



DOI: <http://dx.doi.org/10.29228/jomaramphora.62218>

## Gemilerdeki Egzoz Atık Isının Termoelektrik Jeneratörler ile Geri Kazanılması

### Recovery Waste Heat on Exhaust of Ship with Thermoelectric Generators

<sup>1</sup>Ali YOLUŐ, <sup>2</sup>Gökhan KAYAN, <sup>3</sup>Őeyma YILMAZ, <sup>4</sup>İsmet TIKIZ

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0001-6255-2626, Kocaeli/Türkiye, [aliyolus@gmail.com](mailto:aliyolus@gmail.com),

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-5995-3725, Kocaeli/Türkiye, [kayangokhan@gmail.com](mailto:kayangokhan@gmail.com),

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0003-3403-7752, Kocaeli/Türkiye, [seymaayilmaz94@gmail.com](mailto:seymaayilmaz94@gmail.com),

<sup>4</sup>Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-4477-799X, Kocaeli/Türkiye, [ismet.tikiz@kocaeli.edu.tr](mailto:ismet.tikiz@kocaeli.edu.tr),

#### Özet:

Enerji verimliliği, günden güne önemini artırarak devam etmektedir. Çevreye verilen zararın azaltılmasına yönelik getirilen kurallar ve yakıt fiyatlarındaki artış yakıttan tasarruf çalışmalarının yapılmasına neden olmaktadır. Gemilerde enerji giderleri göz önüne alındığında ilk olarak göze çarpan, enerji kaybının yaklaşık %25'ini oluşturan egzoz gazları olduğu görülmektedir. İçten yanmalı bir motorlarda piston üzerinde oluşan ısıl gücün yaklaşık %70'lik kısmı soğutma ve egzoz gazları ile kaybedilmektedir. Bu sebeple egzoz gazı ile atılan enerjinin geri kazanım yöntemleri önem kazanmaktadır. Yakıt masrafları, gemideki giderlerin büyük kısmını oluşturmaktadır. Enerji kazanım yöntemleri ile yakıt tasarrufu sağlanacağı gibi çevreye salınan zehirli gazların (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub>) miktarında azalma görülecektir. Atık ısı geri dönüőtürme sistemleri, alternatif enerji kaynakları olarak günümüzde yaygınlaşmaktadır. İçten yanmalı motorların egzozundan atılan atık ısı enerjisi, termoelektrik jeneratörler kullanılarak geri dönüőüm sağlanabilmektedir. Gemilerde egzozdan atılan ısının termoelektrik jeneratörler ile geri kazanılması, yakıt tasarrufu sağlamak ve zararlı gaz salınımlarını azaltmak için alternatif yeşil enerji teknolojisidir. Bu çalışmada 5 silindirli, 4900 kW gücünde bir motorun atılan egzoz ısısının termoelektrik jeneratörleri ile geri kazanılması hedeflenmektedir. Model alınan gemi ana makinasının çıkışında bulunan egzoz manifold borusu arasına Rhinoceros 3D CAD programı kullanılarak dikdörtgen prizma modellenmiştir. ANSYS Workbench analiz programı kullanılarak, prizma üzerine yerleştirilen termoelektrik jeneratörler ile atık ısıdan elektrik enerjisi geri kazanım analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tasarlanan dikdörtgen prizmanın dört yüzeyine yerleştirilecek 11520 adet termoelektrik modülü ile toplamda saatte 792,8 kW güç elde edilebildiği hesaplanmıştır. Bu değer, gemi ana makina gücünün %16,17'sini oluşturmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Termoelektrik Jeneratörler, Atık Isının Geri Kazanımı, İçten Yanmalı Motorlar, Gemilerde Enerji Verimliliği.

#### Abstract:

Energy efficiency continues to increase its importance day by day. The rules for reducing the damage to the environment and the increase in fuel prices are shown as reasons. Considering the energy costs in ships, the first thing that stands out is the exhaust gases, which constitute approximately 25% of the energy loss. Approximately 70% of the thermal power generated on the piston in an internal combustion engine is lost by cooling and exhaust gases. For this reason, the recovery methods of the energy thrown by the exhaust gas are important. Fuel

costs constitute the majority of the expenses on board. With energy recovery methods, fuel savings will be achieved and the amount of toxic gases (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub>) released to the environment will decrease. Waste heat recycling systems are becoming widespread today as alternative energy sources. Waste heat energy discharged from the exhaust of internal combustion engines can be recycled by using thermoelectric generators. Recovering the heat expelled from the exhaust on ships with thermoelectric generators is an alternative green energy technology to save fuel and reduce harmful gas emissions. In this study, it is aimed to recover the exhaust heat of a 5-cylinder, 4900 kW engine with thermoelectric generators. The rectangular prism was designed and added using the Rhinoceros 3D CAD program between the exhaust manifold pipe located at the exit of the modeled ship's main engine. By using the Ansys Workbench analysis program, analyzes of generating electrical energy from waste heat were carried out with thermoelectric generators placed on the prism. As a result of the analyzes made, it has been calculated that a total of 792,8 kW of power per hour can be obtained with 11520 thermoelectric generators to be placed on the four surfaces of the designed rectangular prism. It constitutes 16,17% of the ship's main engine power.

**Keywords:** Thermoelectric Generators, Waste Heat Recovery, Internal combustion engines, Waste Heat Conversion, Energy Efficiency on Ships.

