

## Nem Almalı Bir Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi

İrfan UÇKAN<sup>\*1</sup>, Tuncay YILMAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Adana

### Özet

Bu çalışmada nem almalı bir soğutma sisteminin termodinamik analizi yapılmıştır. Bir soğutma makinesinin teorik olarak ulaşabileceği en yüksek etkinlik değeri Carnot COP değeri olarak bilinir. Bu analizde Carnot COP değeri ve sistemin ikinci yasa verimi hesaplanmıştır. Dış hava sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin sistemin gerçek COP değeri, Carnot COP değeri, soğutma kapasitesi ve ikinci yasa verimlerine etkisi incelenmiştir. Carnot COP değerinin yapılan hesaplamalarda en düşük 4.56 olduğu ve dış hava sıcaklığının artmasına bağlı olarak azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** COP, Soğutma, Desiccant, İkinci yasa

### Thermodynamic Analysis of a Desiccant Cooling System

#### Abstract

In this study thermodynamic analysis of a desiccant based evaporative cooling system is carried out. A cooling machine reaching theoretically the maximum coefficient of performance is known as Carnot COP. The Carnot COP and second law efficiency of the system is calculated in this analysis. Effect of outdoor temperature and relative humidity on actual COP, Carnot COP, cooling load and second law efficiency is investigated. The minimum Carnot COP value is calculated as 4.56 and it is observed that the Carnot COP value is decreasing while outdoor air temperature is increasing.

**Key words:** COP, Cooling, Desiccant, Second law

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: İrfan UÇKAN, Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Adana. iuckan@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Buharlaştırma soğutma eski çağlardan beri bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Ancak iklimlendirilecek ortama gönderilen dış havanın nemlendirilmesi sonucu elde edilen soğutma sadece dış hava neminin çok düşük olduğu bölgelerde etkili olabilmektedir. Dış hava neminin yüksek olduğu bölgelerde de evaporatif soğutmanın uygulanabilmesi için önce dış hava içindeki nemin azaltılması gerekmektedir. Bu iş için çeşitli sıvı veya katı nem alıcılar kullanılmaktadır. [1]

Endüstriyel ve konfor iklimlendirme uygulamalarında birçok farklı sistem kullanılmaktadır. Bu sistemlerin kullanımında çevresel etki, enerji tüketimi, iç ortam şartları ve ekonomiklik gibi faktörler göz önüne alınmaktadır. Doğal enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olduğu günümüzde, konvansiyonel iklimlendirme sistemleri önemli miktarda enerji sarf etmektedir. Kloroflorokarbon (CFC) kullanmayan yeni soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde bazı gelişmeler yaşanmış, bu gelişmelerle birlikte nem almalı soğutma sistemleri alternatif sistemler olarak ortaya çıkmıştır.

Nem almalı soğutma sistemlerinin daha verimli ve etkin kullanımları için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Uçkan ve ark.[2] desisif evaporatif bir soğutma sisteminin enerji analizini termodinamiğin birinci yasasına göre yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada enerji geri kazanımının sistem performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Kanoğlu ve ark. [3] nem almalı bir soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizleri için bir yöntem geliştirmişler ve sistem elemanlarının verimliliklerini ve sistemin COP gibi performans parametrelerini analiz etmişlerdir. Liu ve ark. [4] nem almalı bir soğutma sistemi ile buhar sıkıştırma bir soğutma sisteminden oluşan soğutma sisteminin analizi için bir enerji tüketim modeli geliştirmişlerdir. Proses havasının nemi, sıcaklığı ve debisinin enerji tüketimini ve sistemin COP değerini etkilediğini göstermişlerdir. Lavan ve ark. [5] nem almalı bir soğutma sisteminin 2. yasa analizini yapmışlar ve yaptıkları çalışmada bu sistemin performansını etkileyen parametrelerden özellikle dış hava neminin etkili olduğunu göstermişlerdir. Kodama ve ark. [6-7] nem almalı bir soğutma sisteminin

