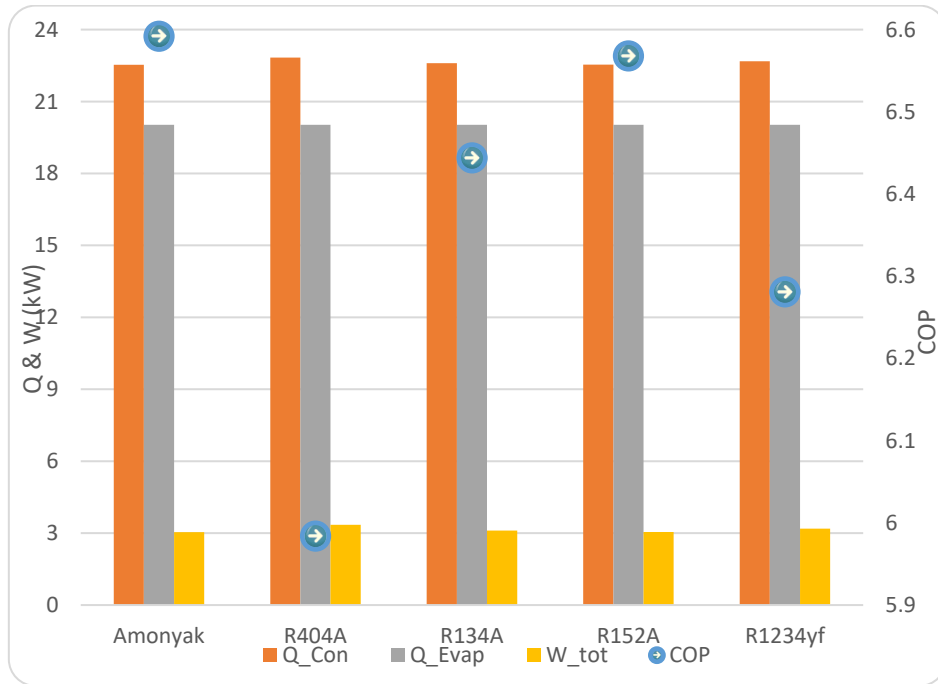
$$COP = \frac{|\dot{Q}_{Evap}|}{\dot{W}_{Top}} \quad (12)$$

Yukarıda tanımlanan denklemler aşağıda dizayn şartları için yapılan kabuller ile birlikte ele alınarak sistemin performans analizlerine geçiş yapılmıştır.

- Kondenserdeki soğutma suyu çıkış ve giriş sıcaklıkları arasında, amonyağın evaporatörden çıkış sıcaklığı ile soğutma suyu çıkış sıcaklığı arasında, depolama sıcaklığı ile ön soğutmadan balık çıkış sıcaklığı ve soğutma suyu çıkış sıcaklığı arasında 5 K fark olduğu,
- Makine dairesinin 313 K, depolama ünitesinin 273 K, balığın ön soğutmaya giriş ve çıkış sıcaklıklarının da 298 ve 283 K olduğu,
- Soğuk depo ile deniz suyu ve makine dairesi arasında ısı transfer katsayısının 2 ve 3 W/m<sup>2</sup>K olduğu,
- Deniz suyu ve makine dairesinin soğuk depo ile temas yüzey alanlarının 144 ve 16 m<sup>2</sup> olduğu,
- Kompresörün ve pompaların izentropik verimlerinin 0.80 olduğu,
- Sistemde 100 ton balığın 5 gün boyunca sürekli bir şekilde soğutulduğu,
- Deniz suyunun ve balığın özgül ısı kapasiteleri ve sıcaklıklarının 4.18 kJ/kgK ve 298 K olduğu,
- Isı değiştiricilerinde meydana gelen basınç kayıplarının dikkate alınmadığı kabul edilmiştir.

EES programı [6] ile yapılan analizlerde değerlendirme ölçütü olarak sabit bir soğutma yükü için sistemin performans katsayısı (COP), tüketilen toplam güç ( $W_{Tot}$ ) ve ısıl yük ( $Q_{Con}$ ) ele alındı. Modellenen soğutma sisteminde değerlendirme ölçütleri açısından en uygun sonuçları veren akışkan, soğutucularda yaygın olarak kullanılan beş farklı soğutucu akışkan (Amonyak, R404A, R134A, R152A ve R1234yf) arasından, amonyak olarak belirlendi.