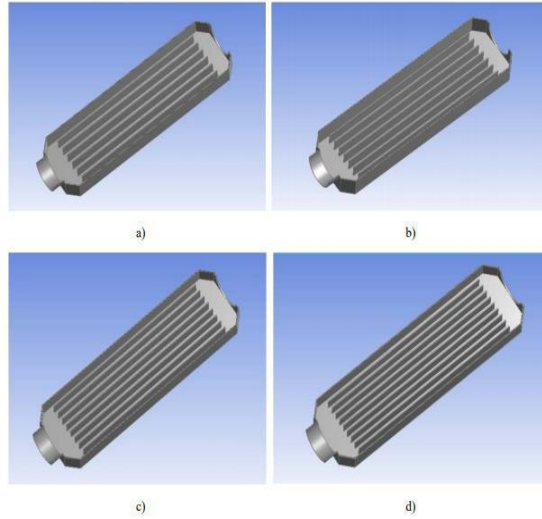
## 1. Giriş

Son zamanlarda evrenin korunmasına ve enerjinin tasarruf edilmesine verilen önem giderek artmaktadır. Yapılacak her türlü faaliyette evre duyarlılığına ve enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar çoğalmaktadır. Enerji tasarrufu yapılmasındaki en önemli etken enerjinin verimliliğinin arttırılması olarak düşünülebilir. Böylece kullanılmayıp sistemde kaybolan atık ısı enerjisinin geri kazanılması büyük önem arz etmektedir. Dünya taşımacılığının %90'ı deniz yoluyla yapıldığını düşünüldüğünde tüketilen yakıt miktarının fazlalığı ve fiyatlardaki artışlar nedeni ile enerji verimliliği konusunda yapılan çalışmalar artmıştır. Gemi ana makinasından çıkan egzoz gazlarındaki enerji, buhar türbinleri vasıtası ile geri kazanılarak %6'lara varan oranda g artışı mümkün olmaktadır. Gaz türbini ve buhar türbini beraber çalıştırıldığında bu oran %10'lara kadar çıkabilmektedir. Bu sayede %10 - %12 civarında yakıt tasarrufu sağlanmış olmaktadır. Buhar ve gaz türbinine giden egzoz hattının seri bağlanması ile %6,9 - %14,6 arasında verim arttırılmış olup, yakıt tüketimin de ise %6,4 - %13 aralığında azalma meydana getirmektedir. Genellikle düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarından ORC (Organic Rankine Cycle) sistemi ile g üretilmektedir. Düşük sıcaklıktaki ısı kaynaklarının kullanılması ile yakıt tüketimini ve çevreye salınan zararlı gazların miktarı azaltılmaktadır. ORC ile suya göre düşük kaynama noktası olan akışkanlar kullanarak düşük sıcaklık (70 C- 300 C) aralığındaki ısı kaynaklarından elektrik enerjisi üretilmektedir. Egzoz ile atılan ısıdan elektrik enerjisi elde etme yöntemlerinden bir diğeri, yarı iletken malzemelerin kullanıldığı termoelektrik jeneratrlerdir (TEJ). TEJ 'ler egzoz gazının sıcaklığı ile soğutucu akışkan sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkını kullanarak termoelektrik modüller (TEM) vasıtası ile elektrik enerjisi üretilmekte olup yaygın olarak kullanılmaktadır (Khattab ve El Shenawy, 2006; Dalola vd., 2009).

## 2. Literatür İncelemesi

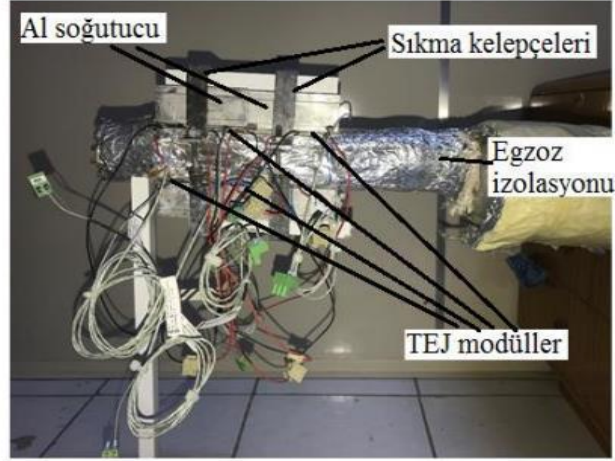
CNG - güç aktarma organında harcanan yakıttan tasarruf edebilmek için ana enerji kayıplarını gidermiştir. Elektrifikasyonu kademeli yaklaşım yöntemi kullanılarak egzoz gazındaki atık ısıdan faydalanarak kayış marj jeneratörü vasıtası ile kinetik enerji geri kazanımı yapılmıştır. Sistemdeki analizlerde bir termoelektrik jeneratör ve turbo jeneratör kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; (600 Nm ve 1200 rpm) ve 4 kWh' ye kadar elektrik enerjisi üretildiği hesaplanmıştır. Sistemde %7,5 yakıttan tasarruf edilebildiği görülmüştür (Hervas-Blasco ve diğ. (2017).

Egzoz gazı ile atılan ısıdan termoelektrik jeneratörler vasıtası ile elektrik enerjisi üretmek maksadı ile ısı eşanjörü tasarlanıp katı modellemesi yapılmıştır. Isı eşanjörü içerisine farklı kanat sayılarındaki elektrik üretim potansiyellerini kıyaslamak için sırası ile 12,14,16 ve 18 adet kanatçık eklenmiştir. Farklı kanat sayılarına sahip ısı eşanjörleri ANSYS Fluent programında analiz edilerek ısı dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Yapılan tasarımda gövdeye giren egzoz gazı sıcaklığı 250 °C olarak alınmıştır. Farklı kanat tasarımlarındaki ısı eşanjörlerinin yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri 223 °C- 229 °C arasında ölçülmüştür.

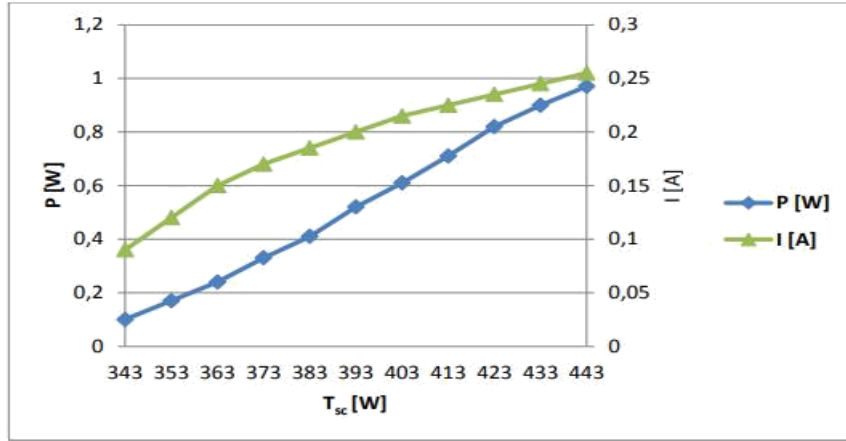


**Şekil 1.** a) 12 kanatçıklı, b) 14 kanatçıklı, c) 16 kanatçıklı, d) 18 kanatçıklı eşanjör sistemi kesit görünümleri

Egzoz gazı ile atılan ısı kullanılarak elektrik enerjisi üretme kapasitesi üzerine araştırma yapılmıştır. Isıdan elektrik enerjisi üretmek için termoelektrik jeneratörler kullanılmıştır. 4 adet termoelektrik jeneratör kullanılarak 3500 d/d' da 3,56 V potansiyel farkı ve 0,39 A akım elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 72 adet termoelektrik jeneratör kullanılarak 12 V 40 Ah' lik bir bataryanın şarj edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2. Egzoza bağlanmış deney düzeneği



