



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI ENERJİ BİLANÇOMUZA HANGİ KOŞULLARDA KATKI SAĞLAYABİLİR?

BİROL KILKIŞ
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

ŞİİR KILKIŞ
TÜBİTAK

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI ENERJİ BİLANÇOMUZA HANGİ KOŞULLARDA KATKI SAĞLAYABİLİR?

Under Which Conditions Ground-source Heat Pumps May Contribute to Our Energy Budget?

Birol KILKIŞ
Şiir KILKIŞ

ÖZET

Sıfıra yakın net-ekserji binası (Nearly-Net Zero Exergy Building, nZEXB) tanımı yeni bir kavram olup bu tür binaların yapılı çevre ve bölge enerji sistemleri ile değişik ekserji düzeyinde alış verişler yaptığını varsayar. nZEXB binalarındaki sistemler birden çok yenilenebilir enerji sistemlerini kullanırlar ve sürdürülebilir enerji sistemlerini içerirler. Bu çoğulcu enerji harmanlaması ve çeşitli sistemlerin kullanılıyor olması tasarımı ve işletimi öncelikle çevre ve verimlilik açılarından en uygun düzeyde tutabilmesini zorunlu kıldığı gibi hesaplamaları, yük paylaşım çözümlerini oldukça karmaşık bir hale getirir. Bu karmaşıklığı giderebilmek için ortak bir paydanın ve dengeli bir amaç fonksiyonunun oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada amaç ekserji yıkımını en aza indirmek ve sonuç itibarı ile ek ve önlenebilir CO₂ salımlarını en az düzeye indirmektir. Bu amaçla örnek bir problem ele alınmıştır. Bu problemde rüzgâr enerjisi ile tahrik edilen ve ısı depolamalı bir toprak kaynaklı ısı pompası ele alınmaktadır. Ekserji tabanında Tesir Katsayısı (COP) ve Birincil Enerji Oranı (BEO). Eniyileme algoritmasında *Rational Exergy Management Model* (REMM) kullanılmıştır. Bu modelde amaç arz ve talep birim ekserjilerini dengeye getirerek değişik noktalar arasında ekserji akış çemberini oluşturmaktır. Bina konfor cihazlarının değişik tipleri, rüzgâr türbin verimi ve boyutu, toprak sıcaklığı, türbinde üretilen elektriğin ısı pompası ve bina arasında paylaşım oranı gibi parametreler incelenerek genel sonuçlara varılmaya çalışılmıştır. Bu çalışma ısı pompalarının ancak yenilenebilir ve yerel enerji kaynakları ile tahrik edildiğinde enerji bilançomuza yararlı olabileceği ve bu koşullarda nZEXB binalarına önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı pompası, ekserji çözümlenmesi, sıfıra yakın net-ekserji binası, akılcı ekserji yönetim modeli, rüzgâr türbini, LowEx binası, birincil enerji oranı, ekserji tabanlı etkinlik katsayısı

ABSTRACT

The definition Nearly-Net Zero Exergy Building (nZEXB) is a new concept. It recognizes different energy exchange between the district and the building at different exergy levels. In nZEXB systems, a multitude of sustainable systems and renewable energy resources are mobilized. Their optimum bundling in design and load allocation is a complex problem and must be based on a robust platform of a common objective, which in this case is the minimization of exergy destruction that eventually leads to additional CO₂ emissions. An optimization model was developed for a ground-source heat pump with thermal energy storage coupled to a wind turbine. Coefficient of performance (COP) and Primary Energy Ratio (BEO) were redefined in terms of exergy to serve the objective function of minimizing exergy destructions. In developing the optimization model, the *Rational Exergy Management Model* (REMM) was employed, which aims to increase the balance among the supply and demand exergies and helps to establish a circular exergy flow. The impact of several design variables like the type of terminal units, the size and efficiency of the wind turbine, reservoir temperature, and the split of the turbine electricity between the heat pump and the building were

investigated. It has been concluded that heat pumps play a major role in achieving nZEXB status provided that an optimum bundling with other sustainable systems and equipment is achieved.

