

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE EKSERJİ ÇÖZÜMLEMESİ

Taner DERBENTLİ

ÖZET

Bu çalışmada iklimlendirme sistemlerinde son yıllarda ekserji alanında gerçekleştirilen çalışmalar gözden geçirilmiş, yapılan çözümler, uygulanan yöntemler ve gelişmeler değerlendirilmiştir. Ekserji çözümleri son yıllarda özellikle güç üretimi alanında yaygın olarak kullanılmakta, sistem tasarımının hem tüm olarak hem de bileşen bazında iyileştirilmesi için yöntemler geliştirilmektedir. Ayrıca termoekonomi adı verilen bir bilim dalı gelişmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar, elektrik, ısı enerjisi gibi ürün maliyetlerinin ekserji temelli olarak hesaplanmasını, sistemlerin ömür boyu maliyetlerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Son yıllarda ekserji ve termoekonomi uygulamaları iklimlendirme sistemlerinin tasarımında ve değerlendirmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, öne çıkan bazı çalışmaları özetlemektir.

Anahtar Kelimeler: İklimlendirme sistemleri, ekserji çözümleri, termoekonomi

ABSTRACT

Recent work in the area of exergy analysis of HVAC Systems has been reviewed in this study. In this context the analysis made, the methods applied and the developments have been considered. Exergy analysis has been extensively used in the area of power production in the last years to optimize systems and components. Furthermore a scientific discipline called thermoeconomy has been developed. The studies in this field lead to the computation of product costs such as electricity and thermal energy. Furthermore the life cycle costs of systems may be calculated. The exergy analysis and thermoeconomy has been applied to the design and evaluation of HVAC systems in the last few years. The object of this study is to summarize the recent literature in this area.

Key Words: HVAC Systems, exergy analysis, thermoeconomy

GİRİŞ

Yapıların enerji yöntemleriyle, başka bir deyişle termodinamiğin birinci yasasına dayanan yöntemlerle verimlilik çözümleri, ısıtma, soğutma, iklimlendirme alanında oldukça ayrıntılı bir biçimde irdelenmiştir. Bu amaçla, TRNSYS, EnergyPlus gibi çeşitli ticari yazılımlar da geliştirilmiştir. Buna karşın yapıların ekserji çözümleri henüz gelişme aşamasında olup, bu konuda yapılan araştırmaların, yayınların sayısı çok fazla değildir. Bu bildirinin amacı son beş yılda yapıların ve iklimlendirme sistemlerinin ekserji çözümleri ile ilgili çalışmaları özetlemektir. Bu amaçla ASHRAE Transactions, Energy Conversion and Management, Energy and Buildings, Buildings and Environment, Applied Thermal Engineering dergilerinin özellikle son on yıl içinde yayımlanan sayıları incelenmiş, konu ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir. Kuşkusuz tesisat mühendisini ilgilendiren temel soru, ekserji çözümlerine neden gerek duyulduğu, ekserji çözümlerinin fazladan sağladığı bilginin ne olduğudur. Bu temel sorunun altında şu sorular da sıralanabilir:

Ekserji çözümlenmesi sistem bileşenlerinin tasarımına yeni bir bakış açısı getirmekte midir?

Ekserji çözümlenmesi değişik bileşenlerden oluşan sistemlerin entegrasyonunda farklı bir çözümlenme sunmakta mıdır?

Ekserji çözümlenmesi aynı amacı sağlayacak farklı sistemlerin karşılaştırmasında enerji çözümlenmesinden farklı bir sonuç vermekte midir?

Ekserji çözümlenmesi, sistemlerin ekonomik çözümlenmesine farklı bir boyut getirmekte midir?

Bu sorular çoğaltılabilir. Aşağıda incelenen çalışmalarda, öncelikle bu soruların nasıl yanıtlandığına bakılmıştır.

LİTERATÜRÜN DEĞERLENDİRMESİ

İklimlendirme sistemlerinde ekserji çözümlenmesinin başlangıcı Wepfer, Gaglioli ve Obert [1] ile Moran [2] tarafından yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Bu çalışmalarda nemli havanın ekserjisini ifade eden bağıntılara yer verilmiş, ekserji denge denklemi temel psikrometrik işlemlere uygulanmıştır.

