

YEŞİL YAPILI ÇEVREDE DOĞRU BİLİNERN YANLIŞLAR

Game Changers in the Green Built Environment

Birol KILKIŞ

ÖZET

Avrupa Birliğinin 20+20+20 şeklinde belirlediği 2020 Stratejisinde yer alan her birisi %20 lik enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve CO₂ salımlarında azaltım şeklindeki hedeflerine iki yıl kadar az 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 potansiyellerinin (enerjinin kalitesi: ekserji) doğru talep noktasında, doğru yerde, doğru zamanda, doğru kalitede ve doğru kademelendirmede paylaştırılmamasıdır. Bu makalede dördüncü bir %20 puan hedefi daha konmuştur. Bu hedef ekserji akılcılık hedefidir. Bu savı pekiştirmek için yenilenebilir enerji kaynakları dahil olmak üzere binalarda ve yapıları çevrede doğru bilinen yanlışlara Yazarın muhtelif çalışmalarından derlenen örneklerle görsel ağırlıklı olarak değinilmekte ve CO₂ salımlarındaki etkileşimi tartışılacaktır.

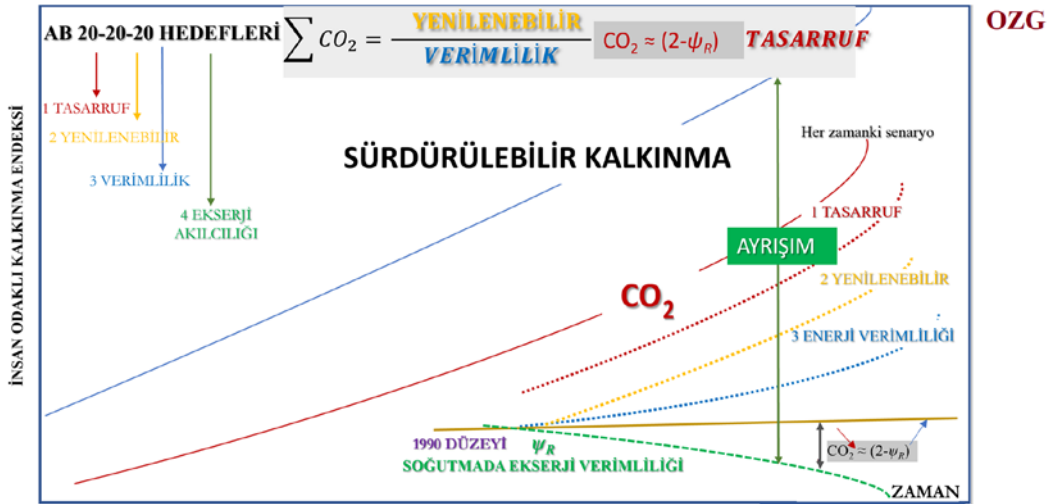
Anahtar Kelimeler: Ekserji Tabanlı COP, Isı Geri Kazanım Cihazı, Gömülü Enerji ve Ekserji, Önlenebilir CO₂ salımları, ekserji, Beraber Güç ve Isı Üretimi

ABSTRACT

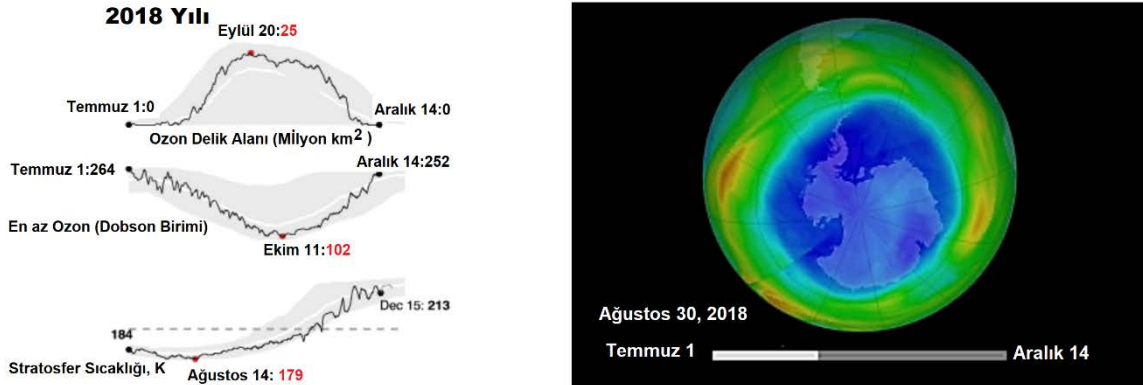
There has been less than two years for the target completion of 20+20+20 2020 Strategy of the EU for the achievement of 20% energy savings, 20% CO₂ emissions reduction, and 20% increase in the share of renewables in the energy mix, all of which seem to be far from their targets. The main reason for these delays is the absence of the exergy rationale in the EU targets. In this paper the importance of a fourth 20% factor, namely improvement in the Rational Exergy Management Efficiency is mentioned, which translates to CO₂ emissions and Ozone layer depletion. In order to underline this approach, several game-changing case studies from the HVAC sector were compiled from several studies of the Author and presented in this paper.

1. GİRİŞ

Avrupa Birliği 2020 yılı hedefine %20 şer artış olmak üzere enerji tasarrufu, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği koymuş fakat enerjinin niteliğinin makro anlamda akılcı kullanımına hiç değinmemiştir. Bu nedenle de doğanın CO₂ gazını geri emme yeteneğinin altına inilerek gerçek bir Sürdürülebilir Kalkınma ve Dekarbonizasyon (AB tarifine göre) ayrışımı (Decoupling) mümkün olmayacaktır. Şekil 1 den görüldüğü üzere CO₂ salımları aslında enerji niteliğinin akılcı kullanım verimi, ψ_R ile yakından ilintilidir. Bu ilişki çevrenin hak ettiği ölçüde denkleme ve vizyona konmadıkça küresel ısınma çok tehlikeli boyutlara ulaşabilecektir. Şekil 2 de ise Ozon tabakasındaki deliğin aylara göre değişimi NASA gözlem verisi 2018 yılı için görülmektedir. Stratosfer sıcaklığı ve diğer etmenlere bağlı olarak yıl içerisinde küçülüp büyümektedir ve aslında çok az küçülmeye devam etmektedir.



Şekil 1. CO₂ ve OZG (Ozon-zararlı Gaz) Salımları ile Sürdürülebilir Kalkınma Arasındaki Ayrışım (Decoupling) İçin Bütüncül Yaklaşım [1].

