ISSN 1019-1011

Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran-Aralık 2009 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT.24 SAYI.1-2 June-December VOL.24 NO.1-2

DESİSİF BİR İKLİMLENDİRME SİSTEMİNİN EKSERJİ ANALİZİ

Ertaç HÜRDOĞAN, Orhan BÜYÜKALACA, Tuncay YILMAZ
Ç.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

Arif HEPBAŞLI
E.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, son yıllarda kullanımı yaygınlaşmaya başlayan ve konvansiyonel iklimlendirme sistemlerine göre bazı avantajlara sahip olan desisif bir iklimlendirme sistemi ele alınmıştır. Tüm sistemin ve sistemde bulunan önemli bileşenlerin performansı ekserji analizi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Performans değerlendirilmesinde, ekserji verimlilikleri, özgül ekserji indeksleri, ekserjetik iyileştirme potansiyeli gibi bazı termodinamik parametreler kullanılmıştır.*
Anahtar Kelimeler: *İklimlendirme, nem almalı soğutma, ekserji analizi*

EXERGY ANALYSIS OF DESICCANT BASED AIR CONDITIONING SYSTEM

ABSTRACT : *In this study, a desiccant based air-conditioning system that is viable alternative to vapor compression systems is considered. The performance of the system and its components are evaluated by using exergy analysis. Some thermodynamic parameters like exergy efficiencies, specific exergy, exergetic improvement potential and are used in the performance evaluation.*
Keywords: *Air conditioning, desiccant cooling, exergy analysis*

1. GİRİŞ

Desisif (Nem almalı) iklimlendirme sistemleri son yıllarda Avrupa'da ve ABD'de yaygınlaşmaya başlamasına rağmen, Türkiye'de tam olarak bilinmemekte ve çok fazla uygulaması bulunmamaktadır. Bu sistemlerde, iklimlendirilecek mahale gönderilen hava, nem alıcı (kurutucu) madde (katı veya sıvı) üzerinden geçirilerek nemi düşürülmekte ve daha sonra istenilen konfor sıcaklığına kadar buharlaştırmalı soğutma veya konvansiyonel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi tarafından soğutulmaktadır. Nem alıcı üzerindeki nem ise rejenerasyon havası olarak bilinen ikincil bir sıcak hava akımı tarafından uzaklaştırılmaktadır.

İklimlendirme sistemlerinde uygulanan değişik nem alma sistemleri Mazzei ve diğ. tarafından derlenmiş ve bir tiyatro salonu ile bir süper market için yapılan analizler neticesinde, desisif sistemlerin işletme maliyetlerinde büyük tasarruflar ve daha iyi nem kontrolü sağladığı, ancak ilk yatırım maliyetlerinde artışların olduğu belirtilmiştir [1]. Dai ve diğ., konvansiyonel buhar sıkıştırmalı soğutma sistemine nem alma ve buharlaştırmalı soğutmanın ilave edilmesi durumunda, soğutma kapasitesinde %20-30 artış sağlandığı ve sistemin COP'sinin ciddi oranda arttığını bildirmişlerdir [2]. Subramanyam ve diğ., düşük nem gereksinimi olan uygulamalar için desisif soğutmayı deneysel olarak incelemişler ve bu tür uygulamalarda desisif sistemin performansının alışılagelmiş yeniden-ısıtmalı (re-heat) sistemlere göre daha iyi olduğunu bulmuşlardır [3]. La ve diğ. nem almada döner rotorun kullanıldığı farklı iklimlendirme sistemlerini ve bazı uygulamalarını içeren bir derleme çalışması yaparak bu tür sistemlerin uygunluğunu göstermişlerdir [4].

İklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliği sağlamak üzere, değişik uygulamalar söz konusu iken, bu sistemlerin performansının değerlendirilmesinde enerji analizi yöntemi kullanılmaktadır [5]. Başka bir deyişle, sistemlerin performansının değerlendirilmesinde termodinamiğin birinci yasası kullanılmaktadır. Oysa bu sistemlerin işletmesini sağlamak için gerek duyduğumuz enerji, kullanılabilir enerjidir (ekserji). Termodinamik bakış açısından ekserji; bir referans çevreyle denge haline gelirken, bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanmaktadır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür. Bir proses boyunca meydana gelen ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropiyle orantılıdır. Ekserji analizi yapmanın önemi aşağıdaki şekilde sıralanabilir [6]:

a) Enerji kaynakları kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde ana bir araçtır.
b) Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
c) Daha fazla verimli kaynak kullanılma amacını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek büyüklükleri ortaya çıkarılır.
d) Mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemlerini tasarlamanın nasıl mümkün olup olamayacağını gösteren etkin bir tekniktir.
e) Sürdürülebilir gelişmenin elde edilmesinde anahtar bir bileşendir.
f) Enerji politikaların oluşturulmasında kullanılabilecek önemli bir araçtır.