teorik ve deneysel olarak entropi üretim analizini yapmışlar, Carnot COP değeri ile gerçek COP değeri arasında meydana gelen farkın sistemde bulunan ünitelerdeki entropi üretiminden kaynaklandığını göstermişlerdir. Nem alma rotorunun dönme hızı, sistemde dolaşan havanın hızı ve rejenerasyon sıcaklığının sistem üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bourdoukan ve ark. [8] desisif-evaporatif bir sistemin performansını etkileyen dış hava şartları ve sistemde kullanılan ekipmanların verimliliklerinin sistem performansı üzerinde etkinliğini bir simülasyon yaparak incelemişler ve çeşitli verimlilik çalışmaları yaparak kritik verimlilik değerleri bulmuşlardır. Li ve ark. [9] güneş enerjili nem almalı bir ısıtma ve soğutma sistemini incelemişler ve soğutma sisteminin COP değerini 0.95 olarak bulmuşlardır. Ayrıca rejenerasyon sıcaklığının sistem performansı üzerinde etkinliğini incelemişlerdir.

## 2. MATERYAL ve METOD

### 2.1 Sistemin Tanıtılması

Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında kurulan Desisif-Evaporatif soğutma sisteminin genel görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Kurulan sistemde iki adet reküperatif ve bir adet rejeneratif tip ısı geri kazanım eşanjörü vardır.

Bu sistemde taze, atık ve rejenerasyon havası olmak üzere üç türlü hava akışı mevcut olup taze hava, rejenerasyon havası ve atık hava için ayrı ayrı üç adet fan kullanılmıştır.

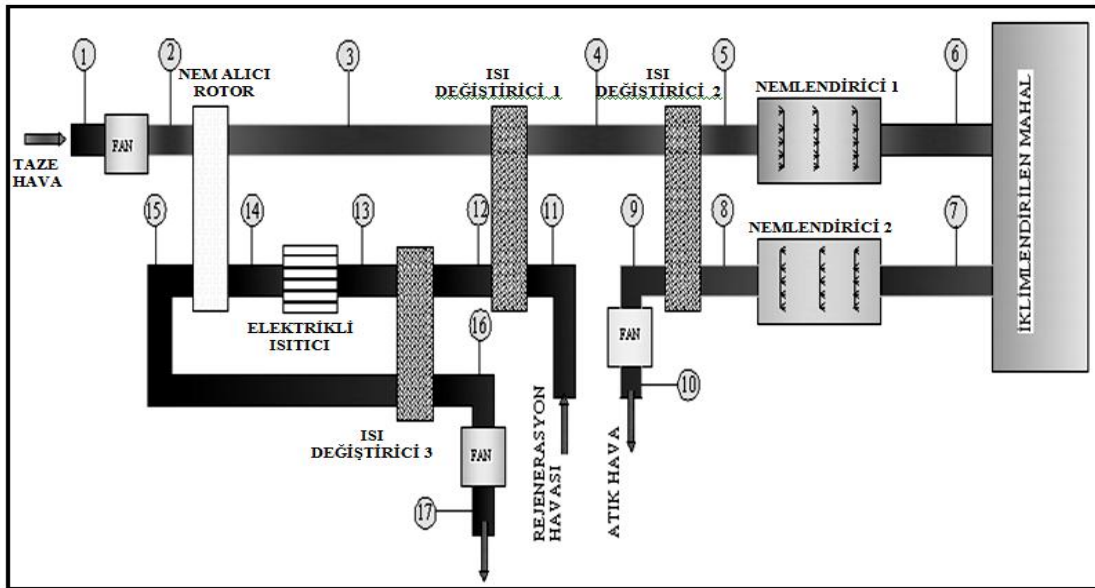
Temiz hava kanalı, tamamı dışarıdan alınan taze havayı soğutarak mahale iletmek için kullanılmaktadır. Atık hava kanalı yardımıyla, mahal içerisinden emilen düşük sıcaklıktaki hava nemlendirme ünitesinden daha da sıcaklığı düşürülerek taze havayı soğutmak ve rejenerasyon hava kanalı ise nem alma ünitesinde emilen nemi uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Bu kanallarda, kullanılan havayı sistemin amacına uygun olarak şartlandırmak ve kontrol etmek amacıyla çeşitli elemanlar (nem alma ünitesi, ısı değiştiricisi, fan, nemlendirme ünitesi, ısıtıcı ünitesi, vb.) vardır. Kurulan soğutma sisteminde yer alan ısı geri kazanım ünitelerini bağımsız olarak inceleyebilmek amacıyla sistem üzerinde sıcaklık,

