

# **SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİ ve PERFORMANS METRİKLERİNDE ENERJİ NİTELİĞİNİN TÜRKİYE AÇISINDAN ÖNEMİ**

Birol KILKIŞ, Tahir YAVUZ, Özgür EROL

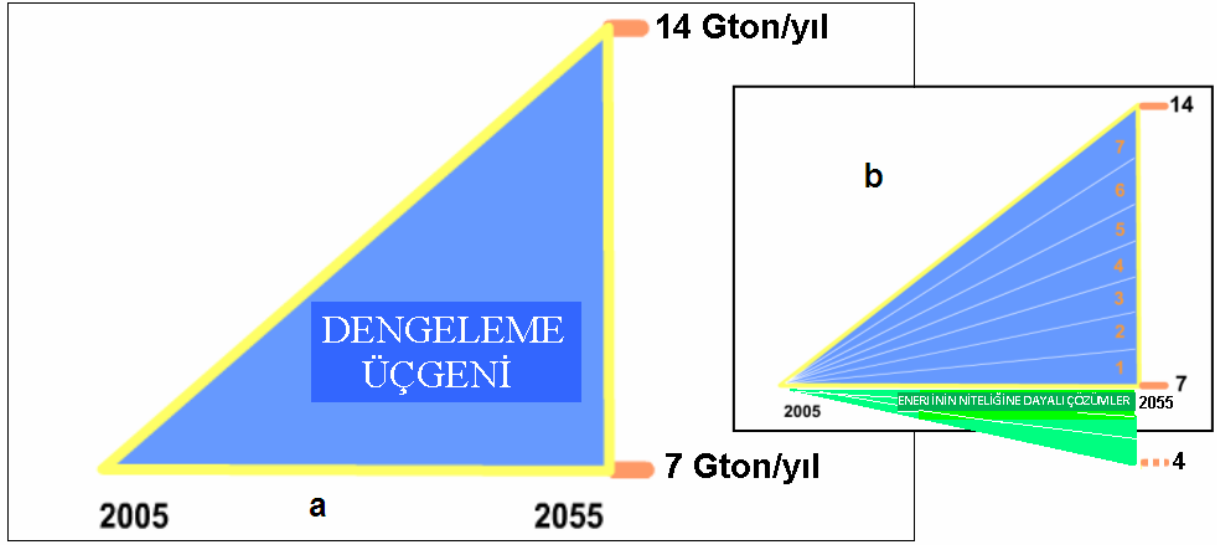
Başkent Üniversitesi, Sürdürülebilir Enerji Sistemleri Araştırma Merkezi-SESAM  
Bağlıca Kampusu, Ankara

## **ÖZET**

Bu bildiride enerji niteliğine dayalı enerji ve sürdürülebilirlik politikalarının oluşturulması için gerekli bilimsel ve teknik altyapı bilgileri verilmekte, geliştirilen metrikler tanıtılmakta ve geliştirilen yeni bir model örneklerle tanıtılmaktadır. Bu model kullanılarak karbon salım eşdeğerlerinin de daha gerçekçi hesaplanabildiği gösterilmektedir.

