

EKSERJİ AKILCILIĞINDA KAZAN MI, KOJEN MI, TRİJEN MI?

Cogeneration, Trigeneration, or Boilers on the Exergy Scale?

Birol KILKIŞ

ÖZET

Avrupa Birliğinin 20+20+20 şeklinde belirlediği 2020 yılı stratejisinde yer alan ve sırası ile her biri %20 olmak üzere enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve CO₂ salımlarında azaltım şeklindeki hedeflere ulaşmak için iki yıl kadar bir zaman kalmış olmasına karşın, özellikle CO₂ salımlarının azaltılmasında ortaya konan hedefi yakalamada güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bunun ana nedeni enerji kaynaklarımızın yeterince akılcı yani bir enerji kaynağının veya artık enerjinin yararlı iş potansiyelinin (enerjinin kalitesi: ekserji) doğru talep noktasında, doğru yerde, doğru zamanda, doğru nitelikte ve doğru kademelendirmede paylaştırılmamasıdır. Bu makalede dördüncü bir %20 puan hedefinin önemine değinilmektedir. Bu hedef, ekserjide akılcılık hedefidir. Bu savı pekiştirmek için İstanbul Üçüncü Hava Limanı (IGA) özelinde beraber ısı üretim sistemlerine karşın yoğuşmalı kazan-soğutma grupları ve şebeke elektriği seçeneğinin akılcılığı ve sera gazı salımları ile ozon tabakasının seyrelimi yönlerinden bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu amaçla sera gazı salımları, soğutucu akışkan sızıntıları ve soğutma kulelerinden atmosfere atılan su buharının karma etkilerini simgeleyen yeni bir endeks geliştirilmiştir. Bu endeks kullanılarak F-gaz ve CO₂ dahil tüm soğutucu akışkanların gerçek ozon tabakasını seyreltici etkilerinin sıfır olmadığı ve bu karma etkilerinin ancak CO₂ gazı kullanıldığında ve bu CO₂ gazının da sanayi ve kentsel salımların tutumundan eldesi koşulunda sıfıra çok yaklaşabileceği tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekserji Akılcılığı, Yoğuşmalı Kazanlar, Beraber Üretim, Kojenerasyon, Trijenerasyon, CO₂ Salımları, Küresel Isınma, Ozon Tabakasının Seyrelimi

ABSTRACT

There has been less than two years for the target completion of 20+20+20 2020 Strategy of the EU for the achievement of 20% energy savings, 20% CO₂ emissions reduction, and 20% increase in the share of renewables in the energy mix, all of which seem to be far from their targets. The main reason for these delays is the absence of the exergy rationale in the EU targets. In this paper the importance of a fourth 20% improvement factor, namely improvement in the Rational Exergy Management Efficiency is mentioned, which translates to CO₂ emissions and Ozone depletion. In order to underline this approach, the newly installed condensing boiler versus the alternative trigeneration system at the IGA Airport in Istanbul are compared and the potential advantages of trigeneration are discussed in terms of global warming and ozone layer depletion. A new composite index, which recognizes the relationship between the Ozone layer depletion-Greenhouse gas emissions about Global warming have been introduced. This composite index shows that even F-gas and CO₂ gas use in the industry may not reduce the ozone depletion potential to zero. It has also been shown that Ozone depletion may be greatly reduced only if CO₂ use in heating and cooling sector along with CO₂ capture from the industry and the built environment.

Keywords: Exergy Rationale, Condensing Boilers, Cogeneration, Trigeneration, CO₂ Emissions, Global Warming, Ozone Layer Depletion

1. GİRİŞ

Birinci Yasa enerjinin niceliği ile ilgilidir. İkinci Yasa ise enerjinin niteliği ile ilgilidir ve her kaynağın ve her talebin enerji niteliği (Yararlı iş üretme potansiyeli: Ekserji) ayrıdır. Önemli olan arz ve talep kalitesinin dengelenmesidir. Aksi taktirde ekserji yıkımları ve dolaylı CO₂ salımları artar. Dengenin ölçütü Akılcı Ekserji Yönetim Verimi, ψ_R dır [1]. Eşitlik ve 2 de bu ölçütün iki farklı koşulda eşitliği verilmiştir. Birim ekserji ise bir birim enerjinin yararlı işe dönüşebilen kısmıdır ve ideal Karno Çevrimi ile tarif edilir.

$$\text{Ekserji} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right) \times \text{Enerji}$$

↑ NİTELİK ↑ NİCELİK
Kaynak Sıcaklığı

Çevre Referans Sıcaklığı

Şekil 1. Enerji ve Ekserji ilişkisi.

$$\psi_R = \frac{\mathcal{E}_{talep}}{\mathcal{E}_{arz}} \quad \{\text{Ekserji önce yıkılırsa}\} \quad (1)$$

$$\psi_R = 1 - \frac{\mathcal{E}_{yıkım}}{\mathcal{E}_{arz}} \quad \{\text{Ekserji sonra yıkılırsa}\} \quad (2)$$