Ekserji analizleri birçok araştırmacı tarafından farklı iklimlendirme sistemlerine uygulanmıştır [7-9]. Fakat desisif iklimlendirme sistemlerine uygulanan ekserji analizi çalışması çok fazla bulunmamaktadır [10,11]. Bu çalışmada, son yıllarda kullanımı yaygınlaşmaya başlayan ve konvansiyonel iklimlendirme sistemlerine göre bazı avantajlara sahip olan desisif bir iklimlendirme sistemi ele alınmıştır. Tüm sistemin ve sistemde bulunan önemli bileşenlerin performansı ekserji analizi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Performans değerlendirilmesinde, ekserji verimlilikleri, özgül ekserji indeksleri (akımı), ekserjetik iyileştirme potansiyeli gibi bazı termodinamik parametreler kullanılmıştır.

2. SİSTEMİN TANITIMI

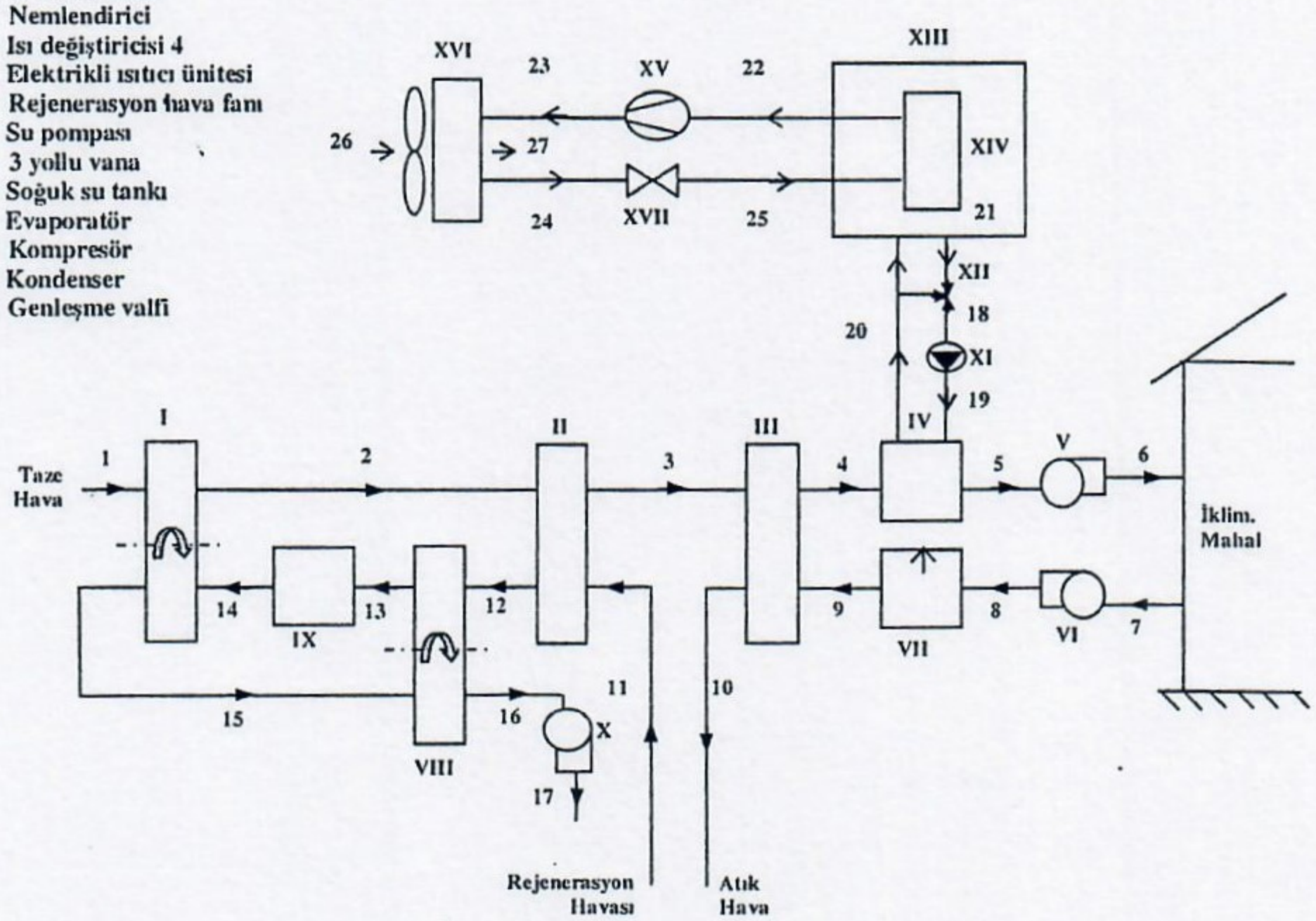
Şekil 1'de tasarlanıp, kurulan nem almalı iklimlendirme sisteminin genel görünüşü verilmiştir. Analizlerin düzenli bir şekilde yapılabilmesi için sistemdeki her bir ekipmana numara verilmiştir. Sistemde temiz, atık ve rejenerasyon olmak üzere üç adet hava kanalı bulunmaktadır. Temiz hava kanalı, tamamı dışardan alınan taze havayı iklimlendirerek mahale iletmek için kullanılır. Atık hava kanalı yardımıyla, mahal içerisinden emilen hava dışarı atılmaktadır. Rejenerasyon hava kanalı ise nem alma ünitesinde emilen nemi uzaklaştırmak için kullanılır. Bu kanallara, kullanılan havayı sistemin amacına uygun olarak şartlandırmak ve kontrol etmek amacıyla çeşitli elemanlar (nem alma ünitesi, ısı değiştiricisi, fan, soğutma grubu, ısıtıcı ünitesi, vb.) yerleştirilmiştir.

