

Nem-Alıcı ve Buharlaştırma-Soğutmalı Hava Şartlandırma Sistemlerinin Çay Fabrikalarında Kullanılabilirliğinin Termodinamik Analizi

Betül SARAÇ*¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, 61530, Trabzon

(Alınış / Received: 13.03.2017, Kabul / Accepted: 31.05.2017,
Online Yayınlanma / Published Online: 20.09.2017)

Anahtar Kelimeler

Nem alma,
Buharlaştırma
soğutma,
Hava
iklimlendirme,
Atık ısı,

Özet: Nem-alıcılı ve buharlaştırma-soğutmalı (NABS) hava şartlandırma sistemleri ülkelerin coğrafik ve iklim şartlarına bağlı olarak değişik şekillerde yaygınca kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemlerde nem alma işlemleri katı veya sıvı higroskopik malzemelerin üzerine işlem havasının üflenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Soğutma işlemi ise işletme havasının doğrudan ve dolaylı buharlaştırma soğutulmasıyla sağlanmaktadır. Bu çalışmada Doğu Karadeniz’de (Rize) mevcut çay endüstrilerindeki atık ısıların veya değişik şekillerdeki enerjinin bu tip soğutma sistemlerinde kullanılmasıyla yaz aylarında ortam ve yaşam mahallerinin iklimlendirmesinde kullanılmasının, termodinamik kullanılabilirliğinin alt ve üst limitleri belirlenmiştir. Çay fabrikalarından atılan atık havanın doğrudan rejenerasyon havası olarak kullanılması dış havanın neminin konfor şartlarına getirilmesinde büyük katkı sağladığı görülmüştür.

Thermodynamic Analysis the Usage of Air Conditioning Systems with Dehumidifier and Evaporative-Cooling Capabilities in Tea Plants

Keywords

Dehumidification,
Evaporative
Cooling,
Air conditioning,
Waste heat,

Abstract: Dehumidifier-Evaporative-Cooling systems (DEAS) are widely used in different engineering solutions depending on the geographical and climatic conditions of the regions. In these systems, dehumidification is achieved by blowing system air onto solid or liquid hygroscopic materials. Cooling is achieved by direct or indirect evaporative process of the running system. In this study, lower and upper limits of the thermodynamic usage of waste heat energy of the existing tea industries are investigated in terms of usability in inner spaces climatology of the tea producing factories in the Eastern Black Sea region (Rize). The use of waste air from tea factories as directly regeneration air, major contribution is seen when the outside air moisture is brought to the comfort conditions.

*Sorumlu yazar: bsarac@ktu.edu.tr

1. Giriş

Suyun doğrudan ortam havasında buharlaşmasıyla, ortam havasının soğutulması eskiden beri kullanılan bir iklimlendirme yöntemidir. Bu yöntemin teknolojik uygulamalarında insan sağlığına zarar veren *Lejyoner* hastalığı ortaya çıkmaktadır. Buna engel olmak için dolaylı buharlaştırıcılar geliştirilmiştir. Böylece basit görülen doğrudan buharlaşmalı soğutma uygulanmasının maliyetlerinde göreceli artışlar olmaktadır. Dolaylı buharlaşmalı soğutucuların performansı, doğrudan buharlaşmalı soğutuculara göre düşük olmasına rağmen sağlık açısından uygulamada tercih edilmektedir [2].

Bu yöntemle elde edilebilecek ortam havası konfor şartları, ortama gönderilen havanın yaş termometre sıcaklığı ile sınırlı kalmaktadır. Doğal olarak dış hava bağıl neminin düşük olduğu iklim koşullarında bu yöntemin uygulanması çok etkilidir [1]. Dış hava bağıl neminin yüksek olduğu coğrafik bölgelerde dolaylı buharlaşmalı soğutma sistemleri bir ön nem alıcı ünite ile birlikte kullanılmaktadır. Bir nem alıcıda bağıl nemi azaltılan dış hava, dolaylı yolla buharlaştırıcıdan geçirilerek hem bağıl nemi hem de sıcaklığı istenen konfor şartlarına getirilir. Görüldüğü üzere bu süreçlerde nem ve sıcaklık kontrolleri ayrı ayrı yapılabilmektedir. Nem-alcılı-buharlaştırma-soğutmalı (NABS) iklimlendirme işlemi, yaşam mahaline gelen dış havanın bağıl neminin nem alıcılarla düşürülmesinin ardından havaya püskürtülen suyun buharlaşmasıyla soğutulması işlemidir. Nem alıcı-buharlaştırıcı soğutma literatürde Desesif-Evaporatif-Cooling veya Desiccant Based Evaporative Cooling olarak adlandırılmaktadır [2,3,4,5,6].

Türkiye'nin ılıman ve en nemli bölgesi olan Doğu Karadeniz bölgesinin sahil

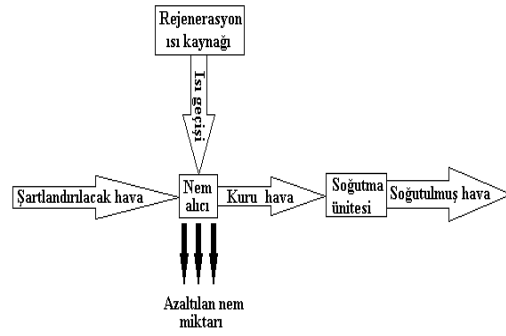
şeridindeki çay üretim endüstrisinde oluşan atık enerjinin, bina yaz iklimlendirmesinde kullanılabilirliğinin Termodinamik açıdan değerlendirilmesi bu çalışmanın amacını teşkil etmektedir. Bu çalışmada atmosferik hava şartları için Rize'nin iklim şartları ve coğrafi konumu göz önüne alınmıştır.

