

EKSERJİ ANALİZİ YÖNTEMİ KULLANILARAK BİNA ISITMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Cem Tahsin Yücer

Dr.,
Hava Astsubay Meslek Yüksekokulu,
Gaziemir, İzmir
ctyucer@gmail.com

ÖZ

Bu çalışmada, ekserji kavramı anlatılarak düşük ekserjili sistemler hakkında bilgi verilmiştir. Isıtma sistemlerinde enerji ve ekserji akımları ısı üretim basamağından bina kabuğuna kadar geçmektedir. Sistemin değerlendirilebilmesi için her basamaktaki enerji ve ekserji akımlarının incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda örnek bir ısıtma sistemi incelenmiştir. Ekserji analizi yöntemiyle, sistemde yer alan verimli ve verimsiz basamakların tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Sisteme giren toplam ekserji akısı 107 kW olarak bulunmuştur. En büyük ekserji kaybı akısı 65,23 kW olarak ısı üretim basamağı için hesaplanmıştır. Isıtma sisteminin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla, %45,7 ve %3,5 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bina, ısıtma sistemi, ekserji, enerji, düşük ekserji

INVESTIGATION OF BUILDING HEATING SYSTEMS USING EXERGY ANALYSIS METHOD

ABSTRACT

In this study, low exergy systems are explained regarding the exergy term. In heating systems energy and exergy flows pass through from the generation stage to the building envelope. To evaluate the system, every stage should be investigated according to energy and exergy flows. In this context an example building heating system is studied. By using the exergy analysis, it is possible to determine the efficient and inefficient stages in the system. Total exergy input rate to the system is calculated as 107 kW. The maximum exergy loss rate is found to be 65.23 kW which took place in the generation stage. The energy and exergy efficiencies of the heating system are calculated as 45.7% and 3.5%, respectively.

Keywords: Building, heating system, exergy, energy, low exergy

Geliş tarihi : 20.03.2016

Kabul tarihi : 31.10.2016

Yücer, C. T. 2016. "Ekserji Analizi Yöntemi Kullanılarak Bina Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 681, s. 59-64.

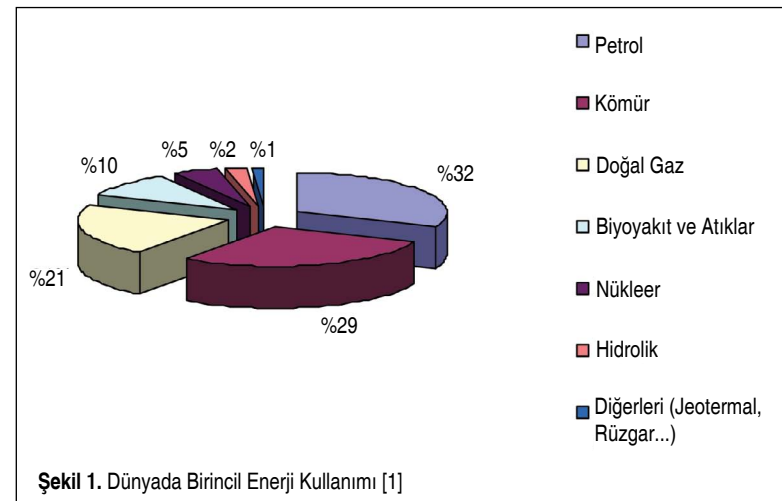
1. GİRİŞ

Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme yeteneği anlamına gelmektedir. Enerji kelimesi eski Yunan dilindeki aktif ve iş kelimelerinden türetilmiştir. Bu şekilde bakıldığında işe dönüştürülebilir demektir. Termodinamiğin birinci kanununa göre, enerji yok edilemez ve yoktan var edilemez. Sadece mevcut enerji başka enerji biçimlerine dönüşür. Bu dönüşüm sonucunda enerjinin tamamı faydalı, yani kullanılabilir enerjiye dönüşmez. Enerjinin kullanılmayan miktarına pratikte kayıplar adı verilir. Örneğin bir pistonlu motorda yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjinin bir bölümü aracın hareketini sağlayan mekanik enerjiye dönüşür. Mekanik enerjiye dönüştürülemeyen ve ısı olarak etrafa yayılan miktar ise kayıp olarak nitelendirilir.

