

Issız Bölgelerin Enerji Üretiminde Değerlendirilmesine Yeni Bir Yaklaşım: Cıvalı Kombine Güç Çevrimi

Ahmet ELBİR^{1*}, İbrahim ÜÇGÜL²

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8934-7665), ahmetelbir@sdu.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9794-0653), ibrahimucgul@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13.03.2023 ve Kabul Tarihi 10.07.2023)

(DOI: 10.35354/tbed.1264531)

ATIF/REFERENCE: Elbir, A., Üçgül, İ., (2023). Issız Bölgelerin Enerji Üretiminde Değerlendirilmesine Yeni Bir Yaklaşım: Cıvalı Kombine Güç Çevrimi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13 (2), 15-19.

Öz

Bu çalışmada kombine güç üretim sistemleri olarak, termal ısı iletkenliği yüksek olan Hg (Cıva), çalışma akışkanı olarak seçilmiş ve alt çevrimlerde sırasıyla R744 (S-CO₂ Süper kritik Karbondioksit) ve NH₃ (Amonyak) akışkanlı iki ayrı çevrimde ilave olarak kullanılarak yüksek verimli bir 'Cıvalı Kombine Güç Çevrim' sistemi tasarlanmıştır. Önerilen kombine güç sisteminde ısı değiştiricilerinde ısı geçişleri eşit, pompa, kompresör ve türbinler izentropik olarak kabul değerlendirilmiştir. Termodinamik hesaplamalar EES (Engineering Equation Solver) programı ile yapılmıştır.

Yaşam alanları ve tarımsal alanlardan uzak bölgelerinde kullanılacak kombine güç sistemini tasarımı için sistemler tek başına ayrı olarak çalıştığında ısı verimleri, Cıvalı çevrimde %40, R744 çevrimde %13.30 ve NH₃' lü çevriminde ise %10.5 olarak hesaplanmıştır. Kombine güç çevrimi toplam verimi ise %54.2 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak yüksek verimli cıvalı kombine güç çevrimlerin kayalıklar, çöl, dağ ve ıssız ada gibi yerleşim yerlerinden ve tarımsal alanlardan uzak bölgelerin enerji üretimi için uygun olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kombine güç çevrimi, Hg çevrimi, R744 çevrimi, NH₃ çevrimi, Termodinamik analiz.

A New Approach to the Evaluation of Desolate Areas for Energy Production: Mercury Combined Power Cycle

Abstract

In this study, as combined power generation systems, Hg (Mercury), which has high thermal conductivity, was chosen as the working fluid and in the lower cycles, R744 (S-CO₂ Supercritical Carbon Dioxide) and NH₃ (Ammonia) fluids were used additionally in two separate cycles, respectively, to produce a high efficiency. The 'Mercury Combined Power Cycle' system has been designed. In the proposed combined power system, the heat transfers in the heat exchangers are considered equal, and the pump, compressor and turbines are considered isentropic. Thermodynamic calculations were made with the EES (Engineering Equation Solver) program.

For the design of the combined power system to be used in areas far from living areas and agricultural areas, thermal efficiencies were calculated as 40% in the Mercury cycle, 13.30% in the R744 cycle and 10.5% in the NH₃ cycle when the systems operate separately. The combined power cycle total efficiency was found to be 54.2%. As a result, it has been revealed that high efficiency mercury combined power cycles are suitable for power generation in regions far from settlements and agricultural areas such as cliffs, desert, mountain and desert island.

Keywords: Combined power cycle, Hg cycle, R744 cycle, NH₃ cycle, Thermodynamic analysis,