Yüksek soğutma verimliliği, sıfır ozon inceltme potansiyeli (ODP) ve sıfır küresel ısınma potansiyeli (GWP) olduğu için özellikle gelişmekte olan ülkelerde, balıkçılık ve endüstriyel soğutma sektöründe tercih edilen bir soğutucu olmuştur [7]. Ancak, amonyaklı sistemlerin performans yönünden avantajları olmasına rağmen kurulum esnasında insan sağlığına olası olumsuz etkilerini önlemek için ek emniyet önlemleri alınmakta bu da kurulum maliyetlerini arttırmaktadır. Amonyak akışkanlı sistemde COP değerinin 6,6, tüketilen gücün 3 kW ve kondenserdeki ısı yükünün de 22 kW civarlarında olduğu, diğer akışkanlarınsa daha kötü sonuçlar verdiği Şekil 3'te görülmektedir.



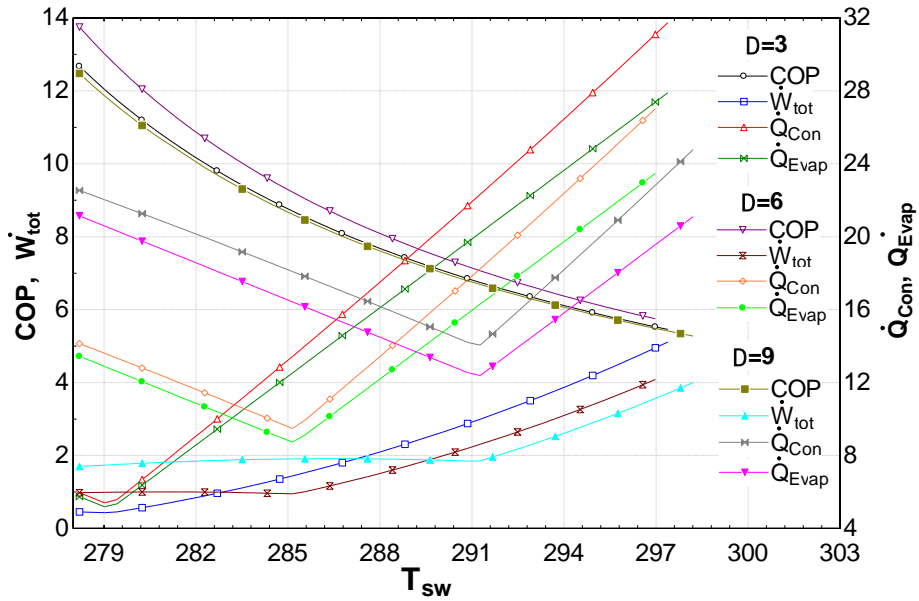
Şekil 3 Performans değerleri

Yapılan kabullere göre oluşturulan termodinamik modele ait birinci yasa analizleri neticesinde sistemin performansı açısından en uygun akışkan olan amonyak kullanılarak her bir noktada elde edilen basınç, sıcaklık, entalpi ve kütesel debi değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda altı çizili olarak verilen ilk dört nokta amonyak çevrimine diğerleri de su ile soğutmaya aittir.