Birincil enerji herhangi bir ekipman içinde kullanılmadan önce, doğal olarak kaynağın sahip olduğu enerjidir. Dünya birincil enerji kullanımı açısından fosil yakıtlar birinci sıradadır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, petrol en çok kullanılan birincil enerjidir.

Türkiye’nin ithal enerji bağımlılığı %70 seviyelerindedir. Bu durumda mevcut enerji kaynaklarının verimli kullanılması önem arz etmektedir. Enerjinin kullanılabilir miktarının uygun ekipmanlar vasıtasıyla etkin şekilde değerlendirilmesi gerekir.

Belirli bir çevreye ait bir halde bulunan sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı işe ekserji denir. Diğer bir deyişle, bir düzeneğin verebileceği işin üst sınırını temsil eder. Ekserji kelimesi genellikle Avrupa’da kullanılmaktadır. Amerika’da daha çok "kullanılabilirlik" olarak ifade edilmektedir. Ekserji kavramı 1950’li yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekserji, enerji kalitesinin bir ölçüsüdür. İş ise tamamen başka tür bir enerjiye dönüştürülebilir en kaliteli enerjidir. Termodinamikte ekserji, bir miktar enerji veya maddeyi referans çevre ile denge haline ulaştırdığımızda, o enerjiden veya maddeden elde edilebilecek en fazla teorik iştir.



Şekil 1. Dünyada Birincil Enerji Kullanımı [1]

Sürdürülebilir kalkınma, sadece temiz ve karşılanabilir kaynakların kullanımıyla değil, aynı zamanda kaynakların verimli kullanılmasıyla sağlanabilir. Ekserji yöntemleri verimi artırmanın yanı sıra, kaynakların kullanımında en fazla fayda elde edilmesini sağlayan ve çevre kirliliği gibi istenmeyen etkileri azaltmaya yarayan araçlardır.

Binaların ısıtma sistemlerinin geleneksel enerji analiziyle beraber ekserji analizi de kullanılarak incelenmesi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Schmidt [2] hazırladığı ayrıntılı makalede, ısı kayıplarını elde etmek için enerji ve ekserji analizlerine dayanan hesaplamalar yapmıştır. Birden çok ailenin yaşadığı bir binada, bina kabuğu için iyileştirmeler sağlamıştır. Duvar ve pencerelerin ısı geçirgenlik katsayılarını değiştirerek odanın ekserji yükünü daha uygun bir değere indirmiştir. Böylece, bina kabuğuna gelen ekserji akımı 105,98 kW değerinden 66,56 kW değerine düşmüştür. Balta ve arkadaşları [3], bir binayı dört farklı ısıtma uygulaması kullanılarak incelemişlerdir. Isıtma sistemlerinde sırasıyla, ısı pompası, yoğuşmalı kazan, kazan ve güneş kolektörü (toplayıcı) kullanılmıştır. Enerji ve ekserji analizleri uygulanarak ekserji verimleri ve sürdürülebilirlik endeksleri bulunmuştur. Güneş kolektörü %12,64 ile en yüksek ekserji verimine ve 1,144 ile en yüksek sürdürülebilirlik endeksine sahiptir. Shukuya [4] ise binaların daha iyi bir şekilde değerlendirilebilmesi için ekserji yaklaşımını anlatmıştır. Geleceğin binalarında ısıtma ve soğutma için düşük ekserjili sistemlerin uygun olacağını ifade etmiştir. Yıldız ve Güngör [5], yakıt olarak doğal gaz kullanan bir kazan veya hava kaynaklı ısı pompası kullanılarak bir büro ısıtılması üzerinde çalışmışlardır. Tüm sistemdeki enerji ve ekserji kayıpları dikkate alınarak iki farklı ısıtma sistemi kıyaslanmıştır. Hasan ve arkadaşları [6], düşük sıcaklıklı su kullanılan ısıtma sistemini, üç radyatör bulunan ısıtma sistemini ve yerden ısıtma sistemini kıyaslamışlardır. Düşük sıcaklıklı su içeren sistem, istenen oda sıcaklığı değerlerini sağlamıştır. Odalar 20 °C ve banyo 27 °C’de tutulabilmiştir.