1. Giriş

Enerji ihtiyacının giderek arttığı günümüzde, enerji üretimi için geliştirilen çözümler yaşam alanlarının ve özellikle tarımsal alanların sürdürülebilirliğini tehdit eder duruma gelmiştir. Enerji üretimi için bulunan yenilenebilir enerji çözümleri yüksek arazi ihtiyaçlar göstererek yaşam alanlarına ve tarımsal alanlara yayılmıştır. Oysa dünya üzerinde tarıma ve yerleşime uygun olmayan kayalık ve kurak yerler, çöl, dağ ile ıssız adalar gibi yerleşim yerlerinden uzak bölgeler büyük çaplı enerji üretimine en uygun bölgelerdir. Bu bölgelerde Yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi sistemleri (Güneş Kuleleri), biyokütle ve atık yakma sistemleri ve benzeri sistemlerle ısı güç çevre sorunlarına yol açmadan üretilebilir. Büyük çaplı ısı güç üretiminden sonra bu ısı gücün yüksek verimlilikle elektrik enerjisine dönüştürülmesi büyük önem arz eder. Yüksek verimlilikle güç üretimi için kombine çevrimler büyük bir öneme sahiptir.

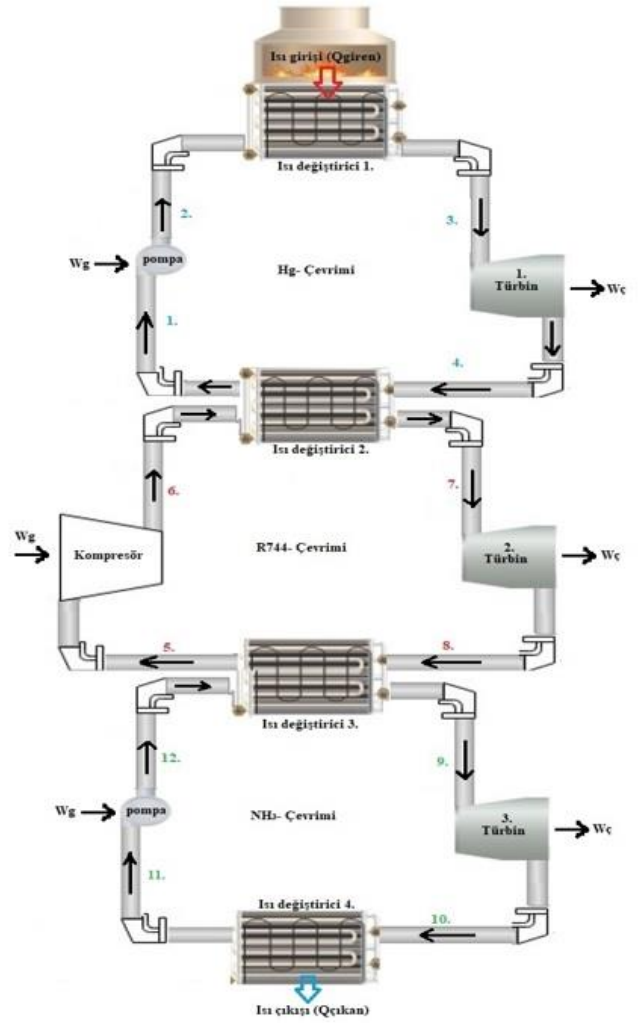
Literatürdeki bazı çalışmalar: Organik Rankine çevrimini (ORC), CO₂ entegre edilmiş ve güneş enerjisiyle çalışan bir çoklu üretim sistemine tasarımını ve termodinamik analizi yapılmıştır [1]. Sistem, biyokütle kaynaklı bir yanma odası, tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi, bir klima ünitesi, bir yeniden ısıtma buharı Rankine döngüsü, bir organik Rankine döngüsü ve bir elektrolizörden oluşturmuşlar ve termodinamik hesaplamalarını yapmışlardır [2]. Atık ısı geri kazanımı stratejisiyle birleştiğinde, sistem enerji dönüştürme verimliliği daha da artabileceğini söylemişlerdir [3]. Çalışmalarında süperkritik bir CO₂ yeniden sıkıştırma Brayton çevrimi ve bir transkritik CO₂'den oluşan yeni bir kombine çevrim tasarlamışlardır ve termodinamik analiz yapmışlardır [4]. Çalışmalarında sıvı sistemde verimliliği en üst düzeyde olarak tasarlanmış ve başlıca çalışma akışkanı olarak seçmişlerdir. Alt çevrim olarak buhar çevrimi ve organik rankine çevrimi ayrı ayrı kullanılmış ve maksimum verimlilik koşulunda enerji analizleri yapmışlardır [5].