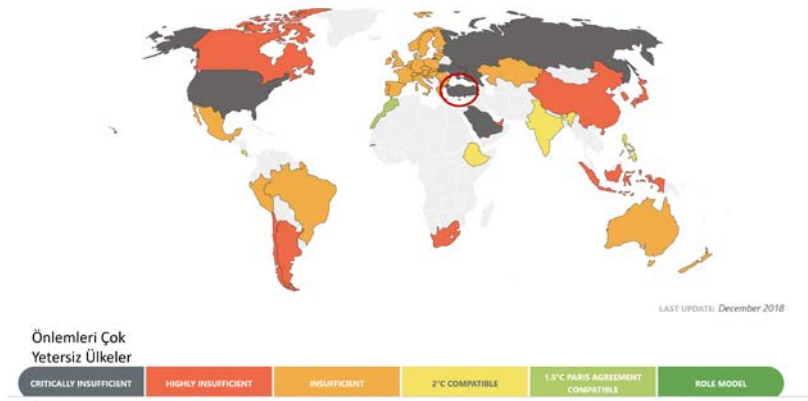


<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>

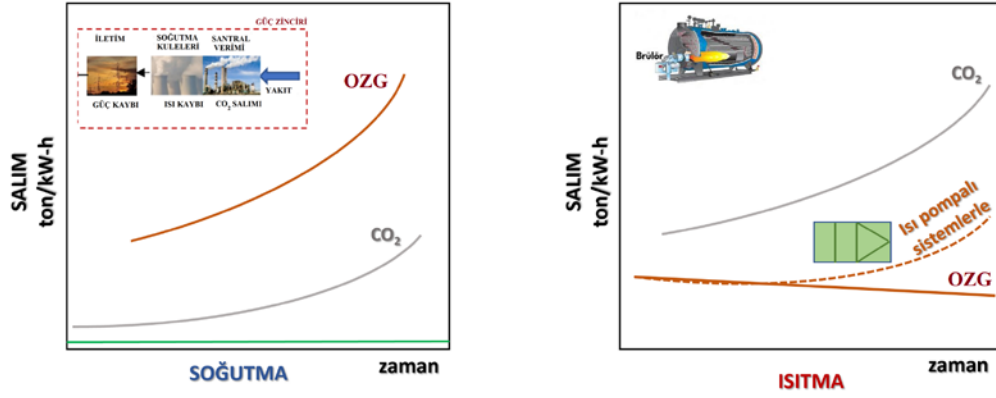
Şekil 2. Ozon Deliği İddia Edildiği Kadar Kapanmıyor [1].

Günümüzde CFC kökenli soğutucu gazlar kullanılmasa da F-gazların bile Ozon tabakasını seyreltici etkileri bulunmaktadır ve bu etki hiçbir aman sıfır değildir. Bunun nedeni örneğin F-gazların küresel ısınma potansiyeli çok yüksektir ve bu potansiyel Ozon tabakasını seyreltme potansiyeli ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle eşdeğer Ozon Tabakasını Seyreltme potansiyeli günümüzde 0 değerinden büyüktür. Ozon tabakasındaki seyrelim konusunda alınan önlemler bakımından Ülkemiz oldukça iyi bir pozisyona sahip olmasına karşın CO₂ salımlarında hemen hiç önlem alınmamaktadır (Şekil 3). Şekil 4 de CO₂ ve Ozon ikilemi gösterilmiştir. Ayrıca son yıllarda çok revaçta olan bina HVAC sistemlerinde VRF sistemlerinde Ozon sızıntıları kullanılan soğutucu akışkan miktarının çok olması ile fazlalaşacaktır. Sorun ısıtma ve soğutma sektöründe güç talebinin yenilenebilir enerji kaynaklarından artan bir oranda karşılanması ile de çözülemeyecektir (Şekil 5 ve 6). Bunun nedeni elektrik gücü yenilenebilir kaynaklardan gelse de bu elektrik gücünü kullanan ve başka yakıtları kullanan HVAC sistemleri CO₂ ve Ozon salmaya devam etmektedirler.

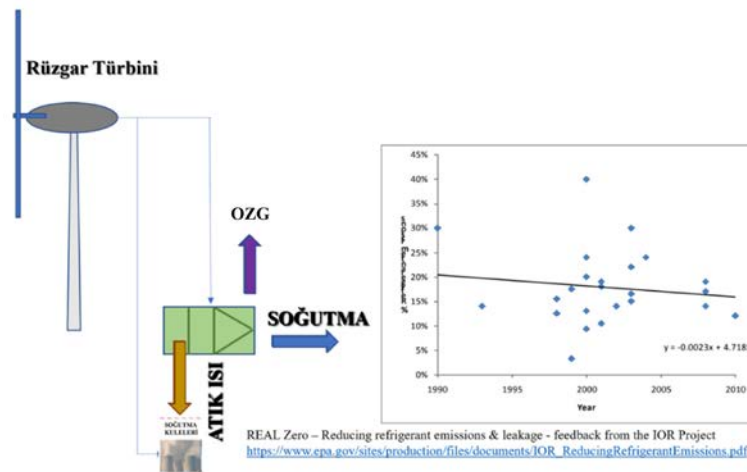
Soğutma mevsimlerinde gaz sıkıştırma sistemlerinin neden olduğu ozon seyrelimi daha çok Soğutucu akışkan salımından kaynaklanır. Aynı mevsimde CO₂ salımları soğutma sistemlerinin elektrik gücüne olan gereksinimlerinden kaynaklanır. Isıtma mevsimlerinde kazan ve benzeri sistemler Ozon-zararlı gaz yaymaz fakat fazla CO₂ salımlarından sorumludur. Ancak giderek yaygınlaşan ısı pompalı ısıtmada ozon-zararlı gaz yayımı da söz konusudur.



Şekil 3. CO₂ Salımlarında En Önlerdeyiz. Aslında Önlem Almıyoruz [Ozon].

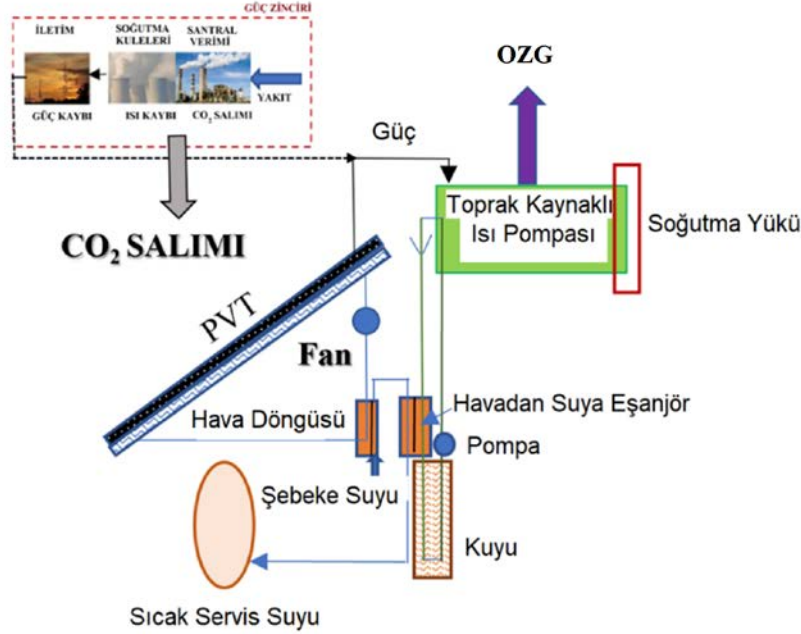


Şekil 4. Yapılı Çevre ve İklimlendirmede OZG (Ozon-zararlı Gaz) ve CO₂ [1].



Şekil 5. Yenilenebilir Enerji Kullanımı Ne Kadar Masum? [1].

Bu örnekte yenilenebilir enerji kaynağı rüzgâr enerjisi olmakla birlikte eğer elde edilen elektrik gücü bir soğutma grubunda değerlendirilecekse çevre gene etkilenecektir. Soğutma grubu çalışırken OZG veya benzeri ozon tabakasına zarar veren gaz sızdırmaktadır. Günümüzde sızıntı oranı %15 düzeyine inmiş olsa da bu azımsanmayacak bir orandır.



Şekil 6. Aynı Sorun Güneş Enerjisinde de var [1].

Bir güneş enerjili PVT sisteminde hava dolanımını sağlayan fan motoru ve toprak kaynaklı ısı pompasının atık ısısının kuyuya verilmesini gerçekleştiren pompa motorları elektrikle çalışmaktadır. Güneş gözelerinin (PV) ürettiği elektrik gücü yetmediği durumlarda şebekeden çekilen ilave elektrik enerjisinden dolayı bu sistem santrallerdeki CO₂ salımlarından sorumludur. Ayrıca ısı pompası ozon tabakasına zararlı akışkanı atmosfere sızdırmaktadır.