Alışılmış iklimlendirme uygulamalarında elektrik gücü ulusal şebekeden temin edilmekte ve bu güçle soğutucu akışkan içeren, gaz sıkıştırma soğutma üniteleri (Çiller) kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde ise ağırlıklı olarak termik santraller devrededir ve doğal gazın payı da %40 a yakındır. Isıtmada ise genellikle yoğuşmalı kazanlar kullanılmaktadır. Bu süreçlerde önemli CO₂ salımları oluşmakta olup Ülkemiz CO₂ salımlarını azaltma girişimlerinde Dünyada en sondan üçüncüdür. Soğutucu akışkanlar ise Ozon tabakasını seyreltici etki göstermektedirler. Her ne kadar Ülkemiz ozon-zararlı akışkanlar konusunda oldukça başarılı ise de [2] sonuç itibarı ile bir yandan karbon salımları öte yandan eş-zamanlı olarak ozon-zararlı maddeler açılarından alışılmış ısıtma soğutma, klima ve havalandırma sistemleri hem verimsiz hem atmosferi kirletici hem de enerjinin akılcı kullanımında yetersiz bir döngü içerisindeyler. Bu döngü Şekil 2 de gösterilmiştir. Elektrik gücü bir termik santralde üretildikten sonra enerji tüketim alanına gelene değin -yakıttan kullanıma-verimi Ülkemizde %27 olarak gerçekleşmektedir. Buna karşın elektrik gücü dağıtık bir sistemde ve kullanım alanında üretilse bu verim %60 a kadar yükselebilmektedir. Aydınlatma ve diğer işlevler dışındaki enerji tüketim noktalarında elektrik enerjisi önemli ölçüde soğutma gruplarının tahrikinde ve bunların artık ısılarının cebri çekişli ıslak veya kuru tip soğutma kulelerinde havaya atımında da tüketilmektedir. Dolayısı ile soğutma işlevi özelinde sistem önemli CO₂ salımlarından sorumlu olduğu gibi artık ısının havaya atımında da elektrik enerjisi tüketilmektedir. Halbuki artık ısı uygun taleplerle değerlendirilebilir. Soğutma grupları eşzamanlı olarak Ozon-zararlı kimyasalları da atmosfere salmaktadır. Bu döngü sonucu küresel ısınma artmakta ve soğutma ihtiyacı artarken salımlar da artarak kısır bir döngü oluşmaktadır. Gün geçtikçe satılabilir ve ülkeye katma değer yaratabilir bir ürün haline gelen CO₂ gazı kaynağında tutulup ticari olarak soğutma akışkanı olarak değerlendirildiğinde CO₂-nötr bir uygulamaya geçilebilir. Ozon seyreliminde Ozon tabakasını seyreltme potansiyeli (Ozone Depleting Potential, *ODP*) önemli bir ölçüttür [3]. Her ne kadar F gazlar yani Florinated Gas türü akışkanların (HFC) *ODP* değeri sıfır olarak tanıtılsa da gerçek böyle değildir.

Küresel zararlar sadece *ODP* ye bağlı değildir. Soğutucu akışkanların küresel ısınmaya da etkileri olduğu gibi kazan ve benzeri enerji dönüşüm sistemlerinde tüketilen fosil kökenli yakıtlar öncelikle CO₂ gazları salarak küresel ısınmaya neden olurlar. Bugüne değin *ODP* ve Küresel Isınma Potansiyeli (*GWP*) ayrı ayrı yorumlanmış aralarındaki bağıntı göz ardı edilmiştir. Bu bağlamda sıfır *ODP* olarak tanıtılan bir soğutucu akışkanın (Örneğin R227ea) *GWP* değeri çok yüksektir (2300). *GWP*

değerindeki bir artış *ODP* yi artırır. Sera gazlarının artışı ile alt seviyelerdeki hava ısınırken stratosferdeki hava giderek soğur. Soğuyan stratosferde ise bu katmanda bulunan ozon tabakasının seyrelimi hızlanır [4, 5]. Bu ilişki ölçümlerle kanıtlanmış olmakla birlikte somut bir eşitlikle izah edilmemiştir. Bu makalede bu tür bir eşitlik geliştirilmiştir:

$$ODI = \frac{aGWP^b}{(1-ODP)} \times \left(\frac{ALT}{1} \right)^c \quad (3)$$

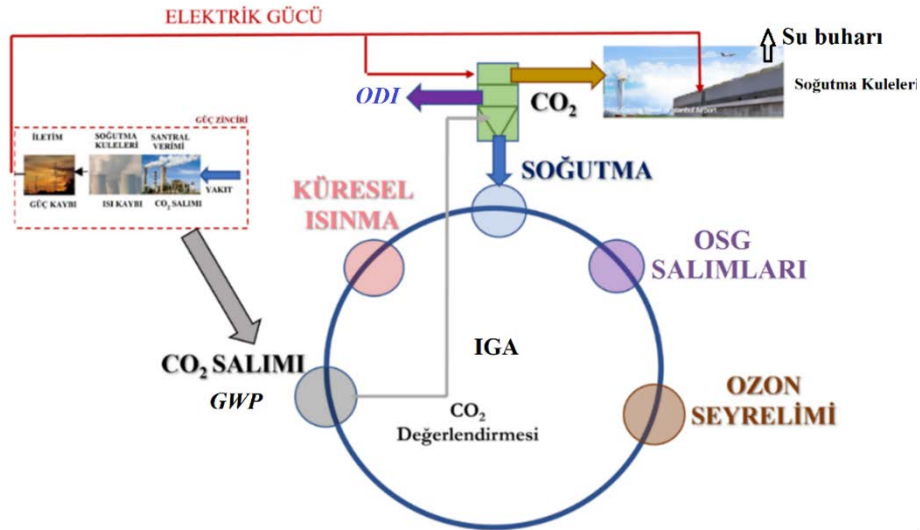
Eşitlik 3 te *ODP* endeksi *GWP* ve *ALT* (Atmosferde kalış süresi, yıl olarak) endeksleri ile düzeltilmektedir. Bu düzeltmeden *ODI* (Karma Ozon Tabakası Seyreltme Endeksi) elde edilmektedir. Bu eşitliğe göre gerçek anlamda ozon tabakasına hiç zarar vermeyen (*ODP*=0) bir soğutucu akışkan yoktur. Doğal soğutucu akışkanların bile (*CO*₂ gibi) *ODI* değerleri sıfırdan büyüktür. Eşitlik 3 de soğutma kulelerinin etkisi göz ardı edilmiştir. Bir örnek vermek gerekirse:

- a- *CO*₂ (R744) değerleri: *ODP*=0, *GWP*=1, *ALT*= 120 yıl.
- b- R227ea (F gaz) değerleri: *ODP*=0, *GWP*=3500, *ALT*= 33 yıl.

Bu değerler ve $a = 0.1$, $b = 0.03$, $c = 0.01$ değerleri kullanılarak Eşitlik 3 den hesaplanan *ODI* değerleri:

- a- *CO*₂ (R744) için *ODI*: 0.115 ve
- b- R227ea (F gaz) için *ODI*: 0.132 şeklindedir.

Görülüyor ki literatürde sıfır ozon tehlikeli olarak tanıtılan gazların gerçekte ozon tabakasını seyreltici etkileri bulunmaktadır. Bu değerler CFC-11 için 1 değerinde olan *ODP* nin en az %10 u kadar ozon tabakasını seyreltme potansiyelleri bulunmaktadır ve bu değerler daha az fakat gerçekte sıfır değildir. Bu konu son olarak ASHRAE tarafından dolaylı da olsa dile getirilmektedir [6]. *CO*₂ gazının soğutucu akışkan olarak kullanılmasının F-gazlara göre en önemli avantajları bu gazın sektörden ve sanayiden tutulup kullanılma imkânı dolayısı ile sonuç itibarı ile karbon-nötr olabilmesidir. Bu tür bir döngü İstanbul Üçüncü Hava alanı (IGA) özelinde incelenmiştir [7]. Şekil 2 de bu döngü gösterilmektedir.

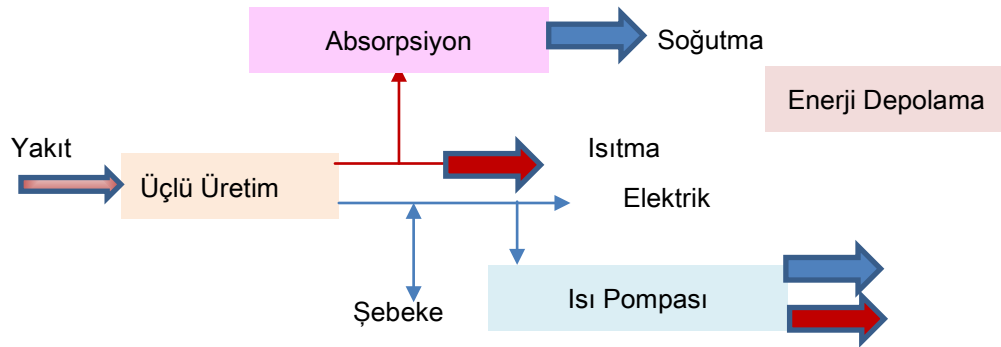


Şekil 2. Bir Havalimanı Uygulamasındaki (IGA) Soğutmada *CO*₂ ve Ozon Tabakasını Seyrelten Soğutucu Akışkan Sızıntılarının ve Soğutma Kulelerinin Küresel Isınmaya ve Ozon Tabakasının Seyrelmesine İlişkin Kısır Döngüsü [7].

