

NET-SIFIR BİNALAR VE KENTLER İÇİN AKILCI EKSERJİ YÖNETİM MODELİ

Şiir KILKIŞ

ÖZET

Günümüzün artan toplumsal ve çevresel sorunları enerji kaynaklarının daha akılcı kullanılmasını gerektirmektedir. Net-sıfır hedefi, enerji kaynaklarını

daha etkin kullanan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üreten binalar ve kentlere yön vermekte olup, yıl boyunca tükettikleri kadar enerji üreten, “öz yeterliliğe” sahip, öncü örneklerin ortaya çıkmasını sağlayacak bir hedef sunmaktadır. Bu araştırma, net-sıfır hedefine ulaşma yolunda enerji kaynaklarının içerdiği yararlı iş potansiyelinin (ekserjisinin) üst düzeyde değerlendirilmesine bağlı olarak, enerji tüketiminin ve CO₂ salımlarının azaltılması için stratejik bir yaklaşım sunan Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM) nin rolünü analiz etmiştir. Birden çok verimlilik ölçütünü sentezleyen bu Modelin rolü, yüksek performanslı bir bina örneği olarak Türkiye'nin ilk LEED Platin binası ve örnek bir kent olarak İsveç'in Stockholm ve Uppsala şehirlerindeki yerleşim yerleri üzerinden ele almıştır. Elde edilen sonuçlara göre, net-sıfır enerji ve net-sıfır ekserji hedefinin gerçekleştirilmesi için Modelin anahtar nitelikte olduğu görülmüştür. Sürdürülebilir kalkınmanın odağını oluşturan enerji, çevre, toplum ve ekonomi dörtlüsünün daha uyumlu olmasına katkı sağlayan yüksek performanslı binalar ve kentlere ışık tutması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Net-sıfır, Ekserji, Yüksek performanslı binalar, Sürdürülebilir kentler, Enerji

ABSTRACT

The increasing societal and environmental problems of today necessitate that energy sources are used more rationally. The net-zero target gives direction to buildings and districts that more effectively use energy sources and produce energy from renewable energy sources so that leading “self-sufficiency” examples producing as much energy as consumed on an annual basis can take place. On the path towards reaching the net-zero target, this research analyzes the role of the Rational Exergy Management Model (REMM) that presents a strategic approach to reduce energy consumption and CO₂ emissions based on the usage of the useful work potential (exergy) of energy sources to the highest extent. The role of this Model that synthesizes more than one efficiency metric is analyzed through Turkey's first LEED Platinum building as a high performance building example and the Östra Sala backe project in the city of Uppsala in Sweden as an example district. The results indicate that the Model has a key role in the realization of net-zero energy and net-zero exergy targets. Moreover, the Model is found to hold light to high performance buildings and districts that contribute to making the energy, environment, society, and economy quartet more compatible for sustainable development.

Key Words: Net-zero, Exergy, High performance buildings, Sustainable districts, Energy

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarının daha akılcı kullanılması bir gereklilik haline gelmiştir. Ülkemizin enerji dengesi kapsamında, 2011 yılında 114,5 bin ton eşdeğer petrol (btep) olan birincil enerji arzının 90,2 btep ya da % 78,7'si ithal edilmiştir [1]. Cari açığı doğrudan etkileyen bu ithalat miktarının tüketim kalemlerine bakıldığında, sektörlerin nihai enerji tüketimi olan 86,9 btep'in 29,9 btep'inin ya da yaklaşık % 35'i konut ve hizmet sektöründe tüketildiği görülmektedir. Diğer yandan, yaklaşık 4 milyar TL'ye karşılık gelen toplam enerji tasarruf potansiyelinin % 30'u binalardan sağlanabilecek durumdadır [2]. Buradan anlaşıldığı gibi, yapı çevrenin enerji performansı ülkemizin enerji ithalatının, cari açığının ve karbondioksit (CO₂) salımlarının azaltılmasında önemli bir çözüm payına sahip olabilecek niteliktedir.

Bu çözüm payının etkin bir şekilde yakalanması için yenilikçi çözümlerin geliştirilerek uygulanması önem taşımaktadır. Yenilikçi çözümler kapsamında, alışlagelmiş günlük enerji tüketimleri içerisinde gömülü olan verimsizlikleri giderebilecek, binaların enerji yoğunluğunu azaltabilecek ve binaların enerji tüketiminde daha köklü değişikliklerin sağlanmasına hizmet edebilecek çözümler gerekmektedir. Bu arayış içerisinde “net-sıfır” bina hedefi, yıl bazında tüketilen enerji miktarı kadar enerji üretme hedefini ifade etmektedir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için, bir binanın enerji tüketimi için gerekli olan enerji miktarının yıl boyunca binanın öz kaynaklarından üretilen enerji miktarına eşit olması gerekmektedir.