Bu çalışmada, kombine sistem verimliliği en üst düzeyde olarak tasarlanmıştır. Cıvayı çalışma akışkanı olarak kullanılan sisteme entegre edilen alt çevrimlerle kombine sistem oluşturulmuştur. Cıvalı çevrime alt çevrim olarak doğal akışkanlardan biri karbondioksit ve ardından oluşturulan sistemde amonyak kullanılmıştır. Bu çalışmada ıssız alanlarda güçlü ısı verimliliği olan cıva ile kombine güç sağlamaya yarayan alt çevrimlerde kolay ve ekonomik bulunma özelliğine sahip amonyak ve karbondioksit kullanılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sistem Tanımı

Tasarlanan kombine güç sisteminin, akış yönleri ve akışkan konumları ile şekil 1. de Hg-R744-NH₃ kombine güç sistem tasarımı üzerinde görülmektedir.



Şekil 1. Hg-R744-NH₃ kombine güç sistem tasarımı

Şekil 1. deki çevrimlerde 1., 2., 3., ve 4. durumlar cıva (Hg) akışkan çevriminin bir ısı kaynağı ile desteklendiği sistem görülmektedir. 5., 6., 7., ve 8. durumları (süperkritik karbondioksit) S-CO₂ çevrimini oluşturmaktadır. 9., 10., 11., ve 12. Durumlar ise NH₃ akışkan çevriminin çalışma sistemini göstermektedir. Sisteme giren ısı Q_g (güneş, jeotermal, bio-gaz, bio-kütle gibi ısının alındığı yüksek sıcaklık sağlayan enerji kaynağı) ısı kaynağını, sistemden çekilen ısı Q_c (atmosfer, deniz, göl, akarsu, soğutucu kaynak gibi) çıkışını sağlamak için kullanılan sistemi temsil etmektedir.

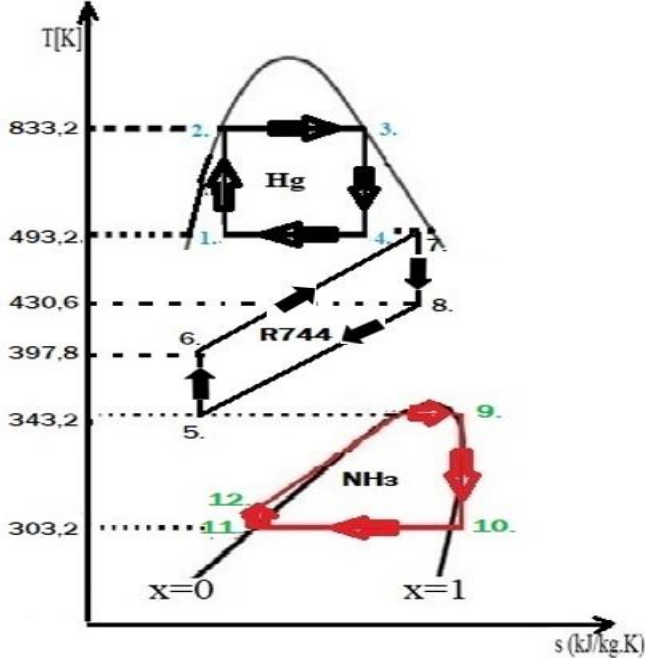
Sistem içinde dolaşan Hg iş akışkanı ısı kaynağından aldığı ısı ile 3. Durumundan çıkararak türbine giriş yapar. 4. Durumunda sabit entropide türbinden çıkan akışkan yoğunlaştırıcı da ısısını R744 akışkanı ile olan S-CO₂ çevrimine ısı geçişini sağlar. 1. durumdaki sıvı-buhar fazına gelen Hg sabit entropi de pompayla 2. Durumuna getirilir, sıkıştırılmış ve sıcaklığı artmış akışkan Hg çevrimi sürecini tamamlar.