Temiz hava kanalına 1 noktasında alınan havanın nemi, nem alma ünitesinde (döner tip) düşürülmekte (1→2) ve kuru ancak daha yüksek sıcaklıkta bir hava elde edilmektedir (2). Aynı anda bir miktar sıcak hava (rejenerasyon havası) ters yönden nem alıcıya gönderilerek (14) taze havadan çekilen nem, nem alma ünitesinden uzaklaştırılmaktadır (14→15). Nem alma ünitesinden sonra, temiz hava 1 ve 2 numaralı ısı değiştiricisinden geçirilerek (2→4), ön soğutma işlemine tabi tutulmakta ve sıcaklığı düşürülmektedir. Temiz havanın sıcaklığı, son olarak buhar sıkıştırmalı bir soğutma grubu tarafından soğutulan su yardımıyla kuru soğutucu serpantinde (3 numaralı ısı değiştiricisi) üfleme sıcaklığına kadar düşürülmektedir. Burada temiz havanın içerisindeki su buharının yoğuşmaması için sisteme gerekli otomatik kontrol elemanları ve sensörler yerleştirilmiştir. Tasarlanan bu sistemde mahale gönderilen temiz havadan nem alma işlemi sadece döner nem alıcıda gerçekleşmekte, diğer hiç bir ünitede (3 numaralı serpantin dahil) nem alma işlemi gerçekleşmemektedir.

İklimlendirilen mahalden (7) atık hava kanalına emilen hava, soğu geri kazanımı amacıyla kullanılan 2 numaralı ısı değiştiricisine gelmeden önce, bir nemlendirme ünitesinde nemlendirilerek sıcaklığı düşürülmekte ve 2 numaralı ısı değiştiricisi üzerinden geçirilerek dışarı atılmaktadır.

Rejenerasyon kanalına 11 noktasında emilen dış hava, 1 ve 4 numaralı ısı değiştiricilerinden geçirilerek ön ısıtma işlemine tabi tutulmakta ve daha sonra, nem alma ünitesindeki nemi uzaklaştırmak için gerekli olan sıcaklığa (rejenerasyon sıcaklığı) kadar elektrikli ısıtıcılar kullanılarak ısıtılmaktadır (13→14). 14 noktasında nem alma ünitesine giren rejenerasyon havası, nem alıcıdaki nemi içine alarak soğumakta (15) ve 4 numaralı ısı değiştiricisinden geçirilerek (15→16) dışarı atılmaktadır (17).

I Nem alıcı rotor
II Isı değiştiricisi 1
III Isı değiştiricisi 2
IV Isı değiştiricisi 3
V Taze hava fanı
VI Atık hava fanı
VII Nemlendirici
VIII Isı değiştiricisi 4
IX Elektrikli ısıtıcı ünitesi
X Rejenerasyon hava fanı
XI Su pompası
XII 3 yollu vana
XIII Soğuk su tankı
XIV Evaporatör
XV Kompresör
XVI Kondenser
XVII Genleşme valfi



Şekil 1. Sistemin şematik resmi

3. MODELLEME VE ANALİZ

İklimlendirme sistemlerinde, ısı girdileri, ekserji tahribi oranı, enerji ve ekserji verimleri; kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları kullanılarak belirlenmektedir. Aşağıda, öncelikle genel bağıntılar, daha sonra sistemin performansının değerlendirilmesine yönelik bağıntılar verilecektir.

Sürekli-akışlı açık sistemler için, kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları aşağıdaki gibi yazılabilir [12-14]:

Birim zaman bazında kütle (kütlesel debi) dengesi:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \tag{1}$$

Birim zamanda enerji dengesi (enerji akımı dengesi):

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç \tag{2}$$

Birim zamanda ekserji dengesi (ekserji akımı dengesi):

$$\dot{E}x_g - \dot{E}x_ç = \dot{E}x_{tahrib} \tag{3}$$

veya

$$\dot{E}x_{ısı} - \dot{E}x_{iş} + \dot{E}x_{kütle,g} - \dot{E}x_{kütle,ç} = \dot{E}x_{tahrib} \tag{4}$$

veya

$$\Sigma\left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right)\dot{Q}_k - \dot{W} + \Sigma\dot{m}_g\psi_g - \Sigma\dot{m}_ç\psi_ç = \dot{E}x_{tahrib} \tag{5}$$

şeklindedir. Bu eşitliklerde (Eşt. 1-5) $\dot{m}$; kütle debisini (kg/s), $\dot{E}$; enerji akımını (kW), $\dot{E}x$; ekserji akımını (kW), alt indis "g" ve "ç" sırasıyla girişi ve çıkışı, alt indis "o" ise ölü hali ifade etmektedir. Ayrıca Eşitlik 5'te, k yerinde T_k sıcaklığında sistem sınırından olan $\dot{Q}_k$; ısı transfer akımını (kW), $\dot{W}$; gücü (kW) ve ψ; fiziksel ekserjiyi (kJ/kg) göstermektedir.