Balta [7], bir düşük ekserjili ısıtma sisteminin enerji, ekserji, ekserji maliyet analizleri ile sürdürülebilirlik değerlendirmesini yapmıştır. 2366 m² alana sahip kapalı bir spor salonunun ele alındığı örnek çalışma ile kazan, yoğuşmalı kazan ve hava kaynaklı ısı pompası kullanan üç farklı ısıtma sistemini araştırmıştır. Han ve arkadaşları [8], ekserji analizini bir binanın ısı yükü ve ilgili enerji akımlarını inceleyerek bina tasarımının iyileştirilme potansiyeli ve ekserji kayıplarının belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Çin’de farklı iklim bölgelerinde yer alan beş farklı bina incelenmiştir.

Ekserji analizi yöntemi kullanılarak; bina ısıtma sistemlerinde daha yüksek verim, daha iyi fiyat etkinliği, daha iyi kaynak kullanımı, daha iyi çevresel

etki ve daha iyi sürdürülebilirlik için yapılması gereken iyileştirmeler yada daha uygun ekipman seçiminin sağlanması amaçlanmaktadır.

2. DÜŞÜK EKSERJİLİ SİSTEMLER

Enerji verimli sistemler modern binalarda daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Binalarda enerji kullanımı genellikle ısıtma ve soğutma amaçlı sistemler vasıtasıyla olur. Bu sistemlerdeki iyileştirmeler atık enerjinin azaltılmasını sağlayacaktır. Enerji para demektir ve doğrudan ülkenin ekonomisini etkilemektedir. Bu durum, özellikle enerji ihtiyacını ithalat yoluyla sağlayan ülkeler için çok önemlidir. Düşük ekserjili sistemler enerji konusunda dışa bağımlı ülkeler açısından önem arz etmektedir.

Ekserji analizi güç santrallerinin en iyi şekilde kullanılmasında kendini başarıyla kanıtlamıştır. Daha sonra bina analizlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Güç santrallerine ve binalara uygulanan ekserji analizleri kapsam ve amaç açısından birbirlerinden farklıdır. Güç santrallerinin en iyi şekilde kullanılmasında çıktının artırılması amaçlanır. Örneğin elektrik üretimi. Binalarda ekserji kayıplarının azaltılmasının yanı sıra, bir yandan da ekserji girdilerinin azaltılarak istenen çıktının sürdürülmesi istenir. Örneğin konfor koşulları.

Enerji sistemleri tasarımında ekserji yönteminin uygulanmasının en önemli ve ilk ilkesi, sağlanan enerji ve talep edilen enerjilerin kalite seviyelerinin eşleştirilmesidir. Bu açıdan bakıldığında ekserjinin, enerji kaynaklarının kullanımında en iyi şekilde kullanım aracı olması anlaşılabilir.

Biyokütle ve fotovoltaik paneller, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve düşük çevresel etkileri vardır. Karbondioksit salımları düşüktür. Biyokütle ve fotovoltaik panellerden elde edilen elektriğin ekserji kaliteleri çok yüksektir. Ekserji analizi bu yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük ekserjili ısıtma amaçları yerine, nispeten yüksek kalitedeki uygulamalarında kullanılmalıdır.

Binalar büyük enerji kullanıcılarıdır. Binalarda hem mahaller için hem de sıcak su eldesi için enerjiye ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaçlar düşük sıcaklık seviyesinde olduğundan, kalite değerleri çok düşüktür (yaklaşık %7’lik kalite faktörü). Enerji yaklaşımı bu bağlamda, binaların enerji ihtiyacını, yalıtımı artırarak veya bina kabuğunun hava sızıntısını azaltarak düşürmeye çalışır. Binanın iskeletini en iyi şekilde kullanmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak da bu yaklaşım içindedir. Ekserji yaklaşımı buna ek olarak, bu düşük kalitedeki ihtiyaçlar için düşük kaliteli kaynakların kullanımını gerektirir. Bunu da enerji ihtiyacı ve enerji kaynağının kalite seviyelerini eşleştirerek yapar.