1.2. Kimyasal maddeler kullanarak nemli havanın neminin azaltılması

Havadan kimyasal yöntemle nem alma işleminde higroskopik maddeler kullanılır. Bu maddeler fiziksel yapı bakımından katı veya sıvı fazda bulunurlar. Kimyasal yolla havadan nem alma işlemi katı malzemelerle yapılırsa bu işlem adsorpsiyon, sıvı maddelerle yapılırsa bu işlem absorpsiyon olarak adlandırılır [2]. Her iki metot da su buharının maddeye geçişi, su buharının kısmi basıncı ile kimyasal maddenin kısmi basıncı arasındaki farka bağlıdır. Nem alma işleminde havadaki su buharının kısmi basıncı kimyasal maddenin kısmi basıncından büyük olursa havadaki nem kimyasal madde tarafından yutulur. Bu nedenle havadan nem almada kullanılan kimyasal maddelere yutucu denmektedir. Böylelikle havanın nemi azalır ve kimyasal madde doyma noktasına erişince nem alma işlemi sona erer. Doyma noktasına erişen kimyasal madde ısıtılıp tekrar eski şartlarına getirilerek, gelecek çevrim için kullanıma hazır hale getirilir. Bu işlem rejenerasyon olarak adlandırılır. Isıtma işlemi için gerekli olan ısı, endüstriyel işlemlerdeki atık ısının geri kullanımı veya yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla elde edilebilir. Enerji verimliliği göz önüne alındığında, işlemin atık ısı veya yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kullanılabilmesi nem-alcılı-buharlaşmalı sistemin tercih edilme nedeni olarak görülmektedir.

Silika-jel, aktifleştirilmiş alüminyum ve aktifleştirilmiş boksit gibi maddeler,

katı nem alıcı maddeler olarak bilinirler. Bunların su buharına karşı afinitleri çok yüksektir. Bunlar sıvı nem alıcılara göre daha düşük rejenerasyon sıcaklıklarında kullanılırlar. Bunun yanında kullanım hacmi açısından büyük hacim işgal etmeleri ve gözenekli yapılarının zaman zaman tıkanması kullanım zorluğu olarak ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda sıvı nem alıcılarının kullanılması yaygınlaşmıştır. Sıvı nem alıcılarının zehir etkilerinin olmaması ve çevreye uyumlu özelliklere sahip olması gerekliliği öne çıkmaktadır. Tarihsel kullanım açısından sıvı nem tutucuları incelendiğinde bilinen nem alıcılarının suda çözünen tuzlar olduğu görülmektedir. $CaCl_2$ ve $LiCl$ bilinen bu tuzlardan başlıca iki tanesidir. İki tuz ekonomik olarak karşılaştırıldığında $CaCl_2$ daha ucuzdur. Bunun yanında $LiCl$ nem alma işleminde daha etkin olduğundan, iki tuzun karıştırılmasından elde edilen karışımlar tercih edilmektedir [1,2]. Nem-alıcılı-buharlaştırmalı soğutma sistemlerinin genel çalışma prensibi Şekil 1' de verilmiştir. Şartlandırılacak hava (genellikle atmosfer havası) nem alma ünitesinden geçirildikten sonra bir soğutucudan geçirilerek, havanın istenen bağıl nem seviyesine ve kuru termometre sıcaklığına düşürülmesi sağlanır. Bu işlemde önemli olan nem alıcıdaki higroskopik maddenin nem konsantrasyonunu düşürmektir. Bu işlem için (Rejenerasyon) bir ısıtma işlemi gerekmektedir. Bunun için ısı kaynağı olarak genellikle güneş enerjisi veya yüksek sıcaklıktaki atık ısı enerjisi kullanılmaktadır. Rejenerasyonda üretilen nem tekrar atmosfere gönderilmektedir [1,2].



Şekil 1. Nem-alıcılı ve buharlaştırmalı soğutma sisteminin genel çalışma prensibi.