Özellikle yeşil binalarda ısı geri kazanımlı (Isıtımda) ve ısı geri atımlı (Soğutmada) havalandırma sistemleri giderek rağbet görmekte ve yüksek COP değerlerine ulaşan sürdürülebilir sistemler olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu ısı değişimi ve enerji kazanımı sürecinde gerekli hava dolaşımını gerçekleştiren fan ve motor sistemlerinin gereksinim duyduğu elektrik gücünün birim ekserjisi, ϵ_E yaklaşık 1 WW olmasına karşın geri kazanılan veya atılan ısıdan kazanılan birim ısı güç ekserjisi, ϵ_H arasındaki büyük fark hesaplarda göz ardı edilmektedir. Çizelge 1 de örneklenen bir ısı geri kazanım cihazının Termodinamiğin Birinci Yasa uyarınca performans değerleri verilmektedir.

Çizelge 1. Isı Geri Kazanımlı Havalandırma Cihazı Örnek Verileri [2].

$$T_o: 283K, T_{ref}: 273K, T_R: 290.8 K, E_{XH} = (1 - T_o/T_R) \cdot Q$$

Performans Değerleri	Model		
	1	2	3
Debi, V m ³ /h	3000	4000	5000
1 ci Yasa Verimi	0.65	0.51	0.46
T_R , K	290.8	289.1	288.5
Q, kW	7.86	8.20	9.24
E_{XH} , kW	0.21	0.173	0.176
ΔE_{XE} , kW	2 x 0.45	2 x 0.55	2 x 0.55
1. Yasa COP : Q/ ΔE	8.73	7.45	8.4
2. Yasa COPEX : $E_{XH}/\Delta E_{XE}$	0.23	0.157	0.16

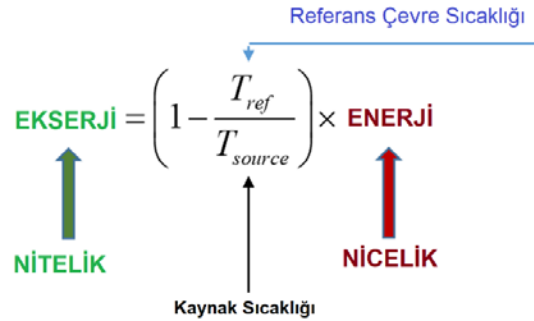
Bu çizelgenin hazırlanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır [3, 4]:

Birinci Yasa enerjinin niceliği ile ilgilidir. İkinci Yasa ise enerjinin niceliği ile ilgilidir ve her kanağın ve her talebin enerji kalitesi (Ekserji) ayrıdır. Önemli olan arz ve talep kalitesi dengelenmelidir. Aksi taktirde ekserji yıkımları ve dolaylı CO₂ salımları artar.

$$COP = \frac{Q}{\Delta E}, \text{ ve} \quad (1)$$

$$COPEX = \frac{E_{XH}}{E_{XE}} = COP \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T_R}\right) \quad (2)$$

2. MODEL



Şekil 7. Nitelik mi Nicelik mi?

Birinci Yasa enerjinin niceliği ile ilgilidir. İkinci Yasa ise enerjinin niceliği ile ilgilidir ve her kanağın ve her talebin enerji kalitesi (Ekserji) ayrıdır. Önemli olan arz ve talep kalitesi dengelenmelidir. Aksi taktirde ekserji yıkımları ve dolaylı CO₂ salımları artar.

$$\psi_R = \frac{\mathcal{E}_{talep}}{\mathcal{E}_{arz}} \quad (3)$$

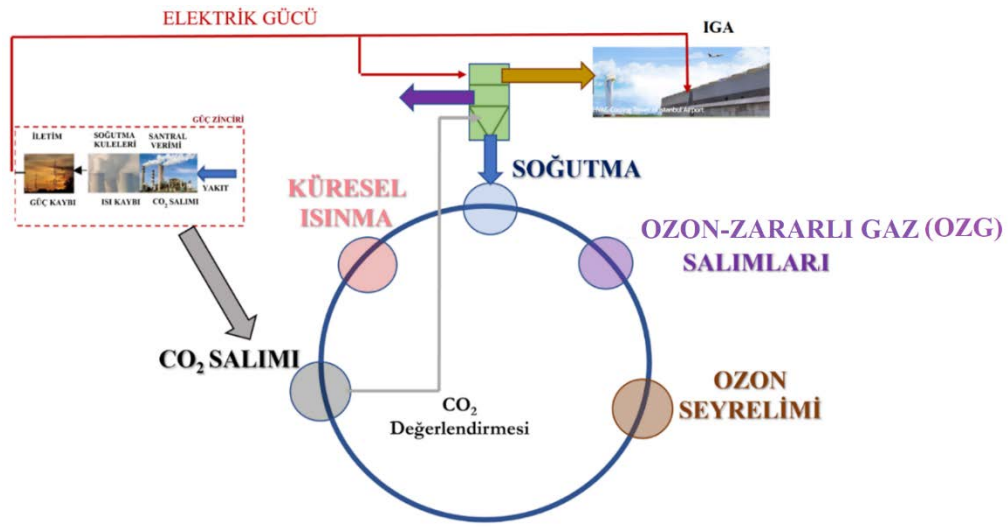
$$\psi_R = 1 - \frac{\mathcal{E}_{yıkım}}{\mathcal{E}_{arz}} \quad (4)$$

3. EZBER BOZAN ÖRNEKLER

3. 1. Kazan mı Beraber Isı ve Güç (Kojenerasyon) mu?

Alışılmış klima ve havalandırma uygulamalarında elektrik gücü ulusal şebekeden temin edilmekte ve bu güçle soğutucu akışkan içeren, gaz sıkıştırımlı soğutma üniteleri (Çiller) kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde ise ağırlıklı olarak termik santraller devrededir ve doğal gazın payı da %40 a yakındır. Bu süreçte önemli CO₂ salımları oluşmakta olup Ülkemiz CO₂ salımlarını azaltma girişimlerinde Dünyada en sondan üçüncüdür. Soğutucu akışkanlar ise OZG ve benzeri ozon tabakasını seyreltici etki göstermektedirler. Her ne kadar Ülkemiz ozon-zararlı akışkanlar konusunda oldukça başarılı ise de [5]

sonuç itibarı ile bir yandan karbon salımları öte yandan eş-zamanlı olarak ozon-zararlı maddeler açılardan alışılmış ısıtma soğutma, klima ve havalandırma sistemleri hem verimsiz hem atmosferi kirletici hem de enerjinin akılcı kullanımında yetersiz bir döngü içerisindedirler. Bu döngü Şekil 8 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.



Şekil 8. Bir Havalimanı Uygulamasındaki (IGA) Soğutmada CO₂ ve Ozon Tabakasını Seyrelten Soğutucu Akışkan Sızıntılarının Küresel Isınma ile Kısır Döngüsü [5].

Örneğin, Havaalanında 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 çok büyük ölçüde önlenebilecek ve yakıt tasarrufu sağlanacaktı. Isı pompalarında ve absorpsiyonlu soğutma gruplarında iyonik sıvı-CO₂ karışımı kullanılsa idi ozon-zararlı salımlar tamamen önlenebilecekti. Enerji depolaması ile de sistem küçültülebilecekti.