Yoğuşmalı kazanlar yüksek verimli enerji kaynağıdır.

Enerji verimleri %100’e yakındır. Bununla birlikte, düşük sıcaklıklı ısının yerine yüksek ekserjili doğal gaz kullandıkları için ekserji verimleri %5 - %10 gibi düşük seviyelerdedir [9]. Temel düzeyde ise ekserji analizinin önemli bir sonucu da ekserji verimli enerji sisteminde yanma işlemleri, düşük sıcaklıklı ısı elde etmek için kullanılmamalarıdır. Bu uygulamaların yerine binalardaki mahal ısıtma ve soğutma uygulamalarında düşük kalitedeki kaynaklar kullanılmalıdır. Düşük ekserjili kaynaklara örnek olarak güneş enerjisi, jeotermal enerji ve atık ısı verilebilir.

Atık suda veya dışarı atılan havalandırma sisteminde var olan düşük sıcaklıklı ısı akımları, ısı geri kazanım sistemleri sayesinde enerji ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olabilir. Bu atık ısı akımlarının kullanımı, yenilikçi ısı geri kazanım çalışmalarının hayata geçirilmesiyle olur. Bu çalışmalar aynı zamanda düşük ekserjili bina görüşü için önemli bir role sahiptir. Ekserji dengesi dikkate alınırken çoğunlukla elektrikli yardımcı sistemler önem kazanır. Pompalarda ve fanlarda gerekli yüksek ekserjili girdi olan elektriğin en aza indirgenmesi amacıyla, ısı geri kazanımı faydalıdır. Örneğin ısı pompaları.

Adı geçen çoğu düşük ekserjili kaynak kolay bulunabilir değildir ve değerlidir. Aynı zamanda kapasiteleri de sınırlı güçtedir. Binalardaki enerji ihtiyacının azaltılması, düşük ekserjili kaynak kullanımını teşvik ettiğinden mahal ısıtma ve soğutma uygulamalarındaki güç gereksinimini de düşürür.

Mahal ısıtma ve soğutmasındaki düşük özgül güç ihtiyacı, yerden ısıtma ve tavandan soğutma gibi yüzeyden ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanımını desteklemektedir. Yüzeyden ısıtma ve soğutma sistemleri geleneksel ekipmanlardan (radyatör, fan-coil vb.) daha düşük sıcaklıkta çalışır. Böylece düşük ekserjili kaynak kullanımını etkin hale getirir. Bu yüzden, düşük sıcaklıklı ısıtma ve yüksek sıcaklıklı soğutma sistemlerinin ihtiyaç duyulan ısıtma ve soğutma enerjisini, binanın enerji ihtiyacına yakın sıcaklıkta sağlamalarından dolayı bu sistemlere düşük ekserjili ısıtıcı sistemleri denir. Bina destek sistemlerinde düşük ekserji kaynaklarının daha geniş ve daha verimli bir şekilde dahil edilmesi için düşük ekserji ısıtıcı sistemleri önemli bir basamaktır. Sonuç olarak bu sistemler, düşük ekserjili kaynaklara verimli bütünleşmeye imkan verdikleri için daha esnekler; ama yine de yüksek ekserjili kaynaklarla da desteklenebilirler. 90/70 °C sıcaklık seviyelerinde çalışan radyatörler gibi yüksek gidış ve dönüş sıcaklıklarına ihtiyaç duyan sistemler, yer kaynaklı ısı pompalarıyla ve güneş enerjili sistemlerle birlikte verimli bir şekilde kullanılamaz.