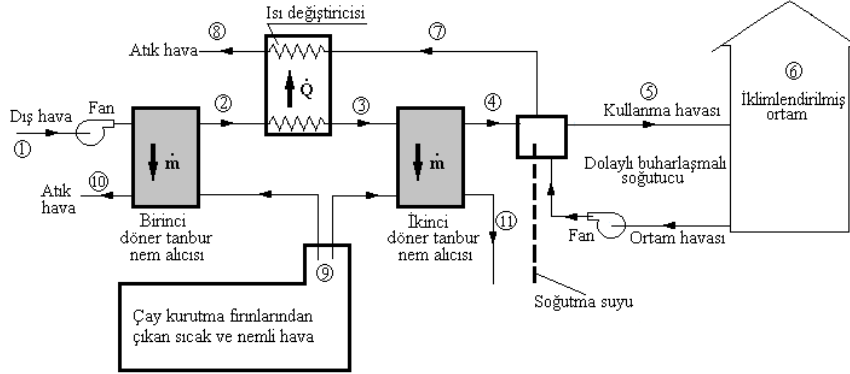
2. Materyal ve Metot

Çay fabrikasına, geleneksel NABS hava şartlandırma sisteminin uygulanmasının Termodinamik modellenmesi için fabrikanın baca gazı emisyon ölçüm sonuçları alınmıştır. Çay fabrikasında kayıp ısıların büyük bir kısmı baca gazlarından ve çay kurutma fırınlarından atmosfere atılan egzoz havasında görülmektedir. Özellikle %11 bağıl nemde ve 70°C kuru termometre sıcaklığında atmosfere doğrudan atılan egzoz hava miktarı ve enerji miktarı çok büyük olup, yaklaşık 10.58 kg/s debide 425 kW olarak hesaplanmıştır. Bu atık ısının, fabrika, çay depolama mekanları ve ofis binalarının havasının soğutulmasında kullanılması amacıyla bir geleneksel NABS hava şartlandırıcısı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu NABS hava şartlandırıcısının, çay kurutma fırınlarından atılan sıcak ve nemli havayla kullanılmasının termodinamik potansiyelinin araştırılması amacıyla ele alınan termodinamik modeli, üç ayrı işletim durumuna göre ayrı ayrı Şekil. 2 de gösterilmiştir. Termodinamik modelin üç ayrı çevrimi, Pennington çevriminin değiştirilmiş şeklidir [4]. Tasarlanan NABS hava şartlandırıcısı sisteminde bir döner nem alıcılı (döner rejeneratör) ve dolaylı buharlaştırmalı soğutma sistemi seçilmiş, çay kurutma fırınlarındaki sıcak atık enerjisi rejenerasyon için kullanılmıştır. Çevrimde kullanılan atık ısının enerji geri kazanım değeri Pennigton

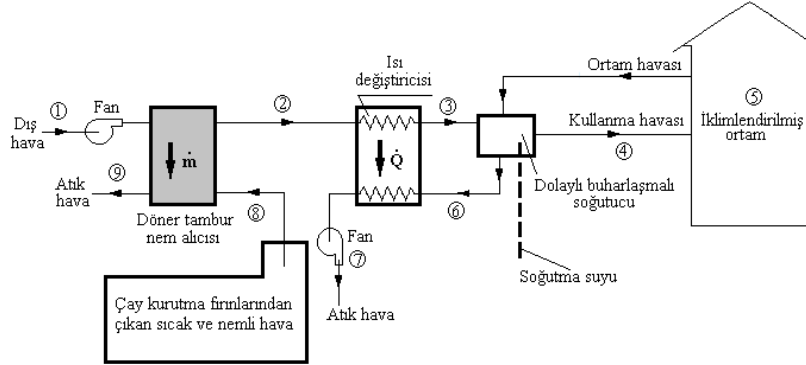
çevriminde kullanılan elektrik enerjisiyle karşılaştırılmıştır.

Termodinamik model ve uygulanan üç ayrı işletim durumunun parametreleri için, çevrimleri ve sistemin değiştirilmiş halleri Şekil 2., Şekil 3. Ve Şekil 4. de şematik olarak çizilmiştir. Şekil 5., Şekil

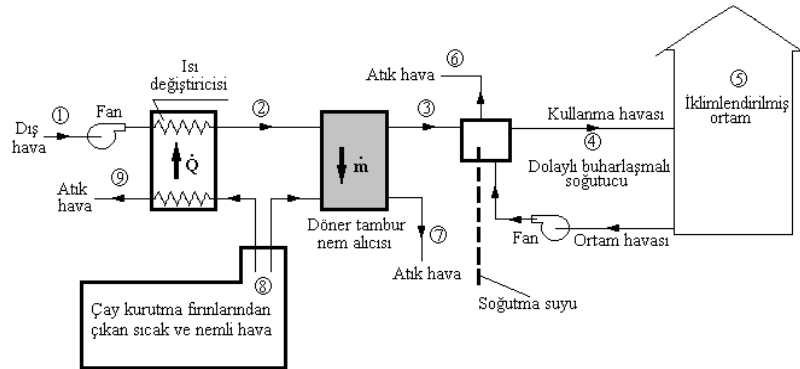
6. ve Şekil 7. de bu işlemlere ait Termodinamik süreçler psikometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir. Sistemde kullanılan doğrudan ve dolaylı buharlaşmalı soğutucuların şematik gösterimleri Şekil 8. de verilmektedir.



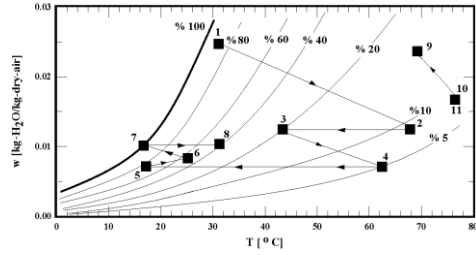
Şekil 2. Birinci işletim parametrelerine dayalı sistemin şematik resmi.



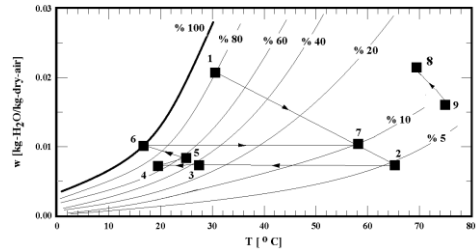
Şekil 3. İkinci işletim parametrelerine dayalı sistemin şematik resmi.