Yıllık enerji kullanımı bazında binaların “öz yeterli” olduğu noktayı temsil eden net-sıfır hedefinin temel çerçevesi kapsamında tüketim ve üretim miktarlarının ölçüldüğü sınır koşullarının da önemli olduğu belirtilmektedir, örn. binanın yakın çevresinde yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilen enerji [3, 4]. Ancak bunun ötesinde, enerjinin sadece nicelik olarak değil, nitelik olarak da ölçülmesinin gerekliliği ortaya konmuştur [5]. Böylece, net-sıfır hedefiyle uyumlu bir binanın, elektrik şebekesi ve yerel ısıtma sistemleri ile yapabileceği enerji alışverişleri dikkate alınarak, enerji sistemi ile yapabileceği enerji değişimlerinin hem nicelik hem de nitelik bazında eşitliliğinin sağlanmasına dikkat edilmelidir [5,6].

Bu makalede, bir yandan enerji kaynaklarının israf edilmeden daha akılcı kullanılmasına, diğer yandan yerli enerji kaynaklarından daha etkin yararlanılmasına olanak tanıyan bir senaryo değişikliği için gerekli olan net-sıfır hedefi örnekleriyle beraber ele alınmıştır. Bu senaryo değişikliği için, mevcut duruma gelinceye dek göz ardı edilen ancak enerji kaynaklarının sahip olduğu ölçülebilir özellikleri arasında dikkate alınması gereken “ekserji” kökenli metriklerin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu araştırmada, net-sıfır hedefine ulaşma yolunda enerji kaynaklarının içerdiği yararlı iş potansiyelinin (ekserjinin) üst düzeyde değerlendirilmesine bağlı olarak, enerji tüketiminin ve CO₂ salımlarının azaltılması için stratejik bir yaklaşım sunan Akılcı Ekserji Yönetim Modeli'nin rolünü analiz edilmiştir [6,7]. Bu modelin rolü yüksek performanslı bir bina örneği olarak Türkiye'nin ilk LEED Platin binası ve örnek bir kent olarak İsveç'in Uppsala şehrindeki Östra Sala backe projesi üzerinden ele alınmıştır.

2. AKILCI EKSERJİ YÖNETİM MODELİ (REMM)

Ekserji, temel alınan bir referans çevre sıcaklığı bazında Carnot çevrimine göre bir enerji kaynağının oluşturabileceği ısı farklılığına dayanarak, elektrik üretimi ya da iklimlendirme gibi enerji hizmetleri için gerekli olan yararlı iş yapabilme potansiyelini ölçmektedir [8]. Böylece, enerji kaynaklarının sağlayabildiği farklı düzeydeki yararlı iş yapabilme potansiyellerine göre ayrıştırılabilmesine imkân tanımaktadır. En temelden, enerji çevrimi için yakılan bir birim doğal gazın ekserji değeri, bir birim atık ısının ekserji değerinden çok daha yüksektir. Bu nedenle, enerji sisteminde doğal gazın elektrik üretimi gibi daha yüksek iş potansiyeli gerektiren enerji hizmetlerinde kullanılmasına öncelik tanınmalıdır.

Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (Rational Exergy Management Model – REMM), enerji taleplerini karşılayacak olan enerji kaynaklarının içerdiği yararlı iş potansiyeli değerini dikkate alarak planlanması ve enerji sistemi genelindeki CO₂ salımlarının azaltılması için stratejik bir yaklaşım sunmaktadır [6,7]. Elektrik üretimi ya da iklimlendirme gibi farklı enerji taleplerini karşılayacak olan enerji kaynakları içerdiği yararlı iş potansiyeli değerine göre planlandığında, enerji kaynaklarının daha uyumlu taleplere yönlendirilmesi ve böylece, enerji sistemi genelindeki enerji israfına ve enerji tüketimine bağlı olarak meydana gelen CO₂ salımlarının azaltılması mümkün olmaktadır. Enerji kaynaklarının içerdiği yararlı iş potansiyeli ya da ekserji (ϵ_{arz}) ve enerji taleplerinin karşılanması için gerekli olan ekserji (ϵ_{talep}) kapsamında arz ve talep açısından ekserji değerlerinin karşılaştırılması için ψ_{R1} parametresi önem

taşımaktadır. Bu parametrenin değeri 0 ile 1 arasında değişmekte olup, ekserji taleplerinin yerine getirilmesi için kullanılan ekserji arzı bazında sırasıyla en düşük ve en uyumlu enerji kullanımlarını ifade etmektedir. İklimlendirme gibi düşük ekserji talebi olan bir enerji hizmeti için doğal gaz gibi yüksek ekserji talebi olan bir enerji kaynağı kullanıldığında ψ_{Ri} parametresinin değeri 0'a yakındır. Bu parametre Denklem 1'de verildiği gibi ekserji talebi ve ekserji arzı arasındaki orana dayanmaktadır.