Düşük ekserjili ısıtıcı sistemlerinin, düşük ekserjili binalar için bir ön koşul olduğunu vurgulamak gerekir. Standart bir bina çözüm çıktılarını, yüksek ekserjili kaynaktan sağlanan düşük ekserji önemli ölçüde geliştiremez. Örneğin gaz yakıtlı

kazanla çalışan düşük sıcaklıklı yerden ısıtma sistemi, aynı kazanla desteklenen yüksek sıcaklıklı radyatörden çok daha faydalı olmamaktadır. Yüksek ekserji girdisine ihtiyaç duyan kazan, ısıtıcı sisteminin düşük ekserjili olmasından etkilenmez ve düşük ekserjili sistemin avantajını ortadan kaldırır. O halde ekserji verimli bir bina için asıl odak noktası, kullanılan kaynağın kalitesini düşürmek ve binalar için düşük ekserjili kaynaklar bulmaktır.

Bir binada yer alan ekipmanlar için daha yüksek ve daha düşük ekserji ihtiyaçları mevcutsa, bunları öncelik sırasına koymak, kademelendirme yöntemini kullanmak gerekir. Yüksek ekserji ihtiyacı olan ekipmana önce, düşük ekserji ihtiyacı olan ekipmana sonra hizmet edilir. Bu yöntemde aynı ekserji akımı birkaç kere kullanılır. Binalardaki ısı enerji akımlarının kademelendirilmesi de ekserji yaklaşımıyla çözülebilecek yeni bir konudur.

Düşük ekserji ihtiyaçları için uygun enerji kaynaklarının kullanımını konusundaki sistem tasarımlarına ek olarak, ekserji kayıplarını en aza indireyecek şekilde bina sistemi kontrol stratejilerinin belirlenmesi gereklidir. İlk basamak olarak iyi bir bina fiziği uygulaması, binanın enerji ihtiyacını azaltacaktır. İyi bir yalıtım, bina kabuğundaki hava sızıntılarının önlenmesi, gün ışığından faydalanılması ve güneş enerjisinin pasif kullanımı önemli faktörlerdir.

3. ÖRNEK SİSTEM ANALİZİ

Enerji esaslı yöntemler enerjinin çevreye geçişi olarak ifade edilen termodinamik verimsizliklere cevap bulabilmek için geliştirilmiştir. Ancak, sistem içindeki tersinmezliklerin neden olduğu verimsizlikler sadece ekserji analizi yöntemiyle incelenebilmektedir. Ekserji esaslı yöntemler verimsizlik ve maliyetlerin yerini, büyüklüğünü ve kaynağını ortaya çıkarır.

Tablo 1. Örnek Bina Sınır Koşulları

Hacim (iç) [m ³]	V : 5850
Net Döşeme Alanı [m ²]	A _N : 650
İç Sıcaklık	T _{iç} : 21°C
Dış Sıcaklık	T _o : 0°C

Tablo 2. Isı Kaybı Formülleri

Sıra No	Isı Kaybı veya İhtiyacı	Formüller
1	İletimle Isı Kaybı	$\phi_l = \sum_i (k_i \cdot A_i \cdot F_{si}) \cdot (T_{iç} - T_o)$
2	Hava Sızıntısıyla Isı Kaybı	$\phi_s = (c_p \cdot \rho \cdot V \cdot n_d \cdot (1 - \eta_{Ha})) \cdot (T_{iç} - T_o)$
3	Isı İhtiyacı	$\phi_{H} = \phi_l + \phi_s$
4	Özgül Isı İhtiyacı	$\phi_{H}^* = \frac{\phi_{H}}{A_N}$

İncelenecek ısıtma sistemi ile ilgili olarak ısıtılacak mahallerin sınır koşulları Tablo 1’de görülmektedir.

Dış hava sıcaklığı İzmir için kış ortalaması olan 0 °C kabul edilmiştir. Kazanda yakıtın içindeki kimyasal enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Üretilen buhar plakalı tip, borular vasıtasıyla ısı değiştiricilere gönderilmektedir. Burada buharın enerjisi suya aktararak ısıtılacak mahallere ve su ısıtıcılarına ulaştırılmaktadır. İç ortam havası için gerekli ısı, panel radyatörler yardımıyla verilmektedir. Isının bir kısmı bina kabuğundan dışarı geçmektedir. Temel ısıtma sistemi ekipmanları buhar kazanı, ısı değiştirici, su ısıtıcı, borular ve radyatörlerden oluşmaktadır.