Şekil 9 da ise 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. Sonuç itibarı ile, Şekil 9 da gösterilen temel şemaya uygun ve daha kapsamlı bir küçük ölçekli uygulama Ülkemizde ilk LEED Platin sertifikası alan Eser binasında gerçekleştirilmiştir [6]. 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 önlenebilecek ve yakıt tasarrufu sağlanacaktı. Isı pompalarında ve absorpsiyonlu soğutma gruplarında iyonik sıvı-CO₂ karışımı kullanıldığında ozon-zararlı salımlar tamamen önlenebilecekti.

3.3. Üçlü Üretim (Trijenerasyon) [8].

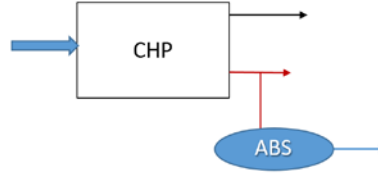
Beraber üretimde yeterli ısı yükü olduğu halde soğutma yapılmalı mıdır sorusunun değişik alternatifler için cevabı aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Örnek Performans Değerleri

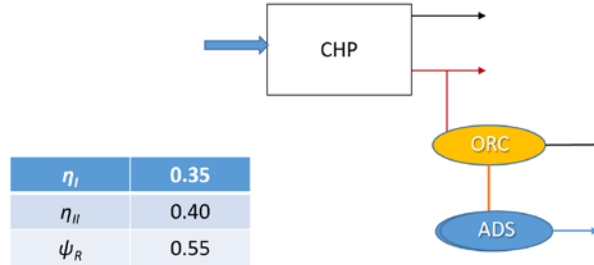
η_I	0.85
η_{II}	0.50
ψ_R	0.65

Şekil 13. Klasik Beraber Isı ve Güç Sistemi (Combined Heat and Power: CHP).



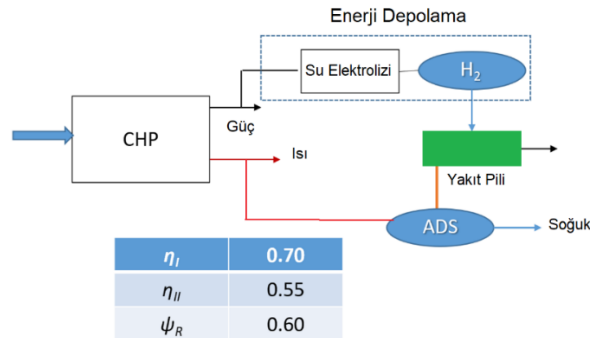
η_I	0.75
η_{II}	0.35
ψ_R	0.45

Şekil 14. Üçlü Üretim Sistemi (Trijenerasyon).



η_I	0.35
η_{II}	0.40
ψ_R	0.55

Şekil 15. Beraber Isı ve Güç, Organik Rankin Çevrimli (ORC) Güç Üretimi ve Atık Isıdan Adsorpsiyonlu Soğutma (ADS).

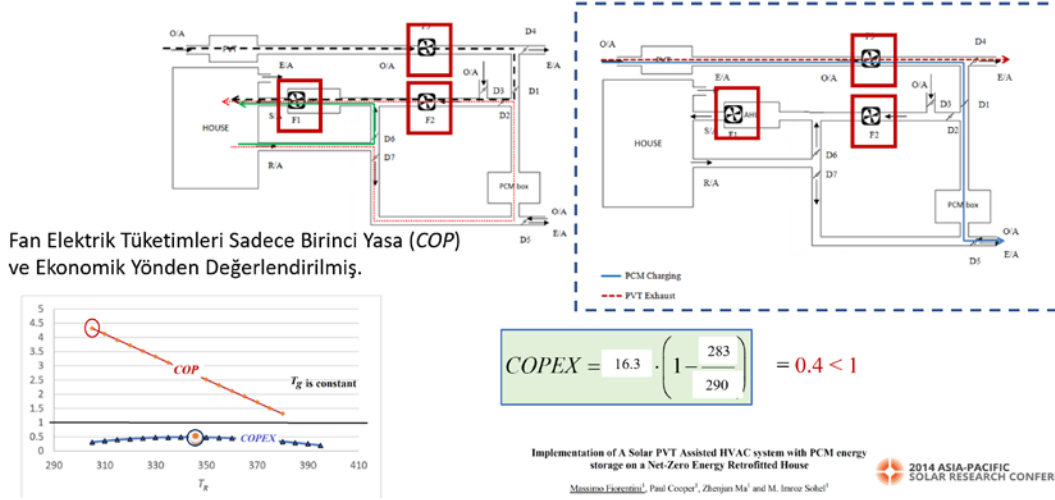


η_I	0.70
η_{II}	0.55
ψ_R	0.60

Şekil 16. Hidrojen Enerjisi Uygulaması.

3.4. Uygulama Doğru Fakat Yorum Eksik

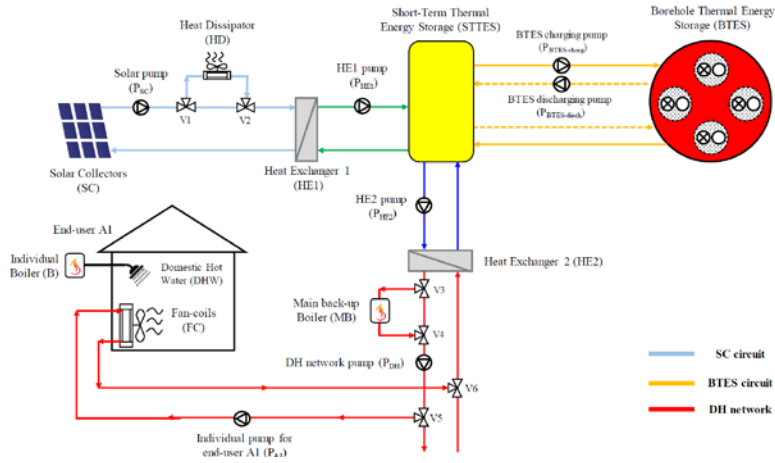
Güneş enerjili PVT sistemi ile bina ısıtılmasının verimliliği göz ardı edilen fan motorlarının ve diğer yan sistemlerin elektrik talebi ve ısı-güç birim ekserji değerleri yorumlandığında durum tersine dönmektedir.



Şekil 17. Güneş Enerjili PVT Sistemi İle Ev Isıtması.

3.5. Güneş Enerjili Bölge Isıtması

Aynı durum güneş enerjili bölge ısıtması için de geçerlidir.



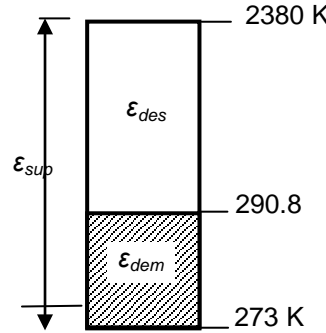
Şekil 18. [Rosato.]

3.6. Isı Geri Kazanım Cihazı (ERV)

Özellikle yeşil binalarda ısı geri kazanımlı (Isıtımda) ve ısı geri atımlı (Soğutmada) havalandırma sistemleri giderek rağbet görmekte ve yüksek COP değerlerine ulaşan sürdürülebilir sistemler olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu ısı değişimi ve enerji kazanımı sürecinde gerekli hava dolaşımını gerçekleştiren fan ve motor sistemlerinin gereksinim [Rosato] duyduğu elektrik gücünün birim ekserjisi, ϵ_E yaklaşık 1 WW olmasına karşın geri kazanılan veya atılan ısıdan kazanılan birim ısı güç ekserjisi, ϵ_H arasındaki büyük fark hesaplarda göz ardı edilmektedir. Çizelge 1 de örneklenen bir ısı geri kazanım cihazının Termodinamiğin Birinci Yasa uyarınca performans değerleri verilmektedir.