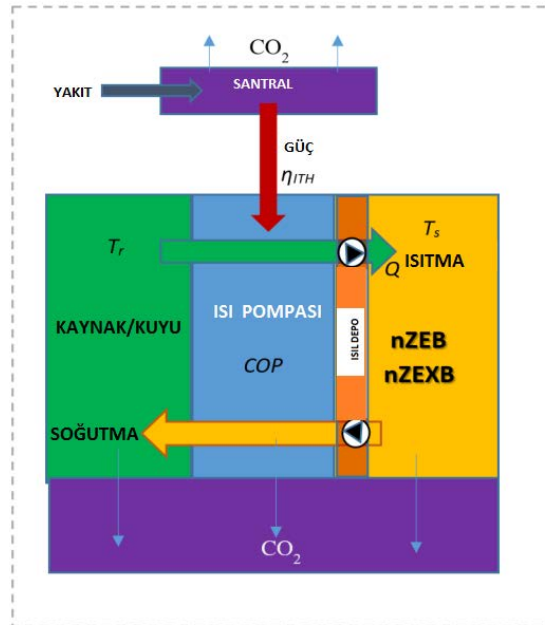
Key Words: Heat pump, exergy analysis, nearly-net zero-exergy building, Rational Exergy Management Model, wind turbine, LowEx building, primary exergy ratio, exergy coefficient of performance

GİRİŞ

Isı pompaları birden yüksek tesir katsayıları ile tanıtılmakta ve Birinci Yasa çerçevesinde çok enerji verimli oldukları öne sürülmektedir. Bu sonuç hem birincil tahrik enerjisinin kaynağına bakılmaması hem de elde edilen ısı veya soğukun ekserjisinin tahrik enerjisinin ekserjisine oranına önem verilmemesinden (İkinci Yasa) kaynaklanmaktadır. İlk sorun kaynak enerjisinin nereden geldiğine bakılması ile çözülmektedir:

$$BEO = \eta_{ITH} \cdot COP \quad \{\text{Birincil enerji kaynağının niceliğinin akışı}\} \quad (1)$$

Bu denklem ısı pompasına gelen gücün kaynağından başlayarak ısı pompasının çıktısına kadar olan enerji transferini Birinci Yasa çerçevesinde vermektedir. Dk. 1 aynı zamanda ısı pompasının kaynaktaki CO₂ salım sorumluluğuna da işaret etmektedir. Ancak metnin takip eden kısımlarında gösterileceği üzere arz ve talep ekserjileri dengesizliklerinden kaynaklanan ek ve önlenemez salımlar bulunmaktadır. EU28 ülkelerinin ortalama güç üretim, iletim, koşullandırma kayıpları dâhil toplam verim η_{ITH} 0.35 dolayındadır [1,2]. Diğer ülkelerde bu değer 0.30 un altında olup ülkemizde bu değer 0.27 dir. Bu durumda bir ısı pompasının mevsimsel COP değeri ortalama olarak 3.0 ise BEO değeri 0.81 olur ki bu durumda doğal gazlı yoğunmalı bir kazan doğal gazlı termik bir santralden gelen şebeke elektriği ile tahrik edilen bir ısı pompasından ülke ekonomisi ve enerji bilançosu açılarından daha verimli durmaktadır.



Şekil. 1. Bir ısı pompasının performans çözümlenmesine etken sınırlar [5]

Öte yandan, BEO bina ısıtma ve soğutma sistemleri daha sıcak (veya soğuk) akışkan talep ettiklerinde daha da azalmaktadır. Bu nedenle ısı pompasının sadece enerji arz kaynağı tarafına değil de ısı pompasının hizmet verdiği bina arz tarafına da bakmak gerekmektedir. Bu bağlamda mutedil sıcaklıklarda ısıtma ve soğutma yapabilen düşük ekserjili LowEx (Low-Exergy) binaları tercih edilmektedir [3]. Kaynaktan ısı pompasına gelen gücün verimsizliği yerinde enerji sistemleri ile

arttırılabilir. Daha da önemlisi yenilenebilir enerji kaynaklarına birleşik ısı ve güç çerçevesinde yönelmesi gerekmektedir [4]. Tüm bunlar bir ısı pompasının performansının çevreden yalıtılmış biçimde laboratuvar koşullarında tespiti uygulamada hiçbir anlam taşımamaktadır. Bir ısı pompasının performansına etkin gerçek sınırlar Şekil 1 de gösterilmiştir [5]. Bu arada enerji arz ve taleplerini daha iyi dengeleyebilmek ve zaman farklarını en aza indirmek için uygun bir ısı deposu da gerekmektedir. CO₂ salımları LowEx binalarında COP değerini yükselttikleri ve ısıtma soğutmada panel sistemler kullandıkları için de azalmaktadır [6]. Bu amaçla enuygun bir işletme sıcaklığı T_s nin bulunması gerekmektedir [7]. Tüm bu görüşler ışığında panel sistemler ısı pompaları için en uygun sistemlerdir [8]. Bir ısı pompasının ısıtmadaki COP değeri $35^{\circ}\text{C} \leq T_s \leq 70^{\circ}\text{C}$ aralığında Dk 2 tarafından verilebilir:

$$COP_H = \frac{a}{(T_s - T_r)} \quad (2)$$

Öte yandan ısıtma cihazlarının kapasitesi de T_s ile değişir.

$$Q = c(T_s - T_a)^n \quad (3)$$

ÇÖZÜMLEME MODELİ

Dk. 2 ve Dk.3 arasındaki çelişki kısmen de olsa cihazların büyük seçilmesi ile giderilebilir [7, 9]. Bu seçim OF çarpanı ile temsil edilmiştir.