Ekserji akımı (birim zamandaki akış ekserjisi, kW), aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir:

$$\dot{E}x = \dot{m}\psi \tag{6}$$

Fiziksel ekserji su ve soğutucu akışkan için:

$$\psi_{su,sa} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \tag{7}$$

hava için ise,

$$\begin{aligned}\psi_h = {} & (C_{p,h} + \omega C_{p,sb})T_0[(T/T_0) - 1 - \ln(T/T_0)] + (1 + 1.6078\omega)R_h T_0 \ln(P/P_0) \\ & + R_h T_0\{(1 + 1.6078\omega)\ln[(1 + 1.6078\omega_0)/(1 + 1.6078\omega)] + 1.6078\omega\ln(\omega/\omega_0)\}\end{aligned} \tag{8}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Fiziksel ekserji için verilen eşitliklerde h; entalpiyi (kJ/kg), T; sıcaklığı (°C), s; entropiyi (kJ/kg K), $C_{p,h}$ ve $C_{p,sh}$;sırasıyla hava ve su buharının sabit basınçtaki özgül ısısını (kJ/kg K), ω; özgül nem oranını (kg/kg_{hava}), R_h; gaz sabitini (kJ/kg K), alt indis "o" ise ölü hali ifade etmektedir. Burada, özgül nem oranı, su buharının havanın kütle debisine oranı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\omega = \dot{m}_{sb}/\dot{m}_h \tag{9}$$

Ekserji verimi (ε), istenilen etkinin ekserjisinin kullanılan ekserjiye oranı yada kazancın (ürünün) ekserjisinin ($\dot{E}x_{ür}$), yakıtın ekserjisine ($\dot{E}x_{yak}$) oranı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}x_{ür}}{\dot{E}x_{yak}} \tag{10a}$$

veya

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}x_{\text{çikan (ç)}}}{\dot{E}x_{\text{giren (g)}}} \tag{10b}$$

Isı değiştiricileri için ekserji verimi, soğuk akışkandaki ekserji artışının ($\dot{E}x_{soguk,ç} - \dot{E}x_{soguk,g}$) sıcak akışkandaki ekserji düşüşüne ($\dot{E}x_{sicak,ç} - \dot{E}x_{sicak,g}$) oranı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_{ID} = \frac{E\dot{x}_{soguk,ç} - E\dot{x}_{soguk,g}}{E\dot{x}_{sicak,g} - E\dot{x}_{sicak,ç}} = \frac{\dot{m}_{soguk}(\psi_{soguk,ç} - \psi_{soguk,g})}{\dot{m}_{sicak}(\psi_{sicak,g} - \psi_{sicak,ç})} \tag{11}$$

Van Gool's ekserjetik iyileştirme potansiyel akımı ($I\dot{P}$) aşağıdaki şekilde bulunabilir [15].

$$I\dot{P} = (1 - \varepsilon)(E\dot{x}_g - E\dot{x}_ç) \tag{12}$$

Rölatif tersinmezlik (RT) ise:

$$RT = \frac{E\dot{x}_{tahrib,i}}{E\dot{x}_{tahrib,toplam}} \tag{13}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu eşitlikte "i" i'inci bileşeni ifade etmektedir.

Ekserji analizleri için sistem üç farklı kısma ayrılmıştır. Bu kısımlar: (i) iklimlendirme sistemi (hava kısmı), (ii) soğutucu akışkan kısmı ve (iii) iklimlendirilen mahal. Bu çalışmada, soğutucu akışkan kısmı değerlendirilmemiştir.

Kütle, enerji ve ekserji tahribinin belirlendiği ekserji denge denklemleri Şekil 1'de görülen sistemin her ekipmanına uygulanmış ve aşağıda verilmiştir. Eşitliklerde alt indis olarak verilen numaralar, Şekil 1'deki numaraları ifade etmektedir.