Örneğin, havaalanında kazan, soğutma grubu ve şebeke elektriği yerine üçlü üretim (Trijenerasyon) sistemi kullanılsa ve bu sistem atıklardan elde edilen biyogazla desteklense idi *CO*₂ salımları ve ozon-zararlı salımlar çok büyük ölçüde önlenebilecek ve yakıt tasarrufu sağlanacaktı. Enerji depolaması ile de sistem küçültülebilecekti.

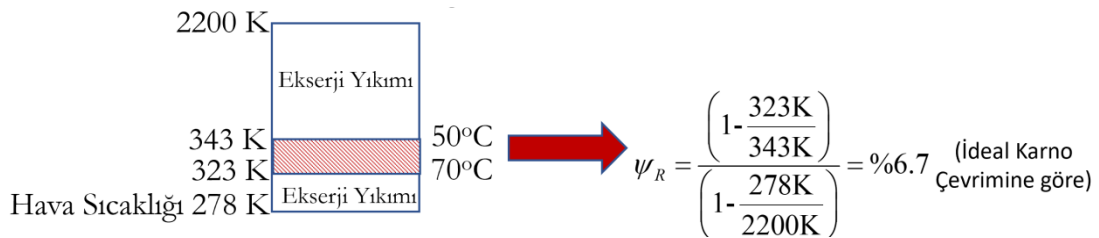
2. BERABER ISI SOĞUK ve GÜÇ ÜRETİMİ

Şekil 2 de yerinde üretime yönelik bir üçlü üretim sisteminin temel şeması gösterilmektedir. Absorpsiyon ve/veya adsorpsiyonlu sistemler soğutma gruplarının yerini almıştır ve daha verimli ve çevreci bir biçimde yerinde üretilen elektrik gücü ile çalışmaktadır. Bu sistemler CO₂ gazı ve karışımları ile teçhiz edilmişlerdir. Enerji depolama sistemi pik (Tepe) yükleri törpülediğinden daha küçük seçilebilen cihazlar sürekli tam kapasitede çalışabilir ve verimleri kısmi kapasitelere oranla yüksek sürer. IGA da kazan, soğutma grubu ve şebeke elektriği yerine üçlü üretim (Trijenerasyon) sistemi kullanılsa ve bu sistem atıklardan elde edilen biyogazla desteklense idi CO₂ salımları ve ozon-zararlı salımlar büyük ölçüde önlenilecek ve yakıt tasarrufu sağlanacaktı. Isı pompalarında ve absorpsiyonlu soğutma gruplarında iyonik sıvı-CO₂ karışımı kullanıldığında ozon-zararlı salımlar tamamına yakın biçimde önlenilecekti.



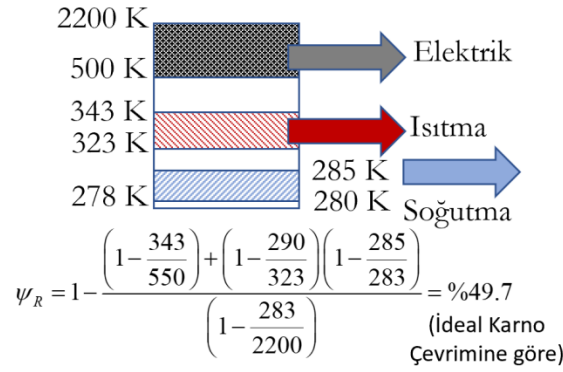
Şekil 3. Üçlü Üretim Temel Şeması.

Şekil 4 de ise yoğuşmalı bir kazanın doğal gaz yakıtını ne denli akılcı kullandığına ilişkin bir çalışma yer almaktadır. Bu şekilde görüldüğü üzere doğal gazın serbest yanma sıcaklığı 2200 K olarak belirlenmiş ve yakıtın ulusal katma değeri için ortalama hava sıcaklığı (Referans Sıcaklığı) 278 K alınmıştır. Bu sıcaklık aralığında doğal gazın ulusal çaptaki katma değer potansiyelinin çok az bir bölümü kazanların ısı üretiminde değerlendirilmekte ve bu nedenle de katma değer potansiyelinin çok önemli bir bölümü geri kazanma imkânı da olmaksızın kaybedilmektedir (Ekserji Yıkımı). Akılcı ekserji yönetim verimi, ψ_R Şekilde yer alan eşitlikten ve sonucundan görüldüğü üzere sadece %6.7 dir (Kazan verimi %95 olmasına karşın). Aslında, yoğuşmalı kazanların doğal gazın üst ısıl değerini kullanmaları nedeni ile bu avantaj kojenerasyon sistemine oranla göz önünde tutulması gerekir. Bu avantaj kazan sisteminin ψ_R değerine yüzde 3 dolayında bir artış şeklinde yansır.