Duvarlar, pencereler, kapılar, döşeme ve tavan için toplam ısıletkenlik değerleri seçimi, Türk Bina Standartlarına [10] uygun olarak yapılmıştır. Çalışmada; modelleme, hesaplamalar, kabuller ve gerekli katsayı seçimleri ECBCSP (Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme) Annex 49 öntasarım programı [9] kullanılarak düzenlenmiştir.

Isı kaybı veya ihtiyaçları Tablo 2’deki formüller ile bulunmuştur. Isı ihtiyacı, iletimle ısı kaybı ve hava sızıntısıyla ısı kaybı hesaba katılarak bulunmuştur. İç kazanlar (insan vb.) ile ışıklandırma ve havalandırmanın etkileri ihmal edilmiştir. Tüm ısı değerleri kW, tüm özgül ısı değerleri kW/m² olarak hesaplanmıştır. Kullanılan formüller IEA’dan uyarlanmıştır [9]. Eşitlik (1)’de ϕ_l iletimle ısı kaybını, “i” göstergesi hesaplamaya alınan bileşeni (örneğin pencere, duvar vb.) k_i ısı geçirgenlik katsayısını, A_i yüzey alanını, F_{si} sıcaklık düzeltme faktörünü, $T_{iç}$ iç ortam sıcaklığını ve T_o dış ortam sıcaklığını göstermektedir. Eşitlik (2)’de ise ϕ_s hava sızıntısıyla ısı kaybını, c_p havanın özgül ısısını, ρ havanın yoğunluğunu, V bina iç hacmini, n_d hava değişim katsayısını ve η_{Ha} eğer mevcutsa havalandırma sisteminin verimini (yoksa sıfır alır) ifade eder. Eşitlik (3) de ısı ihtiyacını ifade etmektedir. Özgül ısı ihtiyacı (ϕ_{H}^*) ise ısı ihtiyacının net döşeme alanına oranlanması ile elde edilir.

Bina kabuğu, iç ortam havası, ısıtıcı, dağıtım ve ısı üretimi basamaklarının ekserji yükleri hesaplanmıştır. Ekserji analizi sonucunda elde edilen veriler, ekserji yükünün çok küçük bir bölümünün bina kabuğuna ulaştığını göstermektedir. Isıtılan ortamın (oda) ekserji yükü hesaplamaya yarayan kalite faktörü, Carnot Verimi’nden esinlenerek elde edilmiştir.

$$F_{q,iç} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{iç}} \right) \quad (1)$$

Bu ifadede $T_{q,iç}$ iç ortamın kalite faktörünü göstermektedir. İç ortamın ekserji yükü,

$$EX_{iç} = F_{q,iç} \cdot \phi_H \quad (2)$$

formülü kullanılarak bulunmuştur. Eşitlik (2)’de $EX_{iç}$ iç ortamın ekserji yüküdür. Benzer şekilde, üretim basamağından bina kabuğuna kadar her basamak için ekserji yükleri hesaplanmıştır. Herhangi bir “i” basamağının ekserji kaybı ise $\Delta EX_{iç}$ şeklinde ifade edilmiştir. İç ortamın ekserji yükü, ısıtıcı sisteminin ekserji yükünden ısıtıcı sisteminde meydana gelen ekserji kaybının çıkarılması ile bulunur.

$$EX_i = EX_{iç} + \Delta EX_i \quad (3)$$

Dağıtım basamağında tüketilen ekserji (ΔEX_d),

$$EX_d = EX_i + \Delta EX_d \quad (4)$$

eşitliği ile bulunur. Üretim basamağının ekserji yükü,

$$EX_u = \phi_u \cdot F_{q,u} \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada ϕ_u üretim basamağında elde edilen ısıdır. Toplam enerji ve ekserji değerleri ise tüm basamaklar göz önüne alınarak bulunmuştur.