## **GİRİŞ**

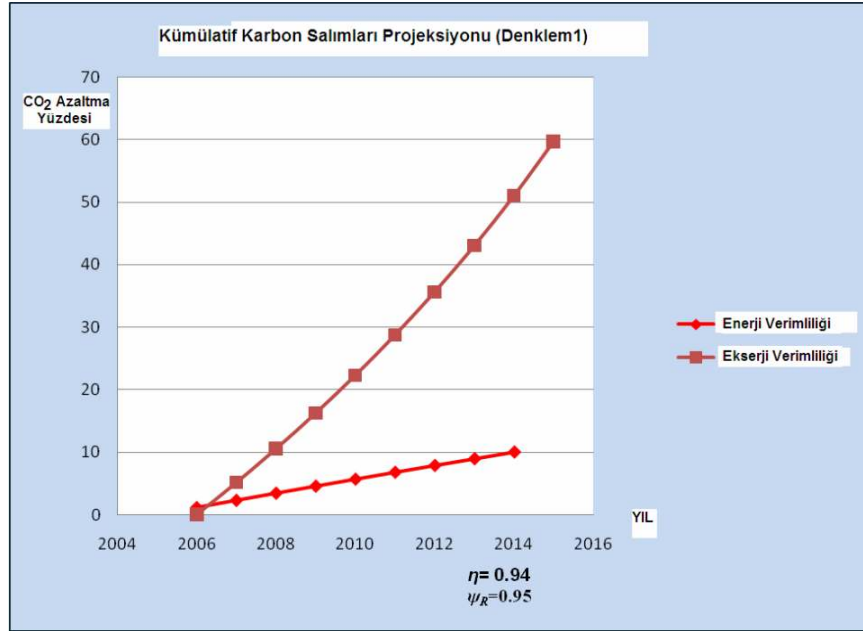
Günümüz sürdürülebilirlik politikalarında enerjinin sadece niceliği göz önünde tutulmakta strateji belirleme çalışmaları bu nedenle yararı giderek azalan önlemler paketlerine dönüşmektedir. Nitekim AB direktiflerinde de gözlendiği gibi enerji sektöründe arz ve talep noktalarındaki birinci kanun verimleri belirli bir düzeye erişmiş bulunmaktadır. Birinci kanun verimleri de yüzde yüzü aşamayacağına göre OECD'nin 2050 yılına odaklı karbon salımlarının azaltılması hedeflerinin gerçekleşmesinde yeterli seçenekler ve teknolojik açılımlar giderek kısıtlanmakta, çözüm giderek enerjinin daha az kullanımına odaklı kalmaktadır [1]. Şekil 1 ise 2055 yılına kadarki zaman diliminde karbon salımlarının tahmin edilen 14 Gton/yıl düzeyi yerine 2005 yılı düzeyinde (7 Gton/yıl) tutulmasına yönelik olarak önerilmiş bulunan yedi adet karbon takozunu (Carbon Wedge) göstermektedir [2]. Burada her bir takoz, karbon salımlarındaki artışı dengelemek üzere toplamda 1'er Gton/yıl salım azaltımını değişik sektörlerde gerçekleştirecek önlemler dilimini simgelemektedir.



Şekil 1. Karbon Takozu: a- Termodinamiğin Birinci Kanununa dayalı Çözümler [2].

b- Termodinamiğin İkinci Kanununa Dayalı Çözümler [3, 4].

Hâlbuki 2009 yılı Temmuz ayında yapılacak G8 toplantısında 2050 yılına kadar karbon salımlarının yüzde seksen azaltılması hedefi tartışılacaktır. Bu hedefin gerçekleşmesi için birinci kanun verimlerinin iyileştirilmesi ve enerji talebinin azaltılması (Enerji Tasarrufu: ENVER Hareketi) yeterli olamayacaktır. Bu yöneliş ise toplum refahı, enerji, çevre ve ekonomi parametreleri ile çelişmektedir. Bu yönetime karşın önemli bir seçenek ise stratejilerin giderek enerji niteliğinin akılcı kullanımına yönlendirilmesidir [3]. Şu andaki enerji politikalarında enerjinin niceliksel verimi (Termodinamiğin birinci kanununa göre) yüzde altmış ve üzeri olmasına karşın enerji niteliğinin (yararlı iş potansiyeli) ne denli akılcı kullanıldığına ilişkin (Ekserji) verimi yüzde on'u aşmamaktadır. Buradan da görülmektedir ki 2050 hedeflerini yakalayabilmek için enerji niteliği daha büyük bir çözüm potansiyeli ve ekonomik anlamda geri dönüşü daha kolay olan akılcı açılımlar içermektedir. Enerjinin niteliğinin daha akılcı kullanımı aslında yeni ve pahalı teknolojiler yerine arz ve talep noktalarındaki mevcut sistemlerin ve cihazların daha niceliksel bir yaklaşımla yeniden ilişkilendirilmesi ile gerçekleştirilebilir olduğundan çok kısa vadede önemli aşamalar kaydedebilecek bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel Şekil 1'in ikinci kısmında (4 Gton/yıl) ve Şekil 2 de gösterilmiştir [4]. Şekil 2 deki ekserji verimine dayalı projeksiyonda Denklem 1 kullanılmıştır.



Şekil 2. Karbon Salımlarının Azaltılmasında Enerji ve Ekserji Verimlerinin Potansiyel Katkıları [4].