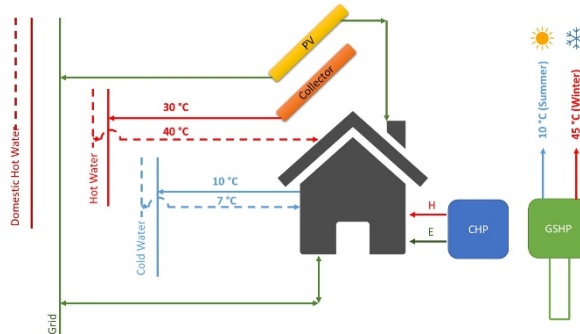
$$OF = \left[\frac{(T_{sd} - T_a)}{(T_s - T_a)} \right]^n \quad (4)$$

Cihazlar seri veya paralel olarak büyütülebilir [4,9,10]. Her iki durumda da basınç kayıpları göz önünde tutulmalıdır. Örneğin paralel büyütmede:

$$\Delta P = d \cdot OF^m \quad (5)$$

Daha önceki bir çalışmada cihaz büyütmenin ekonomik ölçütü incelenmişti [7]. Diğer bir çalışmada ZEB binalarının eniyilemesi için bir yöntem önerilmiştir [10]. Ancak ekonomik ve Birinci Yasa çözümlerinin yetersizliği ortadadır.

Özellikle bölge enerji sistemlerine bağlı binalarda ekserji çözümlenmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu çerçevede net-sıfır enerjili bir bina net-sıfır ekserjili bir bina olmayabilmektedir [12]. Bir örnek Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil. 2. nZEB bina ve bölge enerji sistemi arasında tipik ilişkiler [12]

Transfer edilen ısının birim ekserjisi:

$$\varepsilon_s = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_s}\right) \times (1 \text{ kW} \cdot \text{h}) \quad (6-a)$$

T_{ref} çevre denge sıcaklığı olup bu çalışmada 283 K (Sığ toprak kaynaklı sistemler için).

$$E_{xs} = \varepsilon \cdot Q_s \quad (6-b)$$

Ekserji tabanında BEO :

$$BEXO = \frac{E_{xs}}{E_f} = \frac{\varepsilon_s \cdot Q_s}{\varepsilon_f \cdot \frac{Q_s}{(\eta_{ITH} \cdot COP)}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_s}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)} \cdot (\eta_{ITH} \cdot COP) = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_s}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)} \cdot BEO \quad (7)$$

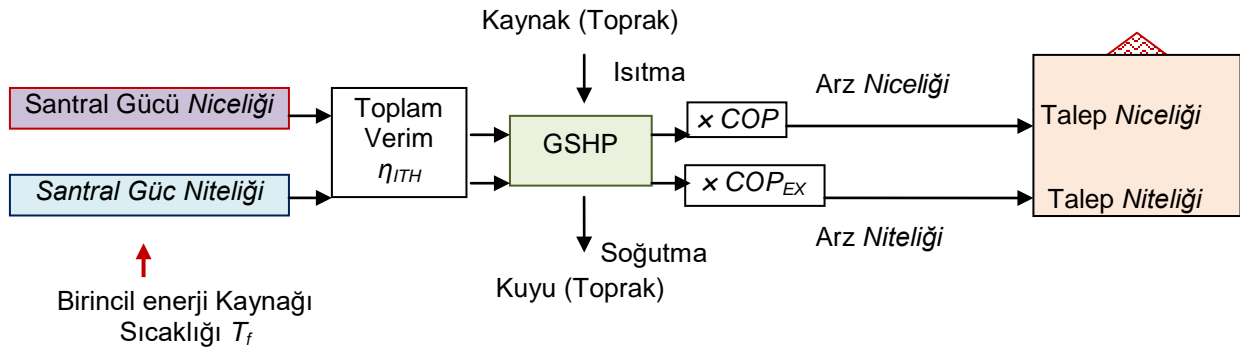
Aynı bağlamda:

$$COP_{EX} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_s}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)} \cdot COP \quad (8)$$

$$BEXO = \eta_{ITH} \times COP_{EX} \quad (9)$$

$BEXO$ birincil enerjinin akışının niceliğini, BEO ise birincil enerji kaynağının akışının niceliğini göstermektedir. Örneğin, $\eta_{ITH} = 0.4$, $COP_H = 3$, $BEO = 1.2$. Eğer $T_f = 2000$ K, $T_d = 333$ K, ve $T_{ref} = 283$ K, ise Dk. 7 den:

$$BEXO = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_f} \cdot PER = \frac{\left(1 - \frac{283}{333}\right)}{\left(1 - \frac{283}{2000}\right)} \cdot (0.4 \times 3) = 0.209$$