Perez Galindo ve Payan Rodriguez [3], nemli havanın özgül hacim, entalpi ve entropisini, doymuş havanın ve kuru havanın özelliklerini, nem oranlarını kullanarak hesaplayan bağıntılar geliştirmişlerdir.

Bu bağıntıların gerçek değerlere \pm %0.2 mertebesinde yakın olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada ayrıca özellik bağıntıları ile ilgili yapılmış diğer araştırmalara da atıfta bulunulmuştur.

Marletta [4], soğutma tekniklerinin düşük ekserji verimlerine işaret ettikten sonra, iklimlendirme sistemlerinin çözümlenmesi için temel bağıntılar olan ekserji bilançosu ve nemli havanın ekserji ifadesini vermiş, daha sonra üç farklı iklimlendirme sistemi için ekserji çözümlenmesi yapmıştır. Bu sistemler hava şartlandırma ünitesi tarafından beslenen tek hava kanallı, iki hava kanallı ve 'fan coil' li sistemlerdir. Hava şartlandırma ünitelerinin ekserji verimleri bu üç sistem için sırasıyla yüzde 28.4, yüzde 26.7 ve yüzde 19.5 olarak bulunmuştur. Çözümlenme ayrıca en fazla ekserji kaybının soğutma ve nem alma işlemlerinde olduğunu göstermiştir.

Kanoğlu, Dinçer ve Rosen [5], kütle, enerji, entropi ve ekserji bilançolarını veren denklemleri yazdıktan sonra, bu denklemleri temel psikrometrik işlemler olan duyulur ısıtma, soğutma-nem alma, nemlendirme ve buharlaşmalı soğutma için sadeleştirmişler, ele alınan temel işlemlerin her biri için ekserji verimini tanımlamışlardır. Çalışmada uygulama örnekleri de yer almaktadır. Ekserji çözümlenmesinin önemi vurgulanmakla birlikte, bu çözümlenmeden iklimlendirme sistemlerinin tasarımında nasıl yararlanılacağı açıklanmamıştır.

Sakulpipatsin ve ark. [6], bir bina ve iklimlendirme sisteminin ekserji çözümlenmesi için bir yöntem önermişlerdir. Yöntem binanın ısı kazanç ve kayıplarını hesapladıktan sonra, bu değerleri kullanarak ekserji giriş çıkışlarını bulmakta ve ekserji bilançosunu yapmaktadır. Yöntem Hollanda'da bir ofis binasına uygulanmış, binanın soğutulması ve ısıtılması için ekserji verimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu çalışmada da elektrikle yapılan soğutmada ekserji veriminin düşük (%6 mertebesinde) olduğu gözlenmiştir. Çalışmada ayrıca binadan dışarı olan ekserji akışı ele alınmıştır. Bu yöntemle değişik ısıtma-soğutma sistemlerinin karşılaştırmasını yapmak ve bu yolla sistem optimizasyonuna gitmek mümkün görünmektedir.

Pu, Guilian ve Xiao [7], Szargut tarafından ortaya atılan 'Birikimli ekserji tüketimi' (Cumulative exergy consumption) tanımını kullanarak bir ofis binası için değişik iklimlendirme sistemlerini karşılaştırmıştır. 'Birikimli ekserji tüketimi' tanımı bir ürünün (burada soğutma, iklimlendirme) temel malzemelerden ve kaynaklardan başlayarak oluşturulmasındaki tüm aşamaları göz önüne alarak tükettiği toplam ekserjiyi belirtmektedir. Bunların arasında elektrikle veya gaz türbini ile çalıştırılan, pistonlu, vidalı veya eksenel kompresörlere sahip, soğutma çevrimleri vardır. Sonuçlar özetle su ile soğutulan yoğunlaştırıcıları olan

ve gaz türbini ile çalıştırılan soğutma sistemlerinin daha uygun olduğunu göstermiştir. Birikimli ekserji tüketimi yöntemi, sistemleri sadece ekonomik anlamda değil fakat çevresel etkiler bakımından karşılaştırmakta yararlı bir yöntem olabilir. Bununla birlikte geriye doğru bir hesaplama içerdiğinden hem belirsizlikler, hem de zorluklar içermektedir.