Nem Alıcı Rotor (I):

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{\text{taze hava (t)}} \; ; \; \dot{m}_{14} = \dot{m}_{15} = \dot{m}_{\text{rejenerasyon havası (r)}} \tag{14a}$$

$$\dot{Q}_{\text{nem alici rotor (na)}} = \dot{m}_t(h_2 - h_1) \quad \dot{Q}_{na} = \dot{m}_r(h_{14} - h_{15}) \tag{14b}$$

$$E\dot{x}_{tahrib,na} = \dot{m}_t(\psi_1 - \psi_2) + \dot{m}_r(\psi_{14} - \psi_{15}) + \dot{W}_{na} \tag{14c}$$

Isı Değiştiricisi 1 (II):

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_t \; ; \; \dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} = \dot{m}_r \tag{15a}$$

$$\dot{Q}_{\text{Isı Degistiricisi (ID)1}} = \dot{m}_t(h_2 - h_3); \; \dot{Q}_{ID1} = \dot{m}_r(h_{12} - h_{11}) \tag{15b}$$

$$E\dot{x}_{tahrib,ID1} = \dot{m}_t(\psi_2 - \psi_3) + \dot{m}_r(\psi_{11} - \psi_{12}) \tag{15c}$$

Isı Değiştiricisi 2 (III):

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_t \; ; \; \dot{m}_9 - \dot{m}_{10} = \dot{m}_{atık\ hava\ (a)} \tag{16a}$$

$$\dot{Q}_{ID2} = \dot{m}_t (h_3 - h_4) \; ; \; \dot{Q}_{ID2} = \dot{m}_a (h_{10} - h_9) \tag{16b}$$

$$\dot{E}x_{tahrib,\,ID2} = \dot{m}_t (\psi_3 - \psi_4) + \dot{m}_a (\psi_9 - \psi_{10}) \tag{16c}$$

Isı Değiştiricisi 3 (IV):

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_t \; ; \; \dot{m}_{18} = \dot{m}_{19} = \dot{m}_{su} \tag{17a}$$

$$\dot{Q}_{ID3} = \dot{m}_t (h_4 - h_5) \; ; \; \dot{Q}_{ID3} = \dot{m}_{su} c_{p,su} (T_{20} - T_{19}) \tag{17b}$$

$$\dot{E}x_{tahrib,\,ID3} = \dot{m}_t (\psi_4 - \psi_5) + \dot{m}_{su} (\psi_{19} - \psi_{20}) \tag{17c}$$

Taze Hava Fanı (V):

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_t \tag{18a}$$

$$\dot{W}_{fan,t} = \dot{m}_t (h_5 - h_6) \tag{18b}$$

$$\dot{E}x_{tahrib,fan,t} = \dot{m}_t (\psi_5 - \psi_6) + \dot{W}_{fan,t} \tag{18c}$$

Atık Hava Fanı (VI):

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_a \tag{19a}$$

$$\dot{W}_{fan,a} = \dot{m}_a (h_8 - h_7) \tag{19b}$$

$$\dot{E}x_{tahrib,fan,a} = \dot{m}_a (\psi_7 - \psi_8) + \dot{W}_{fan,a} \tag{19c}$$

Nemlendirici (VII):

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 = \dot{m}_a \tag{20a}$$

$$\dot{m}_a h_8 + \dot{m}_{su,\,nemlendirici\ (nem.)} h_{su,nem} = \dot{m}_a h_9 \tag{20b}$$

$$\dot{E}x_{tahrib,\,nem.} = \dot{m}_a (\psi_8 - \psi_9) + \dot{m}_{su,\,nem.} (\psi_{su,\,nem}) \tag{20c}$$

Isı Değiştiricisi 4 (VIII):

$$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{13} = \dot{m}_{15} = \dot{m}_{16} = \dot{m}_r \tag{21a}$$

$$\dot{Q}_{ID4} = \dot{m}_r (h_{13} - h_{12}) \quad \dot{Q}_{ID4} = \dot{m}_r (h_{15} - h_{16}) \tag{21b}$$

$$\dot{E}x_{tahrib,\,ID4} = \dot{m}_r (\psi_{12} - \psi_{13}) + \dot{m}_r (\psi_{15} - \psi_{16}) + \dot{W}_{ID4} \tag{21c}$$

Elektrikli Isıtıcı Ünitesi (IX):

$$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14} = \dot{m}_r \tag{22a}$$

$$\dot{W}_{\text{Elektrikli İsitici (EI)}} = \dot{m}_r (h_{14} - h_{13}) \tag{22b}$$

$$E\dot{x}_{\text{tahrib. EI}} = \dot{m}_r (\psi_{13} - \psi_{14}) + \dot{W}_{EI} \tag{22c}$$

Rejenerasyon Hava Fanı (X):

$$\dot{m}_{16} = \dot{m}_{17} = \dot{m}_r \tag{23a}$$

$$\dot{W}_{\text{fan,r}} = \dot{m}_r (h_{17} - h_{16}) \tag{23b}$$

$$E\dot{x}_{\text{tahrib.fan,r}} = \dot{m}_r (\psi_{16} - \psi_{17}) + \dot{W}_{\text{fan,r}} \tag{23c}$$

Su pompası (XI):

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{19} = \dot{m}_{su} \tag{24a}$$

$$\dot{W}_{\text{pompa}} = \dot{m}_{su} (h_{19} - h_{18}) \tag{24b}$$

$$E\dot{x}_{\text{tahrib. pompa}} = \dot{m}_{su} (\psi_{18} - \psi_{19}) + \dot{W}_{\text{pompa}} \tag{24c}$$