Şekil 4. Alışılmış Yoğuşmalı Kazan Teknolojisinin Akılcı Ekserji Yönetim Verimi [7].

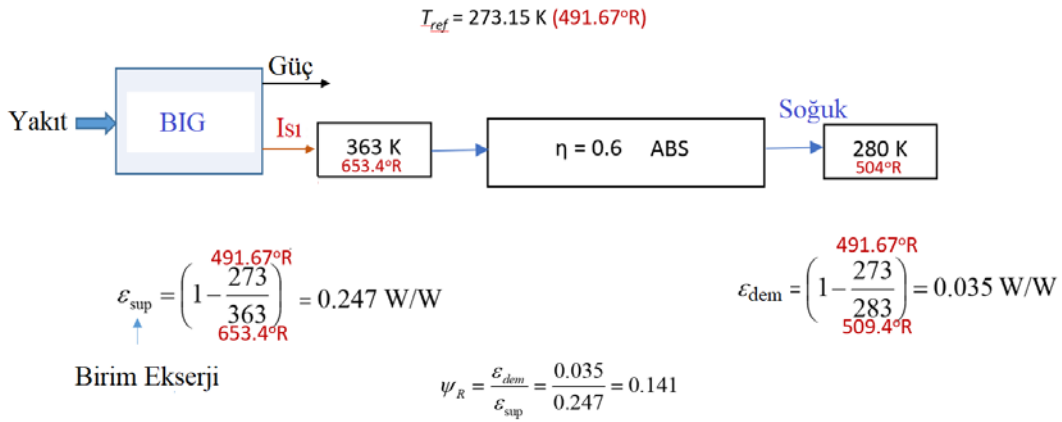
Beraber üretim sisteminin akılcı ekserji yönetim veriminin hesabı soğuk üretimi dahil (Üçlü Üretim) Şekil 5 de gösterilmektedir. Doğalgazın değerlendirmesinde bu kez ilkin elektrik üretildiğinden eşitlik biraz değişik olup (Eşitlik 2) ψ_R %49,7 a çıkmaktadır. Burada elektrik üretiminde bottoming cycle (Dipsel Çevrim) diye adlandırılan organik çevrimli sistemin de kullanıldığı varsayılmıştır. Soğutma da yapıldığından ekserji yıkımları büyük ölçüde azaltılmıştır.



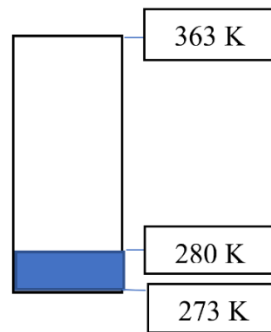
Şekil 5. Trijenerasyon Teknolojisinin Akılcı Ekserji Yönetim Verimi [7].

3. KOJEN mi TRİJEN mi?

Şekil 6 da beraber ısı ve güç üretim sisteminin (BIG) absorpsiyonlu sistemle (ABS) ile soğuk üretiminin en temel yöntemi görülmektedir. BIG sisteminde üretilen ısı 363 K sıcaklığında ise bunun birim ekserjisi 0.247 W/W olmaktadır. Eğer bu ısı Birinci Yasa verimi 0.6 olan (COP) bir tek kademeli absorpsiyonlu soğutma makinesinde 280 K sıcaklığında soğuk gücüne dönüştürülürse bu birim talep ekserjisi dem 0.035 W/W olur ki bu iki birim ekserji arasındaki farklılık nedeni ile ψ_R sadece 0.141 değerinde kalır. Bu nedenle eğer ısı güç talebi yeterli ise üretilen ısı gücün ısı güç taleplerinde kullanılması tercih edilmelidir [8, 9]. Bu durumda ψ_R değeri 1 e yaklaşır ve CO₂ salım sorumluluğu azalır (Eşitlik 4). Şekil 7 de ise bu işlemin Ekserji Çubuğu üzerinde gösterilmiştir. Bu işlemde arz ekserjisinin önemli bir bölümü yıkılmaktadır.



Şekil 6. Beraber Isı ve Güç Üretiminin (BIG) Absorpsiyonlu Sistem (ABS) Aracılığı ile Soğuk Üretimi.