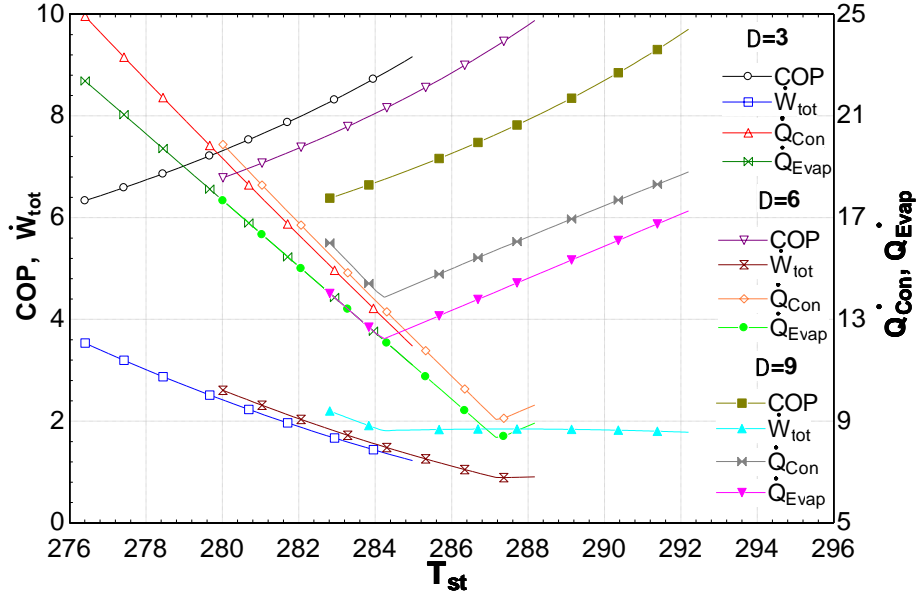
**Tablo 1** Nokta değerleri

	T (K)	P (kPa)	h (kJ/kg)	m (kg/s)
<b>0</b>	298	100	1546	
<b>1</b>	<b>278.2</b>	<b>516.9</b>	<b>1467</b>	<b>0.0178</b>
<b>2</b>	<b>345.8</b>	<b>1170</b>	<b>1608</b>	<b>0.0178</b>
<b>3</b>	<b>303.2</b>	<b>1170</b>	<b>342</b>	<b>0.0178</b>
<b>4</b>	<b>278.2</b>	<b>516.9</b>	<b>342</b>	<b>0.0178</b>
<b>5</b>	293.2	100	84.14	1.078
<b>6</b>	293.2	500	84.64	1.078
<b>7</b>	298.2	500	105.5	1.078
<b>8</b>	275.7	150	10.68	1
<b>9</b>	278	150	20.36	1
<b>10</b>	273.2	150	0.3224	1

Amonyaklı soğutma çevriminde deniz suyu, depolama ve soğutucu su evaporatör çıkış sıcaklıklarının performans ölçütleri üzerindeki etkileri parametrik olarak incelenmiş ve sonuçlar da Şekil 4'te gösterilmiştir. Deniz suyu sıcaklığının 278 K'den 298 K değerine artması ile kondenserdeki ısı transferinin kötüleşmiş, sisteme giren balık sıcaklığının artmış olduğu ve bunların neticesinde de soğutma yükünün ve ihtiyaç duyulan toplam gücün arttığı buna karşılık COP değerininse düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun yanında  $\Delta$  değerindeki değişimin performans üzerindeki etkileri de görülmekte olup 6 K şartlarında sistemin performans yönünden en iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

**Şekil 4** Deniz suyu sıcaklığına göre parametrik analiz sonuçları

Soğutma suyu evaporatör çıkış sıcaklığının ve depolama sıcaklığının değişimlerinin değerlendirme ölçütleri üzerinde etkileri benzer karakteristikler özellikler taşımaktadır. Sıcaklığın artması ile birlikte COP değerlerinde neredeyse lineer bir artış ve tüketilen toplam güç ve soğutma yükünde de lineer bir azalış görülmektedir, Şekil 5.  $\Delta$  değerinin artması ile birlikte COP değerleri azalmakta, tüketilen güç artmakta ve ısı değerleri de benzer karakteristik göstererek azalma eğilimi taşımaktadır.



Şekil 5 Depolama sıcaklığına göre parametrik analiz sonuçları

### 3. Sonuç

Dünya çapında çevreci faaliyetler arttıkça amonyaklı soğutma sistemleri birçok ülke de kullanılmaya ve geliştirilmeye başlanmıştır. Daha çevreci akışkanlar kullanarak atmosfere salınan emisyonların ve diğer zararlı maddelerin azalmasına imkan tanınmakta ve geliştirilen teknolojilerle de daha verimli sistemler üretilebilmektedir. Normal su yerine farklı tuz konsantrasyonlarında ve farklı mineral içerikte deniz suyu kullanarak ve ikinci yasa analizlerini de dahil ederek daha gerçekçi bir hale getirilmesi planlanmaktadır.

### 4. Kaynakça

- [1] C. L. Weber and H. S. Matthews, "Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, no. 10, pp. 3508–3513, May 2008.
- [2] D. Kocatepe, G. Taşkaya, H. Turan, and Y. Kaya, "Balıklarda Buzlama İşlemi Icing Process in Fishes," *ResearchGate*, vol. 3, no. 1, pp. 17–28, Jan. 2010.
- [3] V. Ruiz, "Analysis of existing refrigeration plants onboard fishing vessels and improvement possibilities," presented at the Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain, 2012.
- [4] F. Memet, "A performance analysis on a vapor compression refrigeration system generated by the replacement of R134a," *J. Marit. Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 83–87, Dec. 2014.
- [5] Y. Ust, K. A. Sinan, and U. Gunes, "Performance Analysis of Multipurpose Refrigeration System (MRS) on Fishing Vessel," *Pol. Marit. Res.*, vol. 23, no. 2, pp. 48–56, 2016.
- [6] S. A. Klein, *EES Engineering Equation Solver*. 2016.
- [7] "The perfect catch for the fishery cold chain: ammonia refrigeration." Available: <http://ammonia21.com/news/view/2084>.