Tüm sistemin ve her bir ekipman için ekserji verimleri aşağıda verilmiştir:

Tüm Sistem (I-XVII):

$$\varepsilon_{\text{sistem}} = \frac{\Sigma \dot{E}x_{ç}}{\Sigma \dot{E}x_{g}} \tag{25}$$

Nem Alıcı Rotor (I):

$$\varepsilon_{na} = \frac{E\dot{x}_2 + E\dot{x}_{15}}{E\dot{x}_1 + E\dot{x}_{14} + \dot{W}_{na}} \tag{26}$$

Isı Değiştiricisi 1 (II):

$$\varepsilon_{ID1} = \frac{E\dot{x}_3 + E\dot{x}_{12}}{E\dot{x}_2 + E\dot{x}_{11}} \tag{27}$$

Isı Değiştiricisi 2 (III):

$$\varepsilon_{ID2} = \frac{E\dot{x}_4 + E\dot{x}_{10}}{E\dot{x}_3 + E\dot{x}_9} \tag{28}$$

Isı Değiştiricisi 3 (IV):

$$\varepsilon_{ID3} - \frac{E\dot{x}_5 + E\dot{x}_{20}}{E\dot{x}_4 + E\dot{x}_{19}} \tag{29}$$

Taze Hava Fanı (V):

$$\varepsilon_{fan,t} = \frac{E\dot{x}_6 - E\dot{x}_5}{\dot{W}_{fan,t}} \tag{30}$$

Atık Hava Fanı (VI):

$$\varepsilon_{fan,a} = \frac{E\dot{x}_8 - E\dot{x}_7}{\dot{W}_{fan,a}} \tag{31}$$

Nemlendirici (VII):

$$\varepsilon_{nem} = \frac{E\dot{x}_9}{E\dot{x}_8 + E\dot{x}_{su,nem}} \tag{32}$$

Isı Değiştiricisi 4 (VIII):

$$\varepsilon_{ID4} = \frac{E\dot{x}_{13} + E\dot{x}_{16}}{E\dot{x}_{15} + E\dot{x}_{12} + \dot{W}_{ID4}} \tag{33}$$

Elektrikli Isıtıcı Ünitesi (IX):

$$\varepsilon_{El} = \frac{E\dot{x}_{14} - E\dot{x}_{13}}{\dot{W}_{eh}} \tag{34}$$

Rejenerasyon Hava Fanı (X):

$$\varepsilon_{fan,r} = \frac{E\dot{x}_{17} - E\dot{x}_{16}}{\dot{W}_{fan,r}} \tag{35}$$

Su Pompası (XI):

$$\varepsilon_{pompa} = \frac{E\dot{x}_{19} - E\dot{x}_{18}}{\dot{W}_{pompa}} \tag{36}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölüm 3'te ayrıntılı bir şekilde açıklanan ekserji analizleri, 120°C rejenerasyon sıcaklığında yapılan örnek bir deneye uygulanmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. 15 Ağustos 2008 tarihinde 08:00 ile 19:00 saatleri arasında (yaklaşık 40000 saniye) gerçekleştirilen bu deneyde, oda sıcaklığı ve rölatif nemi, ASHRAE tarafından verilen konfor bölgesi sınırlarına uygun olarak, sırasıyla 26°C ve %50'ye ayarlanmıştır. Sistemde bulunan her üç hava kanalındaki debiler, eşit ve 4000 m^3/saat olacak şekilde ayarlanmıştır. Ekserji analizlerinden elde edilen sonuçlar, sistemdeki tersinmezlikler ve potansiyel iyileştirme olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, ölü hal sıcaklığı 15°C, basınç ise 101.325 kPa olarak alınmıştır. Hava için kullanılan ölü hal mutlak nemi ise günlük ortalama dış hava mutlak nemi olarak alınmıştır.