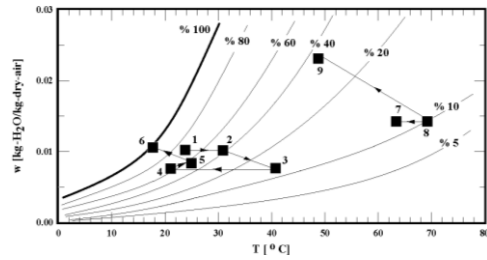
Şekil 4. Üçüncü işletim parametrelerine dayalı sistemin şematik resmi.



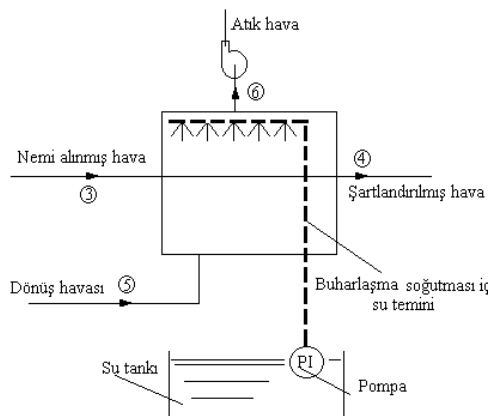
Şekil 5. Birinci işletim parametrelerine dayalı Termodinamik modelin süreçleri.



Şekil 6. İkinci işletim parametrelerine dayalı Termodinamik modelin süreçleri.



Şekil 7. Üçüncü işletim parametrelerine dayalı Termodinamik modelin süreçleri.



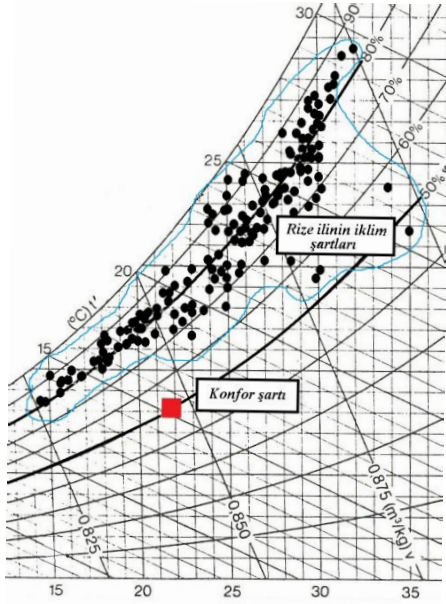
Şekil 8. Dolaylı buharlaşmalı soğutucu.

Termodinamik modelde, nem alıcı madde olarak Lityum klorür-selüloz kağıdı (LiCl-kağıdı) kullanılmıştır. LiCl nem alıcısının, rejenerasyon sıcaklığına (40°C-80°C) bağlı nem alma kapasitesi 2 ile 5 gram/kg değerleri arasındadır. Bunun yanında nem alma işleminde, döner tambur nem alıcısının devir sayısı da önemli olduğundan döner tamburun devir sayısı 10 devir/saat olarak alınmıştır.

Tasarlanan sistem, çay fabrikası ofis binasının soğutulması işleminde enerji tasarrufu açısından dönüş havası ve temiz hava karışımını kullanmaktadır. Sistemde iki hava kanalı bulunmaktadır. Birinci kanalda dış hava, döner tambur nem alıcısından geçirilerek nemi azaltıldıktan sonra ısı değiştiricisinden geçirilerek sıcaklığı düşürülür. Müteakiben dönüş havası ile karıştırılarak, doğrudan ve dolaylı buharlaşmalı soğutucularla soğutulduktan sonra iklimlendirilecek ortama gönderilir. İkinci kanal ise rejenerasyon hava kanalı olarak adlandırılmaktadır. Burada, dış hava ilk önce ısı değiştiricisinden geçirilerek ön ısıtmaya tabi tutulduktan sonra atık ısıyı kullanarak ısıtılır. Akabinde döner tambur nem alıcısından geçirilerek atmosfere atılır. Böylece döner tambur nem alıcısının nem alma özelliği artırılır. Çay fabrikalarının kurutma fırınlarında çevreye atılan sıcak ve nemli hava, tasarlanan rejenerasyon havasını ısıtmak için kullanılmaktadır.

Dış hava kanalına (1) noktadan alınan havanın nemi, döner tambur nem alıcısında azaltılmakta (2) ve sıcaklığı ısı değiştiricisinde düşürülmektedir. (3). Dış havanın neminin azaltılması ve sıcaklığının artırılması süreci Şekil 5' de psikrometrik diyagramda gösterilmiştir (1 → 2 → 3). Şartlandırılan dış hava döngü havası ile karıştırıldıktan sonra (4) dolaylı evaporatif soğutucudan geçirilerek sıcaklığı düşürülür (5), akabinde doğrudan evaporatif soğutucudan

geçirilerek sıcaklığı düşürülürken nemi de ortam konfor şartlarını sağlayacak şekilde arttırılır (6). Rejenerasyon hava kanalında, dış hava (1) ısı değiştiricisinden geçirilerek ön ısıtmaya tabi tutulur (9), akabinde sıcak atık ısı kaynağından bir ısı değiştiricisi vasıtasıyla ısıtılarak (10) döner tamburda nem alıcısından geçirilip atmosfere terk edilir (11). Sıcak atık ısı kaynağından oluşan sıcak hava (12) ısı değiştiricisinden geçen rejenerasyon havasını ısıtmak için kullanılmaktadır. Şekil 5 de endirekt ve direkt evaporatif soğutucularında dış hava soğutma işlemlerinin Termodinamik süreçleri(4 → 5 → 6) görülmektedir. Sistemde, dış havayı şartlandırmak ve çıkış havasını dışarıya atmak için iki tane fan kullanılmaktadır. Fanların her birinin gücü 3.5 kW ve hacimsel debileri 6000m³/h dir. Pompaların gücü 2kW alınmıştır.