Şekil 3. Bir ısı pompasının tümçül enerji ve ekserji akışı

Bu sonuç BEO nun tek başına ne kadar yanıtıcı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle:

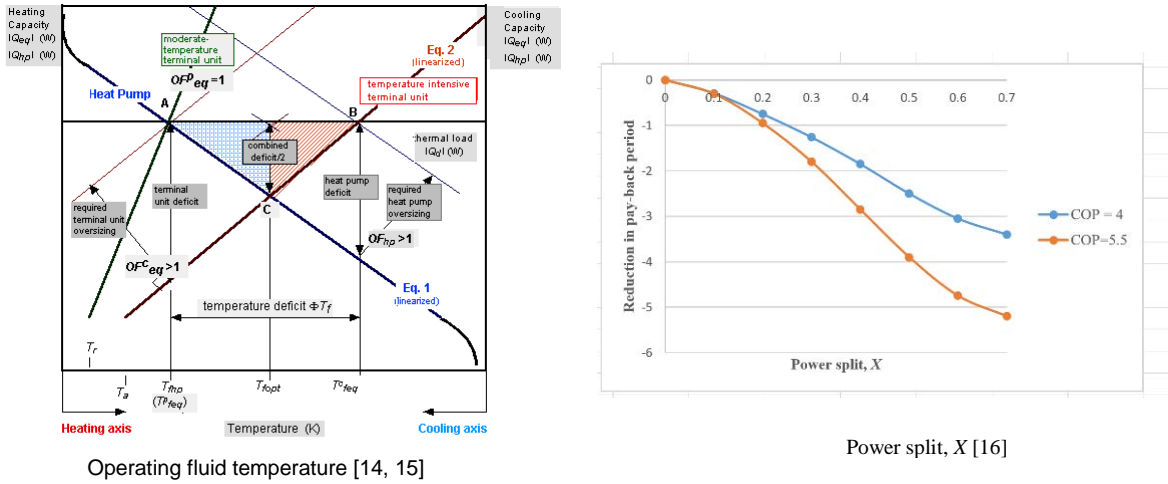
1. Yerel güç üretimi ve kullanımı,
2. Yerel üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı,
3. COP değeri yüksek ısı pompası geliştirilmesi ve kullanımı,
4. LowEX binaları,
5. Sığ jeotermal yerine daha derin jeotermal kaynak kullanılarak T_f değerinin yükseltilmesi (ekonomik faktörler de göz önünde tutularak), önerilmektedir.

LİTERATÜR

Isı pompaları genelde tek başlarına değerlendirilmekte Şekil 1 de gösterilen tarzda bir tümcel çözümlenme yapılmamaktadır. Ayrıca CO₂ salım sorumluluğunda İkinci Yasaya müracaat edilmemektedir. Salt ekonomik çözümlenmeler ise ön plana çıkmaktadır (Şekil.4) [14, 15]. Ekserji ile tümlenmiş bir çözümlenmede Dk. 10 kullanılabilir [17]:

$$\Delta C_{EX} = c \sum \frac{\varepsilon_{des}}{\varepsilon_s} \quad (10)$$

aliyeti simgeler. GreenHP inisiyatifinde binaların yenilenmesinde çok verimli olmaktadır [18]. Bunun ana nedeni Avrupada bile mevcut binaların hala verimsiz oluşudur[19]. Bu bir bakıma bir avantajdır ve yenilikçi sistemlere kapı açmaktadır. Ama hala bu yenilikler sadece birinci Yasa içerisinde aranmaktadır [20]. Bunun dışında önemli sayılabilecek tek ekserji çalışmasını Tsaros yapmıştır [21]. Ancak bu çalışma ısı pompasını çevreden yalıtılarak incelemektedir. Rüzgâr enerjisine bağlı çalışmalar da gene Birinci Yasa çerçevesindedir [22]. Çatıya monteli türbin ve ısı pompasını ekserji kapsamında inceleyen bir çalışma bulunmakla birlikte [23] bu kez de talep (Bina) tarafı eksiktir [24]. Dincer ve Rosen ise yukarıda belirtildiği üzere ısı pompası ve rüzgâr birlikteliğini birbirine tam bağımlı olmaksızın incelemiştir [25].