nem, debi, elektrik tüketimi gibi çeşitli parametreler ölçülerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Temiz hava kanalına 1 noktasında alınan dış ortam havasının nemi, nem alma ünitesinde (döner tip) düşürülmekte (2→3) ve kuru ancak daha yüksek sıcaklıkta bir hava (3) elde edilmektedir. Aynı anda 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 ısı değiştiricisi 1'den geçirilerek (3→4) daha düşük bir sıcaklığa sahip olan rejenerasyon giriş havası (11) ile bir ön soğutma işlemine tabi tutulmakta ve sıcaklığı düşürülmektedir. Bir sonraki aşamada ise taze hava, ısı değiştiricisi 2'den geçirilerek (4→5) sıcaklığı bir miktar daha düşürülmektedir. Sıcaklığı düşürülen taze hava esas soğutma ünitesi olan direk nemlendirme ünitesinde (5→6) hava üzerine su püskürtülerek son soğutma işlemi yapıldıktan sonra soğutulacak ortama gönderilmektedir.

Düşük sıcaklıktaki atık havadan faydalanmak için; atık hava, soğutulan ortamdan çekilip direk nemlendirme ünitesinden (7→8) geçirildikten sonra iki numaralı ısı değiştiricisinde (8→9) taze havayı bir miktar soğutarak sistemden atılmaktadır

(10). Tasarlanan bu sistemde, soğutulacak ortama gönderilen temiz havadan nem alma işlemi sadece döner tip nem alıcıda gerçekleşmekte, diğer ünitelerde nem alma işlemi gerçekleşmemektedir. Döner tip nem alıcıda temiz havadan çekilen nemin uzaklaştırılması için sıcak rejenerasyon havası kullanılmaktadır. Rejenerasyon kanalına 11 noktasında emilen dış hava, soğutulacak ortama nemi alınarak gönderilen temiz havadan (3), ısı değiştiricisi 1'de ısı çekerek bu havayı soğutmakta, bu esnada kendi sıcaklığı da artmaktadır (12). Rejenerasyon havası daha sonra ısı değiştiricisi 3'te (rejeneratif tip) yine bir ön ısıtma işlemine tabi tutulmaktadır (12→13). Bu ısı değiştiricisinde ısı geri kazanımı, nem alma ünitesinden çıkan ve hala yeterince yüksek bir sıcaklığa sahip olan rejenerasyon havası (15) kullanılarak yapılmaktadır. Isı değiştiricisi 3'ten geçen hava (13) daha sonra nem alma ünitesindeki nemi uzaklaştırmak için gerekli olan sıcaklığa (rejenerasyon sıcaklığı) ısıtılmaktadır (13→14). Desisif sistemlerde elektrik enerjisinin yerine güneş enerjisi, atık ısı, doğal gaz, gibi ucuz enerji kaynaklarının kullanılmasının sebebi işletme maliyelerini düşürmek içindir. 14 noktasında nem alma ünitesine giren yüksek sıcaklıktaki rejenerasyon havası, nem alıcıdaki nemi içine alarak soğumakta ve ısı değiştiricisi 3'ten geçirilerek (15→16) dışarı atılmaktadır (17).



Şekil 1. Nem almalı soğutma sisteminin genel görünüşü.

## 2.2 Termodinamik Analiz

Termodinamiğin 2. yasasına göre sistem incelendiği zaman enerjinin niteliğinin yanında niceliğinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bir soğutma makinesinin ulaşabileceği en yüksek etkinlik değeri Carnot COP değeri olarak bilinir [10]. Nem almalı soğutma sisteminin termodinamiğin 2. yasasına göre analizinin yapılabilmesi için sistemin COP değerinin, sistemde tüketilen rejenerasyon ısısının ve Carnot COP ( $COP_c$ ) değerinin bilinmesi gerekmektedir.