Şekil 9.2015 yılına ait Rize ilinin çay sezonunda iklim şartları ve ortam havası konfor şartı

Çay sezonunun Mayıs ayında başlayıp Eylül ayı sonlarında kapandığı Karadeniz ikliminde, sezon boyunca

nem oranları ve sıcaklık değişimleri farklılık göstermekte olduğundan sistem konfigürasyonları iklim şartlarına (sıcaklık ve neme) göre belirlenmiştir. Şekil 9'da görülebileceği üzere Mayıs ve Nisan aylarında çevre sıcaklığı konfor sıcaklığından düşük iken çevre nemi konfor neminden yüksek olmakta ve konfor şartlarının sağlanması için, üçüncü işletim sisteminde çevre havasının neminin alınması ve ısıtılması gerekmektedir. Üçüncü işletim sisteminde hava iklimlendirmesi ısıtma ve nem alma süreçleri olarak tanımlanmaktadır. Birinci ve ikinci işletim sistemlerinde hava iklimlendirilmesi nem alma ve soğutma süreçleri olarak ele alındığından, bu işletim sistemleri aynı prensipte çalışmaktadır. Temmuz ve Ağustos aylarında çevre havası neminin ortalama nem değerinden yüksek olması sebebiyle birinci işletim sistemine ikinci bir dönmeli tanbur ilave edilmiştir.

Seçilen ofis binasının duyulur ve gizli ısı kazanımları 13.230kW ve 9.800kW olarak hesaplanmıştır. Ortam havası kuru termometre sıcaklığı 24 °C ve bağıl nemi %50 olarak seçilerek ortam havası konfor şartları belirlenmiştir. Ortam havasının yaz şartları için iklimlendirilmesinde kullanılacak sistemin termodinamik analizinin yapılmasında sistemin bir modeli oluşturularak sistem performansını etkileyen değişkenler belirlenmiştir. Ortam havasının duyulur ısı oranı,

$$DIO = \frac{\text{Duyulur ısı}}{\text{Duyulur ısı} + \text{Gizli ısı}} = \frac{Q_d}{Q_d + Q_g} = 0.6 \quad (1)$$

olarak ele alınmıştır. Duyulur ısı ve gizli ısı aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_d = \dot{m}_a C_p (T_5 - T_4) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_a h_{fg} (w_5 - w_4) \quad (3)$$

2.1. Ele alınan modelin birinci ve ikinci işletim şartlarındaki etkinliklerinin kıyaslanması:

Ele alınan model dış hava şartlarına göre, birinci ve ikinci işletim şartlarına göre çalıştırıldığında her iki işletim sistemi hem nem alma ve hem de soğutma yapmaktadır. Ancak üçüncü işletim iklim şartlarında çevre havası konfor sıcaklığından düşük buna karşılık çevre havası bağıl nemi konfor şartlarından çok yüksektir. Bu işletimde dış hava ön ısıtıcıdan geçirildikten sonra bir döner nem alıcıdan geçirilerek havanın nemi düşürüldükten sonra oluşan yüksek sıcaklığı azaltmak için dolaylı soğutucudan geçirilerek ortama üflenir.

Dış ve rejenerasyon hava debileri birbirlerine eşit alınmıştır ve değeri 5217 m³/saat olarak hesaplanmıştır. Sistemin soğutma etkinliğinin belirlenmesinde değişik etkinlik katsayıları tanımlanmıştır.

Ortam soğutmasına dayalı kullanma havasının performans katsayısı (COP_{th}) katsayısı,

$$COP_{th} = \frac{\dot{Q}_{soğutma}}{\dot{Q}_{DNA}} = \frac{\dot{m}_a(h_5 - h_4)}{\dot{m}_r C_p (T_8 - T_9)} \quad (4)$$

Taze havanın şartlandırma süreci performans katsayısı (COP_{ed}),

$$COP_{ed} = \frac{\dot{Q}_{dis}}{\dot{Q}_{DNA}} = \frac{\dot{m}_a(h_1 - h_4)}{\dot{m}_r C_p (T_8 - T_9)} \quad (5)$$

Taze havanın şartlandırma süreci ısı oranı (ξ) ise ortam havasının soğutma yükünün, dış havanın duyulur ısı miktarına oranı şeklinde ifade edilmektedir.

$$\xi = \frac{\dot{m}_a(h_5 - h_4)}{C_p m_a [(T_1 - T_2) - ((1+w_3)T_3 - (1+w_2)T_2)]} \quad (6)$$

Bu hesaplamalarda nem alıcı döner tambur etkinliği, ısı eşanjör etkinliği ve dolaylı buharlaştırıcı soğutucu etkinlikleri 1 alınmıştır. Nemli hava ideal gaz ve su buharı karışımı olarak ele alınmıştır. Konfor şartları,

parametre değerleri altındaki dış hava koşulları bu modelde kullanılmamıştır.