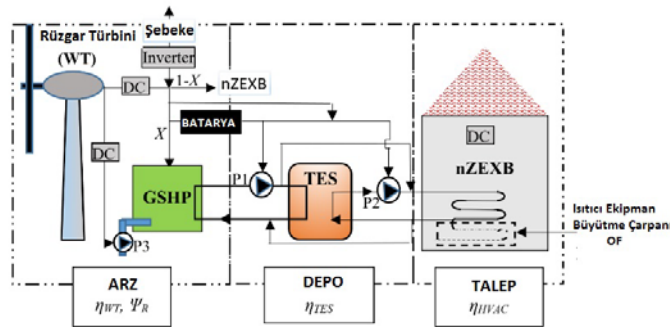
Şekil. 4.

REMM TABANLI MODEL

Şekil. 5 de gösterilen model kullanılarak bir eniyileme algoritması geliştirilmiştir.

$$E_{P2} = \left(\frac{d}{\eta_{P2}} \right) \left[\frac{(T_{s2} - T_o)}{(T_s - T_o)} \right]^{2n} \quad (11)$$

$$E_{TES} = h(T_s - T_o) \cdot \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_s} \right) \quad (12)$$



Şekil. 5. nZEXB, GSHP ve Türbin yanı sıra bina tümlenmesi

$$E_{P1} = E_{P2} / \eta_{TES} \quad (13)$$

$$E_{HP} = \left(\frac{1}{a \cdot \eta_{HVAC}} \right) (T_s - T_r) \quad (14)$$

$$E_{TES} + E_{HP} \quad \{\text{minimize edilecek}\} \quad (15)$$

Rüzgâr türbininin mekanik verimine bağlı Ψ_{RWT} akılcı ekserji verimi de bir ağırlık çarpanı ile konulursa:

$$\Sigma E = E_{P1} + E_{P2} + E_{TES} + E_{HP} + y / \Psi_{RWT} \quad \{\text{minimize}\} \quad (16)$$

$$\Psi_{RWT} = 1 - \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_s} \right)}{\eta_{WT}} \quad (17)$$

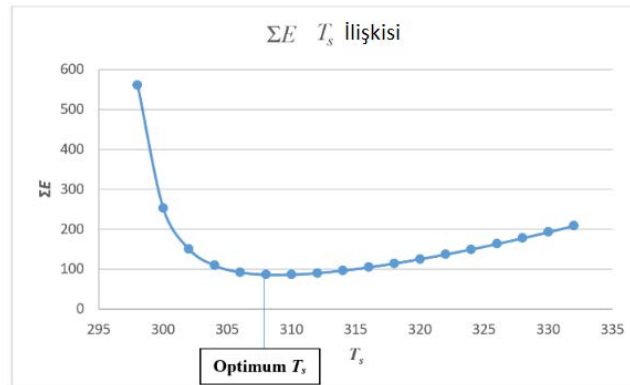
Her hangi bir tasarım için Dk. 15 sadece T_s ye bağımlı olduğundan Dk. 18 den optimum T_s bulunabilir:

$$dE/dT_s = 0, \quad (18)$$

ÖRNEK ÇÖZÜM-Düşük Ekserjili Konut

Şekil. 5 için aşağıdaki örnek veriler kullanıldığında:

$n = 1.3$, $d = 1$, $\eta_{P2} = 0.9$, $\eta_{TES} = 0.85$, $\eta_{HVAC} = 0.9$, $h = 20$, $a = 2$, $z = 1.1$, $T_a = T_o = 293$ K, $T_{sd} = 333$ K, $T_{ref} = 283$ K, $\eta_{WT} = 0.40$, $y = 5$, $T_r = 288$ K, $y = 10$ bulunan sonuçlardan bir kısmı parametrik olarak incelenmiş ve Şekil 6, 7, ve 8 de verilmiştir.