$$\psi_{Ri} = \left(\frac{\sum_{i=1}^x \epsilon_{talep(i)}}{\sum_{i=1}^x \epsilon_{arz(i)}} \right) \quad (\text{boyutsuz}) \quad (1)$$

Denklem 1, tek bir bina sistemi $i=1$ ya da bir kent kapsamında birden fazla bina sistemi için ϵ_{talep} ve ϵ_{arz} arasındaki oranın değerini vermektedir. Ekserji değerleri, enerji miktarının ilgili Carnot faktörü ile çarpımına eşittir. Doğal gaz için Carnot faktörü, referans toprak sıcaklığı olarak 283 K ve yakılarak tüketilen doğal gazın yanma sıcaklığı olarak 2000 K kabul edildiğinde, birim enerji başına 0,86'dir (1-(283K/2000K)). Diğer yandan, bir binanın insan konfor düzeyine uygun bir şekilde iklimlendirilmesi için gerekli olan yaklaşık 298 K yine referans olarak 283 K ile birlikte ele alındığında, birim enerji başına 0,05'lik bir ekserji talebi olduğu anlaşılmaktadır (1-(283K/298K)). Bu nedenle, bu kullanım seçeneği için ψ_{Ri} parametresinin değeri Denklem 1'den birim enerji başına 0,06 gibi düşük bir değerdir (0,05/0,86). Buna göre ekserji talebi için harcanan enerji kaynağının ekserjisi büyük ölçüde israf edilmektedir.

Enerji sistemi bazında birden çok verimlilik ölçütünü analitik olarak sentezleyen Akılcı Ekserji Yönetim Modeli'nin en temel formülü Denklem 2'de verilmektedir. Denklem 2, belirli bir miktar enerji kullanımı P_i için enerji sistemi genelinde meydana gelen CO_2 salımlarını "sistemler-arası" bir sınır koşullu ile ele almaktadır [6,7]. Bu sistemler-arası sınır koşullunun sağlanması için Denklem 2'de ψ_{Ri} parametresinin kritik bir rolü bulunmaktadır. Buna göre, analiz edilen bina sistemi i tarafından $(1-\psi_{Ri})$ değeri kadar israf edilen kaynak ekserjisinin enerji sistemi kapsamında bu sefer başka bir sistem j tarafından ariyeten temin edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bir bina sistem i sınırının ötesinde, o binanın enerji sistemi genelinde sorumlu olduğu ek kaynak israfının ve dolaylı CO_2 salımlarının dikkate alınması önemlidir. Denklem 2'de hem doğrudan hem de $(1-\psi_{Ri})$ değerine bağlı olan dolaylı CO_2 salımları toplanmaktadır.

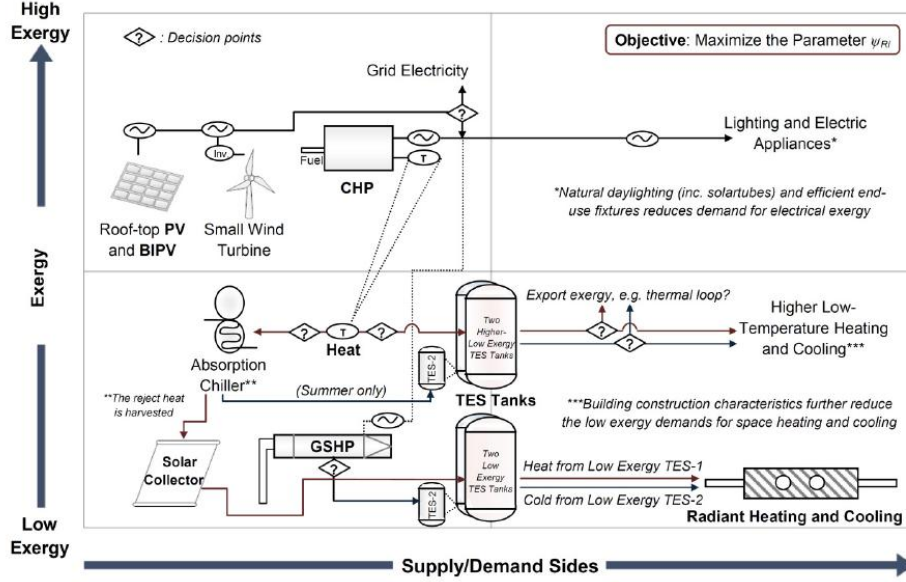
$$\sum \text{CO}_{2i} = \left(\left(\frac{c_i}{\eta_i} \right) + \left(\frac{c_j}{\eta_i} \times (1-\psi_{Ri}) \right) \right) \cdot \sum_{i=1}^x P_i \quad (\text{kg CO}_2) \quad (2)$$