Hg-R744, Hg çevrimden alt çevrim S-CO₂ çevrimine aktarılan ısı, 7. durumunda türbinine girer. Sabit entropide türbinden 8. Durumunda çıkan R744, yoğunlaşma işleminden 3. Numaralı ısı değiştiricisinden geçerek ısısını NH₃ çevrimine aktararak soğuma işlemini yapar. 5. Durumunda çıkar ve ardından sabit entropide kompresöre girer, ardından basıncı ve sıcaklığı artırılarak 6. durumunda çıkar. Ardından 2. numaralı ısı değiştiricisine girer ve Hg çevriminden çıkan ısıyla sıcaklığını artırarak çevrimi tamamlar.

R744-NH₃, S-CO₂ çevrimden alt çevrime ısı değiştirici 3. ile aktarılan ısı üst çevrim S-CO₂ den aldığı ısı ile 9. durumunda doymuş buhar olarak çıkar. Doymuş buhar durumundaki akışkan sabit entropide türbinden geçer. 10. durumda sıcaklığı sabit entropide düşmüş şekilde çıkar. 4. Isı değiştirici den geçen akışkan 11. durumunda doymuş sıvı olarak çıkar ve pompaya girer. 12.durumunda sabit entropide basıncı arttırılmış akışkan tekrar 3. Isı değiştiricisine geçer ve R744 sistemden ısı alarak çevrimi tamamlar.

2.2. Kombine Güç Çevrimi ve Analizi

Şekil 2. de sıcaklık/entalpi diyagramında kombine sistemdeki akışkanlar için çalışma yönü, süreçleri ve sıcaklıklar verilmiştir.



Şekil 2. Kombine güç çevrimi için sıcaklık/entalpi diyagramında akışkanlar için çalışma yönü, süreçleri ve sıcaklıklar verilmiştir.

Buna göre çevrim süreçleri:

- (1-2): cıva sıkıştırma izentropik (pompa) (Hg)
- (2-3): cıva izobarik ısı girişi (evaporatör) (Hg)
- (3-4): cıva genleşme izentropik (türbin) (Hg)
- (4-1): cıva izobarik ısı çıkışı (kondanser) (Hg)
- (5-6): izentropik sıkıştırma (kompresör) (R744)
- (6-7): izobarik ısı girişi (evaporatör) (R744)
- (7-8): genleşme izentropik (türbin) (R744)
- (8-5): izobarik ısı çıkışı (kondanser) (R744)
- (9-10): genleşme izentropik (türbin) (NH₃)
- (10-11): izobarik ısı çıkışı (kondanser) (NH₃)
- (11-12): izentropik sıkıştırma (pompa) (NH₃)

(9-12): izobarik ısı girişi (evaporatör) (NH₃)

2.3. Kabuller ve sabit parametreler

-Tüm ısı değiştiricilerin de (kondanser, evaporatör) ısının tamamını ısı kaynaklarından kayıpsız olarak aktarılmıştır.

-Sistemdeki tüm bileşenlerde basınç hattı üzerindeki oluşabilecek basınç kayıpları ihmal edilmiştir.

-Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler dikkate değer değildir

-Türbin, pompa ve kompresör verimi izentropik durum (izentropik verim %100) olarak alınmıştır.

-Sistem bileşenlerindeki, boru hattı üzerindeki basınç düşüşleri ve ısı transferi süreci de ihmal edilmiştir.

-Sistem performansı sabit ve düzenli olarak kabul edilmiştir.

2.4. Termodinamik hesaplamalar

Kararlı hal durumunda, kütle dengesi denklemi aşağıdaki gibi verilebilir [6]:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (1)$$

Burada (1) denkleminde \dot{m} kütle akış hızıdır, g ve ζ indisleri sırasıyla giriş ve çıkış koşullarıdır. Enerji dengesi aşağıdaki denkleme verilir.

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_\zeta + \dot{W}_\zeta + \sum_\zeta \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (2)$$

Burada (2) denkleminde \dot{Q} ısı aktarım hızı, \dot{W} güç, h özgül entalpi, v hız, z yükseklik ve g yerçekimi ivmesidir.