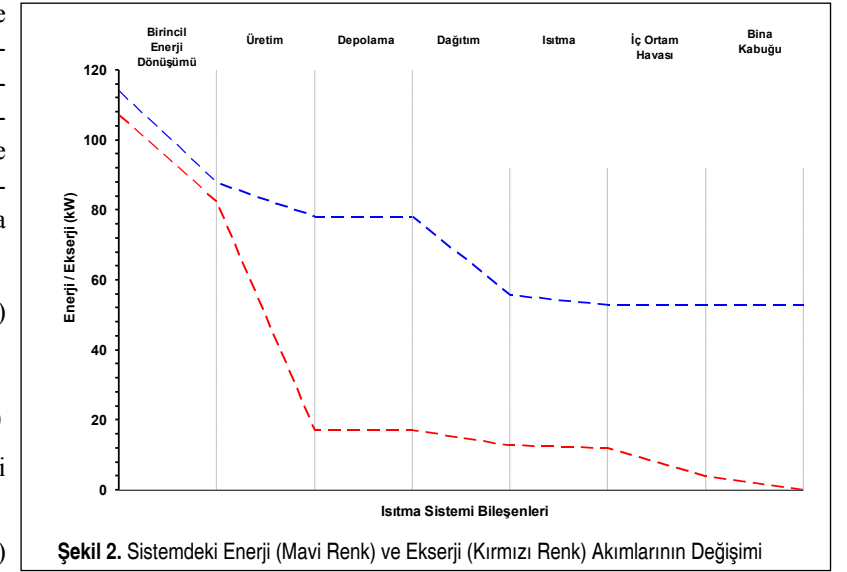
İletimle ısı kaybı 36,47 kW ve hava sızıntısıyla ısı kaybı 16,47 kW olarak elde edilmiştir. Bu veriler esas alınarak ısı ihtiyacı ve özgül ısı ihtiyacı sırasıyla, 52,94 kW ve 81,44 W/m²’dir. Isıtma sistemindeki enerji ve ekserji akımı değerleri Tablo 3’te sunulmuştur.

En yüksek ekserji kaybı, üretim basamağından sonra meydana gelmektedir. Kazanda oluşan ekserji yıkımında tersinmezlikler önemli rol oynamaktadır. İş potansiyeli olmadığı için kalan ekserji bina kabuğundan sonra tüketilerek sıfır değerini almaktadır. Şekil 2’de, ısıtma sistemindeki enerji ve ekserji akımlarının bileşenlerden geçerken değişimi görülmektedir. Burada y ekseninden itibaren kesikli çizgilerle kesişme noktaları her eğri için ilgili basamağın enerji veya ekserji değerine karşılık gelmektedir. Mavi renkte elde edilen eğri, enerji değişimini ve kırmızı renkle gösterilen eğri ise ekserji değişimini ifade etmektedir.

En yüksek ekserji kayıpları 65,23 kW ve 24,62 kW olarak

Tablo 3. Sistemin Enerji ve Ekserji Değerleri

Basamaklar	Toplam Enerji (kW)	Toplam Ekserji (kW)
Birincil Enerji Dönüşümü	113,93	107
Üretim	87,63	82,38
Dağıtım	77,99	17,15
Isıtıcı	55,72	12,61
İç Ortam Havası	52,94	11,93
Bina Kabuğu	52,94	3,78



Şekil 2. Sistemdeki Enerji (Mavi Renk) ve Ekserji (Kırmızı Renk) Akımlarının Değişimi

üretim ve birincil enerji dönüşümü basamaklarında meydana gelmiştir. Bu değerler ekserji kaybının %84'lük kısmını oluşturmaktadır. Kazandaki ısı kayıpları yeterli yalıtım yapılması ve baca gazı sıcaklığının azaltılması ile düşürülebilir.