Nem almalı soğutma sistemlerinde genellikle enerji tüketiminin en fazla gerçekleştiği kısım rejenerasyon havasını gerekli olan rejenerasyon sıcaklığına kadar ısıtmak için harcanan ısı enerjisi

$\dot{Q}_{RI}$  'dir.

$$\dot{Q}_{RI} = \dot{M}_r \cdot c_p \cdot (T_{14} - T_{13}) \quad [1]$$

Elde edilen soğutma kapasitesi  $\dot{Q}_{sk}$

$$\dot{Q}_{sk} = \dot{M}_t \cdot (h_7 - h_6) \quad [2]$$

Sistemin COP değeri de böylece aşağıdaki gibi tarif edilir.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{sk}}{\dot{Q}_{RI}} \quad [3]$$

Nem almalı soğutma sistemi için kullanılan Carnot COP ( $COP_c$ ) eşitliği buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri için kullanılan eşitlikten farklı olarak çevre sıcaklığına, rejenerasyon sıcaklığına ve soğutulan ortamın sıcaklığına bağlıdır [3,7].  $COP_c$  değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$COP_c = \left( \frac{T_{rej} - T_{th}}{T_{th} - T_{oda}} \right) \left( \frac{T_{oda}}{T_{rej}} \right) \quad [4]$$

$T_{rej}$ ,  $T_{th}$ ,  $T_{oda}$  sırasıyla rejenerasyon, dış ortamdan alınan taze hava ve soğutulan oda sıcaklıklarını göstermektedir.

Eşitlik (4) Şekil 1'de gösterilen deney sistemine uyarlandığında

$$COP_c = \left( \frac{T_{14} - T_1}{T_1 - T_7} \right) \left( \frac{T_7}{T_{14}} \right) = \frac{1 - T_1/T_{14}}{T_1/T_7 - 1} \quad [5]$$

olarak yazılır.

Nem almalı soğutma sisteminin 2. yasa verimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_c} \quad [6]$$

## 3. BULGULAR

Nem almalı soğutma sisteminde yapılan deneylerde nem alma rotorunun dönme hızı sabit alınmıştır. Taze hava, atık hava ve rejenerasyon hava debileri eşit olup 4000 m<sup>3</sup>/h' e eşittir. Rejenerasyon havasını ısıtmak için elektrikli ısıtıcılar kullanılmıştır. Yapılan deneyde elektrikli ısıtıcılar hava sıcaklığını 90 °C' de sabit tutacak şekilde ayarlanmıştır.

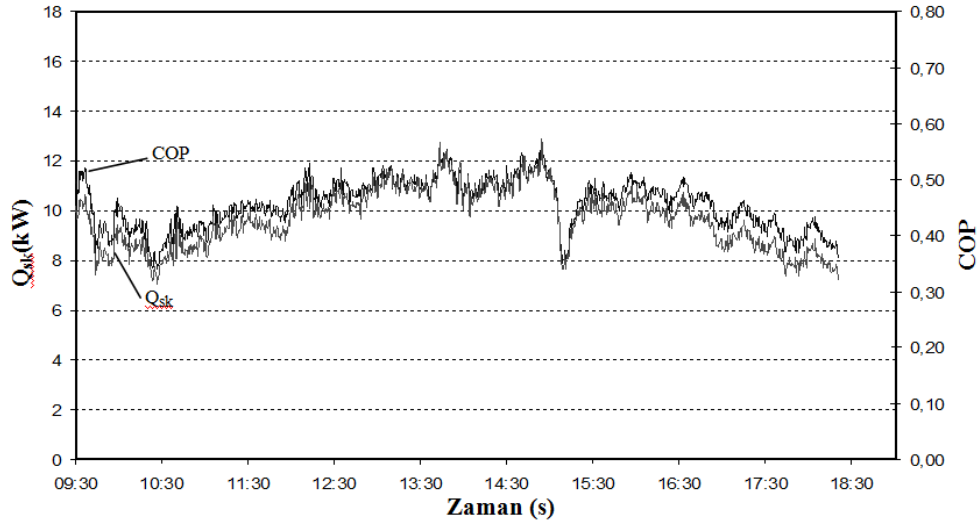
Şekil 2'de gösterildiği gibi COP değerleri ve soğutma kapasitesinin gün boyunca yapılan deneylerden zamana bağlı değişimlerini göstermektedir. COP değerinin 0.38-0.52 ve soğutma kapasitesi ise 7-12 kW arasında değiştiği görülmektedir. Eşitlik 3'e göre COP değerindeki değişim soğutma kapasitesi ve rejenerasyon ısısına bağlı bulunmaktadır. Bu şekilde görüldüğü gibi COP ve soğutma kapasitesi eğrileri uyumlu olarak değişim göstermektedir.