Cıva (Hg) çevrim verimi (3) nolu denklem;

$$\eta_{Hg} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_g} = \frac{(\dot{W}_{türb.Hg} - \dot{W}_{pomp.Hg})}{\dot{Q}_{1.ısı\ değiş.}} \quad (3)$$

R744 çevrim verimi (4) nolu denklem,

$$\eta_{R744} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_g} = \frac{(\dot{W}_{türb.R744} - \dot{W}_{komp.R744})}{\dot{Q}_{2.ısı\ değiş.}} \quad (4)$$

NH₃ çevrim verimi (5) nolu denklem,

$$\eta_{NH3} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_g} = \frac{(\dot{W}_{türb.NH3} - \dot{W}_{pomp.NH3})}{\dot{Q}_{3.ısı\ değiş.}} \quad (5)$$

Kombine güç sisteminin (Hg-R744-NH₃) çevrim verimi (6) nolu denklem,

$$\eta_{Hg-R744-NH3} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_g} = \frac{(\dot{W}_{türb.Hg} - \dot{W}_{pomp.Hg}) + (\dot{W}_{türb.R744} - \dot{W}_{komp.R744}) + (\dot{W}_{türb.NH3} - \dot{W}_{pomp.NH3})}{\dot{Q}_{1.ısı\ değiştirici}} \quad (6)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 2. de kombine güç sisteminin her bir noktasının ait termodinamik özellikleri (sıcaklık, entropi, basınç, entalpi,

kuruluk noktası, sistemde kullanılan akışkan) EES ile hesaplanarak Tablo 1 de verilmektedir.

Tablo 1. Bileşik sistem için her bir noktanın termodinamik özellikleri.[7]-[8]

Konum	T [K]	s [kJ/kg.K]	P [bar]	h [kJ/kg]	x[kuruluk derecesi]	akışkan
1	493.2	0.5193	0.043	108.6	0.12	Hg
2	833.2	0.5193	15.9	119.9	0	Hg
3	833.2	0.8626	15.9	406	1	Hg
4	493.2	0.8626	0.043	277.9	0.68	Hg
5	343.2	-0.8565	80	-30.70	-	R744
6	397.8	-0.8565	150	0.8616	-	R744
7	493.2	-0.5569	150	133.2	-	R744
8	430.6	-0.5569	80	83.94	-	R744
9	343.2	4.841	33.16	1484	1	NH ₃
10	303.2	4.841	11.69	341.9	0.89	NH ₃
11	303.2	1.488	11.69	341.9	0	NH ₃
12	303.8	1.488	33.16	345.5	-	NH ₃
13	343.2	2.107	33.16	545.5	0	NH ₃

Tablo 2. de görüldüğü gibi bir kombine sistemde birincil güç üretim kaynağı kullanılan cıvalı sistemin ve ona bağlı R744 çevrimi ve NH₃ çevrimlerin bileşenlerinin üretilen güç, sistem

içinde basıncı arttırmak için gerekli olan güç, çevrimler içinde geçek akışkanların kütledebisi, ısı girişi çıkışları ve ısı verimleri ayrı ayrı sunulmuştur.

Tablo 2. Kütle ve enerji denklemlerinden elde edilen iş, ısı ve enerji verimi

$\dot{W}_{turb.Hg} = 2080$ kW	$\dot{W}_{turb.R744} = 1023$ kW	$\dot{W}_{turb.NH3} = 262.6$ kW
$\dot{W}_{pomp.Hg} = 183.5$ kW	$\dot{W}_{pomp.R744} = 657.4$ kW	$\dot{W}_{pomp.NH3} = 7.542$ kW
$\dot{m}_{Hg} = 16.24$ kg/s	$\dot{m}_{R744} = 20.78$ kg/s	$\dot{m}_{NH3} = 2.093$ kg/s
$\dot{Q}_{Hg.giren} = 4645$ kW	$\dot{Q}_{R744.giren} = 2749$ kW	$\dot{Q}_{NH3.giren} = 2383$ kW
$\dot{Q}_{Hg.çikan} = 2749$ kW	$\dot{Q}_{R744.çikan} = 2383$ kW	$\dot{Q}_{NH3.çikan} = 2128$ kW
$\eta_{Hg} = \%40$	$\eta_{R744} = \%13.3$	$\eta_{NH3} = \%10.5$