Elektrik gücünün birim ekserjisi, ϵ_E 1 W/W alındığında ΔE_{XE} ve ΔE eşit olmaktadır. Sonuçlardan COP değerinin 8 gibi oldukça yüksek olmasına karşın ekserji tabanında herhangi bir kazanım olmadığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, 1. Yasaya göre çok verimli gözükse de aslında 8 kat daha fazla CO_2 salımından sorumlu olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de CO_2 azaltımı bir türlü istenilen düzeye ulaşamamaktadır.

$$\psi_R = \frac{\epsilon_{dem}}{\epsilon_{sup}} = \frac{\left(1 - \frac{273}{290.8}\right)}{\left(1 - \frac{273}{2380}\right)} = 0.069 \quad (6)$$



Şekil 19. Isı Geri Kazanımının Örnek Ekserji Akış Çubuğu [2].

$$CO_2 = \left(\frac{c}{COP}\right) = \frac{0.154}{8.73} = 0.018 \text{ kg } CO_2/\text{kW-h}$$

Halbuki

$$CO_2 = \left(\frac{c}{\eta_T}\right) \frac{\psi_R \epsilon_{sup}}{COPEX} = 0.57 \frac{\epsilon_{dem}}{COPEX} = \frac{0.061}{0.23} = 0.151 \text{ kg } CO_2/\text{kW-h}$$

Bu sistem ekserji açısından incelendiğinde Birinci Yasaya göre çok yararlı gözükse de aslında 8 kat daha fazla CO_2 salımından sorumlu olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de CO_2 azaltımı bir türlü istenilen düzeye ulaşamamaktadır.

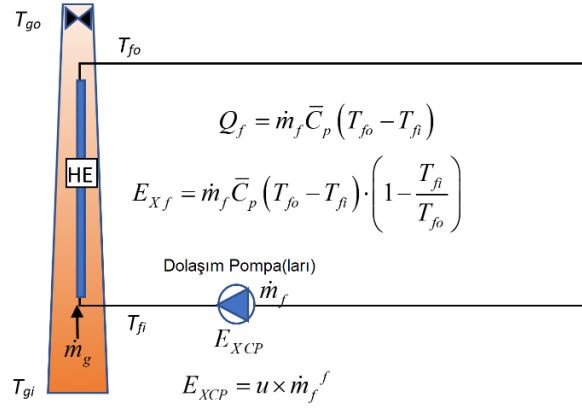
3. 7. Termik Santral Bacasından Isı Geri Kazanımı

Son günlerde kömür santrallerinin toplam verimini arttırmak üzere bacalardaki atık ısının geri kazanımı da gündeme gelmektedir. Çok akılcı gözükse de uygulamada bacada ısı çekildikçe doğal baca çekişinin azalması nedeni ile bacaya elektrikle çalışan ve ısıyas dayanıklı fan sisteminin kurulmasına gerek olmaktadır. Çekilen ısının birim ekserjisi ve tüketilen elektrik enerjisinin birim ekserjisi göz önünde tutulmadığı sürece bu uygulamanın Ülkeye ve çevreye katkısı eksi olabilecektir. Ayrıca bu ısının bir bölge enerji sisteminde değerlendirilmesi akılcı gözükse de ısının taşınacağı mesafe ve bölge enerji sistemindeki ısı ve veya soğutma şebekesindeki dolanım pompalarının çekecekleri elektrik gücü de dikkatli biçimde optimize edilmedikçe sonuç gene eksi olabilecektir ki bu olumsuz gerçekler ancak İkinci Yasa ile ortaya çıkmaktadır [9]. Bu bağlamda Şekil 20 de işaret edilen pompa ve baca fanının çekecekleri güç ekserjisinin elde edilen ısısal güç ekserjisinden az olmalıdır.

$$E_{X_{gf}} + E_{X_{CP}} < E_{X_f} \quad (7)$$

$$E_{X_{gf}} = \frac{(a\Delta P\dot{m}_g \times 1)}{\eta_{gf}} \quad \Delta P = P_o - dQ_g^e \quad Q_g = \frac{Q_f}{\eta_{III}}$$

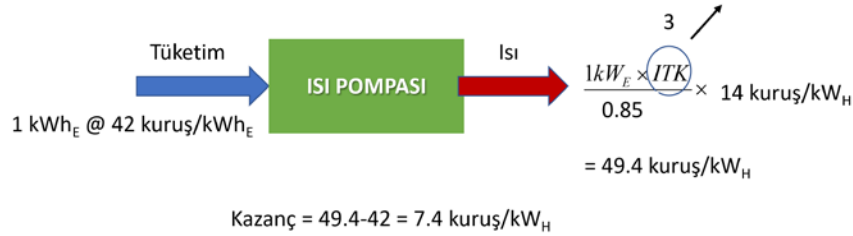
$$P_o = \gamma_o h$$



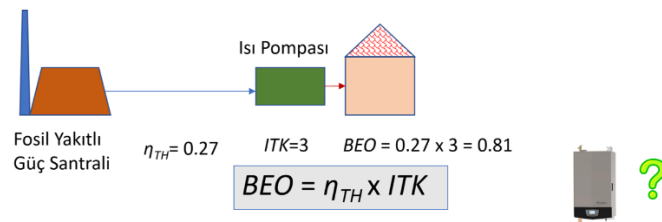
Şekil 20. Bir Santral Bacasından Isı Geri Çekiminin Kısıtları. [9].

3. 8. Isı Pompaları

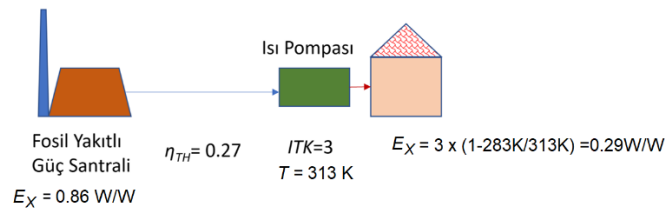
Isı pompaları da talep ettikleri yüksek nitelikli elektrik gücünü oldukça düşük ısıl güce tesir katsayısı (ITK) ile çoğaltsalar da ekserji dengesi kurulamamakta ve ekserji yıkımı oluşmaktadır.



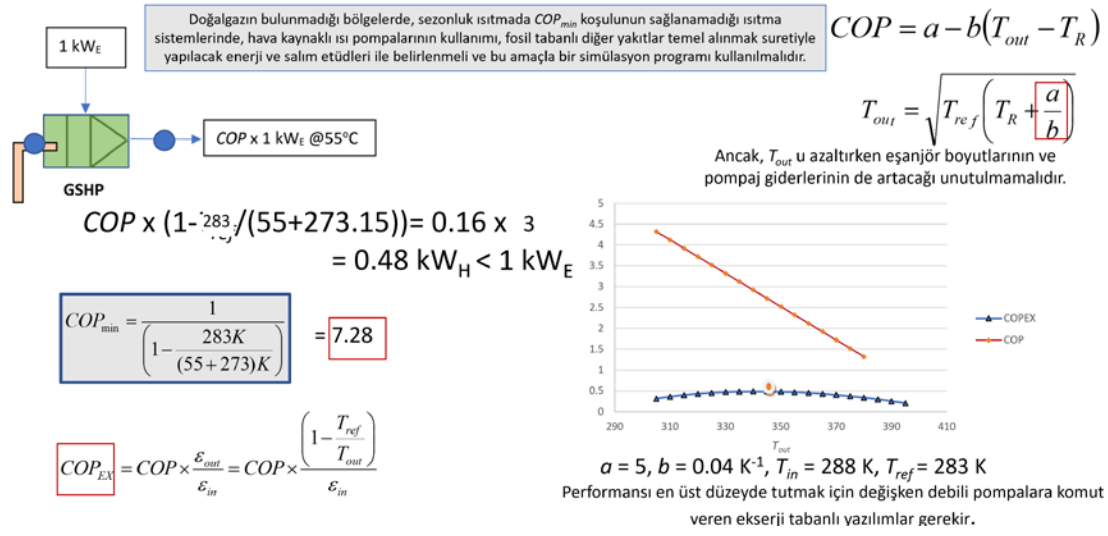
Şekil 21. İşletmede Parasal Tasarruf? [10].