Grafik 1. T<sub>sc</sub> sıcaklığına bağlı güç ve akım değişimi (3500 d/d)

Isınma yöntemi olarak kullanılan sobaların borularından atılan ısıdan termoelektrik jeneratörler kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi için bir düzenek kurulmuştur. Termoelektrik jeneratörün bir yüzeyi soba borusuna bağlanıp sıcak yüzey oluşturulmuştur, diğer yüzey üzerinde soğutma suyu geçirilerek soğuk yüzey oluşturulmuştur. Arada oluşacak sıcaklık farkı ile termoelektrik jeneratörler vasıtası ile elektrik enerjisi üretmek hedeflenmektedir. Sistemden geçen akışkanların debileri yükseldikçe gerilim değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Soğutma suyunun hızı arttıkça üretilen elektrik enerjisinin akım ve voltaj değerleri orantısal olarak artmıştır. Yapılan deney sonucunda gerilim değerlerinin 5,11 V ile 8,69 V aralığında değişiklik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Debi değeri 0,083 lt/s olduğunda 1,45' lik Amper ve 8,69 V gerilim elde edilmiş olup elde edilen maksimum performans olarak değerlendirilmiştir.



**Şekil 3.** Test sisteminin hazır hale getirilmesi

Bir dizel motorun egzozundan atılan ısıdan elektrik enerjisi üretmek maksadı ile termoelektrik jeneratörler kullanılmış olup termoelektrik jeneratörlerin çalışma prensiplerine uygun olacak şekilde prototip geliştirilmiştir. Termoelektrik jeneratörlerinin soğuk yüzeyi için harici kurulan bir soğutma sistemi kullanılmıştır. Yapılan deney sonucunda; dizel makina  $3500 \text{ dak}^{-1}$  devir ve  $100 \text{ Nm}$  yükte çalıştırılmış olup, termoelektrik jeneratörlerin ürettiği maksimum elektriksel çıkış gücü  $156,7$

**Tablo 1.** TEJ sisteminde üretilen akım ve voltaj miktarları

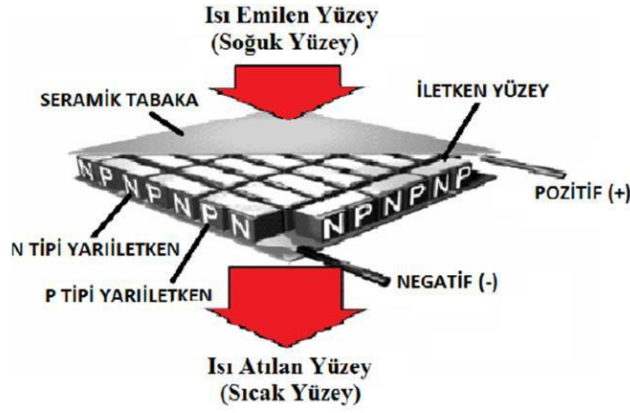
Motor Devri ( $\text{dak}^{-1}$ )	Motor Yüğü (Nm)	Akım (A)	Voltaj(V)
1500	75	0,73	14,6
	100	0,74	15
2000	75	0,95	21,06
	100	1,15	26,9
2500	75	1,29	31,2
	100	1,42	34,4
3000	75	1,96	48,66
	100	2,18	55,3
3500	75	2,38	63
	100	2,4	65,3

### 3. Termoelektrik

#### 3.1. Termoelektrik Jeneratörler

Termoelektrik, elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin birbirine dönüşümüdür. Bir termoelektrik modül N ve P tipi yarıiletken malzemeden üretilmiştir. Bu termo elementler elektriksel olarak seri, termal olarak paralel bağlanarak farklı kapasite ve boyutlarda farklı amaç için kullanılabilir termoelektrik modül (Peltier) elde edilir. Termoelektrik modüller soğutma veya ısıtmanın yanından elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadırlar. Bunun için yüzeyler

arasında yeterli sıcaklık farkının oluşturulması önemlidir. Böylece Seebeck etkisinden dolayı Peltier DC gç kaynağı görevi görür.



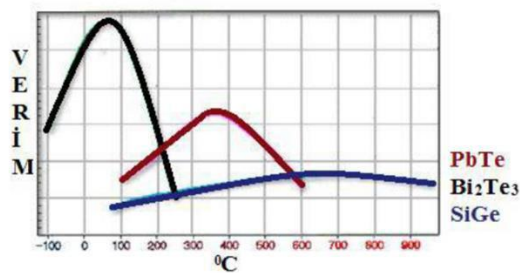
Şekil 4. Termoelektrik modül yapı ve elemanları

Tüm termoelektrik modül sistemlerinin ana yapı taşını oluşturan termoelektrik elemanlar bir DC gerilim kaynağından beslenmektedir. Sıcak ve soğuk yüzeyler arasında yüksek katkılı yarı-iletken malzemenin sıkıştırılması ile üretilmektedir. En yaygın olarak kullanılan yarı-iletken malzeme Bizmut-Tellürit' tir ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ). Fakat gereken bazı diğer uygulamalarda Silisyum-Germanyum ( $\text{SiGe}$ ), Bizmut-Antimon ( $\text{BiSb}$ ) ve ya KurŐun-Tellürit ( $\text{PbTe}$ ) alaşımlarından faydalanılmaktadır. Bizmut-Tellürit modülü uygun sıcaklık aralığında bulunması ve yüksek termoelektrik verimine sahip olması nedeni ile tercih edilmektedir.