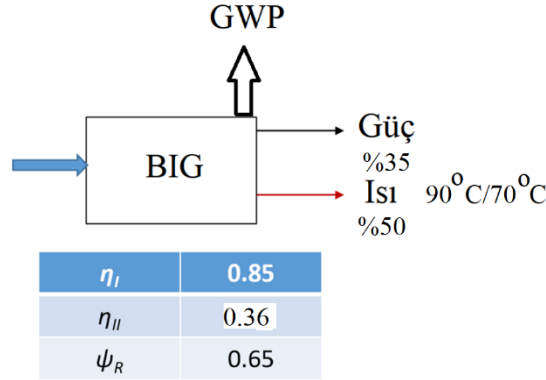
Şekil 7. Ekserji Akış Çubuğu.

$$\eta_{II} = COP \times \psi_R = 0.6 \times 0.141 = 0.0846$$

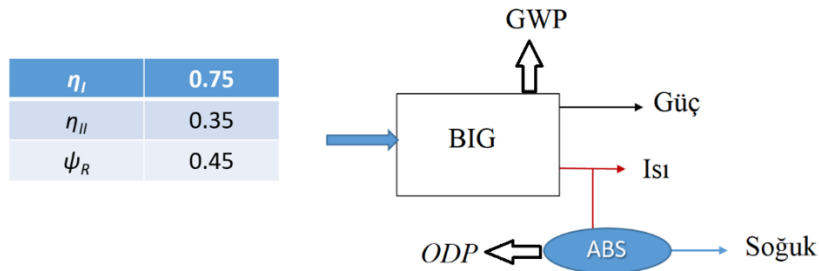
Bu sistemin yerine Birinci Yasa verimi 0.08 olan bir ORC birimi kullanılıp ek elektrik gücü üretimi ile COP değeri 3 olan bir soğutma makinesinde değerlendirilse idi durum daha da olumsuz olacaktır:

$$\eta_{II} = \eta_I \times COP \times \psi_R = 0.08 \times 3 \times 0.141 = 0.034.$$

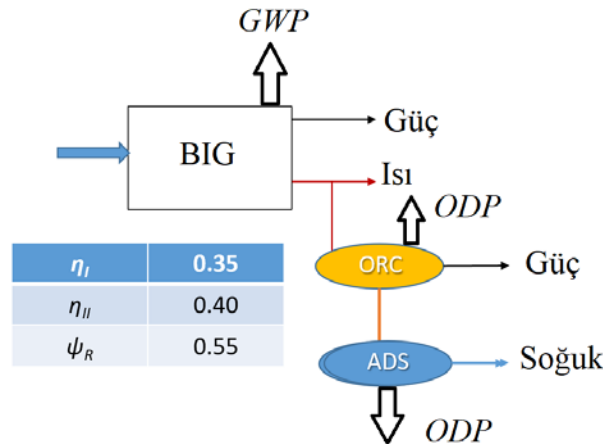
Bu örnekte görüldüğü üzere soğuk üretiminde birçok seçenek bulunmaktadır. Bu çalışmada 3 adet yeni senaryo incelenmiştir. Taban senaryo ise alışılmış beraber ısı ve güç sistemidir (Şekil 8). Bu senaryolar Çizelge 1 de karşılaştırılmıştır.



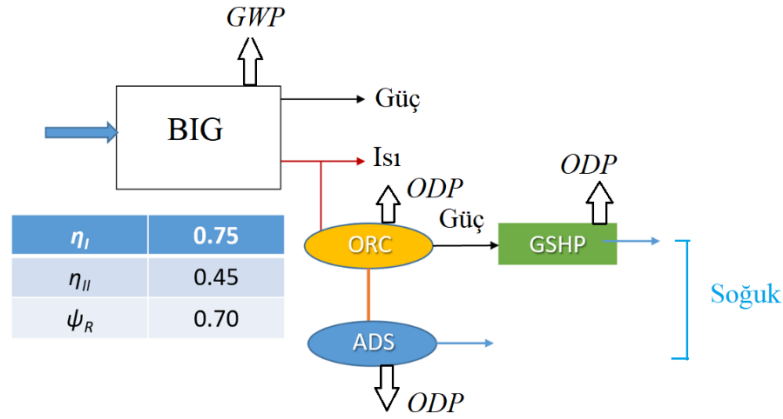
Şekil 8. Taban Senaryo ($C=0.7$). $\eta_{CHPE}=0.35$.



Şekil 9. Senaryo 1.



Şekil 10. Senaryo 2.



Şekil 11. Senaryo 3.

$$\Delta CO_2 = \frac{c}{\left[\frac{\eta_{CHPE}}{C} \right]} (2 - \psi_R) \quad (4)$$

Çizelge 1. Taban ve Diğer Senaryoların Karşılaştırması (Birim Elektrik enerjisi Üretimi Başına, kWe-h)

SENARYO	η_I	η_{II}	ψ_R	AO	ΔCO_2 kgCO ₂ /kWe-h
TABAN	0.85	0.36	0.65	0.199	0.54
1	0.75	0.35	0.45	0.118	0.62
2	0.35	0.40	0.55	0.077	0.58
3	0.75	0.45	0.70	0.236	0.52