2.2. Ele alınan modelin birinci, ikinci ve üçüncü işletim şartlarındaki nem etkinlik katsayılarının kıyaslanması

Doğu Karadeniz iklim şartlarında ortamın ısı konforundan ziyade nem konforu öne çıktığından, bu üç işletim sistemin termodinamik performans analizi havadan çekilen nem miktarına bağlı olarak da incelenebilmektedir. Bu üç işletim sisteminin etkinlik kıyaslamasını yapabilmek için havadan nem giderme etkinlik katsayısı ε tanımlanmıştır [8,9]:

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_a h_{fg} (w_{dış\ hava} - w_{ortam\ havası})}{E_{giren}} \quad (7)$$

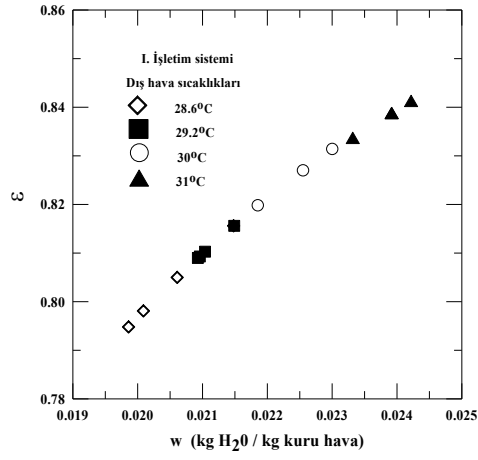
Tanımlanan eşitliklerin ve nemli hava özelliklerinin hesaplanması için bir Excel programı yazılarak sonuçlar türetilmiştir.

3. Bulgular

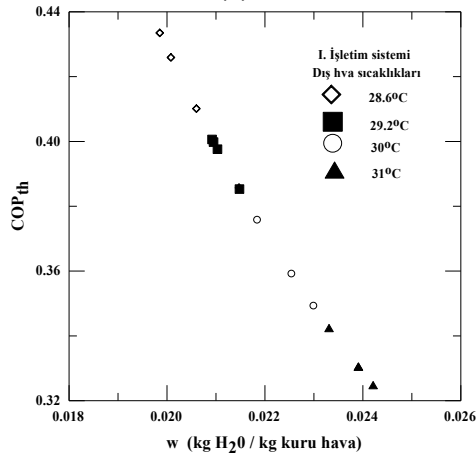
Taze havanın şartlandırma süreci ısı oranı, taze havanın artan özgül nem değerleriyle arttığı Şekil 10-a. dan görülmektedir. İkinci ve üçüncü işletim sistemlerinde de aynı termal davranışlar bulunmuştur Şekil 11. ve Şekil 12.

Şekil 10-b. de ortam soğutması için kullanma havasının sağladığı soğutma etkinlik katsayısı COP_{th} özgül nem arttıkça düşmektedir. Buna paralel olarak dış havanın şartlandırılmasında soğutma etkinlik katsayısının, özgül nem arttıkça azaldığı Şekil 10-c. de görülmektedir. Literatür [7] ve [8] de değişik iklim şartlarında benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. İkinci işletim şartlarında da aynı bulgular elde edilmiştir, Şekil 11-a-b-c.

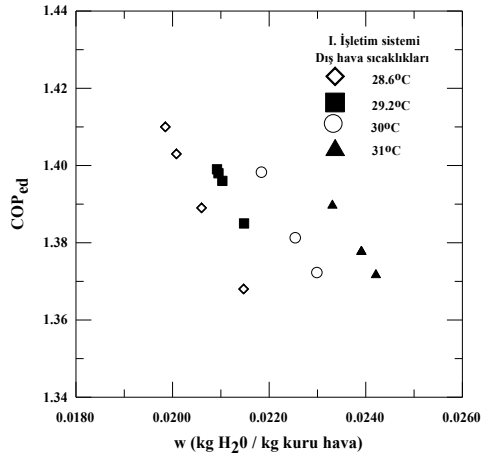
B. SARAÇ. / Nem-alcılı ve Buharlaştırma-Soğutmalı Hava Şartlandırma Sistemlerinin Çay Fabrikalarında Kullanılabilirliğinin Termodinamik Analizi



(a)

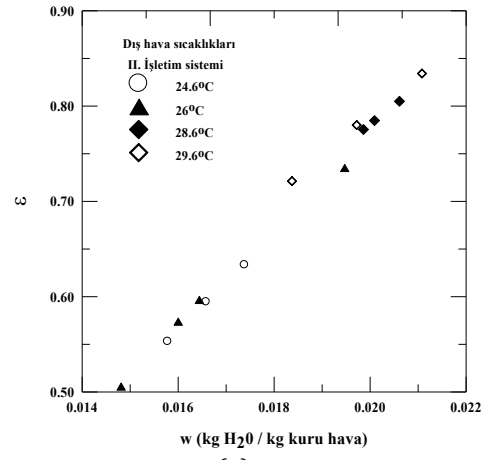


(b)