Şekil 22. Enerjide Tasarruf? [10].

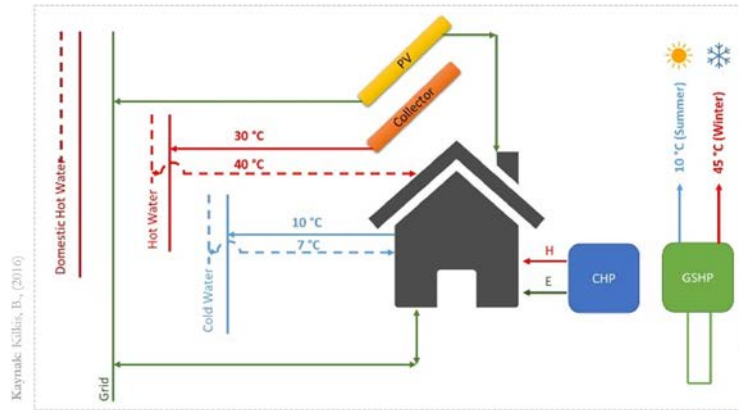


Şekil 23. Ekserjide Akılcılık? [10].



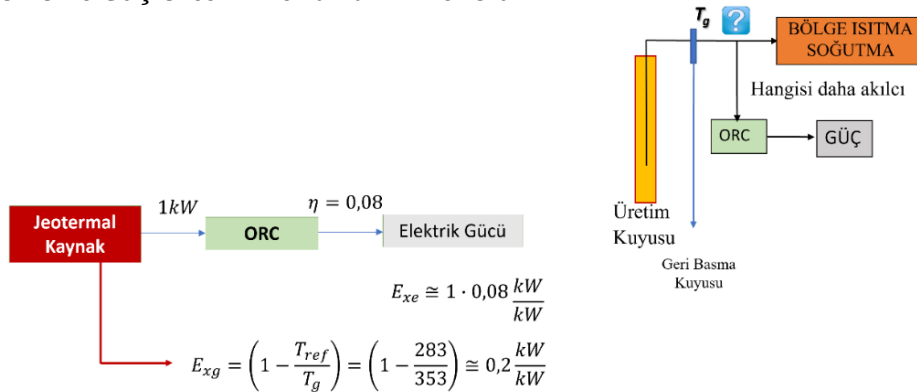
Şekil 24. Bir Isı Pompasının Ekserji Akılcı Olabilmesi İçin COP (ITK) değerinin en az 8 olması Gerekmektedir [YEGM].

3.8. Net-Sıfır Enerjili Bina



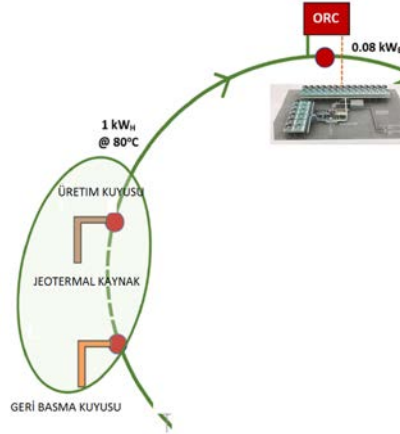
Şekil 25. [TTMD 2016]. Net Sıfır Enerjili Bir Yapı Aslında Ekserji Dengesi Açısından Değil.

3.9. ORC ile Güç Üretimi Ne zaman Akılcı Olur?

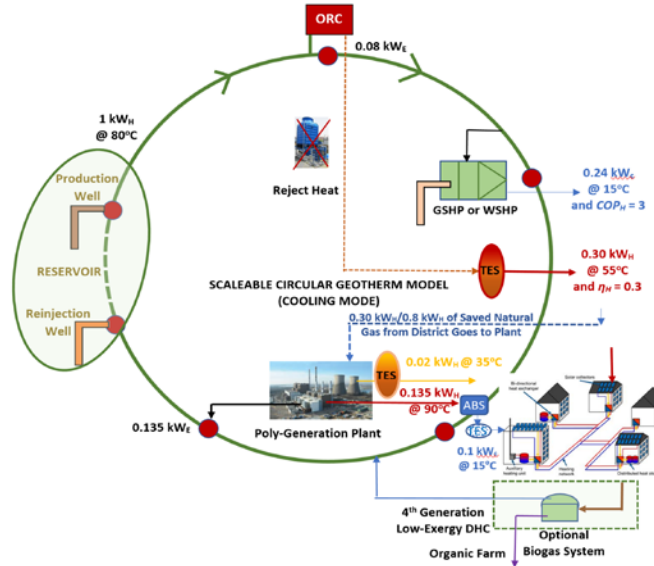


Şekil 26. Jeotermal Kaynaktan Elektrik veya Isı Olarak mı Yararlanalım?

3. 10. Jeotermal Enerjili ORC ile Güç Üretimine (JES) Seçenekler.



Şekil 27. Sadece ORC ile Yararlanılan Jeotermal Kaynak [10].



Şekil 28 [10].

Şekil 27 ve 28 de düşük entalpili bir jeotermal kaynaktan sadece ORC sistemi ile elektrik üretimine karşın, tümleşik bir tasarımla me kadar çok katma değer kazanılabileceği gösterilmektedir.

3. 11. Binalarda Isı Yalıtımı

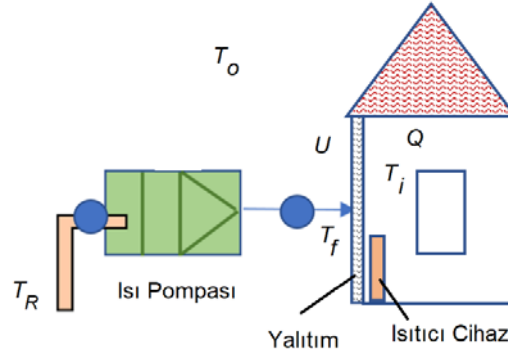
Dünyada ve hatta Ülkemizde her ne kadar akılcı değilse de elektrikle ısıtmada etkinliği arttırmak için ısı pompaları kullanılmaktadır. Aynı cihazlar konfor soğutmasında da kullanılmaktadır. Bu nedenle artık TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliğinde yıllık soğutma ve ısıtma derece-saat değerlerine göre yalıtım kalınlıkları (t) iklime göre ısıtma ve soğutma ağırlıklı olarak hesaplanmalıdır. Isıtma ve soğutma derece-saat değerleri hissedilir yüklerle göre ve binanın ısı kaybı (Kazanç) U değeri de hissedilir yüklerle bağlı olduğundan bu işlem aslında çok kolaydır. Isı pompalarının kullanımı ile gündeme gelen esas konu yalıtım kalınlıklarının artık bütüncül bir yaklaşıma getirilmesidir, zira ısı pompalarının performansı dolayısı ile tasarım boyutlarını ve işletme giderlerini etkileyen COP değerinin yalıtım kalınlığına bağlı olmasıdır. Aşağıdaki eşitlikler bunu göstermektedir. Yalıtım kalınlaştıkça ısıtma veya

soğutma yükü, Q azalmakta bu da ısıtıcı veya soğutucu cihazın besleme sıcaklığını azaltacak (Kışın) veya arttıracaktır (Yazın). Sonuç olarak da COP değeri yükselecektir. Bu ilişkinin artık göz önünde tutulması gerekir. Soğutmada aynı ilişki diğer soğutma grupları için de geçerlidir. Sonuç olarak optimum yalıtım kalınlığı, t aşağıdaki eşitlik takımından ve ısı tasarrufa ek olarak ısı pompası yatırım ve işletim kazançlarından bulunmalıdır.