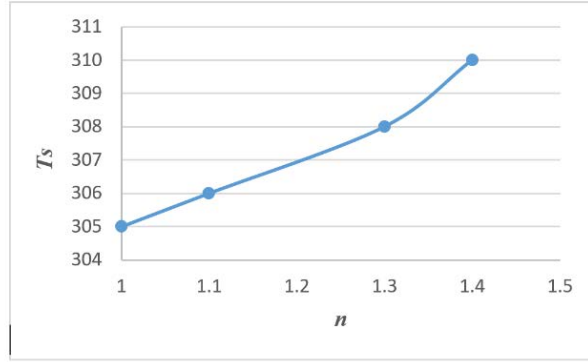


Şekil. 6. Toplam ekserji yıkımının T_s ile değişimi

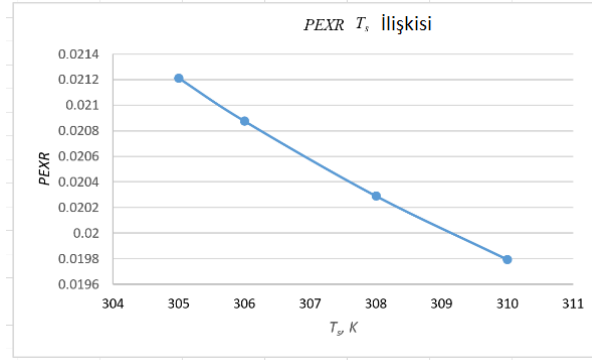
Burada görüldüğü üzere böylesi bir karmaşık sistemde bile bariz bir şekilde ekserji yıkımını enazlayacak bir işletme sıcaklığı bulunabilmektedir. Bu algoritma kullanılarak sistemin işletme sıcaklığı ve dolayısı ile akışkan debisi otomatik olarak denetlenmelidir.

Şekil 7 de ise ısıtma cihazına (fan-coil, radyator, panel system gibi) ilişkin n üssünün artması ile gerekli sıcaklığın da arttığı gözlemlenmektedir. Bu ise COP değerini azaltır. Bu nedenle n üssü bire yakın cihazlar seçilmelidir.

Şekil 8 den ise bir ısı pompasının ekserji performansının işletme sıcaklığı ile azaldığını kanıtlamaktadır. Bu ilişki de LowEX binaların önemini vurgulamaktadır.



Şekil 7. Enuygun T_s nin cihaz performans denkleminin n üssü ile değişimi.



Şekil 8. PEXR in T_s ile değişimi

SONUÇLAR

Bu çalışma ve önceki diğer çalışmalar bir ısı pompasının tasarımında ve boyutlandırılmasında ne kadar dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymaktadır [25]. Makalede verilmiş olan örnekte bir ısı pompasının her hangi bir uygulamanın tümleşik ve iki yönde etkileşimli (enerji arz tarafı ve enerji talep tarafı) bir bütüncül parçası olduğu unutulmamalıdır. Tüm bu etkileşimler göz önünde yeterince tutulmazsa sonuçta performans yeterli olmaktan uzak kalacaktır. Bu durum ekserji yıkımından kaynaklanan CO₂ salımlarını da doğrudan etkileyecektir:

$$\Delta CO_2 \approx (2 - \psi_R) \quad (19)$$

Zira ψ_R ekserji yıkımlarından dolayı etkilenmektedir. Ekserji yıkımlarının sistemin akılcı ekserji verimini doğrudan etkilemesi söz konusudur:

$$\psi_R = 1 - \frac{\sum E}{E_{arz}} \quad (20)$$

Ekserji yıkımları ne kadar azaltılırsa ψ_R o denli 1 değerine yaklaşmakta ve dolayısı ile de sistemin sorumlu olduğu CO₂ salımı azalmaktadır.

Sonuç itibarı ile bir ısı pompası raftan katalog değerlerine bakılarak seçilip alınacak ve monte edilecek bir cihaz değildir. Nerede kullanılacağı, hangi enerji kaynağı ile tahrik edileceği, kaynak ve kuyu türü, sıcaklıkları ve tüm bunların zamana göre değişimleri saatlik tabanda incelenmelidir [26]. Böylelikle ısı pompalarının gerçek değeri ve potansiyel çevresel katkıları ve enerji bilançomuza olumlu sonuçları ortaya çıkabilecektir. Bu bağlamda ısı pompalarının performans standartları de tip uygulamalar ve tip enerji kaynakları cinsinden çeşitli kombinasyonlarda denenip ve veya hesaplanıp verilmelidir.