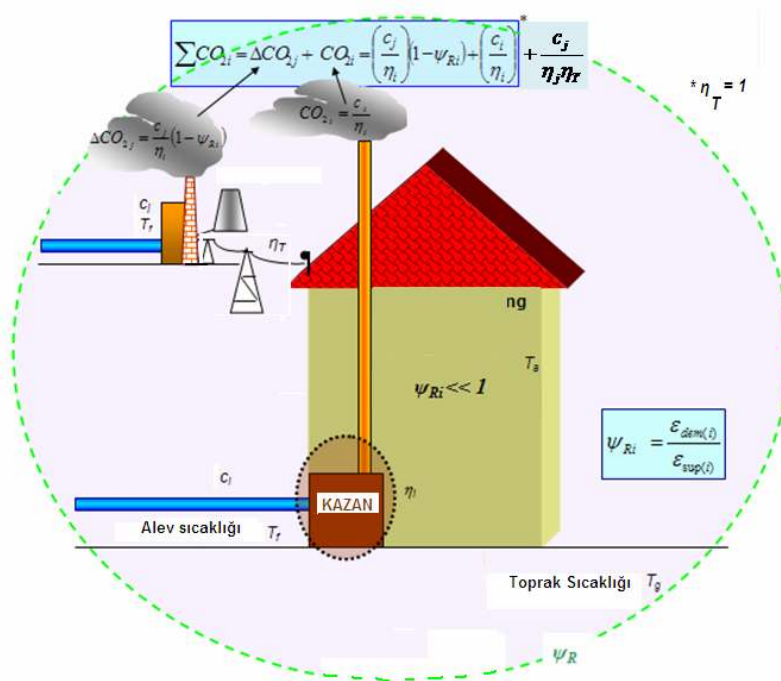
$$\sum CO_{2i} = CO_{2i} + \Delta CO_{2j} = \left( \frac{c_i}{\eta_i} \right) + \left( \frac{c_j}{\eta_i \eta_T} \right) (1 - \psi_{Ri}) + \left( \frac{c_j}{\eta_j \eta_T} \right) \quad (1)$$

Denklemdaki ilk terim herhangi bir (*i*) tesisindeki kazan verimine bağlı karbon salımı, ikinci terim kazanın neden olduğu ekserji yıkımına ilişkin ve büyük ölçüde önlenabilir karbon salımı, son terim ise kazanın bulunduğu binadaki elektrik talebinin santralde neden olduğu karbon salımıdır. Dolayısı ile bir binanın veya endüstriyel tesisin üç ayrı karbon salan bacası bulunmaktadır (Şekil 3). Bu bacalardan ilki ve sonuncusu doğrudan, ikincisi ise dolaylıdır. Denklem 1 de  $\psi_{Ri}$  akılcı ekserji yönetimi verimini [3, 4],  $c_i$  tüketilen yakıtın ısı değerine bağlı birim karbon çıktısını (kg CO<sub>2</sub>/kW-h),  $\eta_i$  ısı verimi,  $\eta_T$  şebeke ve enerji dönüşüm kayıplarını simgelemektedir. Denklem 2 ise akılcı ekserji yönetim verimini vermektedir.

$$\psi_{Ri} = \frac{\mathcal{E}_{dem(i)}}{\mathcal{E}_{sup(i)}} = \frac{\left( \frac{T_{ref}}{T_a} \right)}{\left( \frac{T_{ref}}{T_{sup}} \right)} \quad (2)$$

Bu denklemde  $\varepsilon_{dem(i)}$  ideal Carnot çevrimine göre (i) tesisinin veya binanın birim yük başına gerek duyduğu ekserji,  $\varepsilon_{sup(i)}$  ise bu gereksinim için arz edilen ekserjiyi simgelemekte olup, burada bir binanın konfor ısıtması ele alınmış olup,  $T_a$  iç hava kuru-termometre konfor sıcaklığı,  $T_{ref}$  çevre referans sıcaklığı (burada  $T_g$ : toprak sıcaklığı alınmıştır).  $T_{sup}$  ise doğal gazlı kazanda yanma odası alev sıcaklığıdır. Bir örnek vermek gerekirse aşağıdaki çözümden akılcı ekserji yönetim veriminin sadece yüzde altı olduğu görülür. Kısacası bu sistem doğal gazın yüzde doksan-dördü yararlı iş yapma potansiyelini yok etmektedir (yıkamaktadır). Kısacası ve örneğin doğal gazlı, yoğunlaşmalı bir kazanın birinci kanun verimi yüzde doksan-yedi olabilmesine rağmen aynı kazan konfor ısıtmasında kullanıldığında ikinci kanun verimi yani enerjinin niteliğinin değerlendirme verimi sadece yüzde 6'dır.

$$\psi_{Ri} = \frac{\left( \frac{278}{291} \right)}{\left( \frac{278}{1273} \right)} = 0.06$$



Şekil 3. Enerji ve Güç Tüketen Bir Bina'nın veya Tesisin Karbon Sorumlulukları.