$$COP = a - b|T_f - T_R| \quad (8)$$

$$Q = U|T_i - T_o| = c|T_f - T_i|^n \quad (9)$$

$$U = d + \frac{1}{t} \quad (10)$$



Şekil 29. Isı Yalıtım Kalınlığının (t) Bütüncül Optimizasyonu.

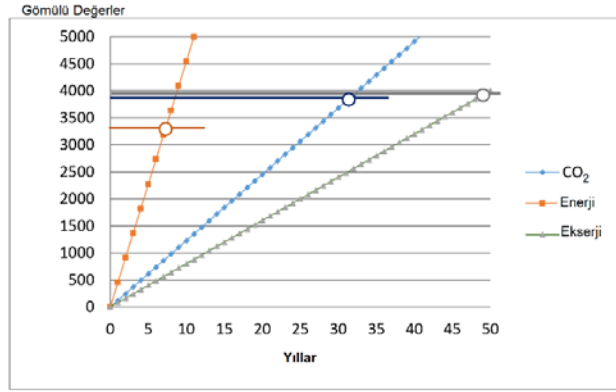
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Enerjinin niceliği yanı sıra niteliğinin de (Ekserji) olduğu ve arz ve talep arasındaki dengede sadece enerji niceliğinin değil niteliğinin de önemli hatta daha önemli olduğunun bu çalışma bir kez daha göstermiştir.

Binalarda ısı yalıtımından, binalarda ve sanayide ısı kazanımına, beraber ısı ve güç sistemlerinden ısı pompalarına ve havalimanlarına kadar birçok konudaki “verimli” uygulamaların aslında ülke ekonomisine, enerji bilançomuza ve cari açığımıza makro düzeydeki olumlu katkıları ya eksi ya da marjinaldir. Bu nedenledir ki sadece Ülkemizde değil tüm dünyada CO_2 salımları ile sürdürülebilir kalkınma arasında ayrışım (decoupling) bir türlü gerçekleşmemektedir (Şekil 1) Enerjinin niteliğindeki arz ve talep dengesizlikleri ekserji yıkımlarına bağlı olarak ek CO_2 salımlarına neden olmaktadır ve bu nitelik kayıplarının (Ekserji yıkım) geri dönüş imkânı bulunmamaktadır [3]. Bu kapsamda *REMM* Modeli geliştirilmiş olup bu makalede yer alan 3 ve 4 sayılı eşitlikler bu Modelin bir ürünüdür. Tüm sektörlerdeki cihaz ve sistemlerde Akılcı Ekserji Veriminin, ψ_R ve buna bağlı olarak *COPEX* katsayısının 1 değerine yakınsaması gerekmektedir. Tüm bu gereklere karşın, ASHRAE standardı olsun, TSE Standardı olsun, ısı geri kazanım cihazları gibi tüm ilişkin deney ve değerlendirme standartlarının hepsi Termodinamiğin 1. Yasasını esas alır. Bu yaklaşımın yetersiz olduğu, aslında bu cihazların katma değer ve çevre bağlamında katkı koyamadıkları bu çalışmada bir kez daha vurgulanmaktadır. O halde amaç ekserji yıkımlarının dolayısı ile çevresel zararların en aza indirgenmesi olmalıdır. Diğer yandan uluslararası boyutlarda iyi niyetli fakat yanlış uygulamalara da rastlanmaktadır. Örneğin Paris kendindeki Foto-Elektrik gözellerle kaplanmış cam küre yapıda amaç güneş enerjisinden en üst düzeyde yararlanmaktır. Ama uygulama tam tersinedir. Her şeyden önce iyi bir fikir gibi gözükse güneş takip sisteminde tüketilen elektrik enerjisi (Tahrik motorlarında) üretilen elektrik enerjisinden fazla olabilmektedir. Diğer yandan küresel geometri güne ışınımından en çok yararlanan bir geometri değildir. Daha da ötesi, alüminyum doğrama ve cam en çok gömülü enerji, ekserji ve CO_2 içermektedir. Bunların üretilen güneş enerjili elektrikten geri ödenmesi çok zordur. Tipik geri ödeme süreleri Şekil 31 de [4] de gösterilmiştir.

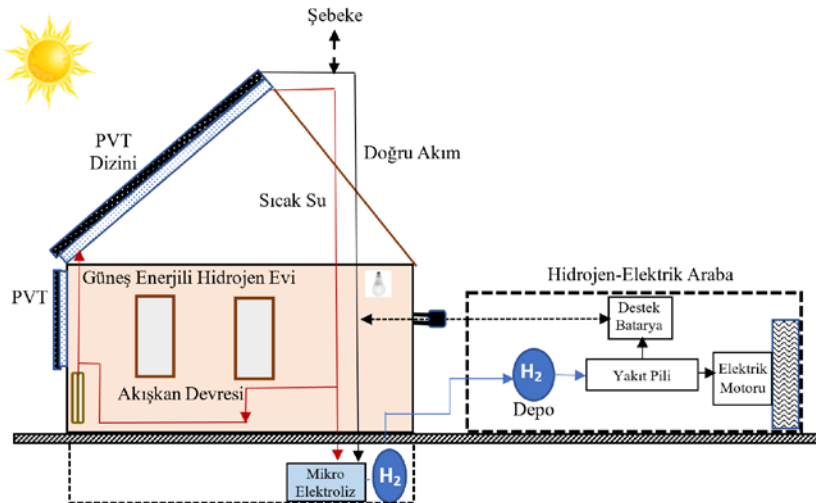


Şekil 30. Paris Kentindeki Cam Küre Yapıda Güneş Takipli Enerji Sistemi.



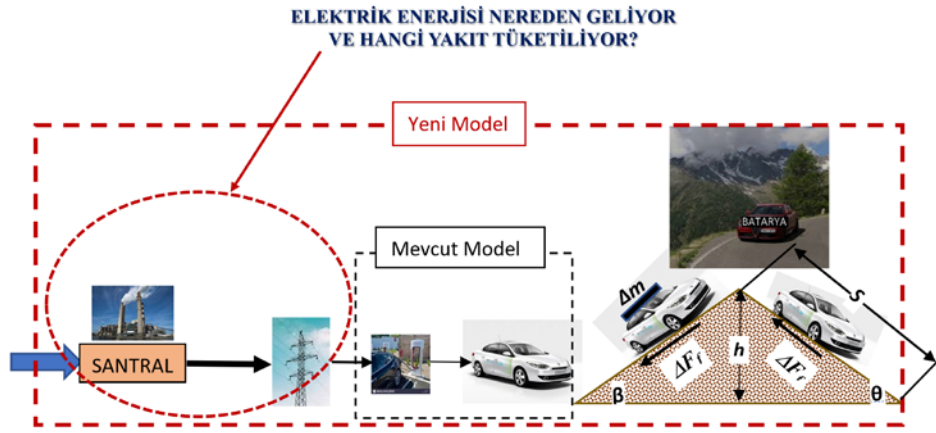
Şekil 31. Umulmayan Geri Ödeme Süreleri (Örnek Çalışma) [Novisad].