Şekil 3'de soğutma kapasitesi ile dış havanın bağıl nemi arasındaki değerlerin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Dış ortamdan alınan temiz havanın bağıl nem değeri soğutma kapasitesine ters bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Deney başlangıcında dış ortam bağıl nem değerinin yüksek olduğu durumlarda soğutma kapasitesinin az olduğu, günün ortalarında bağıl nem değerinin düşük olduğu zamanlarda soğutma kapasitesinin en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Bağıl nem değerinin %30 olduğu zamanda en yüksek soğutma kapasitesinin yaklaşık olarak 12 kW olduğu görülmektedir. Şekil 4 bağıl nem ile soğutma kapasitesi değişiminin psikrometrik diyagram üzerinde göstermektedir. Şekil 4'den görüldüğü gibi I ile gösterilen proses bağıl nem değerinin yüksek olduğu sabah 10:30'da alınan

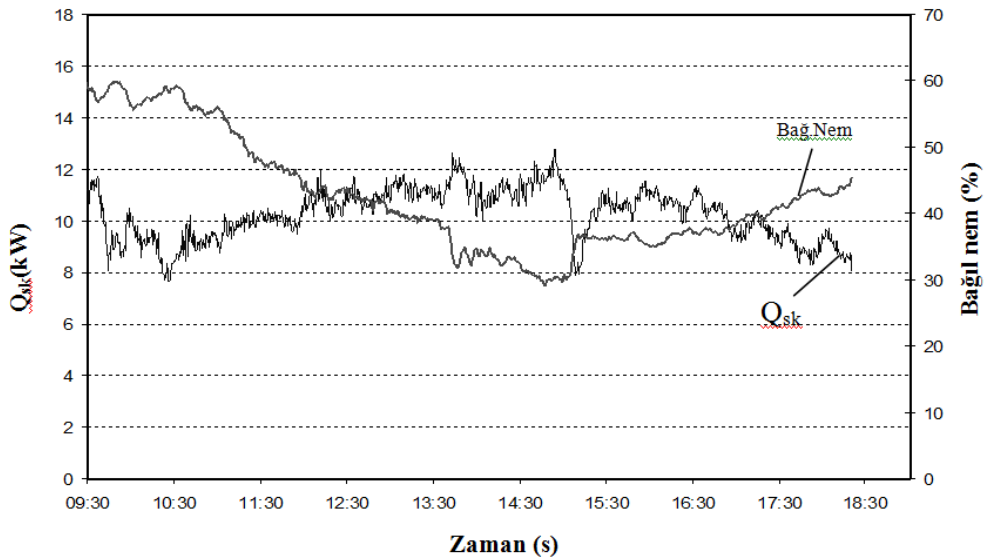
anlık verileri, II ile gösterilen proses de bağıl nem değerinin en düşük olduğu saat 15:30'da alınan anlık verileri göstermektedir. Soğutma kapasitesi, bağıl nem değerinin düşük olduğu 15:30'da bağıl nem değerinin yüksek olduğu 10:30'a göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 5 COP değerleri ile dış ortamdan alınan taze hava bağıl nem değerinin zamanla değişimini