Tablo 2. de görüldüğü gibi bir kombine sistemde birincil güç üretim kaynağı kullanılan cıvalı sistem %40 ısı verimi, R744 lü sistem %13.3 ısı verimi, NH₃ lü sistem %10.5 lik bir ısı enerji verimi sağlamıştır. Toplam kombine güç sistem verimi ise %54.2 olarak elde edilmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışma, ısı verimliliği yüksek olan cıva ve alt çevrimlerin enerji analizini sunmaktadır:

Hazırlanan çalışmada, termal iletkenliği yüksek olan cıva biricil enerji üretim kaynağı olarak kullanılmıştır. Ardından bir S-CO₂ alt çevrimi ve S-CO₂ ye de amaonyaklı bir alt çevrim eklenerek birleştirilmiş bir güç çevriminin teorik enerji analiz sonuçları:

Cıvalı çevrim tek başına çalıştığında, 4645 kW 'lık ısı girişi ile 1896.5 kW net gücü, 16.24 kg/s kütledebisi ile %40 enerji verimi sağlamıştır. 2749 kW'lık çıkan enerji bir alt çevrime S-CO₂'li çevrime aktarılmıştır.

R744 çevrim tek başına çalıştığında, 2749 kW 'lık ısı girişi ile 365.6 kW net gücü, 20.8 kg/s kütledebisi ile %13.3 enerji verimi sağlayacaktır. 2383 kW'lık çıkan atık ısı bir alt çevrim olan NH₃ çevrimine ısı kazınımı olacaktır.

NH₃ çevrim tek başına çalıştığında, 2383 kW 'lık ısı girişi ile 255 kW net gücü, 2.093 kg/s kütledebisi ile %10.5 enerji verimi sağlayacaktır.

Kombine güç olarak cıva-karbondioksit-amonyak soğutucu gazları ile oluşan kombine çevrimin enerji verimi %54.2 dir.

Sonuçlar, cıvalı sisteme alt çevrimler eklenmesiyle daha verimli birleştirilmiş güç sistemleri geliştirilebileceğini gösterdi.

Kısaltmalar

pomp. : pompa
komp. : kompresör
türb. : türbin
Hg : cıva
 η : verim

R744 : karbondioksit
NH₃ : amonyak

Kaynakça

- [1] Khani, N., Manesh, MHK ve Onishi, VC (2022). CO₂ yakalama, organik Rankine döngüsü ve nemlendirme-nem giderme tuzdan arındırmayı entegre eden güneş enerjisiyle çalışan yeni bir çoklu üretim sisteminin 6E analizleri. *Temiz Üretim Dergisi*, 379, 134478.
- [2] Panahirad, B. (2017). Thermodynamic Analysis of a Multi-Generation Plant Driven by Pine Sawdust as Primary Fuel (Master's thesis, Eastern Mediterranean University EMU-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ)).
- [3] Wu, B., Luo, Y., Feng, Y., Zhu, C., & Yang, P. (2023). Design and thermodynamic analysis of solid oxide fuel cells–internal combustion engine combined cycle system based on Two-Stage waste heat preheating and EGR. *Fuel*, 342, 127817.
- [4] Qin, L., Xie, G., Ma, Y., & Li, S. (2023). Thermodynamic analysis and multi-objective optimization of a waste heat recovery system with a combined supercritical/transcritical CO₂ cycle. *Energy*, 265, 126332.
- [5] Elbir, A., & Üçgül, İ. (2023). Yaşam Alanından Uzak Bölgelerde Enerji Üretimi: Cıvalı Buhar Çevrimi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13(1), 18-21.
- [6] Dincer, I., Rosen, M. A., Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development, Elsevier Science, New York, USA, 2012
- [7] Klein SA. Engineering Equation Solver (EES) 2020, F-Chart Software, Version 10.835-3D
- [8] Vargaftik, N. B. (1975). Tables on the thermophysical properties of liquids and gases. Hemisphere Pub. Corp.