Bu gibi uygulamaların yanı sıra fütürist gibi gözükten ama aslında çok akılcı ve CO₂ salımlarını büyük ölçüde azaltıcı tasarımlarda mevcuttur. Bunlardan birisi sıfıra-yakın ekserjili (near-Zero Exergy Building: nZEXB) Hidrojen Evi ve Hidrojen Arabasıdır.



Şekil 32. Hidrojen Evi ve Hidrojen Arabası.

Söz açılmışken, elektrikli arabalar son günlerin en trend konusudur. Ama batarya ağırlığının düz yolda, ivmelenmelerde, yol-tekerlek arası sürtünme kayıplarında, yokuş tırmanmada, durmalarda ortaya çıkan enerji kayıplarını sorgulamamaktadır. Enerji geri kazanımı frenlerde bulunsa da bunun net verimi en fazla %50 olup, örneğin yokuş çıkarken batarya ağırlığına karşılık gelen potansiyel enerji gideri, aynı yokuşu inerken tam olarak geri kazanılamamaktadır. En önemli sorun ise bataryaların şarjında tüketilen elektrik gücü nereden gelmektedir. Türkiye de tüm hidrolik ve az da olsa yenilenebilir enerji kaynaklarında üretilen güç dahil olmak üzere, net üretim, nakil ve benzeri kayıplar (Kayıp kaçak hariç) göz önünde tutulduğunda net verim %50 yi geçmemektedir. Bu nedenle Elektrikli arabaların birincil enerji kayıpları benzinli ve tüp gazlı arabalardan çok da farklı değildir. “Sıfır-Emisyonlu” (sıfır-salımlı denilmek isteniyor) diye adlandırılan bu arabaların egzozları yoktur ve şehirleri kirletmez ama termik santral kurulu güç orantılı olarak makro düzeyde CO₂ salımlarından sorumludurlar. Kaldı ki güneş enerjili şarj edildiklerinde Ekserji akılcılığı açısından sorulacak yeni soru bu gücün toplu taşımada kullanılması daha mı yerinde olur sorusudur [11].



Bir Elektrikli Arabanın Modellemesinin Sınırları: Mevcut ve Yeni Model, ©2017 Birol Kılıç.

Şekil 33. Elektrikli Araba Dinamiğinde Batarya Külfeti [RAPOR].

Tüm bu nedenlerle ve örneklerde görüldüğü üzere, eğer küresel ısınmayı gerçekten azaltmak istiyorsak Termodinamiğin İkinci yasasına sıkı sıkıya sarılmamız gerekir. Ekserjik yaklaşım bir akademik hayal değil gerçektir.

SİMGELER

<i>BEO</i>	<i>Birincil Enerji Oranı</i>
<i>COP</i>	<i>Tesir Katsayısı (ITK)</i>
<i>COPEX</i>	<i>Ekserji Tabanlı Tesir Katsayısı</i>
<i>E</i>	<i>Elektrik gücü, kW</i>
<i>E_x</i>	<i>Ekserji, kW</i>
<i>h</i>	<i>Baca Yüksekliği, m</i>
<i>OF</i>	<i>Amaç Fonksiyonu</i>
<i>Q</i>	<i>Isıl Güç, kW</i>
<i>P</i>	<i>Basınç Kaybı, Pa</i>
<i>T</i>	<i>Sıcaklık, K</i>
<i>t</i>	<i>Yalıtım Kalınlığı, m</i>
<i>V</i>	<i>Debi, m³/h</i>



Semboller

ψ_R	Akılcı Ekserji Yönetim Verimi
ε	Birim Ekserji, W/W
$\Delta E (P_{HVAC})$	Klima ve ön Isıtma/Soğutma için Sarf Edilen Güç, kW
ρ veya γ	Yoğunluk, kg/m ³
ΔCO_2	Önlenebilir CO ₂ Salımı, kg CO ₂ /kW-h
ΔP	Basınç Farkı, Pa
U	Yalıtılan Duvarların U değeri

Alt Simgeler

<i>arz, sup</i>	Ekserji arzı
<i>cp</i>	Pompa
<i>dem, talep</i>	Ekserji Talebi
<i>des</i>	Yıkım
<i>E</i>	Elektrik
<i>gf</i>	Baca Gazı Çekiş Fanı
<i>H</i>	Isı
<i>in</i>	Kapalı Ortam
<i>f</i>	Akışkan
<i>m</i>	Elektrik Motoru Yüzeyi
<i>o</i>	Dış ortam (Hava)
<i>R</i>	Isı Geri Kazanımından Çıkış
<i>ref</i>	Referans (Çevre)
<i>yıkım</i>	Ekserji Yıkımı

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği (EU)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
HVAC	Isıtma, Klima ve Havalandırma (Heating, Ventilating, and Air-Conditioning)
NASA	National Aeronautics and Space Agency
REMM	Rational Exergy Management Model
ORC	Organic Rankine Cycle
OZG	Ozon-zararlı Gaz
REMM	Rational Exergy Management Model
TS	Türk Standardı
VRF	Variable Refrigerant Flow

4. KAYNAKÇA

- [1] Kılış, B. 2018. Ozon Tabakasının Korunmasında CO₂ Salımları Tehdit mi Potansiyel Çözüm mü? 19. Ozon Paneli ve Ozon Tabakasının Korunması Etkinliği, 18 Aralık, İstanbul
- [2] Kilkis, B. 2019. Sensible Heat Recovery in Ventilation, How Rational is it? *ASHRAE J.*, March Issue, 2019.
- [3] 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.
- [4] Kilkis, B. An Exergy-Rational Model for Rating Sensible Air-to-Air Heat Recovery Systems in Sustainable Buildings 3rd SEE SDEWES Conference, June 30-July 3, Novisad
- [5] Kılış, 2019. Yeşil Havalimanlarında Beraber Isı ve Güç Sistemleri (Kojenerasyon/Trijenerasyon), *Kojenerasyon Dergisi*.
- [6] Ayşe Gülbeden, Şefik Bilir, Birol Kılış. 2016. An Exergy-based Automation System in ESER LEED Platinum Building. XII TTMD Int. Symposium: İstanbul; 28/03/2016 - 02/04/2016.
- [7] Kılış, B. 2017. Türkiyede Güneş Enirsinin Akılcı Kullanımı ve Yenilikçi Öneriler, Kanal B, Güne Bakış.



- [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, B. Utilization of Cogeneration Heat in Hot and Humid Mediterranean Climates: Exergetic Game Change About Absorption Cooling Versus Solar Cooling, 13th SDEWES Conference, Poster Presentation, September 30- October 6, Palermo
- [10] Kılış, B. ve Kılış, Ş. 2017. Rational Exergy Management Model for Effective Utilization of Low-Enthalpy Geothermal Energy Resources (Düşük Entalpili Jeotermal Enerji Kaynaklarının Akılcı Kullanımında Ekserji Çözümleme Modeli), ULIBTK'17 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 13-16 September 2017, Abstracts Book, p: 6, Çorum.
- [11] Kılış, B. 2017. Elektrikli Arabalar ve Araştırma Olanakları, Başkent Üniversitesi, Değerlendirme Raporu.

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.