Wei ve Zmeureanu [8], bir ofis binası için değişken hava debili (VAV) iklimlendirme sisteminin iki farklı çalışma koşulu için ekserji çözümlenmesini yapmıştır. Sistemin tümü elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Çalışmada önce iklimlendirme sisteminin enerji ve ekserjiye dayalı matematiksel modelleri oluşturulmuş, yıllık bazda sistemin etkinlik katsayıları (COP) ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Sonuçlar iklimlendirme sistemi için ekserji veriminin %2 ile %3 arasında değiştiğini, sistemin sabit çıkış sıcaklığı yerine, en yüksek soğutma yükünün bulunduğu birime göre belirlenen bir çıkış sıcaklığı ile çalıştırılması durumunda ekserji veriminin %26 oranında arttığını göstermiştir. Elektrik yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda ekserji veriminin artacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmanın enerji çözümlenmesi ile elde edilemeyecek sonucu, iklimlendirme sistemlerinde doğal kaynakların kullanımı bakımından iyileştirmelere büyük bir yer olduğudur.

Chengqin, Nianping ve Guangfa [9], nemli havanın ekserjisini veren bağıntıları yeniden ortaya koyduktan sonra, ekserjinin çevre haline (referans haline) göre değişimini incelemiş, Wepfer, Gaggioli ve Obert' in sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Çalışmada bir iklimlendirme sisteminin elemanları sınıflandırılarak, her bir grup için ekserji verimi ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu çalışmada ayrıca ekserjinin ısı, mekanik ve kimyasal olarak üç bileşeni tanımlanmış ve değişik buharlaşmalı soğutma (evaporative cooling) yöntemlerinin ekserji çözümlenmesi yapılmıştır.

Alpuche ve ark. [10], sıcak ve nemli iklimlerde ısı konforun, havayı soğutan nem alma sistemleriyle en ekonomik biçimde nasıl sağlanabileceğini araştırmışlar, bu amaçla ekserji çözümlenmesini ve simülasyon için PowerDOE programını kullanmışlardır.

Franconi ve Brandemuehl [11], sabit ve değişken debili hava dağıtım sistemlerini birinci ve ikinci yasaları kullanarak karşılaştırmışlardır. Bu amaçla TRNSYS simülasyon programını bazı eklemelerle kullanmışlardır. Değişken debili dağıtım sistemlerinde tersinmezliklerin sabit debili sistemlere göre daha az olduğunu belirlemişlerdir. İkinci yasa çözümlenmesinin tasarımı iyileştirme, yapılan tasarım iyileştirmelerini değerlendirme, kurulu bir sistemin performansını ölçme ve sistem hatalarını belirleme bakımından yararlı olduğunu göstermişlerdir.

Yang, Zmeureanu ve Rivard [12], Montreal yakınlarındaki bir konutun sıcak sulu veya havalı bir sistem ile ısıtılması durumlarını ele almış, her bir durum için ekonomik ömür boyunca (life cycle) enerji tüketimini, birikimli ekserji tüketimini, sera gazı emisyonunu, enerji ve ekserji verimini hesaplamışlardır. Karşılaştırma sonucunda ömür boyu enerji tüketimi ve birikimli ekserji tüketimi bakımından, sıcak sulu ısıtma sisteminin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmada gerek konut yapı elemanları gerekse tesisat elemanlarının üretimi için gerekli enerjiye (embodied energy) ilişkin bilgiler ve karşılaştırmalar da verilmiştir.