Termoelektrik Modüllerden (TEM) elektriksel g elde edilmesinde, TEM'lerin avantajları:

- Hareketli parça yok,
- Yapıları basit,
- Bakım gerekmez,
- Uzun mrl,
- Doğrudan elektrik enerjisi üretebilmeleri,
- alışmalarının sessiz olması,
- Güvenilir olmaları,
- Kararlı bir Şekilde alışmaları.

En büyük dezavantajı, verimlerinin (%5 - 10) düŐük olmasıdır.



**Grafik 2.** Yarı iletken malzemelerin verim – sıcaklık değerleri

**3.2. Termoelektrik Jeneratörlerde Kullanılan Modülünün Malzeme Özellikleri**

Yapılan çalışmada, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> yarı iletken malzemeye sahip TEJ modülü olan TGM199-1.4-2.0 modülü kullanılmıştır.

TGM199-1.4-2.0 modülünün ölçülen maksimum parametre özellikleri;

$$I_{\max} = 2,65 \text{ A}$$

$$V_{\max} = 11 \text{ V}$$

$$\eta_{\max} = \%5,3$$

$$W_{\max} = 7,3 \text{ W}$$

ve malzeme özellikleri;

$$\alpha^* = 162,8 \text{ } \mu\text{V/K}$$

$$k^* = 0,015 \text{ W/cmK}$$

$$\rho^* = 1,024 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm olarak alınmıştır. (Lee 2017).}$$

$\alpha^*$  etkin Seebeck katsayısı,  $k^*$  etkin ısı iletim katsayısı ve  $\rho^*$  etkin elektriksel öz dirençtir.

$I_{\max}$  maksimum akım,  $V_{\max}$  maksimum voltaj,  $\eta_{\max}$  maksimum verim ve  $W_{\max}$  maksimum güçtür.

Modülü geometri özellikleri,

$$A_e = 1,96 \text{ mm}^2,$$

$$L = 2 \text{ mm}$$

$n = 199$  şeklindedir.

$A_e$  - bir elementin kesit alanı,

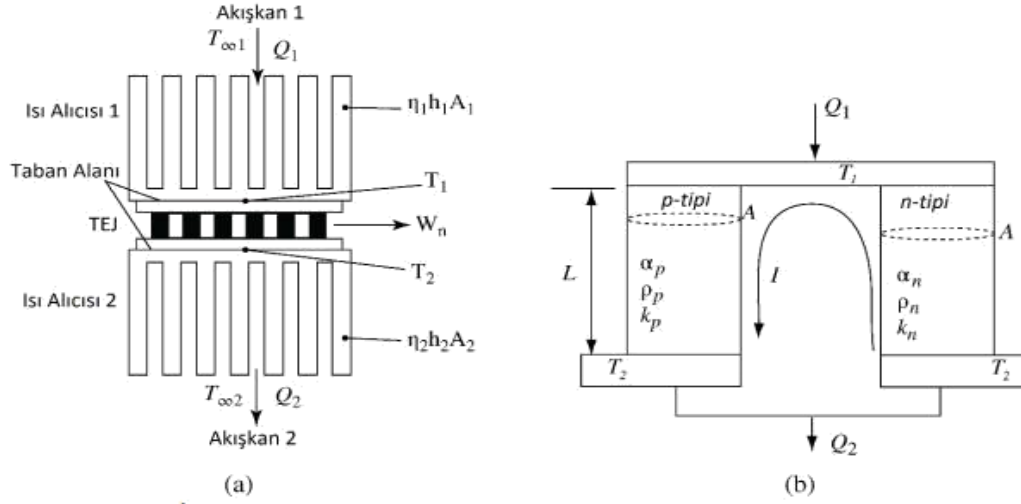
$L$  - bir elementin bacak uzunluğu,

$n$  - ısı çift sayısıdır.

**3.3. Seçilen Termoelektrik Jeneratörler Modülü İçin En Etkin Tasarım**

Şekil 5 'te gösterildiği üzere, iki adet düz kanatçıklı yapıya sahip olan TEJ modülü yüzeyinde kararlı şekilde ısı transferi olacağını düşünebiliriz. Her bir levha  $T_\infty$  sıcaklığındaki akışkan akışı ile temas halindedir. 1. Alt indis sıcak, 2. Alt indis soğuk sıcaklıkları belirtmektedir. TEJ'in iyi bir şekilde izole edildiğini, TEJ'in termal ve elektriksel temasının direncinin önemsiz olduğunu ve malzemenin sıcaklığından bağımsız olduğunu varsayarak hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 5 'te görüldüğü gibi her

bir TEJ’de aynı boyutlarda p-tipi ve n-tipi termo elementlerden oluşmaktadır. Düz levha tipi kanatçıklı yapıların (1) ısıl direncinin, taşınım iletkenliği  $\eta_1 h_1 A_1$ 'e karşılık gelen değer ile ifade edilebileceği belirtilmektedir.  $\eta_1$  kanat yüzey verimini,  $h_1$  taşınım katsayısını ve  $A_1$  düz levha tipi kanatçıklı yapının toplam yüzey alanını belirtmektedir. Bundan sonra ısı direncinden ziyade taşınım iletkenliğini kullanıyoruz (Lee 2017).



Şekil 5. (a) İki kanatçıklı yapıya sahip termoelektrik jeneratör modülü (TEJ) ve (b) ısıl çift (Lee, 2017)

#### 4. MODEL ALINAN GEMİ

Amerika – Avrupa seyri yapan bir kimyasal tanker gemisinin 9 günlük makine dairesi seyir defteri kayıtları referans alınmıştır.

Model gemi Bilbao (ESP) – Bayonne (USA) limanları arasında seyir yapmıştır.