Denklem 2, bir bina sistemi ya da ilgili bina sistemleri i için yukarıda özetlenen "sistemler-arası" sınır koşullu kapsamında ψ_{Ri} değerine bağlı olarak meydana gelen ek kaynak israfından ötürü ek CO_2 salımlarını da içeren toplam CO_2 salımları (compound CO_2 emissions - $\sum \text{CO}_{2i}$) değerini vermektedir (ayrıntılar için bkz. [6]). Bu değer, tüketilen enerji kaynağının ya da enerji kaynaklarının ortalama CO_2 içeriği olan c değerlerinin, kullanılan enerji teknoloji(leri)nin enerji verimliliği η değerlerinin ve analiz edilen boyut (tek bina ya da kent boyutunda ilgili bina sistemleri) bazındaki enerji miktarının toplamı olan sigma P_i değerinin bir fonksiyonudur. Denklem 2'de yer alan ψ_{Ri} değeri her ne kadar düşük ise, ilgili bina ya da binalar sistemleri i için toplam CO_2 salımları doğrudan CO_2 salımlarına görece daha fazladır. Böylece, enerji sistemi genelinde ek kaynak sarfiyatı ve CO_2 salımlarının azaltılması için ψ_{Ri} parametresinin mümkün olduğunca daha yüksek değerlere kavuşturulması bir gerekliliktir. Bu ihtiyaç aynı zamanda "net-sıfır" binalar ve kentler kapsamında hedefe yakınsama stratejileri için de gereklidir.

3. NET-SIFIR HEDEFİNE YÖNELİK BİNA ÖRNEĞİ: ESER YEŞİL BİNA

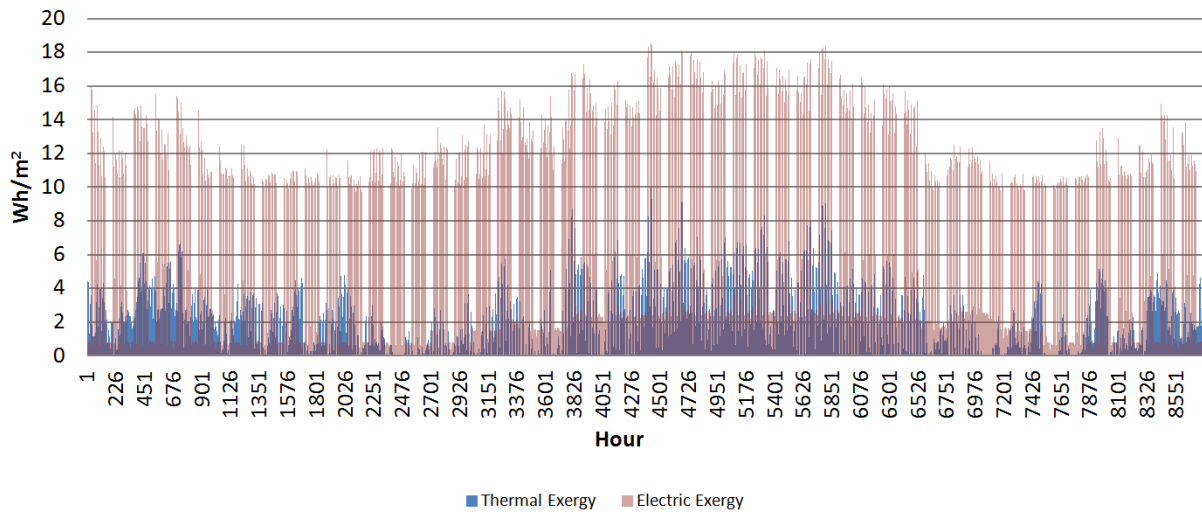
Birden çok verimlilik ölçütünü sentezleyen REMM Modeli, Türkiye'nin ilk LEED Platin sertifikasını alan Ankara'daki ESER Yeşil Binası'nın bütünleşik sistem tasarımı sürecinde değerlendirilmiştir. REMM Modeli, binanın mekanik tesisatı kapsamında birden fazla bina teknolojisinin bir bütün olarak ψ_{Ri} parametresinin değerini yükseltecek şekilde bir araya gelmesine yol göstermiştir. Bina bünyesinde elektrik gibi yüksek ekserji ya da yüksek nitelikli enerji üretimi gerçekleştiren sistemler olarak, mikro birleşik ısı ve güç sistemi, güneş hücreleri, bina entegre güneş hücreleri (BIPV) ve mikro rüzgâr türbini bir araya getirilmiştir. Bu sistemlerden üretilen elektrik enerjisi öncelikle bina kapsamındaki yüksek ekserjili taleplerin karşılanması için kullanılmıştır. Yüksek ekserji talepleri, pilot olarak ele alınan güneş boruları gibi tekniklerin etkin olduğu alanlar dışındaki alanların aydınlatması ve elektronik cihazlar için gereken priz yüklerinin karşılanması için gerekli olan taleplerdir. Diğer yandan, iklimlendirme gibi düşük ekserji ya da düşük nitelikli enerji gerektiren talepler, birleşik ısı ve güç sisteminin atık ısı, ısı