Denklem 1 ve Denklem 2'den görüldüğü üzere ekserji yıkımlarının neden olduğu karbon salımlarının büyük ölçüde azaltılması tüm sektörlerde  $\psi_{Ri}$ 'nin yükseltilmesi ile mümkündür. Ulusal enerji stratejilerimizde bu önemli faktörün göz önünde tutulması gerekmektedir. Bu nedenlerle, uzun soluklu ve küresel rekabete açık enerji politikalarının sağlıklı oluşmasında ve sürdürülebilmesinde enerjinin niceliği kadar niteliğinin de özellikle ülkemizde önem kazandığı açıktır.

Enerji, çevre, toplum refahı, ekonomi bir arada düşünüldüğünde ise tüm sistemler, alt sistemler, sektörler ve alt sektörler arasındaki ekserji arz ve talep dengesi yeniden dengelenmelidir:

$$\sum_{j=1}^m \varepsilon_{\text{sup } j} - \sum_{j=1}^n \varepsilon_{\text{dem } j} \cong 0 \quad (3)$$

Denklem 3, belirli bir ölçekte ki bu bir kent, yöre veya bir ülke olabilir, tüm enerji arz, talep ve enerji tüketen-üreten hizmetlerin tümünde ekserji arz ve taleplerinin toplamda dengeli olmasını öngörmektedir. Pratikte bu ideal koşul mümkün olamayacağından ve belirli kısıtlara da maruz kalan Denklem 4, geliştirilecek stratejilerin optimizasyonunda kullanılacak amaç fonksiyonu olmalıdır:

$$OF = \sum_{j=1}^m \varepsilon_{\text{sup } j} - \sum_{j=1}^n \varepsilon_{\text{dem } j} \text{ ---- } > \text{ Minimize} \quad (4)$$

Bu amaç fonksiyonu ise doğrusal ve doğrusal olmayan birçok kısıt fonksiyonuna da tabi olacaktır. Bu kısıtlar problemin boyutuna ve içeriğine bağlıdır.

## SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK METRİKLERİ

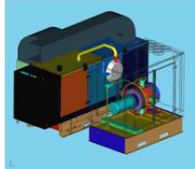
1- Akılcı Ekserji Yönetimi. Bu metrik Denklem 2 de verilmiştir.

2- Birincil Enerji Tasarrufu (*PES*)

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{\text{CHPH}\eta}{\text{RefH}\eta} + \frac{\text{CHPE}\eta}{\text{RefE}\eta}} \right] \times 100 \quad (5)$$

Bu denklem ısı ve güç üretiminde belirli referans değerlerine göre olası enerji tasarrufunu vermektedir. Şekil 4'de ise yoğuşmalı kazanın birinci kanun verimi yüksek olmasına karşın sadece ısı üretilip güç üretim potansiyelini yitirdiği için yakıt tasarrufu sıfır'dır. Hâlbuki bir kojenerasyon sisteminde gerçek bir yakıt tasarrufu vardır. Bu tasarruf ekserji yıkımları da doğrudan göz önüne alındığında daha da belirginleşmektedir.

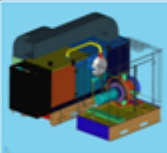
$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{0.95}{0.95} + \frac{0}{0.52}} \right] \times 100 = 0$$


$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{0.51}{0.95} + \frac{0.40}{0.52}} \right] \times 100 = 0.23$$


Şekil 4. Birincil Enerji Tasarrufu Mukayesesinde Yoğuşmalı Kombi Kazan ve Kojenerasyon.

3- Ekserji Gömülü Birincil Enerji Tasarrufu ( $PES_R$ ): Sektör ortalaması bir referans ekserji değerine göre ekserji yıkımlarının da göz önünde tutulduğu durumda yakıt tasarrufu bilançolarında ekserjinin de göz önünde tutulması gereği açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu durumda aslen bir yoğuşmalı kombi kazan birincil enerji savurganlığı yapmaktadır.

$$PES_R = \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{CHPH\eta}{RefH\eta} + \frac{CHPE\eta}{RefE\eta} \right) \times \frac{(2 - Ref\psi_R)}{(2 - \psi_R)}} \right] \times 100 \quad (6)$$
  

$$PES_R = \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{0.51}{0.95} + \frac{0.40}{0.52} \right) \times \frac{(2 - 0.27)}{(2 - 0.65)}} \right] \times 100 = 0.40$$


☒ Yakıt Tasarrufu

$$PES_R = \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{0.85}{0.95} + \frac{0.18}{0.52} \right) \times \frac{(2 - 0.27)}{(2 - 0.35)}} \right] \times 100 = 0.23$$


☐ Yakıt Kaybı

Şekil 5. Ekserji Gömülü Birincil Enerji Tasarrufu Mukayesesi.