9 gün süren seyir sırasında makine dairesi seyir defterine göre egzoz manifold’a atılan gazın sıcaklıkları Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Referans alınan geminin 3 günlük egzoz çıkış sıcaklık değerleri

		Egzoz Sıcaklıkları							Egzoz Sıcaklıkları				
	Zaman	1	2	3	4	5		Zaman	1	2	3	4	5
	Dilimi							Dilimi					
1.gün	12.00 - 16.00	380	380	350	300	330		12.00 - 16.00	360	380	360	340	330
	16.00 - 20.00	375	380	340	300	335		16.00 - 20.00	365	335	355	375	360
	20.00 - 00.00	385	385	350	300	330		20.00 - 00.00	360	375	360	340	370
	00.00 - 04.00	380	380	350	300	330		00.00 - 04.00	350	370	360	330	350
2.gün													



	04.00 - 08.00	375	380	350	300	330		04.00 - 08.00	345	360	350	330	360
	08.00 - 12.00	385	385	350	300	335		08.00 - 12.00	350	360	350	320	355
		<b>Egzoz Sıcaklıkları</b>											
<b>3.gün</b>	<b>Zaman</b>												
	<b>Dilimi</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>							
	12.00 - 16.00	385	380	350	300	350							
	16.00 - 20.00	380	375	345	300	340							
	20.00 - 00.00	380	380	350	300	340							
	00.00 - 04.00	385	380	350	300	330							
	04.00 - 08.00	375	375	350	300	345							
	08.00 - 12.00	380	380	350	300	350							

Makine seyir defterinden alınan 3 günlük kayıtlardaki değerler kayıplar düşünülerek 300 °C olarak kabul edilip hesaplamalarda bu değer kullanılacaktır.

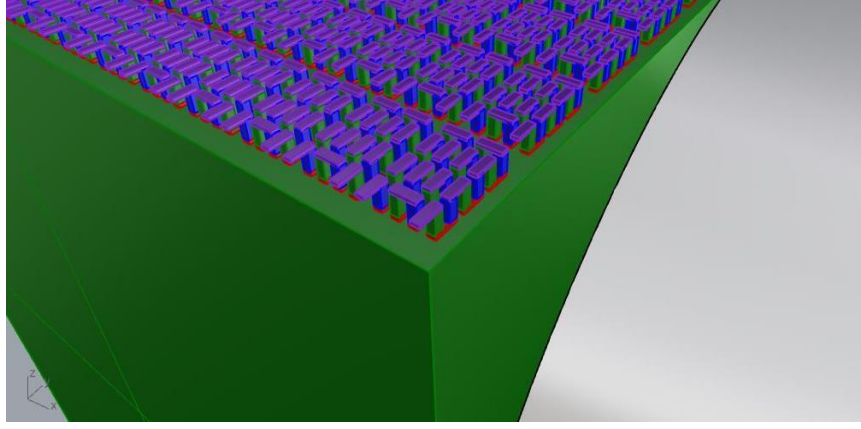
#### 4.1. CAD Modelinin Oluşturulması

5 silindirli, 4900 kW gücünde bir motorun çıkışındaki egzoz manifold borusu çapı 900 mm'dir, egzoz manifold borusu arasına 900\*900\*900 mm ölçülerinde bir dikdörtgen prizması eklenmiştir, prizmanın bir yüzeyine 12 modülden oluşan 240 adet termoelektrik jeneratör kümesi yerleştirilmiştir.

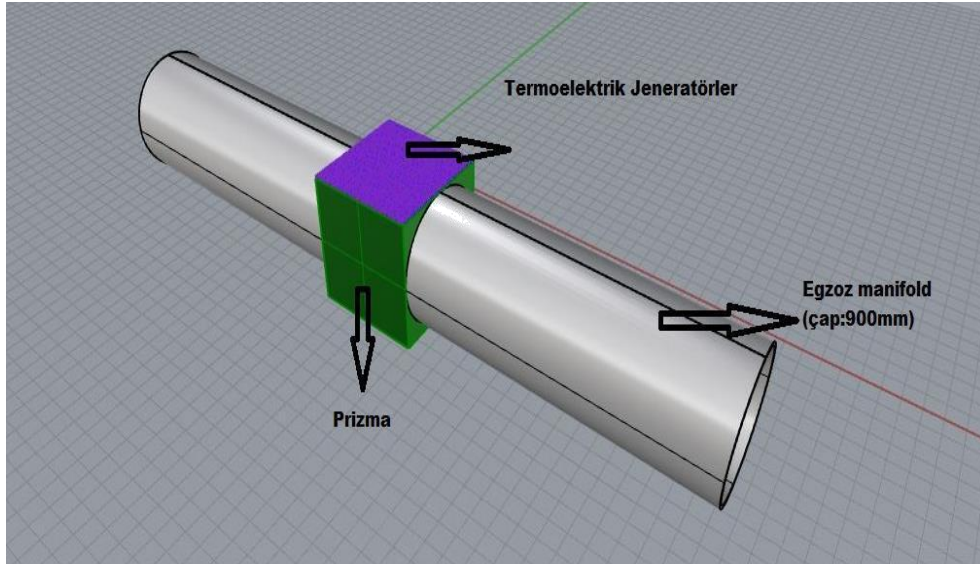


Şekil 6. Ana makine egzoz manifold – turbo inlet, outlet

Rhinoceros 3D CAD programında 900 mm çapındaki egzoz manifold borusu arasına prizma eklenmiş olup, prizma yüzeyine termoelektrik jeneratörler yerleştirilmiştir.