KAYNAKÇA

- [1] <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production/assessment>
- [2] <http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>
- [3] LowEx. 2016. Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings Guidebook, IEA ECBS, Annex 37, ISBN 951-38- (soft back ed.) < <http://www.lowex.net/guidebook/index.html>> Last visited on October 23, 2016.
- [4] Kılış, B. and Kılış, Ş. 2015. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birleşik ısı ve güç üretimi TTMD, **32**, ISBN978-975-6263-25-9, Doğa Basımevi, İstanbul.
- [5] Kilkis, B. Design, construction, operation, and optimization of shallow geothermal system. IEA Annex 27, 4th national working meeting, 31 October 2016, İstanbul.
- [6] Kilkis, B. Exergy metrication of radiant heating and cooling. *ASHRAE Transactions* 2011; **117-1**:442-449.
- [7] Kilkis, B. Rationalization and optimization of heating systems coupled to ground-source heat pumps. *ASHRAE Transactions* 2000; **106-2**:817-822.
- [8] Kilkis, B. Role of panel heating and cooling in net zero energy buildings. *ASHRAE Transactions* 2010; **116-2**:602-609.
- [9] Kilkis, B. 1998. Equipment oversizing issues with hydronic heating systems. *ASHRAE J* **40 (1)**; 25-30.
- [10] Kilkis, S. and Kilkis, B. A parametric study for integrated design optimization of low-energy buildings. *ASHRAE Transactions* 2011; **117-1**:442-844922.
- [11] Kilkis, B. Rationalization of low-temperature to medium-temperature district heating. *ASHRAE Transactions* 1998; **104-2**: 565-576.
- [12] Kilkis, B. An economic analysis tool for trigeneration systems in net-zero exergy buildings (NZEXB), Paper No. 4, Abstracted: ISSN 1302-2415, XII International HVAC+R and Sanitary Technology Symposium, March 31-April 2, İstanbul, 2016.
- [13] Kılış, Ş. 2011. A rational exergy management model to curb CO₂ emissions in the exergy-aware built environments of the future, PhD Thesis, Bulletin/Meddelande No. 204, ISBN 978-91-7501-129-5, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [14] Kilkis, B. An analytical optimization algorithm for wind energy coupled GSHP systems for sustainable building HVAC, Proceedings of IMECE03, Washington DC, November 15-21. IMECE2003-**55397**, 2003.
- [15] Kilkis, B. An analytical optimization tool for hydronic heating and cooling with low-enthalpy energyresources *ASHRAE Transactions* 2012; **108-2**: 988-996.
- [16] Kilkis, B. and Kilkis, S. Rational exergy management and optimization of power split in a heat pump poly-generation system, Conference Proceedings, ICCI 2007, 30-31 May, İstanbul, 2007.
- [17] Kilkis, B. From floor heating to hybrid HVAC panel-a trail of exergy-efficient innovations, *ASHRAE Transactions* 2006; **1112-1**: 343-346.
- [18] Zottl, A., Fleckl, T., and Palm, B.E., GreenHP: Design and performance of the next generation heat pump for retrofitting buildings, ST-16-C034, *ASHRAE Transactions* 2016, Vol. 122, Pt. 2
- [21] Tsaros, T. L.; Gaggioli, R. A.; Domanski, P. A., Exergy analysis of heat pumps, NT-37-17-3; *ASHRAE Transactions*, Vol. 93, No. Part 2, 1781-1797, 1987.
- [22] Ching-Song J. et.al. Development of a wind directly forced heat pump and its efficiency analysis, *International Journal of Photoenergy*; **2013**: ID 862547, 2013.
- [23] Quin, Y. L., Chen, Q., Zhang, X., Performance of a rooftop wind solar hybrid heat pump system for buildings, *Energy and Buildings*; **65**: 75-83, 2013.
- [24] Dincer, I. and Rosen, Exergy: Energy, Exergy and sustainable development. 2nd. Ed. Elsevier, 2012.
- [25] Kilkis, B. and Kilkis San. Technical, economical, and environmental comparison based on exergy about utilizing heat of cogeneration for comfort cooling with ORC driven chillers or heat pumps versus absorption/adsorption cycles. ASME ORC 2013, Proc. on CD, 7-8 October, 2013.
- [26] Kilkis, B., Kilkis, Şiir, Kilkis, Şan, Optimum hybridization of wind turbines, heat pumps, and thermal energy storage systems for nearly zero-exergy buildings (NZEXB) using rational exergy management model, 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam, 15-18 Mayıs, Rotterdam (Makale kabul edildi).