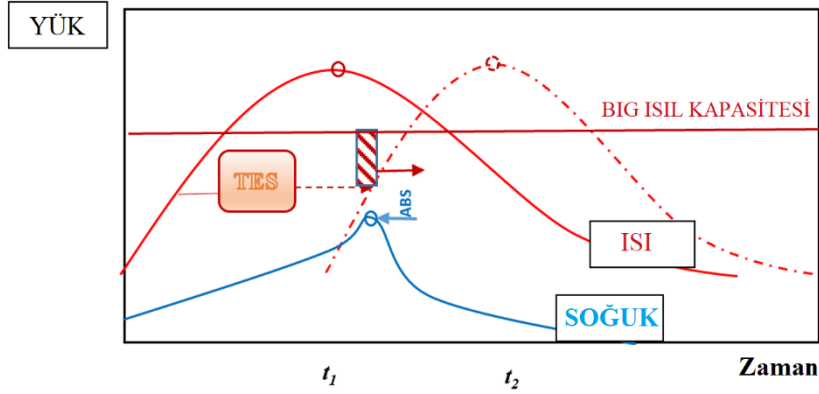
Burada AO Karma Akılcılık Oranı olup aşağıdaki eşitlikle bu çalışmada aşağıdaki eşitlikle tarif edilmiştir:

$$AO = \eta_I \eta_{II} \psi_R \quad (5)$$

AO oranı bir sistemin CO₂ salımı ve ODP değerinin ortak bir değerlendirmesini, kısacası tümleşik bir çevresel etki düzeyini vermektedir. Çizelge 1 de en iyi AO değeri Senaryo 3 e ait olmakla birlikte ODP kaynakları daha fazla sayıdadır (ORC, ADS, GSHP) bununla birlikte CO₂ salım sorumluluğu daha azdır. Tüm bu ölçütlerin karmaşıklığı soğutucu akışkan stratejilerinde bireysel değil tümleşik (Karma) ölçütlerin kullanılması gereğine işaret etmektedir. Ayrıca, bu değerlerin çeşitli senaryolarda birbirine yakın olmaları da istem (Senaryo) seçiminden çok akışkan seçiminin önemli olduğunu göstermektedir.

4. ENERJİ DEPOLAMASININ ÖNEMİ

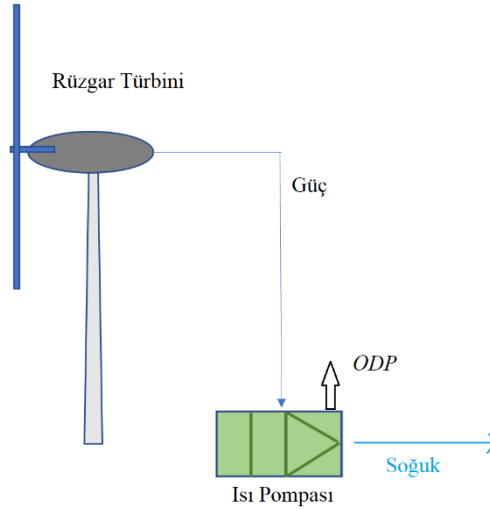
Eğer üretilen ısı soğutmada kullanılacak ise enerji depolaması ön plana çıkmaktadır. Şekil 12 de ısı güç ve soğutma güç taleplerinin örtüşmediği durum görülmektedir. Eğer ısı yük bir ısı deposu (TES) ile t_2 zamanına kaydırılırsa soğutma talebinin fazla olduğu zaman dilimi içerisinde talep fazlası ısı güç oluşur ve bu fazlalık soğuğa akılcı bir biçimde dönüştürülebilir. Böylelikle de ısı güç ısı olarak kullanılırken depolanan fazla ısı da soğutma yüklerinin en fazla olduğu zaman dilimlerinde soğuğa dönüştürülmüş olur.



Şekil 12. Isıl Yüklerin Zaman Kaydırılması.

5. GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİSİ

Ozon tabakasının seyrelmesinin önüne geçmek ve küresel ısınmayı yavaşlatmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına baş vurulmakta ise de bu enerji kaynaklarının ısıtma ve soğutmada kullanılması sırasında her ne kadar CO₂ (Gömülü değerler hariç) salımları yok sayılsa da kullanılan soğutma cihazları bertaraf edilmedikçe ODP nin sıfır olması gene imkansızdır. Şekil 13 de rüzgâr türbininden elde edilen güçle tahrik edilen bir ısı pompasının ısıtma ve soğutmada kullanılması sırasında ısı pompasının sızıntısından Ozon tabakasının zarar göreceği anlaşılmaktadır. Aynı sorun güneşten elektrik gücü eldesinde de geçerlidir.



Şekil 13. Rüzgâr Enerjili Beraber Isı ve Güç Sistemi.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu makalede beraber ısı ve güç sistemlerinin soğuk üretiminde kullanılmasında İkinci Yasa uyarınca akılcılık değerlendirilirken öte yandan bu seçeneklerin küresel ısınmaya ve ozon tabakasının seyrelmesine olan etkileri araştırılmış ve bu iki konunun birlikte çözülmesinin gerekliliği örneklerle ortaya konmuştur. Geliştirilen yeni Karma Ozon Seyreltme Potansiyeli terimi ile ODP ölçütünün de gerçekte sıfır olamayacağı da anlatılmıştır.