120°C rejenerasyon sıcaklığında yapılan deneyin 23400. saniyesinde, hava ve su için ölçülen ve hesaplanan sıcaklık, mutlak nem, kütle debisi, entalpi, ekserji akımı, ekserji verimi v.b. değerleri, Şekil 1'deki numaralara uygun olarak tablolar halinde verilmiştir (Tablo 1-2). Tablo 1'de verilen sonuçlar, elektrikli ısıtıcı ünitesine en fazla iş verilmesi nedeniyle, ekserji akımının diğer sistemi oluşturan elemanlara kıyasla tersinmezlikler sebebi ile daha fazla olduğu yönündedir. Tablo 2'de ise, sistem ve sistemdeki tüm ekipmanlar için, ekserjetik ürün-yakıt akımları (giren-çıkan ekserji), ekserji tahribi, ekserji verimi, iyileştirme potansiyeli ve rölatif tersinmezlik gibi parametreler verilmiştir. Tablodan, sistemin ekserji veriminin çıkan/giren esasına göre % 38.67 olduğu görülmektedir. Sistemi oluşturan ekipmanlar arasında en yüksek ekserji veriminin (%97.99) 4 numaralı ısı değiştiricisinde olduğu yine bu tablodan görülmektedir. Tablo 2'den ayrıca, sistemde en yüksek ekserji tahribi ve iyileştirme potansiyeli akımı ile rölatif tersinmezliğin elektrikli ısıtıcı ünitesinde olduğu görülmektedir. Tüm ısı değiştiricileri arasında en yüksek rölatif tersinmezlik ise 1 numaralı ısı değiştiricisinde (%60.89) meydana gelmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, son yıllarda kullanımı yaygınlaşmaya başlayan ve konvansiyonel iklimlendirme sistemlerine göre bazı avantajlara sahip olan desisif bir iklimlendirme sistemi ele alınmıştır. Tüm sistemin ve sistemde bulunan önemli bileşenlerin performansı ekserji analizi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Tasarlanıp kurulan nem almalı iklimlendirme sisteminin ekserji analizleri gerçekleştirilen örnek bir deney için yapılmıştır. Yapılan analizlerden, sistemde ekserji tahribi akımı ve rölatif tersinmezliği en yüksek ekipmanın elektrikli ısıtıcı ünitesi olduğu ayrıca sistemde kullanılan ısı değiştiricilerinin ekserji verimlerinin %71–98 arasında değiştiği, tüm sistemin ekserji veriminin ise yaklaşık %40 olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Elde edilen ekserji analizi sonuçları

No	Açıklama	Akışkan	Faz	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Mutlak nem W (kg su / kg hava)	Özgül Entalpi h (kJ/kg)	Özgül Entropi s (kJ/kgK)	Kütlesel debi $\dot{m}$ (kg/s)	Özgül ekserji ψ (kJ/kg)	Ekserji akımı $\dot{E}x$ (kW)
0	-	Nemli hava	Ölü hal	15	101.325	0.0166	-	-	-	-	-
0'	-	Su	Ölü hal	15	101.325	-	63	0.224	-	-	-
1	Nem alıcı giriş (Dış hava)	Nemli hava	Gaz	33.71	101.325	0.0164	-	-	1.23	0.57	0.701
2	Nem alıcı çıkış / Isı değiş. 1 giriş	Nemli hava	Gaz	55.58	101.325	0.0105	-	-	1.23	2.847	3.502
3	Isı değiş. 1 çıkış / Isı değiş. 2 giriş	Nemli hava	Gaz	40	101.325	0.0105	-	-	1.23	1.219	1.499
4	Isı değiş. 2 çıkış / Isı değiş. 3 giriş	Nemli hava	Gaz	26.97	101.325	0.0105	-	-	1.23	0.416	0.511
5	Isı değiş. 3 çıkış / Taze hava fanı giriş	Nemli hava	Gaz	21.06	101.325	0.0105	-	-	1.23	0.232	0.286
6	Taze hava fanı çıkış / Mahal giriş	Nemli hava	Gaz	23.12	101.325	0.0105	-	-	1.23	0.283	0.348
7	Mahal çıkış / Atık hava fanı giriş	Nemli hava	Gaz	26.13	101.325	0.0108	-	-	1.23	0.365	0.449
8	Atık hava fanı çıkış / Nemlendirici giriş	Nemli hava	Gaz	27.07	101.325	0.0108	-	-	1.23	0.403	0.495
9	Nemlendirici çıkış / Isı değiş. 2 giriş	Nemli hava	Gaz	20.38	101.325	0.014	-	-	1.23	0.079	0.097
10	Isı değiş. 2 çıkış	Nemli hava	Gaz	31.76	101.325	0.014	-	-	1.23	0.512	0.63
11	Isı değiş. 1 giriş (Dış hava)	Nemli hava	Gaz	33.17	101.325	0.0164	-	-	1.23	0.57	0.701
12	Isı değiş. 1 çıkış / Isı değiş. 4 giriş	Nemli hava	Gaz	44.4	101.325	0.0164	-	-	1.23	1.455	1.79
13	Isı değiş. 4 çıkış / Elk. ısıtıcı giriş	Nemli hava	Gaz	52	101.325	0.0164	-	-	1.23	2.268	2.79
14	Elk. Isıtıcı çıkış / Nem alıcı giriş	Nemli hava	Gaz	87.71	101.325	0.0164	-	-	1.23	8.155	10.031
15	Nem alıcı çıkış / Isı değiş. 4 giriş	Nemli hava	Gaz	52.15	101.325	0.0218	-	-	1.23	2.404	2.957
16	Isı değiş. 4 çıkış / Rej. Hava fanı giriş	Nemli hava	Gaz	45.65	101.325	0.0218	-	-	1.23	1.688	2.077
17	Rej. hava fanı çıkış	Nemli hava	Gaz	47.35	101.325	0.0218	-	-	1.23	1.864	2.292
18	Pompa giriş	Su	Sıvı	16.79	101.325	-	70.1	0.249	0.861	0.104	0.009
19	Pompa çıkış / Isı değiş. 3 giriş	Su	Sıvı	16.89	101.325	-	70.9	0.252	0.861	0.168	0.144
20	Isı değiş. 3 çıkış / Su deposu giriş	Su	Sıvı	19.42	101.325	-	81.5	0.288	0.861	0.058	0.05