şekil 7. Egzoz manifold borusu – termoelektrik jeneratör tasarımı



şekil 8. Egzoz manifold borusu üzerindeki termoelektrik jeneratörler

## 4.2. ANSYS Workbench Çözümleme

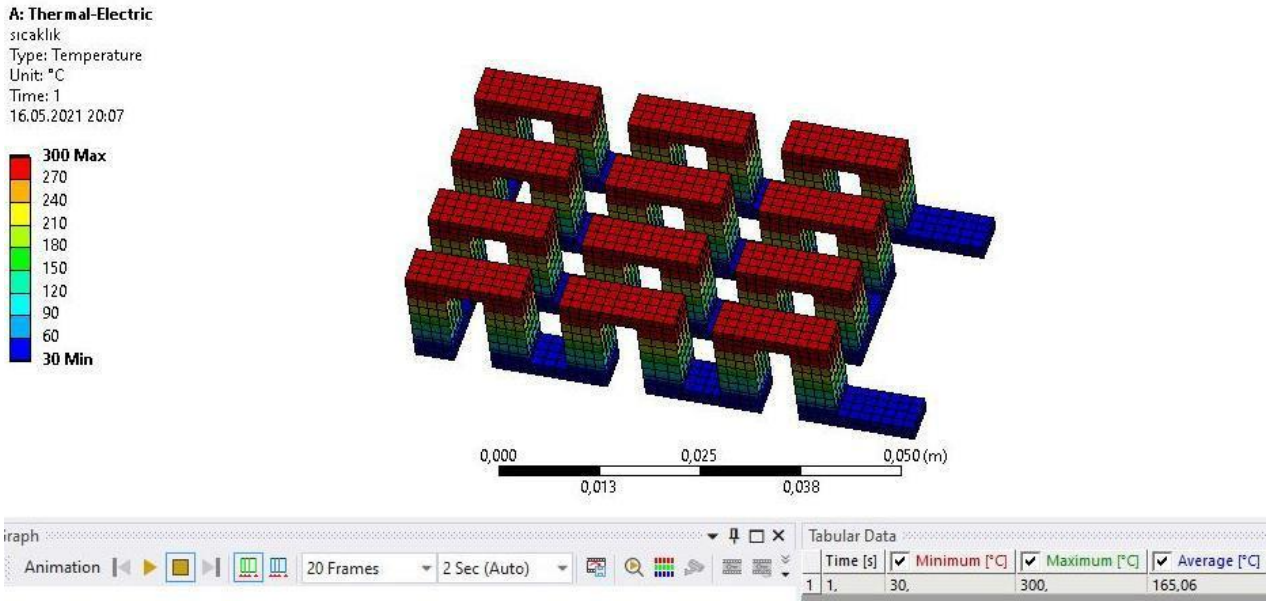
Termal-Elektrik için gerekli olan sınır koşulları; taşınım, radyasyon, en az bir sıcaklık veya ısı akısı gibi termal sınır koşulu ile en az bir gerilim veya akım gibi elektriksel sınır koşuludur. Bu sınır koşulları TEJ modülü TGM-199-1.4-2.0'nin sıcak yüzeyi 300°C ve soğuk yüzeyi 30°C' olarak alınmıştır.

N yarı iletken tarafında bulunan bakır iletkenin ön yüzüne 0 V değerinde elektriksel gerilim verilmiştir. Böylece oluşacak maksimum gerilim P yarı iletkenine bağlı olarak bakırın ön yüzündeki prob vasıtası ile ölçülebilmektedir. Modülün verim hesabının yapılabilmesi için sıcak yüzeyde oluşan ısı transfer miktarının bilinmesi gerekmektedir.

## 4.3. Termal – Elektrik Simülasyonu

### 4.3.1. Termal – Elektrik (Sıcaklık Dağılımı)

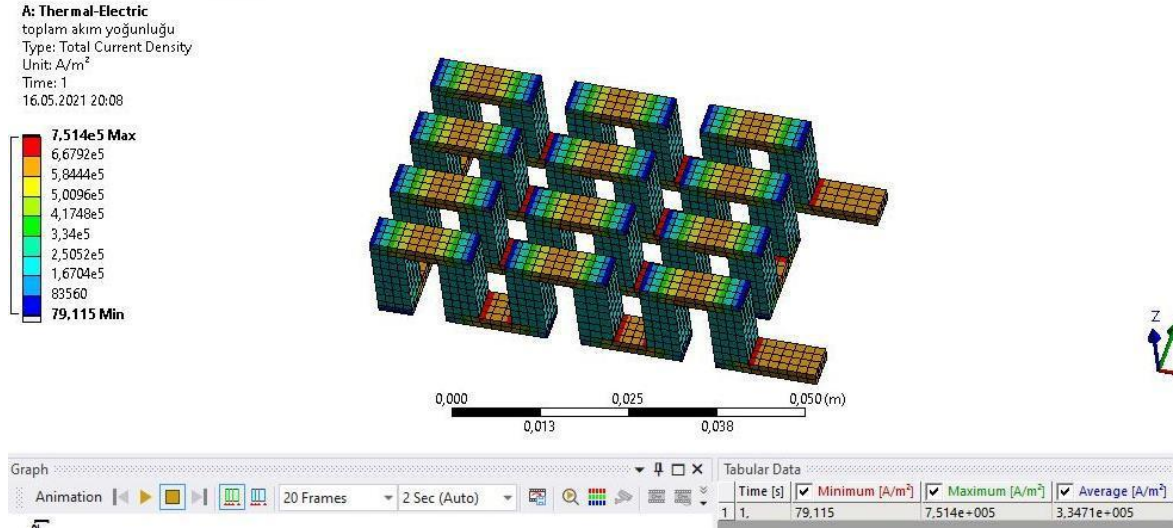
Belirtilen sınır koşullarına göre elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 9' da verilmiştir.



Şekil 9. TEJ modülü sıcaklık dağılımı

### 4.3.2. Termal – Elektrik (Akım Yoğunluğu)

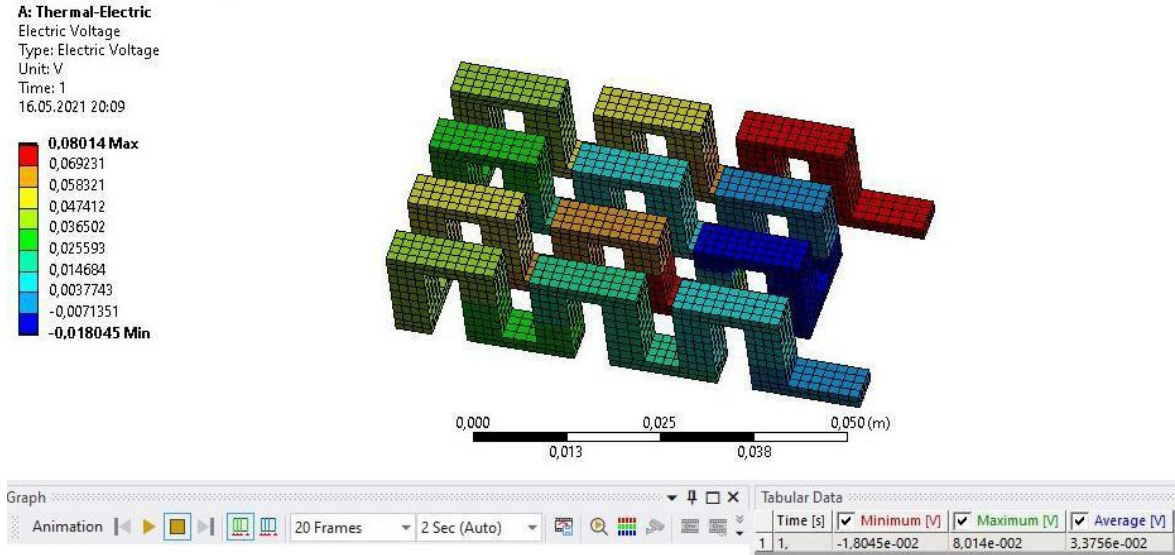
Toplam akım yoğunluğu Şekil 10’ da verilmiştir.