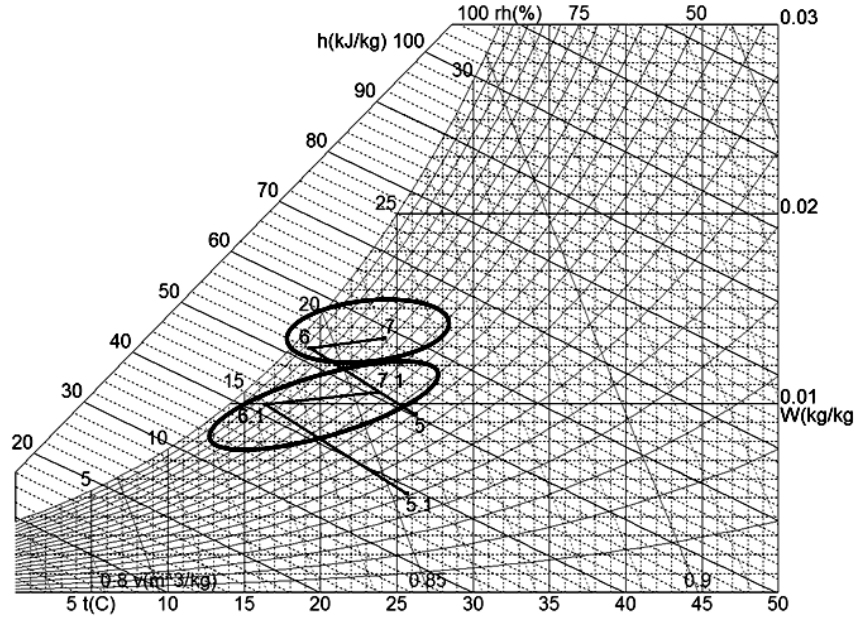
göstermektedir. Bağıl nem değerinin daha önce de açıklandığı gibi soğutma kapasitesi üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bundan dolayı aynı etkinin COP değeri üzerinde de olduğu Şekil 5'den görülmektedir. Bağıl nem değerinin en az olduğu saatlerde COP değerinin en yüksek değerde olduğu ve bağıl nem değerinin %30 olduğu anda COP değerinin 0.55 olduğu görülmektedir.



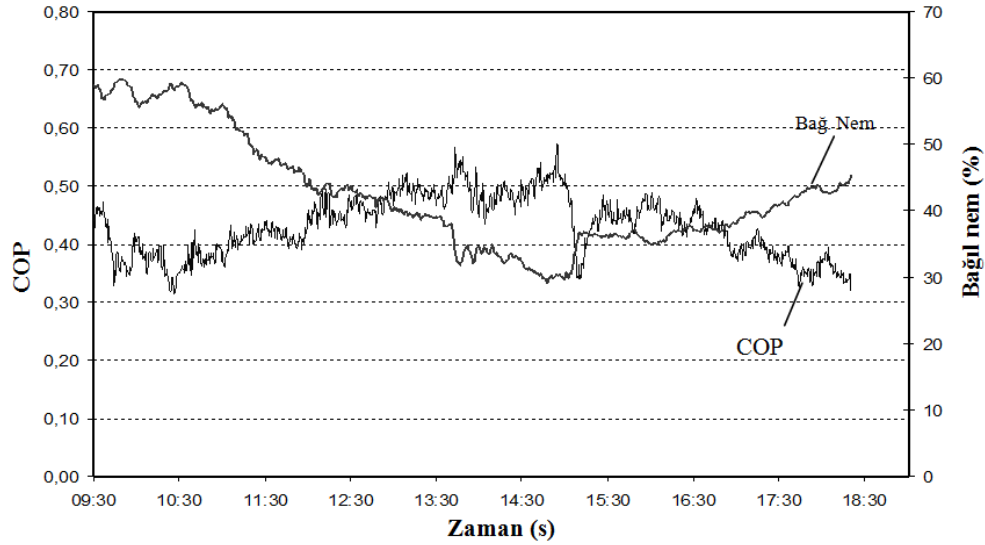
Şekil 2. Soğutma kapasitesi ile COP değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 3. Soğutma kapasitesi ile dış ortamdan alınan taze hava bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi



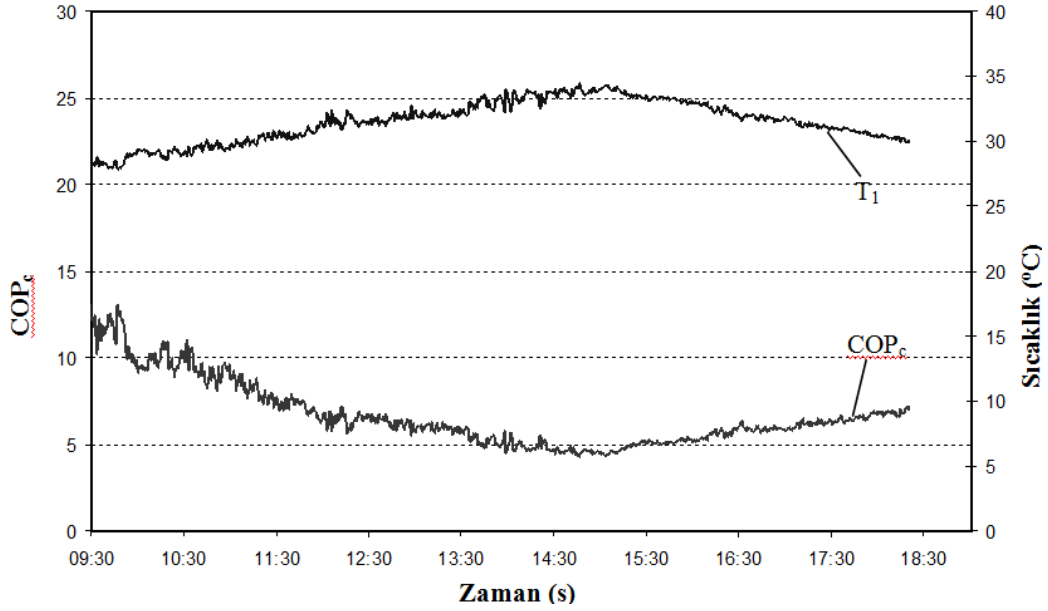
Şekil 4. Bağıl nem ile soğutma kapasitesi değişiminin psikrometrik diyagram üzerinde görünümü.



Şekil 5. COP ile dış ortamdaki alınan taze hava bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 6 COP<sub>c</sub> değerinin dış ortamdaki alınan taze hava sıcaklık değerleri ile değişimini göstermektedir. Eşit. 5'de gösterildiği gibi, dış ortamdaki alınan hava sıcaklığı COP<sub>c</sub> değerini etkileyen parametrelerden biridir. Şekil 6'da COP<sub>c</sub> değerinin sıcaklığın artmasına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni rejenerasyon

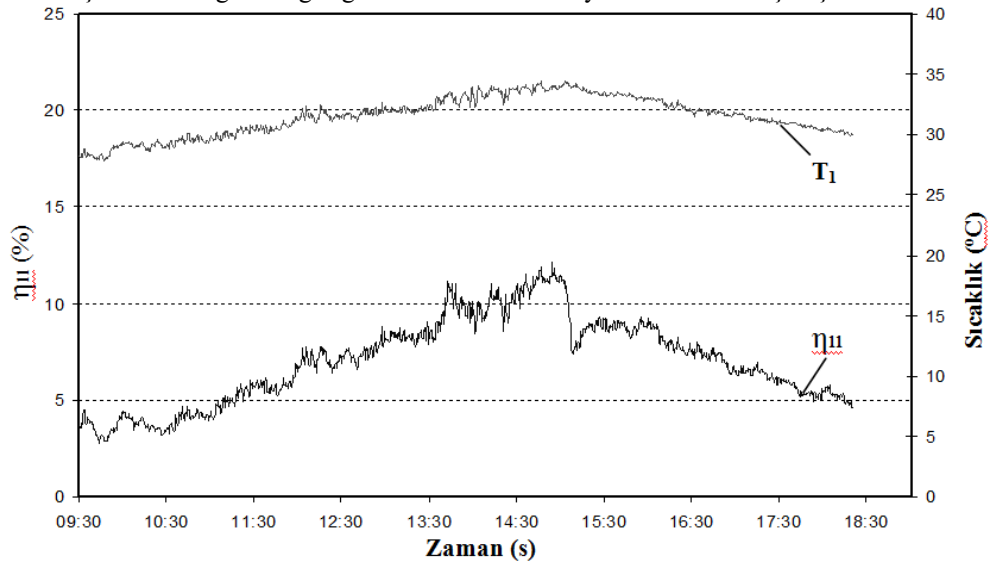
sıcaklığı sabit olduğundan ve soğutulan ortamın sıcaklığı da yaklaşık olarak  $\pm 1$  °C değişim gösterdiğinden dolayı dış ortamdaki alınan taze havanın sıcaklığının artması bu değişime neden olmaktadır. COP<sub>c</sub> değerinin en düşük 5'e yakın bir değer aldığı görülmektedir.