SEMBOLLER

Sembol	Tanım	Sembol	Tanım
<i>BEO</i>	Birincil enerji oranı	<i>E, EX, x</i>	Ekserji
<i>BEXO</i>	Birincil ekserji oranı	<i>f</i>	Birincil enerji kaynağı (Yakıt)
<i>C</i>	Maliyet	<i>HP</i>	Isı pompası
<i>COP</i>	Tesir Katsayısı	<i>o</i>	Çevre
<i>c, d</i>	Çarpanlar (Dk. 3, Dk. 10, Dk. 5)	<i>r</i>	Reseruar, dönüş
<i>E</i>	Elektrik gücü, W	<i>ref</i>	Referans
<i>E_x</i>	Ekserji, W	<i>TH, H</i>	Isıl, ısı
<i>h</i>	Toplam ısı transfer katsayısı, W/K ²	<i>p</i>	Pompa
<i>m</i>	Dk. 5 deki üs	<i>s</i>	Arz
<i>n</i>	Dk. 3 deki üs	<i>z</i>	Toplam ısı transferinde sıcaklık terimi üssü
<i>OF</i>	Büyültme çarpanı	Kısaltmalar	
<i>OT</i>	Operatif Sıcaklık, K	<i>AC, DC</i>	Alternating, direct current
<i>Q</i>	Isıl güç, W	<i>CHP</i>	Combined heat and power
<i>T</i>	Sıcaklık, K	<i>GSHP</i>	Ground-source heat pump
<i>X</i>	Isı pompasına ve binaya gönderilen elektrik gücü paylaşımı	<i>HVAC</i>	Heating, ventilating, air-conditioning
<i>y, z</i>	Dk. 16 ve Dk. 12 deki çarpanlar	<i>LowEX</i>	Low-exergy
<i>η, η_l</i>	Birinci Yasa verimi	<i>nZEXB</i>	Nearly-zero exergy building
<i>ΔP</i>	Cihaz büyütme kaynaklı birim basınç kaybı artışı	<i>nZEB</i>	Nearly-zero energy building
<i>ψ_R</i>	REMM verimi	<i>PV</i>	Photo-voltaic
<i>ε</i>	Birim ekserji, W/W veya kW/kW	<i>REMM</i>	Rational Exergy Management Model
Alt Simge		<i>TES</i>	Thermal energy storage
<i>a</i>	Konfor havası	<i>WT</i>	Wind turbine

ÖZGEÇMİŞ**BİROL KILKIŞ**

Dr. Kılış, 1949 yılında Ankara da doğdu. 1970 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümünden yüksek şeref derecesi ile mezun oldu. Aynı bölümden M. Sc ve Doktora derecelerini alarak von Karman Enstitüsünden Akışkanlar Mekaniği dalında şeref derecesi ile mezun oldu. 1981 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülünü Kazandı. ASHRAE Yüksek Performans Binaları Komitesi üyesi ve ASHRAE TC 7.4 *sürdürülebilir Binalar İçin Ekserji Analizi* Teknik Komitesi Kurucu Başkanıdır. Diğer beş teknik komitenin de üyesidir TTMD'nin de kurucu üyelerindedir. Halen Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosunda hizmet vermektedir. Ayrıca Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Ana Bilim Dalı Başkanı olup Avrupa Birliği Isıl Güneş Enerjisi Platformu Yönetim Kurulu Üyesidir.



Şiir KILKIŞ

Dr. Şiir KILKIŞ doktora derecesini 2011 yılında KTH Kraliyet Teknoloji Enstitüsü Mimarlık ve Yapılı Çevre Fakültesi'nden İnşaat ve Mimari Mühendislik alanında almıştır. Magna cum laude ile mezun olduğu Georgetown Üniversitesi'nden lisans derecesine ve "Bilim, Teknoloji ve Uluslararası İlişkiler Altın Madalya" ödüllüne sahiptir. Doktora tezinde "Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM) geliştirilerek, geleceğin yapılı çevresinde CO2 salımlarının azaltılmasına yönelik yön gösterilmiştir. Araştırma alanları bütünleşik enerji sistemleri ve net-sıfır hedefleri, sürdürülebilir yerleşkeler ve kentler ve karşılaştırmalı analizlere odaklanmıştır. Disiplinlerarası araştırmaları sonucunda otuzdan fazla şehri içeren sürdürülebilir kalkınma endeksi geliştirilmiş, uluslararası havaalanları sınıflandırılmış, çevre dostu yerleşkeler analiz edilmiş ve İsveç'teki Uppsala ilindeki Östra Sala backe projesi için yenilikçi net-sıfır ekserji kent kavramı geliştirilmiştir. Dr. KILKIŞ Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nda (TÜBİTAK) Bilimsel Programlar Uzmanı olarak görev yapmaktadır. Bu kapsamda, Ulusal Bilim, Teknoloji ve Yenilik Stratejisi'nin geliştirilmesine katkı sağlamış ve Enerji Verimliliği Teknoloji Yol Haritası çalışmasını koordine etmiştir. Dr. KILKIŞ'ın SCI makalelerinin yanı sıra "Enerji Mühendisliği ve Teknoloji Ansiklopedisi'nde yazardır. Başkent Üniversitesi Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda "Enerji Ekonomisi" ve "Enerji Politikaları," ayrıca Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yer Sistem Bilimleri Yüksek Lisans Programı'nda "Sürdürülebilir Kalkınma" derslerini vermektedir. Uluslararası toplantılarda Bilimsel Danışman Kurulu üyesidir.