pompası ve soğurmalı soğutma sistemi ile karşılanmıştır. Bunun yanı sıra, iki farklı enerji depolama tankları yoluyla düşük nitelikli enerji miktarının düşük ekserji talepleri ile zaman ekseninde buluşması sağlanmıştır. Bina kapsamında yer alan farklı bina teknolojileri Şekil 1’de bir yandan yüksek ve düşük ekserji diğer yandan da arz ve talep taraflarına dayalı olarak bir matris kapsamında özetlenmiştir [6].



Şekil 1. Yüksek ve Düşük Nitelikli Enerji Gerektiren Taleplere Yönelik Bina Teknolojisinin Harmanlanması [6,7]

Yüksek ve düşük nitelikli enerji gerektiren talepler bazında Şekil 1’de özetlenen bina teknolojilerinin harmanı kapsamında enerji miktarlarına göre ağırlıklandırılmış ψ_{Ri} parametresinin değeri 0,79’dır. Bu değer, standart bir bina kapsamında alışagelen yöntemler ile temin edilen elektrik ve harcanan doğal gaz için ortalama ψ_{Ri} değeri olarak kabul edilebilecek 0,18 değerinden 0,61 puan artışı sağlamaktadır. REMM modeli bazında önemli bir verimlilik artışı olan bu değer aynı zamanda enerji kaynaklarının daha akılcı kullanılması yoluyla binanın hem enerji hem de ekserji yüklerinin azaltılmasında yararlı olmuştur. Binanın bu ve diğer özellikleri, LEED Platin bina belgelendirmesinde “Tasarımda Yenilik” kategorisinde dikkate alınan faktörler arasında yer almıştır. Şekil 2, EnergyPlus v6 programı ile gerçekleştirilen bina benzetimi verilerine dayanarak binanın saatlik ekserji yüklerini sunmaktadır.



Şekil 2. EnergyPlus v6 ile Yapılan Bina Benzetimi Verilerine Dayanarak Binanın Saatlik Ekserji Yükleri [9]

Net-sıfır enerji ve net-sıfır ekserji hedefine ulaşma yolunda, bir binanın yıl boyunca tükettiği enerjinin miktarı ve niteliği kadar enerji üretmesi gerekmektedir. Bunun için bir yandan enerji ve ekserji taleplerinin azaltılması, diğer yandan da azaltılan bu taleplere uygun enerji kaynakları ile enerjinin yine uygun dönüşüm teknolojileriyle üretilmesi gerekmektedir. Net-sıfır hedefine yönelik bina örneği olarak ESER Yeşil Binası ele alındığında, Şekil 1’de özetlenen yaklaşım yoluyla düşük nitelikli talepler için kullanılan enerji kaynaklarının enerji miktarları bazında ağırlıklandırılmış ortalama Carnot faktörü 0,21 olarak bulunmuştur [7]. Diğer yandan, üretilen elektriğin tümüyle yararlı mekanik işlemlerde kullanılabileceği için literatürde Carnot faktörü 1 olarak verilmiştir [8]. Ekserji bazında net-sıfır hedefini ortaya koyan Denklem 3 kapsamında ilgili benzetim değerleri dikkate alındığında, binanın yıl boyunca 60 kWh/m²-yr ekserji talebinin bulunduğu ve buna karşılık olarak kendi öz enerji üretim teknolojileri ya da anlaşmalı yeşil elektrik alımları yoluyla 62 kWh/m²-yr ekserji üretiminin bulunduğu anlaşılmaktadır.

$$NSEKB \Leftrightarrow AEKT - \sum_{k=1}^m \varepsilon_{on}(k) \leq 0 \quad (\text{boyutsuz}) \quad (3)$$

Denklem 3’de net-sıfır ekserji bina (NSEKB) hedefi, yıl boyunca belirli bir zaman dilimi k (saat vb.) için binanın yıllık ekserji tüketimi (AEKT) ve binanın kendi öz enerji üretim teknolojileri ya da anlaşmalı yeşil elektrik alımları yoluyla temin ettiği ekserji (ε_{on}) bazında ifade edilmektedir. Bir bina yıl boyunca bu iki değerin çıkarımını sıfır değerine eşitleyebiliyor ise net-sıfır ekserji hedefine ulaşmış demektir. Yukarıdaki örneğin bu kapsamında ele alınması gereken bir örnek olduğunun belirtilmesi mümkündür.