Şekil 10. TEJ modülü akım yoğunluğu dağılımı

### 4.3.3. Termal – Elektrik (Elektrik Voltaj)

Elektrik voltaj dağılımı Şekil 11’ de verilmiştir.



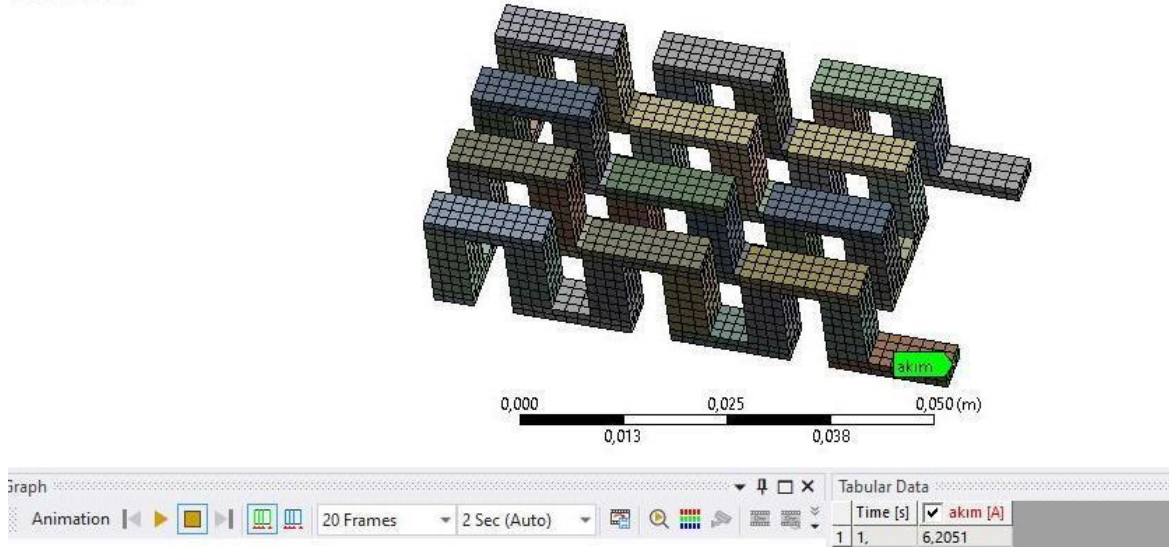
Şekil 11. TEJ modülü elektrik gerilim dağılımı

### 4.3.4. Termal – Elektrik (Akım)

Elektrik gerilim dağılımı Şekil 12’ de verilmiştir.



A: Thermal-Electric  
akım  
16.05.2021 20:10

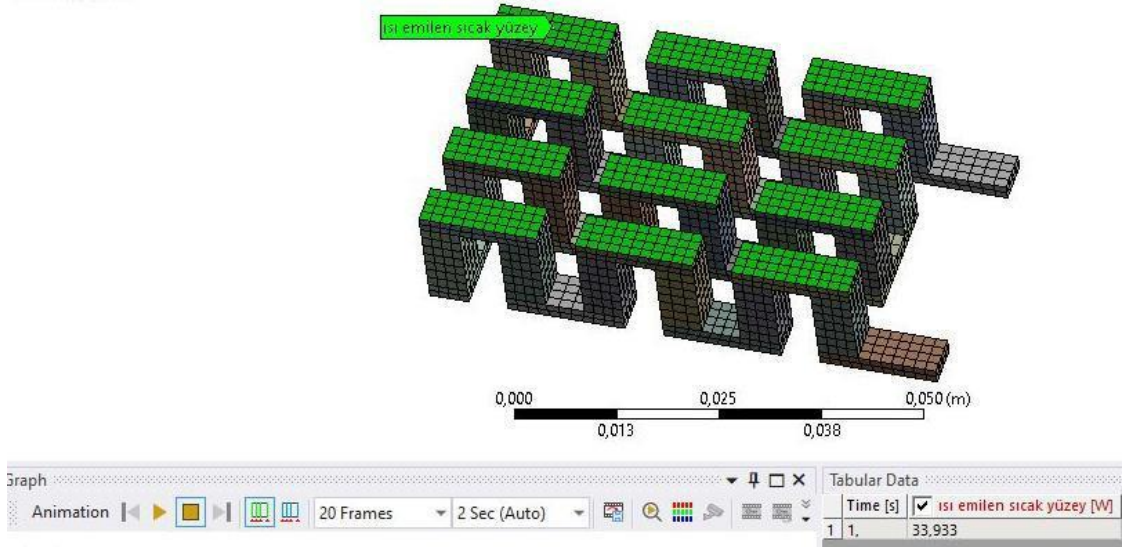


Şekil 12. TEJ modülü akım

#### 4.3.5. Termal – Elektrik (Güç)

Elde edilen güç (W) Şekil 13' te verilmiştir

A: Thermal-Electric  
ısı emilen sıcak yüzey  
16.05.2021 20:10



Şekil 13. TEJ modülü güç

## 5. SONUÇ

ANSYS Workbench Termal-Elektrik analizinde 12 modüllük bir TEJ kümesinin çıkan değerleri Tablo 3' te verilmiştir.