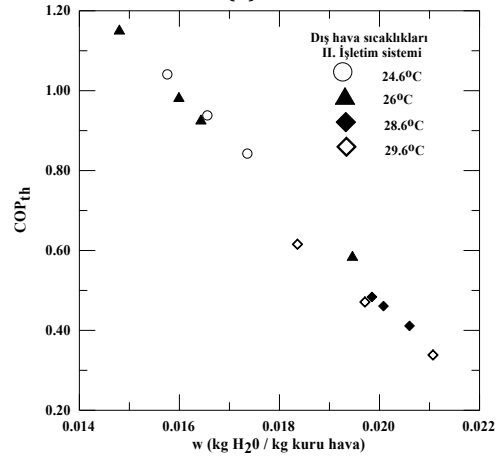


(c)

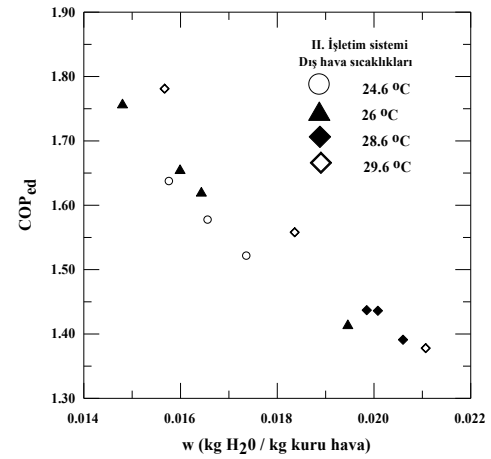
Şekil 10. Birinci işletim için özgül nem etkinlik değişim grafiği



(a)



(b)

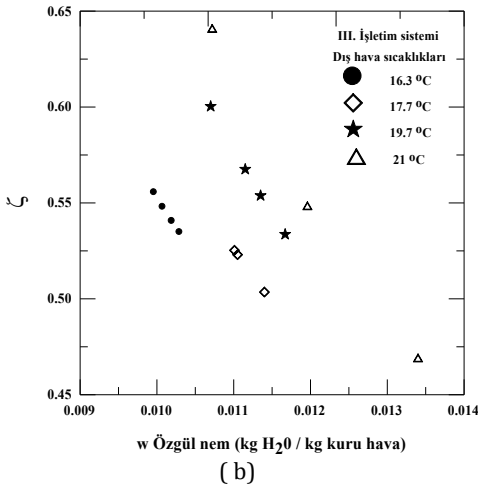
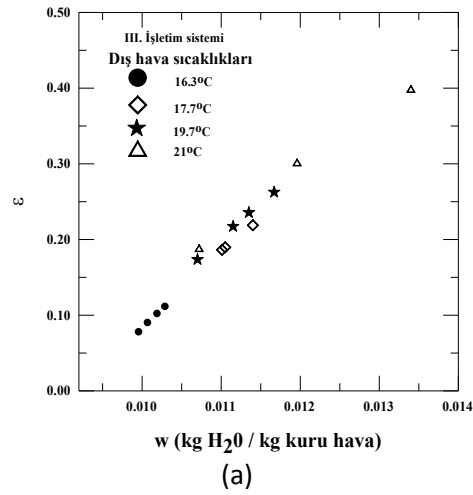


(c)

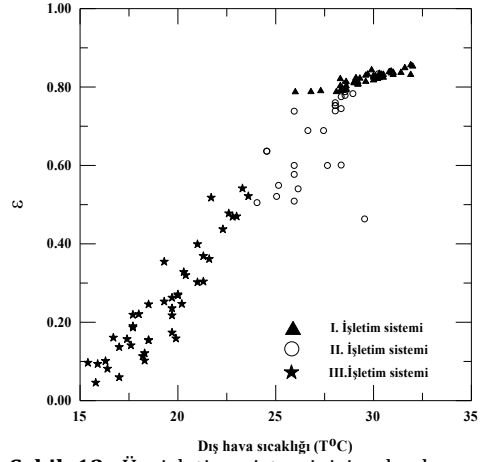
Şekil 11. İkinci işletim için özgül nem etkinlik değişim grafiği

Isıl oranın, havanın değişik sıcaklık değerlerinde, dış havanın özgül neminin artmasıyla azaldığı Şekil 12-b. de görülmektedir.

Her üç sistemin nem alma etkinlik katsayısının, bir sezonluk çay üretimindeki dış havanın özgül nem ve sıcaklık değerlerine göre sonuçları Şekil 13. de görülmüştür. Birinci işletim sistemi Nisan ve Mayıs aylarına, ikinci işletim sistemi Haziran Temmuz, üçüncü işletim sistemi ise Ağustos ve Eylül iklim koşullarına dayalı sonuçları sunmaktadır.



Şekil 12. Üçüncü işletim için özgül nem Etkinlik değişim grafiği



Şekil 13. Üç işletim sistemi için dış hava sıcaklığı ile Etkinlik değişim grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Çay sezonu boyunca Soğutma etkinlik katsayısı en çok 1.44 ile en az 0.35 arasında, dış hava şartları ile iklim şartlarına bağlı olarak değişmekte olduğu tespit edilmiştir.

Çay sezonu boyunca dış hava iklim şartlarına göre, nem alma etkinlik katsayısının en çok 0.87 ile en az 0.11 arasında değiştiği görülmektedir.