Tablo 2. Sistem ve tüm ekipmanlara ait sonuçlar

Cihaz		Ekserjetik ürün akımı (çıkan ekserji) (kW)	Ekserjetik yakıt akımı (giren ekserji) (kW)	Ekserji tahribi akımı (kW)	Ekserji verimi (%)	İyileştirme potansiyeli akımı (kW)	Rölatif tersinmezlik (%) RT	
No	Tanım	$\dot{P}$	$\dot{F}$	$E\dot{x}_{tahribi}$	ε	$\dot{IP}$	Tüm ısı değiştiricileri	Tüm sistem
I	Nem alıcı rotor	6.459	10.912	4.453	59.19	1.817	-	11.73
II	Isı değiştiricisi 1	3.289	4.203	0.914	78.25	0.199	60.89	2.41
III	Isı değiştiricisi 2	1.141	1.596	0.455	71.49	0.13	30.32	1.2
IV	Isı değiştiricisi 3	0.336	0.366	0.03	91.84	0.002	2.08	0.08
V	Taze hava fanı	0.062	2.986	2.924	2.076	2.864	-	7.7
VI	Atık hava fanı	0.046	2.156	2.069	2.17	2.025	-	5.45
VII	Nemlendirici	0.097	0.604	0.507	16.07	0.425	-	1.34
VIII	Isı değiştiricisi 4	4.867	4.967	0.1	97.99	0.002	6.71	0.27
IX	Elek. ısıtıcı ünitesi	7.241	30.037	22.796	24.11	17.3	-	60.02
X	Rej. hava fanı	0.215	3.083	2.867	6.97	2.668	-	7.55
XI	Pompa	0.096	0.8	0.704	12.04	0.619	-	2.25
II-IV,VIII	Tüm ısı değiştiricileri	9.63	11.13	1.501	86.54	0.202	100	-
I-XVII	Tüm sistem	23.85	61.67	37.97	38.67	23.194	-	100

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından "106M094" nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Mazzei,P., Minichiello,F., Palma,D., "HVAC dehumidification systems for thermal comfort: a critical review", Applied Thermal Engineering, 25: 677-707, 2004.

2. Dai,Y.J., Wang,R.Z., Zhang,H.F., Yu,J.D., " Use of liquid desiccant cooling to improve the performance of vapor compression air conditioning", Applied Thermal Engineering, 21:1185-1202, 2002.

3. Subramanyam,N., Maiya,M.P., Murthy,S.S., "Application of desiccant wheel to control humidity in air-conditioning systems", Applied Thermal Engineering, 24: 2777-2788, 2004.

4. La,D., Dai,Y.J., Li,Y., Wang,R.Z., Ge,T.S., "Technical development of rotary desiccant dehumidification and air conditioning: a review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:130-147, 2010.

5. Savçın,E., "Gebze tesisleri enerji tasarrufu", EİE Enerji Verimliliği Haftası, 2005.

6. Dinçer,I., "The role of exergy in energy policy making", Energy Police, 30: 137-149, 2002.

7. Chengpin,R., Nianping,L., Guangfa,T., "Principle of exergy analysis in HVAC and evaluation of evaporative cooling schemes", Building and Environment, 37: 1045-1055, 2002.

8. Zhang,G.O., Wang,L., Liu,L., Wang,Z., "Thermoeconomic optimization of small size central air conditioner", Applied Thermal Engineering, 24: 471-485, 2004.

9. Taufiq,B.N., Masjuki,H.H., Mahlia,T.M.I., Amalina,M.A., Faizul,M.S., Saidur,R., "Exergy analysis of evaporative cooling for reducing energy use in a Malaysian building", Desalination, 209: 238-243, 2007.

10. Kanoğlu,M., Çarpınlıoğlu,M.Ö., Yıldırım,M., "Energy and exergy analyses of an experimental open-cycle desiccant cooling system", Applied Thermal Engineering, 24: 919-932, 2004.

11. Nior,L., Al-Shargawi,H.S., "Exergy analysis of flow dehumidification by solid desiccants", Energy, 30: 915-931, 2005.

12. Hepbaşlı,A., "Thermodynamic analysis of a ground-source heat pump system for district heating", International Journal of Energy Research, 7: 671-687, 2005.

13. Balta,M.T., Hepbaşlı,A., "Klima santrallerinin performansının değerlendirilmesinde ekserji analizi yöntemi: Modelleme ve uygulama", IV. Ege Enerji Sempozyumu, 2008.

14. Kotas,T.J., "The exergy method of thermal plant analysis", Krieger Publishing Company, Florida, 1995.

15. Gool,W.V., "Energy policy: fairly check exact spelling of last word, tales and factualities", Dordrecht, 93-105, 1997.