Tozer, Valero ve Lozano [13], iklimlendirme sistemlerini termoeconomik açıdan incelemişlerdir. Termoeconomik inceleme sistemde ekserji akılarının hesaplanmasını ve yatırım maliyetlerini de göz önüne alarak, maliyet akılarının bulunmasını gerektirmektedir. Böylece sistem ürünlerinin birim ekserji maliyetleri hesaplanabildiği gibi, ekserji veriminden yola çıkarak, ömür boyu sistem maliyetlerinin hesaplanabilmesi ve değişik sistemlerin karşılaştırılması mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada su ve hava dağıtımli dört ayrı sistem ele alınmış, sistemlerin bileşenlerinde tasarım değişikliklerine gidilerek, sistemler ayrı ayrı iyileştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sistem ömür boyu maliyetlerinde %20 kadar bir iyileşmenin sağlanabildiğini göstermiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada yapılarda ve iklimlendirme sistemlerinde gerçekleştirilmiş ekserji çözümlenmesine dayalı araştırmalar gözden geçirilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu konudaki literatür kuşkusuz incelenen

çalışmalardan çok daha fazladır. Ancak incelenen kaynaklar konunun temellerini ele almakta ve başlıca uygulama alanlarını özetlemektedir. Bu nedenle bildirinin, tesisat alanında çalışan ve ekserji çözümlerini uygulamak isteyen mühendisler için bir başlangıç noktası oluşturması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Wepfer, W.J., Gaglioli R.A., Obert, E.F., “Proper evaluation of available energy for HVAC”, ASHRAE Trans. 85(1), s. 214-30, 1979.
- [2] Moran, M.J., “Availability analysis : A guide to efficient energy use”, Prentice Hall, 1982.
- [3] Perez Galindo, J., Payan Rodriguez, L., “Thermodynamic Properties for Humid Air-An Engineering Correlation”, ASHRAE Transactions, 114(1), s. 404-410, 2008.
- [4] Marletta, L., “Air conditioning Systems from a 2nd law perspective”, Entropy, s. 859-877, 2010.
- [5] Kanoğlu, M., Dinçer, İ., Rosen, M., “Exergy Analysis of Psychrometric Processes for HVAC&R Applications”, ASHRAE Transactions, 113(2), s. 172-180, 2007.
- [6] Sakulpipatsin, P., Itard, L., van der Kooi, H., Boelman, E., Lescuere, P., “An exergy application for analysis of buildings and HVAC systems”, Energy and Buildings, 42, s. 90-99, 2010.
- [7] Pu, J., Guilian, L., Xiao, F., “Application of cumulative exergy approach to different air conditioning systems”, Energy and Buildings, 42, s. 1999-2004, 2010.
- [8] Wei, Z., Zmeureanu, R., “Exergy analysis of variable air volume systems for an office building”, Energy Conversion and Management, 50, s. 387-392, 2009.
- [9] Chengkin, R., Nianping, L., Guangfa, T., “Principles of exergy analysis in HVAC and evaluation of evaporative cooling schemes”, Building and Environment, 37, s.1045-1055, 2002.
- [10] Alpuche, M. G., Heard, C., Best, R., Rojas, J., “Exergy analysis of air cooling systems in buildings in hot humid climates”, Applied Thermal Engineering, 25, s. 507-517, 2005.
- [11] Franconi, E., Brandemuehl, M., “Second Law Study of HVAC Distribution System Performance”, ASHRAE Transactions, 105(1), s. 1237-1245, 1999.
- [12] Yang, L., Zmeureanu, R., Rivard, H., “Comparison of environmental impacts of two residential heating systems”, Building and Environment, 43, s.1072-1081, 2008.
- [13] Tozer, R., Valero, A., Lozano, M., “Thermoeconomics Applied to HVAC Systems”, ASHRAE Transactions, 105(1), s. 1247-1255, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Taner DERBENTLİ

1948 Muş doğumludur. 1970 yılında Manitoba Üniversitesi (Kanada) Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiş, aynı üniversiteden 1972 yılında yüksek lisans derecesini almıştır. Doktora çalışmasını, ısı tekniği alanında, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi' nde, 1980 yılında tamamlamıştır. 1973 yılında sistem programcısı olarak girdiği İTÜ' de, 1975–1984 yılları arasında araştırma görevlisi, 1984–1986 yılları arasında yardımcı doçent, 1986–1997 yılları arasında doçent ve daha sonra profesör olarak görev yapmıştır. İTÜ' de değişik idari görevler üstlenmiş, 2004–2010 yılları arasında İTÜ Makina Fakültesi Dekanlığı görevinde bulunmuştur. Termodinamik, termoekonomi, ısı tekniği konularında araştırmaları, yayınları vardır.