4. NET-SIFIR HEDEFİNE YÖNELİK KENT ÖRNEĞİ: STOCKHOLM VE ÖSTRA SALA BACKE

Net-sıfır hedefine ulaşma yolunda bir bina bazında ortaya konulan stratejilerin ölçek farkıyla bir kent bazında uygulanabileceği yönleri bulunmaktadır. Bu anlamda, net-sıfır hedefini yakalamış ya da net-sıfır hedefine yaklaşmış bir bina tarafından izlenen genel yaklaşımların bir kent için aynı şekilde geçerli olabileceği durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bunun bir karşılaştırılması İsveç’in başşehri olan Stockholm’ün Högdalen ve Hammerby yerleşim yerleri ile Uppsala şehrinde yeni yapılandırılan Östra Sala backe projesi ile ele alınacaktır. Stockholm şehri 2010 yılında Avrupa’nın ilk Çevre Dostu Başkenti seçilmiştir [10]. Bu değerlendirme kapsamında şehrin yaygın birleşik ısı ve güç sistemi etkin bir faktör olmuştur. Högdalen’daki birleşik ısı ve güç tesisi, evsel atık ve bio/fosil yakıt karışımı ile 2009 değerlerine göre 311 GWh elektrik (GWh_e) ve 3.579 GWh ısı üretmiştir [11]. Hammerby’deki ısı tesisi ise yakıt olarak biyogaza dayalı olarak elektrik üretip sonrasında ısı değiştiriciler aracılığıyla artırılmış atık sudan ısı elde etmektedir [12]. Bu tesis aynı zamanda hem elektrik hem de ısı üretse de enerji hizmeti verilen kullanıcılara sadece ısı enerji sunmaktadır. Bu nedenle, Avrupa Direktifine göre birleşik ısı ve güç tesisi değildir [13]. 2010 yılında tesis içi kullanım için 318 GWh_e ve enerji hizmeti verilen kullanıcılara sunulan 1,099 GWh ısı üretilmiştir [14]. Her iki tesisin yakma sıcaklığı ve bölgesel atık ısı sistemindeki geri dönüş sıcaklığı değerleri dikkate alındığında Tablo 1’deki veriler ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1. Högdalen ve Hammerby Yerleşim Yerlerinin Ekserji ve CO₂ Salımları Açısından Analizi [15]

	Ekserji Kaybı			Ekserji Arzı			ψ_{Ri}	Toplam CO ₂ Salımları			
	$\sum_{i=1}^m \varepsilon_{dst(i)} = \left(1 - \frac{T_g}{T_{app}}\right) \times \sum_{i=1}^m P_i$			$\sum_{i=1}^m \varepsilon_{sup(i)} = \left(1 - \frac{T_g}{T_f}\right) \times \sum_{i=1}^m P_i$				$\sum_{i=1}^m CO_2 = \left(\frac{c_i}{\eta_i}\right) + \left(\frac{c_j}{\eta_i} \times (1 - \psi_{Ri})\right) \times \sum_{i=1}^m P_i$			
	T_g (K)	T_{app} (K)	ε_{dst}	T_g (K)	T_f (K)	ε_{sup}		P_i / η_i (kWh)	c_i (kg CO ₂ /kWh)	c_j (kg CO ₂ /kWh)	$\sum CO_{2i}$ (kg CO ₂)
Högdalen	281,5	325,5	0,14	281,5	1173,0	0,76	0,82	$3,9 \times 10^9$	0,13	0,12	$6,0 \times 10^8$
Hammerby	281,5	320,5	0,12	281,5	1123,0	0,75	0,84	$1,5 \times 10^9$	0,19	0,12	$3,0 \times 10^8$

Tablo 1'e göre, Högdalen ve Hammerby yerleşim yerlerine hizmet eden ısı sistemlerindeki geri dönüş sıcaklığı sırasıyla 325,5 K ve 320,5 K'dir. Bu değerler 1173 K ve 1123 K olarak verilen yakma sıcaklığı ve referans çevre sıcaklığı olarak Stockholm şehrinin toprak sıcaklığı olan 281,5 K ile beraber ele alındığında ilgili ekserji kaybı ve ekserji arzının değerleri bulunmaktadır. Bu iki değer, Denklem 1'in diğer bir yazılışı olan Denklem 3'den ψ_{Ri} parametresinin değerinin elde edilmesi için yeterlidir. Tablo 1'deki değerler Denklem 3'de uygulandığında ψ_{Ri} parametresinin değeri sırasıyla 0,82 ve 0,84 olarak bulunmaktadır. ψ_{Ri} için bu değer, ilgili yerleşim alanı kapsamındaki binaların düşük nitelikli iklimlendirme talebinin görece uygun enerji üretim seçenekleriyle karşılandığını göstermektedir. Toplam CO₂ salımları kapsamında (1- ψ_{Ri}) değerine bağlı olarak meydana gelen CO₂ salımlarının da daha düşük ψ_{Ri} değerine sahip tanımlı bir taban senaryosuna görece azaltıldığını söylemek mümkündür (bkz. [15]).