4. SONUÇ

Isıtma sisteminde buhar kazanında elde edilen ısı, dağıtım basamağında borular içinde hareket eden suya aktarılmaktadır. Ardından su, panel radyatörlerin içinden geçerken sahip olduğu ısı enerjisini üflenen hava ile iç ortama bırakmaktadır. Son olarak ısı, bina kabuğundan geçerek binayı terk etmektedir. Yapılan çalışmada, ilk basamak olan birincil enerji dönüşümünden bina kabuğuna kadar olan basamaklar arasındaki enerji ve ekserji akımları incelenmiştir.

Balta ve arkadaşları [3], ısı pompasının, yoğunlaşmalı kazanın ve kazanın ekserji verimleri sırasıyla, %3,66, %3,31 ve %2,91 olarak hesaplamışlardır. Balta [7], kazan, yoğunlaşmalı kazan ve hava kaynaklı ısı pompası için sistemlerin toplam ekserji verimlerini sırasıyla, %2,10, %2,33 ve %2,42 olarak bulmuştur. En yüksek ekserji tüketimleri sırasıyla, 68 kW, 57 kW ve 21 kW olarak üretim basamağında meydana gelmiştir.

Bu çalışmada, toplam giren ekserji 107 kW olmakla beraber, en yüksek ekserji kaybı üretim basamağında 65,23 kW olarak gerçekleşmiştir. Bu değer, ekipmanın daha verimli olmasıyla değiştirilmesinin uygun olacağını göstermektedir. Isıtma sisteminin enerji verimi %45,7 olarak hesaplanmıştır. Sistemin ekserji verimi ise %3,5 olarak bulunmuştur. Elde edilen ekserji verimi önceki yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında benzer bir değer bulunmuştur. Görüldüğü gibi, geleneksel enerji analizi ve ekserji analizi ile elde edilen değerler arasında büyük farklar bulunmaktadır. Enerjinin kullanılabilir kısmı dikkate alındığında verim değerleri daha düşük değerler

almaktadır. Isıtma sistemlerinde yüksek ekserji verimli, bir başka deyişle, düşük ekserji kaybına neden olan ekipmanlar tercih edilmelidir.

SEMBOLLER

A	Alan
Ex	Ekserji
F	Faktör
T	Sıcaklık
V	Hacim
ϕ	Isı
ϕ''	Özgül Isı

Alt semboller

D	Dağıtım
H	İhtiyaç
Ha	Hava
I	Isıtıcı
İ	İletim
N	Net
q	Kalite
S	Hava Sızıntısı
Ü	Üretim

KAYNAKÇA

1. International Energy Agency. 2015. "Key World Energy Statistics," <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2015.pdf>, son erişim tarihi: 07.03.2016.

2. Schmidt, D. 2004. "Design of Low Exergy Buildings-Method and a Predesign Tool," International Journal of Low Exergy and Sustainable Buildings, vol. 3, p.1-47.
3. Balta, M. T., Kalinci, Y., Hepbasli, A. 2008. "Evaluating a Low Exergy Heating System from the Power Plant through the Heat Pump to the Building Envelope," Energy and Buildings, vol. 40, p. 1799-1804.
4. Shukuya, M. 2009. "Exergy Concept and its Application to the Built Environment," Building and Environment, vol. 44, p. 1545-1550.
5. Yıldız, A., Gungor, A. 2009. "Energy and Exergy Analyses of Space Heating in Buildings," Applied Energy, vol. 86, p. 1939-1948.
6. Hasan, A., Kurnitski, J., Jokiranta, K. 2009. "A Combined Low Temperature Water Heating System Consisting of Radiators and Floor Heating," Energy and Buildings vol. 41, p. 470-479.
7. Balta, M. T. 2012. "Exergetic Cost Analysis and Sustainability Assessment of Various Low Exergy Heating Systems," Energy and Buildings, vol. 55, p. 721-727.
8. Han, T., Zheng, Y., Gong, G. 2015. "Exergy Analysis of Building Thermal Load and Related Energy Flows in Buildings," Indoor and Built Environment, November 3, doi:10.1177/1420326X15612881.
9. International Energy Agency (IEA). 2011. "Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities," Annex 49, <http://www.annex49.com/materials.html>, son erişim tarihi: 20.03.2013.
10. Türk Standartları Enstitüsü. 1998. TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.