Döner tambur nem alıcısının taze hava giriş debisi ile rejenerasyon hava debisi miktarlarının model üzerinde etkileri, daha sonraki çalışmaya bırakılmış olup bu çalışmada taze hava miktarı ile rejenerasyon hava debisi eşit alınmıştır. Çay fabrikaları çay kurutma fırınlarından atılan atık havanın, doğrudan rejenerasyon havası olarak kullanılmasıyla dış havanın neminin konfor şartlarına getirilmesinde büyük katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca bu metot ile ortam soğutulmasının başarıyla sağlandığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada üç farklı işletim sisteminden hangisinin daha uygun ve ekonomik olduğuna dair karşılaştırmalar, çevre havasından çekilen nem miktarının büyüklüğüne dayalı olarak yapılmıştır. Üç farklı sistem kanfigürasyonunda da atık ısı döner tanbur nem alıcısındaki LiCl' nün kurutulması amacıyla kullanılmaktadır. Ele alınan işletim sistemleri Şekil 13'de

görülebileceği gibi etkinlik açısından değerlendirildiğinde, birinci işletim sisteminin %80-%90, ikinci işletim sisteminin %55-%80, üçüncü işletim sisteminin ise %10 ile %50 etkinlikte olduğu görülmüştür.

Çay fabrikalarında bulunan fırınlardan atmosfere atılan sıcak gazların enerji değerinin, yaklaşık olarak 12.302.795 Türk lirası değerinde olduğu hesaplanmıştır. Enerji verimliliği açısından bu enerjinin yaşam mahallerinde ve ürün depolarında kullanılması büyük önem arz etmektedir. Tasarlanan iklimlendirilmiş ortam, soğutma yükü çevre havasına göre değerlendirildiğinde, birinci işletim sistemi için sağlanan soğutma yükü maliyeti yaklaşık olarak 42.480 TL/sezon, ikinci işletim sisteminde ise yaklaşık olarak 10.512 TL/sezon olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin hesaplanmasında, buhar sıkıştırma soğutma sisteminin soğutma etkinlik katsayısı (COP=1) 1 olarak alınmıştır. Rize'nin yağışlı ikliminden dolayı soğutma suyu maliyetinin az olması sebebiyle, tanımlanan sistemde soğutma suyu maliyeti ihmal edilmiştir. Ele alınan modelde soğutulan mahalin soğutma yükü 24.6 kw olarak hesaplanmış olup, bu tip işletim sistemlerinin daha yüksek soğutma yükleri için de kullanışlı olacağı görülmektedir.

Tanımlanan sistemlerin, atık enerjiyi doğrudan değerlendirmesi ve çevre dostu işletme şartlarını sağlamasından dolayı fabrikalarda bu tür sistemlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Kaynakça

- [1] Yılmaz,T., Bulut, H., Özgören,M. ve Büyükalaca, O., 1998. An alternative cooling system for hot, arid regions”, pp.422-432, Proceeding of Int. Conference on Energy Research and Development, Kuwait, Vol.1,9-11.
- [2] Yılmaz,A., Büyükalaca.O. ve Yılmaz.T., Ağustos 1998. Nem almalı (desesif) soğutma sistemleri, sh.145-150, Uluslararası Enerji Teknoloji ve Tesisat Dergisi.
- [3] Shalot,M., ve Riffat,S.B., Dessicant cooling systems: a review, International Journal of Low-Carbon Technologies, Vol.0, pp.1-17, January 20, 2016.
- [4] Warke,A.D., ve Deshmukh,S., 2016 Study on development of rotary desiccant dehumidification from air conditioning point of view, International Journal of Modern Trends in Engineering and Research, Vol.3, pp.955-959.
- [5] Kağanoğlu M, Bolattürk, A., Altıntop, N., 2007. Effect of ambient conditions on first and second law performance of an open desiccant cooling process, Renew. Energy 32, 931-946.
- [6] Elgendy, E., Mostofa, A., and Fatouh, M., 2015. Performance enhancement of a desiccant evaporative cooling system using direct/indirect evaporative cooler, Int. Journal of Refrigeration 51, 77-87.
- [7] Rachman, A., Enggsa, Z., Mat, S., and Sopain, K., 2014. Performance of solid desiccant cooling with solar energy in hot and humid climate, Journal of Sustainability Science and Management Volume 9 Number 1, 150-155. ISSN: 1823-8556.
- [8] Panaras, G., Mathioulakis, V., and Belessiotis, V., 2011. Solid desiccant air-conditioning systems Design parameters, Energy, Energy 36, 2399-2406,DOI: 10.1016.
- [9] Kağanoğlu, M., 2004. Energy analysis of an experimental open-cycle desiccant cooling system, Applied Thermal Engineering, 24, 919-932.

Semboller

\dot{m}	kütlesel debi (kg/s)
\dot{Q}	ısı (kW)
w	özgül nem (g H ₂ O/kg kuru hava)
h	entalpi (kJ/kg)
C_p	özgül ısı (kJ/kgK)
DNA	döner nem alıcı tambur
COP	soğutma etkinlik katsayısı
ε	etkinlik katsayısı
ξ	ısı oranı
İndisler	
a	dış hava
r	rejenerasyon
d	duyulur
g	gizli
th	ısı kullanımına dayalı
ed	taze hava şartlandırma süreci