SİMGELER

<i>ALT</i>	Atmosferde Kalış Süresi, yıl
<i>AO</i>	Karma Akılcılık Katsayısı
<i>C</i>	Kojenerasyonda güç-ısı oranı
<i>c</i>	Yakıtın birim CO ₂ içeriği, kg CO ₂ /kWe-h (Alt ısı)
<i>COP</i>	Tesir Katsayısı (ITK)
<i>GWP</i>	Küresel Isınma Potansiyeli
<i>ODI</i>	Karma Ozon Tabakası Seyreltme Endeksi
<i>ODP</i>	Ozon Seyreltme Potansiyeli
<i>OSG</i>	Ozon Tabakasını Seyreltici Gaz (Ozon Seyreltim Potansiyeline atfen, <i>ODP</i> >0).

Semboller

ψ_R	Akılcı Ekserji Yönetim Verimi
η	Verim
ε	Birim Ekserji, W/W
ΔCO_2	Önlenebilir CO ₂ Salımı, kg CO ₂ /kW-h

Alt Simgeler

<i>arz, sup</i>	Ekserji arzı
<i>CHPE</i>	Kojenerasyonun Kısmi Elektrik Güç Üretim Verimi
<i>dem, talep</i>	Ekserji Talebi
<i>des, yıkım</i>	Yıkım
<i>f</i>	Kaynak
<i>ref</i>	Referans (Çevre)
<i>I</i>	Birinci Yasa
<i>II</i>	İkinci Yasa

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği (EU)
ABS	Absorpsiyonlu Sistem
ADS	Adsorpsiyonlu Sistem
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
BIG	Beraber Isı ve Güç Sistemi
GSHP	Toprak-Kaynaklı Isı Pompası
IGA	İstanbul Grand Airport
ORC	Organik Rankin Çevrimli Türbin
OSG	Ozon Tabakasını Seyreltici Gaz
REMM	Rational Exergy Management Model
TES	Isı Depolama Tankı (Thermal Energy Storage Tank)

KAYNAKÇA

- [1] Kılış, Şiir. 2015. A Rational Exergy Management Model to Curb CO₂ Emissions in the Exergy-Aware Built Environments of the Future, Doctoral Thesis September 2011, Division of Building Technology School of Architecture and the Built Environment KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [2] Kılış, B. 2018. Ozon Tabakasının Korunmasında CO₂ Salımları Tehdit mi Potansiyel Çözüm mü? 19. Ozon Paneli ve Ozon Tabakasının Korunması Etkinliği, 18 Aralık, İstanbul.
- [3] http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmfiles/7790-e-ODP_of_Refrigerants_Factsheet.pdf Son ziyaret: 3 Mart 2019.
- [4] <https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/science/ozone-hole-and-gw-faq.html> Son ziyaret: 3 Mart 2019.
- [5] <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/4-ways-ozone-hole-linked-climate-and-1-way-it-isn%E2%80%99t> Son ziyaret: 3 Mart 2019.



- [6] McGowan, M. K. 2019. Progress Report on Alternative Refrigerants, *ASHRAE J.* February 2019 Issue, pp: 38-41.
- [7] Kılış, B. 2019. Yeşil Havalimanlarında Beraber Isı ve Güç Sistemleri-İstanbul Üçüncü Havalimanı (IGA): İlk Fazda Kaçan Fırsatlar ve Çevre, *Termodinamik Dergisi*, Sayı: 318, sayfa: 62-75.
- [8] Kilkis, B. 2018. The Future of Thermal Cooling to Support Resilient CHP Systems, Best Method to Utilize Heat of Trigenation: Exergy Transfer Issues in Absorption Cooling, ASHRAE Annual Meeting, June 23-27, Houston.
- [9] Kilkis, Ş. And Kilkis, B. Utilization of Cogeneration Heat in Hot and Humid Mediterranean Climates: Exergetic Game Change About Absorption Cooling Versus Solar Cooling, 13th SDEWES Conference Presentation, September 30-October 6, Palermo.

ÖZGEÇMİŞ

BİROL KILKIŞ

1949 yılında Ankara da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK NATO bursu ile Brüksel NATO von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılış, 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. ASHRAE nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltildi Kılış 2004 yılında da *Distinguished Lecturer* seçilmiştir. 2008 yılında ise *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar konusunda uzman olup, karbon dioksit salımları, enerji performansı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri mevcuttur. AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. 2017-2019 yılları arasında Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin Yönetim Kurulu Başkanlığını yürütmüştür. Şu anda *Avrupa Renewable Heating and Cooling Technology and Innovation Platform* Uzman Üyesidir.