**Tablo 3.** 12 modüllü kümenin Ansys Workbench Termal-Elektrik analiz sonuçları

Değer	V/s	I(A)/s	P(W)/s
Termal-Elektrik	0,037	6,2	0,229

Yapılan tasarımda toplam 240 adet 12 modüllü TEJ bulunmaktadır, yapılan tek 12 modüllü analizinden yola çıkarsak, model prizma tek yüzey üzerindeki 240 TEJ modülü ile toplamda saatte 198,2 kW güç elde edilebileceği görülmektedir. Prizmanın dört yüzeyine de TEJ modül eklemesi yapıldığında saatte 792,8 kW güç elde edilebilir. Farklı geometrilerde tasarlanacak katı modeller temas yüzeyini artırarak çıkacak sonuç yükseltilebilir. Gemi ana makine gücünün %16,17 'sini oluşturmakta olup gemi sevk verimi %16,17 iyileştirilebilmektedir.

### Kaynakça

- Akman, S. (2017), Pistonlu Kompresörlerde Enerji Verimliliği ve İşletme Maliyetlerinin Düşürülmesi. Maltepe Üniversitesi, İstanbul.
- Asal, Ö. ve Özkaymak, M. ve 2014). Atık Baca Gazı Kullanımı ile Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının Deneysel İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 259-298,
- Aydın, A. (2014), Türkiye'de Depo Gazından Enerji Yönetimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baysal, R. (2008). Akıllı Binalarda Enerji Yönetimi ve Kontrolü. Süleyman Demirel Üniversite. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bozkurt, Y. ve Şahin, M. (2015). Gemilerde Kaynaklı Yapılarda Isı Yalıtımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
- Çalışır, O. (2014), Termoelektrik Jeneratörlerde Atık Isı Kullanımına Bir Uygulama: PEM Yakıt Pili Atık Isının Değerlendirilmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Çolpan, Ö. ve Konur, O. ve Pamık, M. (2017). Liman Sahasındaki Gemilerde Organik Rankine Çevriminin Yakıt Kazancı ve Egzoz Salımına Etkisi. III. Ulusal Liman Kongresi.
- Değirmen, M. ve Uzun, A. (2018). Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*.
- Demir, A. ve Güngör, H. (2016). Asansörlerde Enerji Verimliliği ve Rejeneratif Frenlenme Enerjisinin Geri Kazanımı. Asansör Sempozyumu, (121-130), İzmir.
- Ege, U. (2010). Gemilerde Enerji Kalitesinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Efecan, V. ve Gürgen, E. (2019). Gemilerin Sevk/Tahrik Sistemlerinde Kullanılabilecek Alternatif Enerji Kaynakları ve Güncel Yaklaşımlar. 8. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri , (23-35), Niğde
- Fakıoğlu, H. ve Sarıca, A. (2018). Trol Gemilerinde Ana Makine Yakıt Tüketiminin Optimizasyonu ve CO2 Emisyonlarının Azaltılması. *Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi*, 116-127.
- Gürcan, A. (2019). Farklı Boyutlarda Termoelektrik Jeneratörlerin Kullanılarak Egzoz Isı Enerjisinin Geri Kazanımı. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Güneş, Ü. (2013). Gemilerde Atık Isı Kazanım Yöntemlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hüsman, E. (2017). Gemilerde Enerji Verimliliğinin İzlenmesi ve Raporlanması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kandemir, P. (2019), Çok Amaçlı Enerji Kullanımının Analizi ve Uygulanması. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Bursa.
- Karaman, Ö.U. (2011). Gemilerde Enerji Etkin Makine Dairesi Havalandırması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, A.Y. (2019). Gemilerde Enerji Verimliliği Sağlayan Yöntemlerin Uygulanmasına İlişkin Türk Donatan İşletmelerinin Karar Verme Süreçlerinin Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir
- Kaya, A. Y. – Erginer, E.K. (2017). Gemilerde Enerji Verimliliğini Sağlamak ve Sera Gazı Salımlarını Azaltmaya Yönelik Uygulamalar. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 212-233.

- Kaya, D. ve Sapmaz, S. (2017). Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 23-36.
- Keskin, F. (2014). Yakıt Pili-Bataryalı Hibrid Bir Elektrikli Araçta Enerji Yönetiminin Sağlanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kıral, G. E. (2014), Akıllı Şebekelerde Enerji Yönetimi İçin Akıllı Priz Geliştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kırçık, Y. (2020), Rüzgar ve Akıntı Enerjisinden Oluşan Hibrit Güç Üretim Sisteminde Akıllı Enerji Yönetimi. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Kıyılmaz, M. B. (2019). Sanayide Enerji yönetimi Esasları ve Verimliliğin Araştırılması. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Kuleyin, B. ve Tezcan, Ö. (2017). Avrupa Limanlarında Enerji Verimliliği Uygulamaları: Bir Doküman Analizi. III. Ulusal Liman Kongresi.
- Kunt, M. A. (2016). İçten Yanmalı Motor Atık Isılarının Geri Kazanımında Termoelektrik Jeneratörlerin Kullanımı. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 192-203, Kütahya.
- Kryotherm Katalog. (2018), Erişim adresi: <http://kryothermtec.com/catalogs.html>, (2018).
- Meral, M. A. ve Teke, A. (2009). Elektrik Tesislerinde Enerji Verimliliği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31-37.
- Oktay, Z. Ve Söğüt, Z. (2006). Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 151-162.
- Ökmen, A. B. (2020). İçten Yanmalı Motorun Egzoz Atık Isı Geri Kazanımı İçin Termoelektrik Jeneratörün Had Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Özbakır, P. (2006). Enerji Yönetimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgün, Ö. ve Togöz, N. (2019). Atık Isı Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 57-72.
- Topalcı, Ü. (2017). Taşıt Egzoz Atık Isı Enerjisinden Elektrik Enerjisinin Üretilmesi İçin Termoelektrik Jeneratörlerin Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.



Urul, B. (2012). Hibrit Sistemlerde Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Yiğit, K. (2018). Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 5-18.

Yumurtacı, Z. ve Sarıgül, A. (2011). Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları. *MMO Dergisi*, 49-58.