Şekil 6. COP<sub>c</sub> ile dış ortamdaki taze hava sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi.

Şekil 7 ikinci yasa veriminin dış ortamdaki taze hava sıcaklığı ile değişimini göstermektedir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak ikinci yasa veriminin de arttığı görülmektedir. İkinci yasa veriminin en yüksek olduğu sıcaklık dış hava sıcaklığının en yüksek olduğu zamana denk gelmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi mevcut

çalışma koşullarında yapılan deneyde ikinci yasa veriminin %4-%12 arasında değiştiği görülmektedir. Bu tür sistemlerin ikinci yasa verimlerinin düşük olduğunu söyleyebiliriz, çünkü sistemde çalışan çok fazla ünite olması ve bu ünitelerde tersinmezliğin fazla olmasından dolayı ikinci yasa verimi de düşük çıkmaktadır.



Şekil 7. İkinci yasa veriminin dış ortamdaki taze hava sıcaklık değerleri ile zamanla değişimi.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada nem almalı bir soğutma sisteminin termodinamik analizi yapılmıştır. Yapılan analizde soğutma makinesinin etkinliğini gösteren COP değeri ile yine soğutma makinesinin ulaşabileceği en yüksek etkinlik değeri olan Carnot COP değerleri hesaplanmıştır. COP değerinin 0.38-0.52 ve soğutma kapasitesinin ise 7-12 kW arasında değiştiği görülmektedir. Dış ortam bağıl nemin en düşük olduğu saatlerde COP değerinin en yüksek olduğu görülmüştür. COP<sub>c</sub> değerinin dış ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak azaldığı ve sıcaklık 34 °C olduğunda COP<sub>c</sub>'nin de 4.56 olduğu görülmüştür. Nem almalı deney sisteminde çok fazla ünite bulunduğundan dolayı bu ünitelerdeki entropi üretiminden kaynaklanan tersinmezlikler nedeniyle ikinci yasa verimi %4-%12 arasında hesaplanmıştır.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Yılmaz, T., Büyükalaca, O., Desisif Evaporatif soğutma sistemleri, IV Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 165-181, 1999.
2. Uçkan, İ., Yılmaz, T., Büyükalaca, O., Hürdoğan, E., Desisif Evaporatif Bir Soğutma Sisteminin Enerji Analizi, Anadolu Enerji Sempozyumu, 2011.
3. Kanoğlu, M., Çarpınhoğlu, M., Yıldırım M., Energy and exergy analyses of an experimental open-cycle desiccant cooling system, Applied Thermal Engineering 24 (2004) 919–932.
4. Weiwei L., Zhiwei L., Reinhard R., Ye Y., Energy consumption analysis on a dedicated outdoor air system with rotary desiccant Wheel, Energy 32 ,1749–1760, 2007.
5. Lavan, Z., Monnier, J-B., Worek, W.M., Second Law Analysis of Desiccant Cooling Systems, Solar Energy Engineering,1982, 229-235.
6. Kodama, A., Pons, M., Entropic analysis of adsorption open cycles for air conditioning. Part 1:First and second law analyses, Int. J. Energy Research, 2000, 251-262.
7. Kodama, A., Jin, W., Goto M., Hirose T., Pons M., Entropic analysis of adsorption open cycles for air conditioning. Part 2: interpretation of experimental data, Int. J. Energy Research, 2000, 263–278.
8. Bourdoukan,P., Wurtz,E., Joubert, P., Experimental investigation of a solar desiccant cooling installation, Solar Energy 83, 2059–2073, 2009.
9. Li, H., Dai, Y.J., Li, Y., La, D., Wang, R.Z., Experimental investigation on a one-rotor two-stage desiccant cooling/heating system driven by solar air collectors, Applied Thermal Engineering xxx (2011) 1-7.
10. Çengel, Y., Boles M., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 2. Baskı, McGraw-Hill; 1996.