$$\psi_{Ri} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^m \mathcal{E}_{dst(i)}}{\sum_{i=1}^m \mathcal{E}_{sup(i)}} \right) \quad (\text{boyutsuz}) \quad (3)$$

Diğer yandan, enerji sistemiyle ön plana çıkabilen Högdalen ve Hammerby yerleşim yerlerinde çoğunlukla ısı üretildiği izlenmektedir. Bu nedenle, yıllık ekserji tüketimi ve üretimi kapsamında hem ısı hem de elektrik bazında öz yeterlilik gerektiren net-sıfır ekserji hedefine ulaşma noktasında bazı eksikliklerin bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu yerleşim yerlerinin kent bazında net-sıfır hedefine daha çok yakınsayabilmesi için ekserji taleplerine uygun olarak Şekil 1'de örneklendirilen enerji teknolojisi harmanlamasına benzer bir harmanlamanın kent ölçeğine taşınması gerekmektedir. Bina örneğinden yola çıkarak aradaki ölçek farkı giderilirken kent bazında yeni fırsatların doğması da mümkündür. Örneğin, yine İsveç'in diğer bir şehri olan Uppsala şehrinde yeni yapılandırılan Östra Sala backe alanı kapsamında düşük nitelikli enerji talebi gerektiren iklimlendirme taleplerinin yanı sıra, A+ belgeli çamaşır makineleri gibi beyaz eşyaların da ısı sisteminden yararlanır hale getirilmesi söz konusudur [16]. Bu proje kapsamında, bazı beyaz eşyaların yüksek nitelikli enerji (yüksek ekserji) tüketimlerinin azaltılması, bunun yerine yerel ısı sisteminden yararlanılması ve aynı zamanda ısı sistemindeki geri dönüş sıcaklığının daha fazla düşürülüp ekserji kaybının azaltılması seçeneği ele alınmaktadır.



Şekil 3. Uppsala Şehrindeki Östra Sala Backe Yerleşim Yeri için Planlanan Projelerin Ekserji Matrisi

Şekil 3, Uppsala şehrindeki Östra Sala backe yerleşim yeri için planlanan projeleri yüksek ekserji, düşük ekserji ve arz ile talep taraflarını kapsayan matris üzerinden özetlemektedir. Yüksek ekserji arzı

tarafında birleşik ısı ve güç sisteminden elde edilen elektrik sadece yüksek ekserji gerektiren taleplere yönlendirilmektedir. Bu kapsamda, toplu taşımacılık, 65 lm/W etkinlik faktörünü esas alan aydınlatma ve en az A+ belgesine sahip beyaz eşyalar gibi yüksek ekserji gerektiren talepler karşılanmaktadır. Diğer yandan, düşük ekserji arzı tarafında birleşik ısı ve güç sisteminin atık ısısına dayanarak bölgesel ısı sistemi ve bölgesel ısı tabanlı soğurmalı soğutma uygulamalarının yer alması planlanmaktadır. Mevcut durumda Uppsala şehrinin %90 oranında mevcut binalarını kapsayan bölgesel ısı sisteminin 2,500 yeni apartman ve hizmet binasına da hizmet verecek şekilde genişletilmesi söz konusudur. Özellikle yeni binalarda, akıllı bina teknolojilerinin de planlanan projelere hizmet etmesi beklenmektedir.

5. GELECEĞİN YAPILI ÇERVESİ: NET-SIFIR YERLEŞİM YERLERİ

Bu makalede “net-sıfır ekserji” hedefi, Ankara’dan örnek bir bina ve İsveç’ten iki farklı kent uygulaması üzerinden tartışılmıştır. Bu tartışmalar ışığında net-sıfır ekserji hedefi, gelecekte yapılı çevrenin sergileyebileceği enerji performansının önemli düzeyde artmasına katkı sağlayabilecek yenilikçi bir hedef olarak ortaya konmaktadır. Yapılı çevrenin farklı pilot uygulamalar yoluyla net-sıfır ekserji hedefine yakınsayabilmesi, enerji sistemi genelinde enerji kaynaklarının daha akılcı kullanılması ve CO₂ salımlarının azaltılması için stratejik bir yön çizebilecek niteliktedir. Bu kapsamda, Akılcı Ekserji Yönetim Modeli, gerek bina, gerekse kent bazında yapılı çevrenin bu hedefe ulaşması noktasında gerekli olan analitik çerçeveyi sağlamaktadır. Akılcı Ekserji Yönetim Modelinin rolü, geleceğin net-sıfır ekserji bina ve net-sıfır ekserji kent tasarımı ve uygulamalarının desteklenmesi için anahtar niteliktedir.