4- Alternatif Enerji Kullanım Oranı (*AER*): Bu metrik bir uygulamada alternatif enerji kaynaklarının belirli bir yükün (*Q*) ne kadarını (*Q<sub>A</sub>*) karşıladığını göstermektedir.

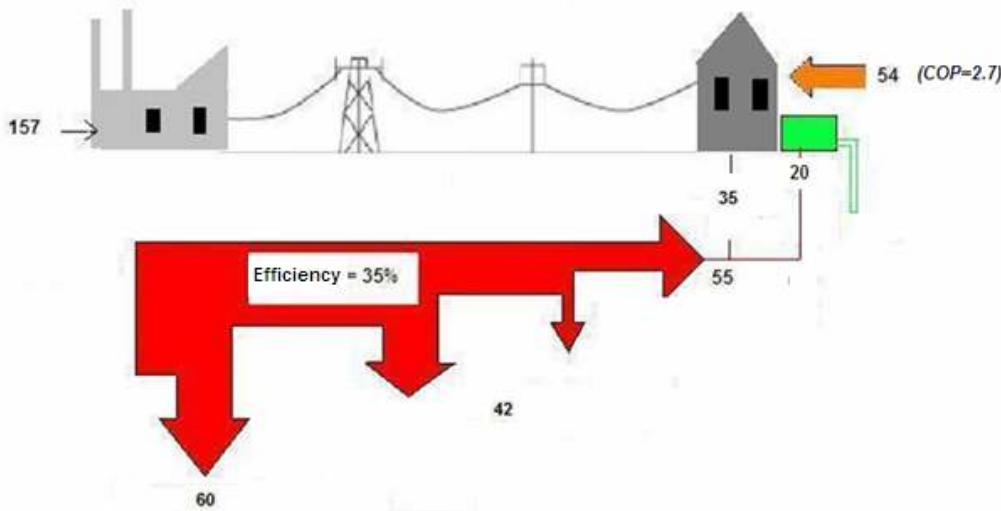
$$AER = \frac{\psi_R}{1 - \left( \frac{Q_A}{Q} \right)} \quad (7)$$

5- Kümülatif Karbon Salımı Metriği: Denklem 1 de verilmiştir.

6- Birincil Enerji Oranı: Kaynaktan son uygulama noktasına kadarki toplam verimsizlikleri simgeler:

$$PER = \frac{ITK \times \text{Güç Girdisi} + \text{Tüketilen Güç}}{\text{İlk Noktadaki Yakıt Girdisi}} \quad (8)$$

Bu denklemde Isıtma Tesir Katsayısı *ITK* olan bir ısı pompasına verilen elektrik gücünün yanı sıra o sistemde örneğin binada tüketilen diğer güç toplamının santralde elektrik gücü üretiminde harcanan birincil yakıtın ısıl gücüne oranıdır. Örnek değerler Şekil 6'da verilmiştir.



Bu örnek değerlere göre ısı pompası kullanılmasına rağmen gerçek yakıt tasarrufu söz konusu değildir. Bu örnek, enerji metriklerinin ve stratejilerinin çok geniş bir alanda kapsanmasıdır.

$$PER = \frac{2.7 \times 20 + 35}{157} = 0.57$$

## **SONUÇ VE TARTIŞMA**

Enerji stratejilerinin uzun soluklu, kapsamlı ve sürdürülebilir nitelikler taşıması için makalede özetlenen yedi adet metrik tümleşğinde enerji ve ekserji ortak tabanında geliştirilmesi ve Denklem 4'de verilen optimizasyon fonksiyonu ile oluşturulması gereği vurgulanmaya çalışılmıştır. Özellikle ekserji tabanlı analizler ve çözümler gerçek karbon salım hesaplarında ve dolayısı ile karbon salımlarının azaltılmasında, enerji tasarrufu kestirimlerinde önem taşımaktadır. Ülkemizdeki stratejilerin hiç birisinde bu öge bulunmamaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda ekserjinin de yer alması ülke enerji bilançomuz ve çevremiz için çok yararlı olacaktır.

## **KAYNAKÇA**

- 1- Başkent Üniversitesi, Sürdürülebilir Enerji Sistemleri Araştırma Merkezi: DPT Araştırma Altyapısı Projesi Başvurusu, 2008.
- 2- CMI. Carbon Mitigation Initiative, Princeton University, The Stabilization Triangle, Princeton University, 2006.
- 3- Kılış, Ş. Development of a Rational Exergy Management Model to Reduce CO<sub>2</sub> Emissions with Global Exergy Matches, Honors Thesis, Georgetown University: Washington DC, 112 sayfa , 21 şekil, 2007.