Akılcı Ekserji Yönetim Modeli ve net-sıfır ekserji hedefinin ülkemiz için önemi cari açığın azaltılmasına kadar uzanabilmektedir. Aynı zamanda ülke olarak enerjide öz yeterlilik oranımızın artması için gerekli olan bir dizi kilometre taşlarının oluşturulmasına ışık tutabilmektedir. Onuncu Kalkınma Planı’nın Enerji Verimliliği raporunda da yer aldığı gibi, enerji kaynak planlanmasının hem nicelik hem de nitelik ekseninde ele alınması önem taşımaktadır [17]. Sürdürülebilir kalkınmanın odağını oluşturan enerji, çevre, toplum ve ekonomi dörtlüsünün daha uyumlu olması için yapılı çevrenin yenilikçi arayışlar içerisinde olması gereken bir süreçte net-sıfır hedefinin aydınlatıcı rolü olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “2011 Yılı Genel Enerji Dengesi,” <<http://www.enerji.gov.tr/>> (Erişim tarihi 19 Ocak 2013).
- [2] Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <<http://www.eie.gov.tr/verimlilik/EVKK.aspx>> (Erişim tarihi 19 Ocak 2013).
- [3] Torcellini P., Pless S., and Deru M. (2006): Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Golden: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, pp. 275-286.
- [4] Marszal, A. et al., “Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies,” Energy Buildings, 2011.
- [5] Kılış Ş., “A New Metric for Net- Zero Carbon Buildings.” Long Beach, CA: Proc. of ES2007. Energy Sustainability 2007, 219-224, 2007.
- [6] Kılış Ş., “A Rational Exergy Management Model to Curb CO₂ Emissions in the Exergy-Aware Built Environments of the Future” Doktora Tezi, KTH Royal Institute of Technology, School of Architecture and the Built Environment, 2011.
- [7] Kılış Ş., “A net-zero building application and its role in exergy-aware local energy strategies for sustainability,” Energy Conversion and Management 63, 208–217, 2012.
- [8] IEA ECBCS Annex 49. Summary Report: Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities; Schmidt, D., Torío, H., Eds.; Fraunhofer- IBP: Stuttgart, 2011.
- [9] Kılış Ş. Net-Zero Targets for Increasing Rational Exergy Management in Buildings and Districts. 7th SDEWES Conference, Ohrid, Makedonya, Best Paper Award, 2012.
- [10] Tolf, J. “Stockholm, Winner 2010 European Green Capital.” European Green Capital Seminar, City of Stockholm, 2010.

- [11] Akerlund, N. Högdalenverket CHP-plant, <www.fortum.com> (Erişim tarihi 11 Ocak 2011).
- [12] Miljörapport för Hammarbyverket 2010, Fortum, Stockholm, 2011.
- [13] Directive 2004/8/EC, Promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC, Brussels, 2004.
- [14] GlashusEtt, “Hammarby Sjöstad – A unique environmental project in Stockholm,” Alfaprint, 2007.
- [15] Kılış, Ş., Green Cities and Compound Metrics Using Exergy Analysis. Encyclopedia of Energy Engineering and Technology, Taylor and Francis, New York, 23 Jul 2012; 1-7.
- [16] Nordström, M., “Innovative solutions for district heating: the Uppsala case,” Euroheat and Power Conference, District Heating Innovations, 2012.
- [17] Onuncu Kalkınma Planı Enerji Verimliliği ve Güvenirliği Özel İhtisas Komisyonu Enerji Güvenliği ve Verimliliği Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Şiir KILKIŞ

1984 yılı Ankara doğumludur. 2007 yılında Georgetown Üniversitesi Bilim, Teknoloji ve Uluslararası İlişkiler Bölümünü altın madalya ve onur derecesi ile bitirmiştir. 2011 yılında KTH Royal Institute of Technology Mimari ve İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden Doktor unvanını elde etmiştir. 2008 yılından bu yana TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikası Daire Başkanlığı’nda çalışmakta olup, 2012 yılında Uzman olmuştur. Pilot teknoloji yol haritası sürecini koordine etmektedir. 2012 yılında Başkent Üniversitesi Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır.