



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Termofiksaj İşlemleri için Ramöz Atık Havasından Isı Geri Kazanım Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi

Energy and Exergy Analysis of Stenter Exhaust Air Heat Recovery System for Heat-Setting Processes

Ahmet ÇAY, Seniha MORSUNBUL, E. Perrin Akçakoca KUMBASAR
Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 31 Aralık 2017 (31 December 2017)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Ahmet ÇAY, Seniha MORSUNBUL, E. Perrin Akçakoca KUMBASAR (2017): Termofiksaj İşlemleri için Ramöz Atık Havasından Isı Geri Kazanım Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi, Tekstil ve Mühendis, 24: 108, 281-289.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920172410808>



Araştırma Makalesi / Research Article

TERMOFİKSAJ İŞLEMLERİ İÇİN RAMÖZ ATIK HAVASINDAN ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Ahmet ÇAY*

Seniha MORSUNBUL

E. Perrin Akçakoca KUMBASAR

Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 21.08.2017

Kabul Tarihi / Accepted: 04.12.2017

ÖZET: Enerji geri kazanım uygulamaları, doğal kaynakların verimli kullanılması adına sürdürülebilir üretimin temel koşullarından birisidir. Tekstil terbiye işletmelerinde uygulanan süreçler sonucunda oldukça fazla miktarda atık enerji ortaya çıkmaktadır. Bu atık enerjinin geri kazanılması hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında tekstil terbiye işletmelerinde kullanılan ramözlerin atık havasından ısı geri kazanımı analiz edilmiştir. İncelenen işletme ölçekli ısı geri kazanım sisteminde kuru termofiksaj havası ile işletme suyu ısıtılmaktadır. Sistemin termodinamik modeli enerji ve ekserji analizleri ile sunulmuştur. Sistemde ısıtılan suyun sıcaklığını etkileyen en önemli parametrenin su debisi olduğu görülmüştür. Düşük su debilerinde 70-75 °C'de sıcak su elde etmek mümkündür. Su debisi azaldıkça sistemde ortaya çıkan ekserji tahribi azalmakta, ekserji verimi artmaktadır. Isı geri kazanım sisteminin ekserji verimi su debisine bağlı olarak % 10 ile % 30 aralığında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekserji analizi, termofiksaj, ramöz, atık hava, ısı geri kazanımı

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF STENTER EXHAUST AIR HEAT RECOVERY SYSTEM FOR HEAT-SETTING PROCESSES

ABSTRACT: Energy recovery applications are of great importance for sustainable production with regard to efficient use of natural sources. Textile finishing processes generates large amount of waste energy. Recovery of this waste energy provides both economic and environmental benefits. In the scope of this study, heat recovery from the exhaust air of textile stenters was analysed. Process water is heated by the exhaust air of thermosetting process in an industrial scale heat recovery system retrofitted to a stenter. Thermodynamic model of the system was presented by energy and exergy analyses. Mass flow rate of water was observed to be the most significant parameter that affects the temperature of water outlet. 70-75 °C water outlet temperatures can be obtained at lower waste water mass flow rates. Decrease in the mass flow rate of water led to decrease in exergy destruction and increase in exergy efficiency. Exergy efficiency of the system was calculated between 10% and 30% depending on the mass flow rate of water.

Keywords: Exergy analysis, heat-setting, stenter, exhaust air, heat recovery

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ahmet.cay@ege.edu.tr

DOI: 10.7216/1300759920172410808, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli koşulu doğal kaynakların etkin ve verimli kullanılmasıdır. Bu kaynaklar arasında enerji ve su, tüketim miktarı açısından son derece önemlidir. Tekstil terbiye işletmelerinde kullanılan kumaş tipi, lif içeriği, kullanılan boyarmadde ve kimyasal madde tipi ile uygulanan terbiye süreçlerine bağlı olarak enerji tüketimi işletmeden işletmeye büyük farklılık göstermektedir. Diğer yandan bir genelleme yapılacak olursa, uzun işlem süresi ve yüksek sıcaklık gerektiren pamuk ön terbiye işlemleri ile yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma/fiksaj işlemlerinin enerji tüketimi açısından öne çıktığı görülmektedir. Kurutma ve fiksaj işlemleri çoğunlukla ramözler veya taşıma bantlı kurutucularda gerçekleştirilmekte ve kullanılan ısı enerjisi atık hava ile birlikte bacadan atılmaktadır. Atık hava enerjisinin geri kazanılması oldukça yüksek enerji tasarrufu potansiyeli barındırdığı için, atık havanın dışarıya atılmadan önce terbiye süreçlerinde kullanılacak temiz su veya havanın ön ısıtması için kullanılması önem taşımaktadır.

Atık hava ısı geri kazanımı için çeşitli ısı değiştirici tipleri kullanılabilir. Ancak günümüzde borulu veya plakalı ısı değiştiriciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Özel bir kullanım olarak ısı tekerlekleri de atık hava ile kurutma havasının ön ısıtmasının yapılmasında tercih edilmektedir. Atık hava ısı geri kazanım sistemleri sonradan kurutucu bacasına monte edilebildiği gibi, yeni nesil makinelerde kurutucuya entegre atık hava ısı geri kazanım sistemleri de bulunmaktadır.

Kurutma işlemi yapıldığında, işlem sıcaklığına bağlı olarak 110-130 °C sıcaklıklarda nemli atık hava, termofiksaj işlemi yapıldığında ise çok daha yüksek sıcaklıkta (170-190 °C) kuru atık hava ortaya çıkmaktadır. IPPC [1] verilerine göre, termofiksaj işlemi sonucu oluşan atık havanın enerjisini geri kazanmak için kurulan sistemlerle sağlanan para tasarrufları daha yüksek, buna bağlı olarak da geri ödeme sürelerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Tekstil terbiye işletmelerinde atık hava ısı geri kazanım sistemleri başta yüksek maliyet/uzun geri ödeme süresi ve ısı değiştiricilerin atık havaya karışan elyaf uçuntuları ve yağlar sonucunda bloke olma problemi nedeniyle fazlaca bakım gerektirmesi yüzünden ülkemizde yaygınlaşmamıştır. Diğer yandan, atık hava ısı geri kazanımı ile sağlanacak faydalara yönelik sayısal bilgiler büyük oranda üretici firmalar tarafından verilmektedir [bkz. 2-8]. Makine tipi ve proses parametrelerine (sıcaklık, hız, debi vb.) bağlı olarak tekstil kurutucularının atık havasından ısı geri kazanımı üzerine yapılan işletme ölçekli çalışma sayısı kısıtlıdır. Oğulata [9], nemli kurutma havası ile temiz havanın ısıtıldığı bir ramöz atık hava ısı geri kazanım sistemi için matematiksel formülasyon sunmuş ve kurutma havası sıcaklığının sistem parametrelerine etkisini incelemiştir. Kurutma havası sıcaklığı azaldıkça, ısı değiştiricinin veriminin ve enerji tasarrufunun arttığını göstermiştir. Şekkeli ve Keçecioglu [10] kızgın yağ ısıtımali bir ramöze hava/hava atık ısı geri kazanım sistemi uygulaması yapmış ve sağlanan enerji tasarruflarını incelemişlerdir. Ramöz atık havası ile ön ısıtması

yapılan temiz hava ramöze beslenerek kurutmada kullanılmıştır. Böylece ramöz kurutma havasının ısıtılması için kullanılan kızgın yağ kazanının kömür tüketiminde azalma sağlandığı gösterilmiştir. Tarakçioğlu vd. [11], ramöz atık havasından ısı geri kazanımını laboratuvar tipi bir yıkama kulesi kullanarak simüle etmiştir. Ayrıca sistemin ekserji analizi yapılmıştır. Atık hava ile su ısıtılan bu sistemde, atık hava nemi arttıkça ve su debisi azaldıkça elde edilen su sıcaklığı artmaktadır. Diğer yandan giriş su sıcaklığının elde edilen su sıcaklığına etkisinin olmadığı görülmüştür. Atık hava nemi arttıkça sistemin ekserji veriminin arttığı gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, termofiksaj atık havası ile temiz işletme suyunun ısıtıldığı bir atık hava ısı geri kazanım sisteminin analizi gerçek işletme verileri kullanılarak sunulmaktadır. Sistem parametrelerinin elde edilen su sıcaklıklarına ve geri kazanılan enerji miktarına etkisi incelenmektedir. Ayrıca, sistem bir ekserji analizinden geçirilmiştir. Ekserji, tersinir bir süreç sonucunda, çevre ile sistemin denge haline gelmesi durumunda elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır [12-15]. Ekserji analizi, özellikle ısı sistemlerinin analizi, tasarımı ve performansının değerlendirilmesinde (böylelikle olası enerji verimliliği iyileştirme potansiyelinin belirlenmesinde) son yıllarda yaygın olarak kullanılan en önemli araçlardan birisidir [16]. Ekserji, enerjiden farklı olarak (ideal tersinir hal değişimleri dışında) korunum yasasına uymamaktadır çünkü herhangi gerçek bir süreçte ekserjinin bir kısmı yok olmaktadır (ekserji tahribi). Ekserji tahribi, süreçteki sürtünme, genleşme, karışma, kimyasal reaksiyonlar, sonlu sıcaklık farkında ısı transferi, vb. sonucu oluşan tersinmezlikler nedeniyle oluşan entropi üretimi ile orantılıdır. Ekserji tahribinin artması, sistemin ekserji veriminin azalmasına neden olmaktadır. Termodinamik bakış açısıyla ekserji verimi (ikinci yasa verimi), enerji sistemlerinin gerçek performansının bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Ekserji verimi yüzde (%) ile ifade edilmekte ve ekserji akımlarının ne kadarının elde edilen üründe bulunduğunu göstermektedir. Geri kalan kısım ise tahrip edilen ve sistemden atılan ekserji oranıdır [13]. Literatürde, karbon lifi üretiminin [17], tekstil terbiye işletmelerindeki buhar kazanının [18], kurutucuların [19-21], çektirme işlemlerinin [22], yıkama işlemlerinin [23], baskı işlemlerinin [24] ve atık su ısı geri kazanım sisteminin [25] işletme ölçekli ekserji analizlerine rastlanmaktadır. Ancak, tekstil kurutucularının atık havasından ısı geri kazanımının ekserjetik performansı incelenmemiştir. Bu çalışma kapsamında, termofiksaj atık havasından ısı geri kazanım sisteminin enerji performansının yanı sıra, işlem parametrelerinin ekserji tahribi ve ekserji verimine etkisi de araştırılmış ve termodinamik açıdan en uygun çalışma koşulları ortaya konmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Bir tekstil terbiye işletmesinde bulunan ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Isı geri kazanım sistemi, termofiksaj işlemleri için kullanılan 6 kamaralı bir ramözün bacasında bulunmaktadır. Bu

sistemde atık hava ile temiz işletme suyu ısıtılmakta ve ısıtılan bu su kumaş boyama işlemlerinde kullanılmaktadır. Atık havanın ısı geri kazanım sistemine giriş sıcaklığı termofiksaj sıcaklığına bağlıdır. Sistemden çıkan atık havanın sıcaklığı ise ayarlanabilmektedir. Çıkan atık hava bir çöktürücüden (precipitator) geçirilmektedir. Bu nedenle atık hava çıkış sıcaklığının 60 °C'nin üstüne çıkması istenmemektedir. Analiz için farklı termofiksaj sıcaklıkları (180 °C, 190 °C ve 200 °C), farklı atık hava çıkış sıcaklıkları (40 °C, 50 °C ve 60 °C) ve farklı su debisi değerleri (2-7 kg/s arasındaki değerler) denenmiştir. Bu gerçek işletme verilerinin enerji ve ekserji parametrelerine etkisi ortaya konmuştur.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler işletme ortamında gerçek çalışma koşulları altında alınmıştır. Ancak işletme çalışma şartları nedeniyle tüm parametreler için aynı değişkenler kullanılamamıştır. Örneğin, seçilen termofiksaj sıcaklıkları için aynı su debileri kullanılmamıştır. Değerlendirme aşamasında ise genel eğilimler dikkate alınarak yorumlanmıştır.

Analiz için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Tüm süreçler dengeli ve sürekli akış göstermektedir
- Sisteme olan ısı transferi ve sistem tarafından yapılan iş pozitifdir
- Kinetik ve potansiyel enerji etkileri ihmal edilmiştir
- Sistem yalıtılmış olduğundan ısı kayıpları ihmal edilmiştir
- Hava sabit bir özgül ısıya sahip ideal gazdır
- Sistemdeki basınç düşüşleri ihmal edilmiştir
- Özgül kimyasal ekserji değişimleri ihmal edilmiştir
- Referans hal sıcaklığı su giriş sıcaklığı olarak alınmıştır

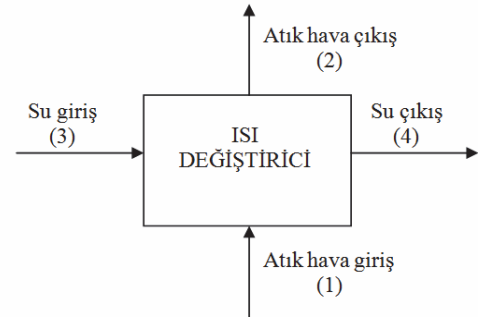
Fiziksel ekserji Denklem (1)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Burada h entalpi (kJ/kg), s entropi (kJ/kgK) ve θ alt simgesi referans hal özelliklerini belirtmektedir. Hava ve suya ait entalpi ve entropi değerleri termodinamik tablolardan [12] alınmıştır.

$$ex = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (1)$$

Toplam ekserji akımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\dot{E}x = \dot{m} ex \quad (2)$$

Şekil 1'de ısı değiştiriciye ait kontrol hacmi görülmektedir. Yukarıda belirtilen kabuller göz önüne alınarak, ısı geri kazanım sistemi için kütle, enerji ve ekserji denklemleri Denklem (3)-(5)'deki gibidir.



Şekil 1. Isı değiştiriciye ait kontrol hacmi

$$\dot{m}_{w,i} + \dot{m}_{a,i} = \dot{m}_{w,o} + \dot{m}_{a,o} \quad (3)$$

$$\dot{E}_{w,i} + \dot{E}_{a,i} = \dot{E}_{w,o} + \dot{E}_{a,o} \quad (4)$$

$$\dot{E}x_{w,i} + \dot{E}x_{a,i} = \dot{E}x_{w,o} + \dot{E}x_{a,o} + \dot{E}x_d \quad (5)$$

Sistemin ekserji verimi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}x_{w,o} - \dot{E}x_{w,i}}{\dot{E}x_{a,i} - \dot{E}x_{a,o}} \times 100 \quad (6)$$

Isı geri kazanım sistemi direkt ısıtmalı ramöze bağlı olduğundan, bu sistem yardımıyla geri kazanılan enerji ve ekserji miktarı da hesaplanmalıdır. Geri kazanılan enerji oranı, atık havanın enerjisine (RER_a , Denklem 7) ve ramözde kullanılan yakıtın enerjisine (RER_f , Denklem 8) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Aynı şekilde geri kazanılan ekserji oranlarının ($RExR$) hesaplaması da Denklem (9) ve (10)'da gösterildiği gibidir.

$$RER_a = \frac{\dot{E}_{w,o} - \dot{E}_{w,i}}{\dot{E}_{a,i}} \times 100 \quad (7)$$

$$RER_f = \frac{\dot{E}_{w,o} - \dot{E}_{w,i}}{\dot{E}_f} \times 100 \quad (8)$$

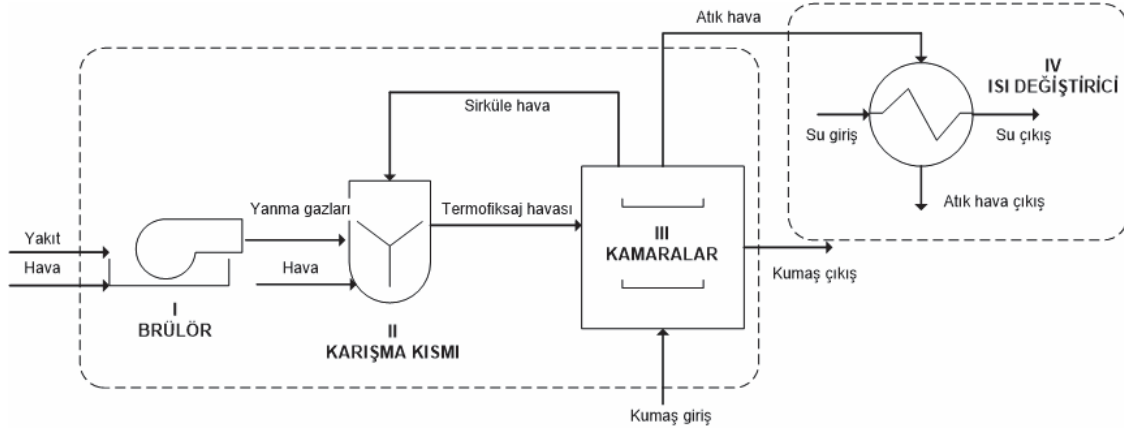
$$RExR_a = \frac{\dot{E}x_{w,o} - \dot{E}x_{w,i}}{\dot{E}x_{a,i}} \times 100 \quad (9)$$

$$RExR_f = \frac{\dot{E}x_{w,o} - \dot{E}x_{w,i}}{\dot{E}x_f} \times 100 \quad (10)$$

Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözde yakıt özgül kimyasal ekserjisi Denklem (11)'de gösterildiği gibi hesaplanır. Burada ϕ kimyasal ekserjinin yakıtların alt ısıl değerine oranıdır ve doğal gaz için 1,04 olarak alınmıştır [14]. Doğal gazın alt ısıl değeri 8250 kcal/m³ [26] (~34485 kJ/m³) olarak alınmıştır.

$$ex_{ch} = LHV \phi \quad (11)$$

Yukarıda bahsedilen durumu örneklendirmek amacıyla ısı geri kazanım sisteminin bulunduğu ramözde 180 °C'de termofiksaj işlemi için ekserji analizi yapılmıştır. Ekserji analizi için kullanılan kontrol hacmi Şekil 2'de gösterilmektedir. Analizde ısı geri kazanım sistemindeki su debisi 4,2 kg/s'dir.



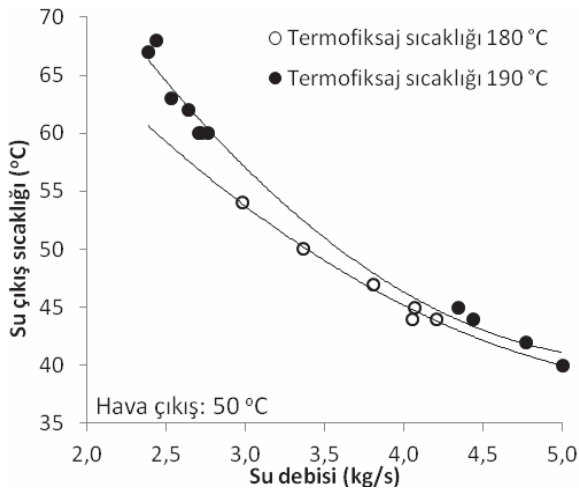
Şekil 2. Isı geri kazanım sistemi bulunan ramöze ait kontrol hacmi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin enerji analizi

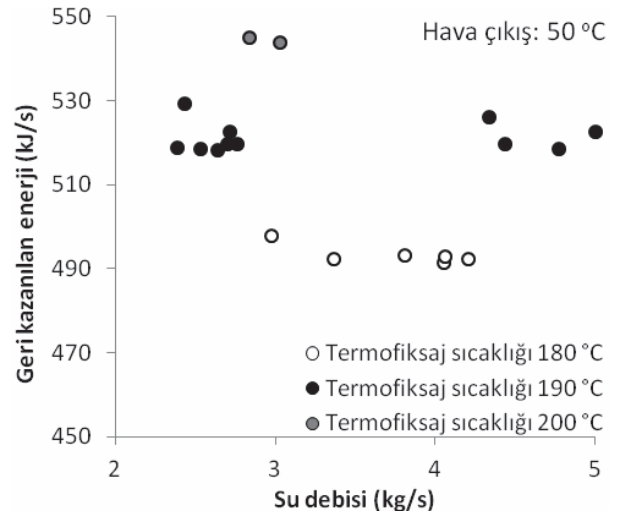
Çalışma kapsamında ilk aşamada ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin enerji analizi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, elde edilen temiz su sıcaklıkları ve geri kazanılan enerjiye sistem parametrelerinin etkisi tartışılmıştır.

Şekil 3'de termofiksaj sıcaklığının, ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminde ısıtılan su sıcaklığına etkisi, su debisine bağlı olarak gösterilmektedir. Atık hava sıcaklığı 180 °C'den 190 °C'ye çıktığında (her iki durumda da atık hava 50 °C'ye kadar soğutulmuştur), ısıtılan su sıcaklığı bir miktar artmıştır. Bu artış düşük su debilerinde daha belirgindir. Su debisi arttıkça, ısıtılan suyun sıcaklığı azalmıştır. 2,5-3 kg/s debi aralığında yaklaşık 55-65 °C'de su elde edilirken, debi 4 kg/s'nin üzerine çıktığında sıcaklık 40-45 °C'lere kadar düşmüştür.



Şekil 3. Termofiksaj sıcaklığının, su debisine bağlı olarak elde edilen su sıcaklığına etkisi

Şekil 4'de ise termofiksaj sıcaklığının sistemde geri kazanılan enerjiye etkisi su debisine bağlı olarak verilmektedir. Termofiksaj sıcaklığı arttıkça, geri kazanılan enerji de artmıştır. Bu deneme setinde, hava çıkış sıcaklığı 50 °C seviyelerinde sabit tutulduğundan, atık hava giriş-çıkış sıcaklık farkı, termofiksaj sıcaklığı arttıkça artmaktadır. Dolayısıyla geri kazanılan enerjinin de artıyor olması öngörülen bir durumdur. Geri kazanılan enerji miktarı, su debisinden etkilenmemektedir.



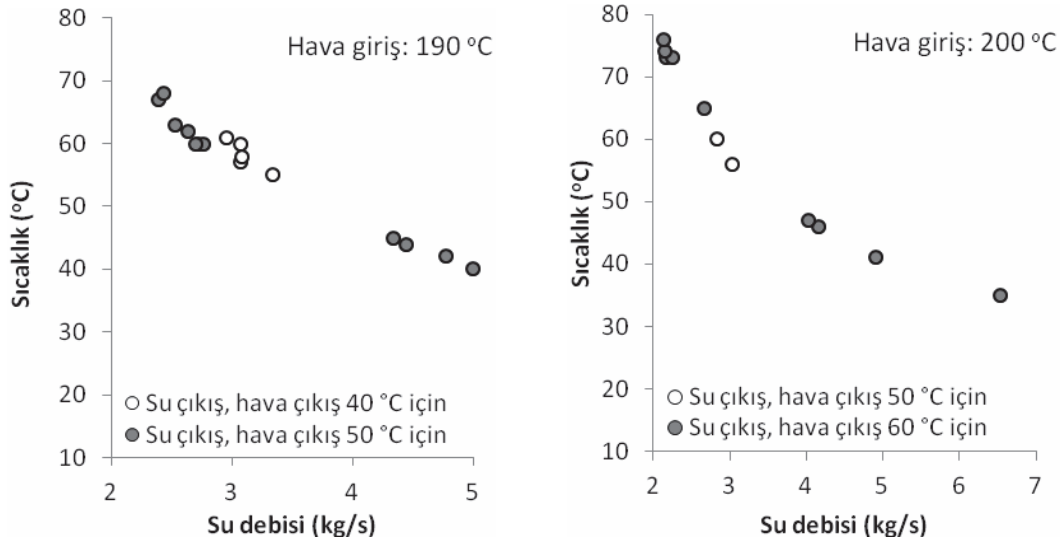
Şekil 4. Termofiksaj sıcaklığının, su debisine bağlı olarak geri kazanılan enerjiye etkisi

Şekil 5'de atık hava çıkış sıcaklığının, ısıtılan suyun sıcaklığına etkisi su debisine bağlı olarak gösterilmektedir. Atık hava giriş-çıkış sıcaklık farkının değişmesi elde edilen su sıcaklığını etkilememektedir. Termofiksaj sıcaklığının etkisinin incelendiği bölümde olduğu gibi, burada da asıl faktör su debisidir. Su debisi arttıkça, atık hava çıkış sıcaklığından bağımsız olarak su sıcaklığı azalmaktadır.

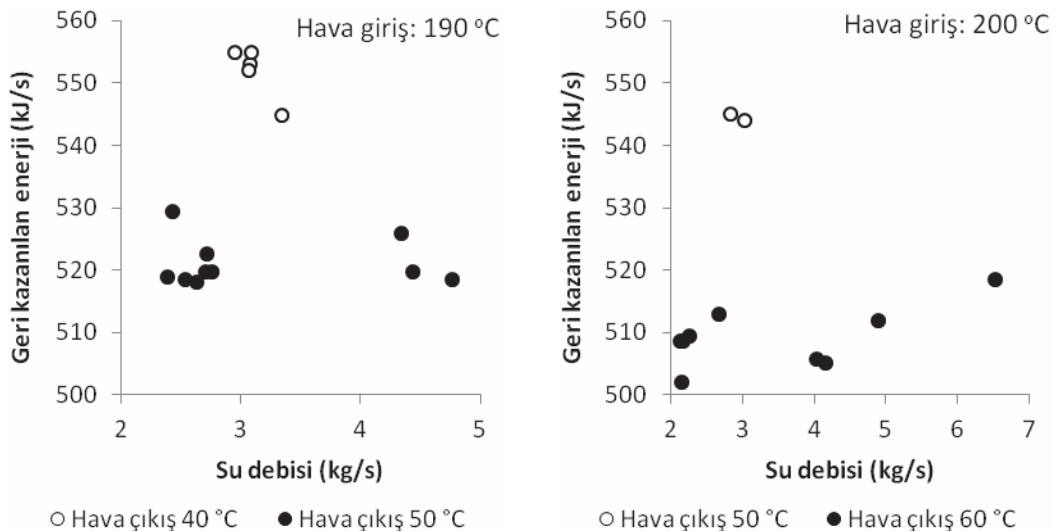
Şekil 6'da ısı geri kazanım sisteminden çıkan atık hava çıkış sıcaklığının geri kazanılan enerjiye etkisi gösterilmektedir. Atık hava giriş-çıkış sıcaklık farkı arttıkça, her ne kadar su sıcaklıklarında belirgin bir değişim gözlenmese de, geri kazanılan enerji artmıştır. Diğer yandan, aynı atık hava giriş-çıkış sıcaklık farkı için (örneğin $190-50=140$ °C ve $200-60=140$ °C) yüksek sıcaklıkta giren atık hava olduğu durumda geri kazanılan enerji değeri daha düşüktür. Bilindiği üzere baca fanları sabit hacimsel debide çalışmaktadır. Hava sıcaklığı arttıkça özgül hacim artacaktır. Bu nedenle geri kazanılan enerjideki bu azalmanın, sabit hacimsel debide çalışan baca fanlarından geçen atık havanın kütsel debisinin azalması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak sonuçlar incelendiğinde, ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin performansını etkileyen en önemli

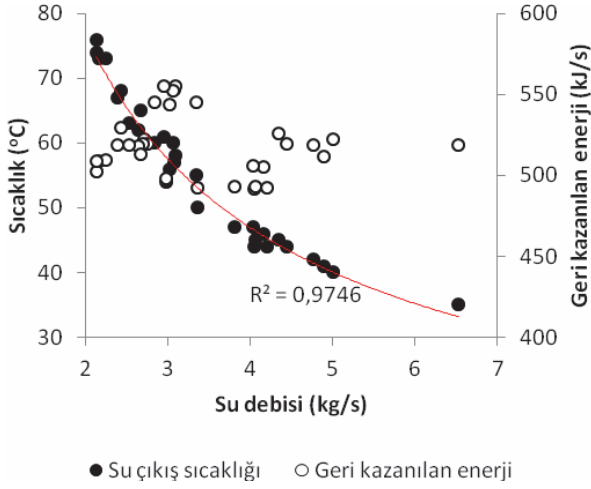
parametrenin su debisi olduğu görülmüştür. Su debisi ile elde edilen su sıcaklığı arasında yüksek bir ilişki vardır (Şekil 7, üstel fonksiyon, $R^2=0,97$). Su debisi arttıkça elde edilen su sıcaklığı azalmıştır. Yaklaşık $2,5$ kg/s su debilerinde ortalama $70-75$ °C su elde edilirken, debi 4 kg/s'nin üzerine çıktığında su sıcaklıkları 40 °C'ye kadar düşmüştür. Diğer yandan, geri kazanılan enerjinin su debisine göre çok fazla değişmediği görülmüştür. Yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi, geri kazanılan enerji diğer sistem parametrelerinden (termofiksaj sıcaklığı, atık hava çıkış sıcaklığı, vb.) etkilenmektedir. Su sıcaklığının seviyesi işletme süreçleri için önemlidir. Su debisi arttıkça daha fazla suyun ısıtılmasına karşın elde edilen su düşük sıcaklıkta olduğundan bu enerjinin kullanılabilirliğinin (ekserjisinin) düşük olacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle, bu çalışmanın ikinci aşamasında sistem ekserji analizinden geçirilerek değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Atık hava çıkış sıcaklığının, su debisine bağlı olarak elde edilen su sıcaklığına etkisi



Şekil 6. Atık hava çıkış sıcaklığının su debisine bağlı olarak geri kazanılan enerjiye etkisi

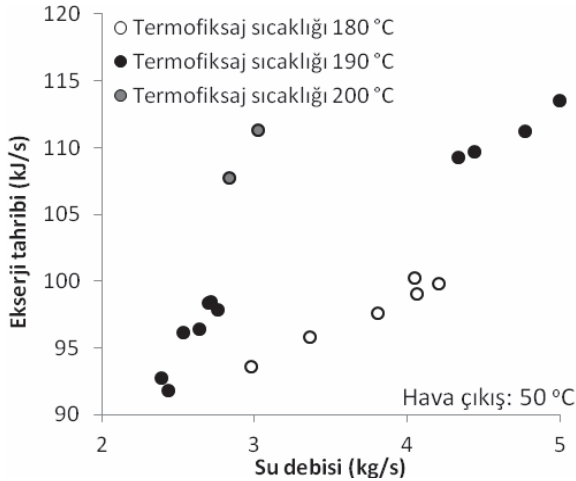


Şekil 7. Su debisine bağlı olarak elde edilen su sıcaklıkları ve geri kazanılan enerji

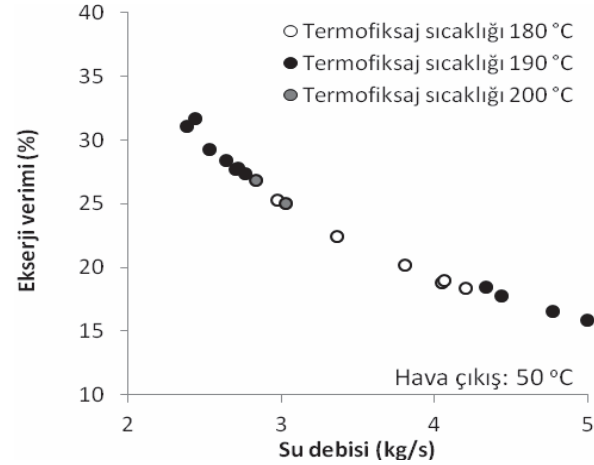
3.2. Ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin ekserji analizi

Termofiksaj atık havası ile temiz işletme suyunun ısıtıldığı ramöz atık havasından ısı geri kazanım sistemi ekserji analizinden geçirilerek, sistem parametrelerinin ekserji tahribi (kJ/s) ve ekserji verimi (%) üzerine etkileri incelenmiştir.

Şekil 8 ve 9'da termofiksaj sıcaklığının sırasıyla sistemde ortaya çıkan ekserji tahribi ve sistemin ekserji verimine etkisi gösterilmektedir. Sistemdeki ekserji tahribi, termofiksaj sıcaklığı arttıkça artmaktadır. Termofiksaj sıcaklığı arttıkça, sisteme giren havanın ekserjisi de artmaktadır. Dolayısıyla yüksek sıcaklıktaki atık hava ile bu havaya kıyasla çok daha düşük sıcaklıkta su elde edilmekte, akımlar arasındaki sıcaklık farkı arttıkça, ekserji tahribi de artmaktadır. Termofiksaj sıcaklığındaki artışın ekserji tahribine etkisi yüksek su debilerinde daha fazladır. Su debisi arttıkça, ısıtılan suyun sıcaklığı azaldığından, akımlar (termofiksaj havası ile çıkan su) arasındaki sıcaklık farkı daha da artmakta, bu da ekserji tahribini artırmaktadır.



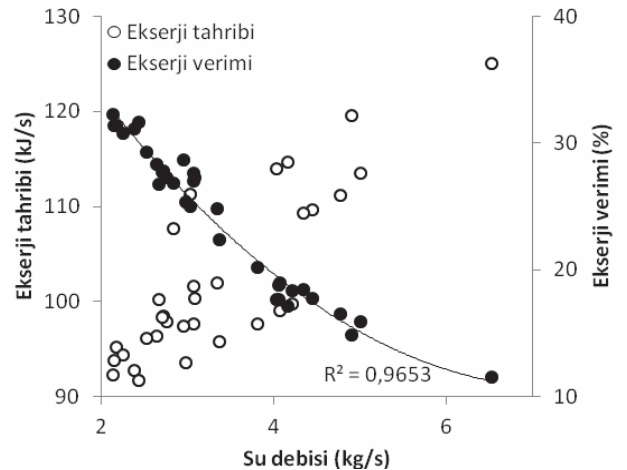
Şekil 8. Termofiksaj sıcaklığının, su debisine bağlı olarak sistemde ortaya çıkan ekserji tahribine etkisi



Şekil 9. Termofiksaj sıcaklığının, su debisine bağlı olarak sistemin ekserji verimine etkisi

Termofiksaj sıcaklığının ekserji verimine etkisinin olmadığı görülmüştür. Ekserji verimi bir nevi sisteme giren ekserjinin ne kadarının geri kazanıldığını ifade etmektedir. Buna göre sistemde geri kazanılan ekserji, termofiksaj sıcaklığından bağımsız olarak, su debisine bağlı olarak değişmektedir. Su debisi arttıkça sistemin ekserji verimi azalmaktadır.

Sistemden alınan tüm veriler analiz edildiğinde, sistemin ekserjetik parametrelerini etkileyen en önemli faktörün su debisi olduğu görülmüştür. Su debisi arttıkça ekserji tahribi artmakta, ekserji verimi azalmaktadır (Şekil 10). Yukarıda bahsedildiği gibi, su debisi arttıkça çıkan suyun sıcaklığı azalmakta, bu da atık hava ile çıkan su sıcaklık farkını artırmaktadır. Bu durumda işe dönüştürülme potansiyeli yüksek enerji, düşük sıcaklık nedeniyle kullanılabilirliği düşük enerjiye dönüştürülmekte, dolayısıyla ekserji tahribi yüksek olmaktadır. Ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin ekserji verimlerine bakıldığında, su debisine bağlı olarak yaklaşık %10 ile %30 arasında olduğu görülmüştür. Yani, yüksek su debilerinde %10, düşük su debilerinde %30 kadar ekserji geri dönüştürülebilmektedir.

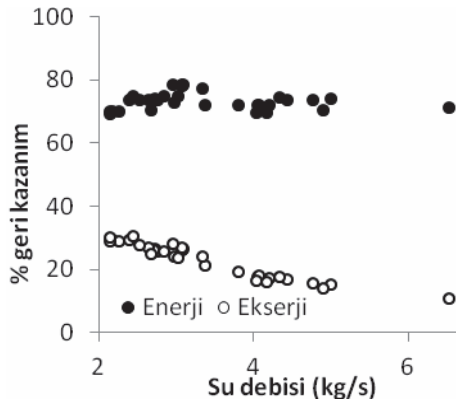


Şekil 10. Su debisine bağlı olarak ekserji verimi ve ekserji tahribi

Sonuç olarak, mevcut sistemde işletme ortamında alınan ölçümler sonucunda, düşük su debilerinde çalışmanın daha verimli olduğu görülmüştür. Böylelikle hem daha yüksek sıcaklıkta su elde edilmekte, hem de sistemin ekserji tahribi daha düşük olmaktadır.

3.3. Atık hava ve yakıtı göre enerji ve ekserji geri kazanım oranları

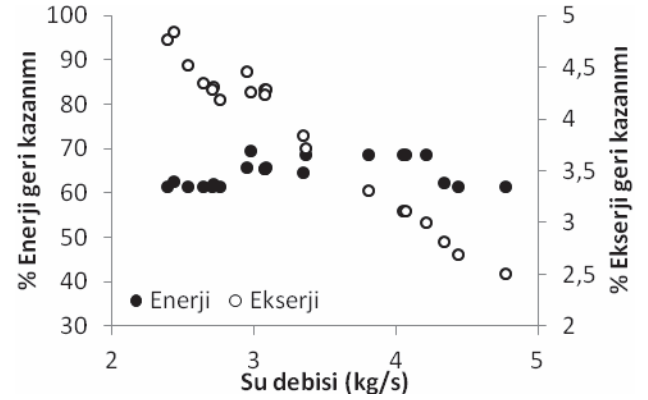
Ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin performansını etkileyen parametreler ve bu parametrelere bağlı olarak enerji ve ekserji geri kazanımları yukarıdaki bölümlerde verilmiştir. Isı geri kazanım sisteminde geri dönüştürülen enerji kaynağı atık havadır. Şekil 11'de atık havanın enerjisinin ve ekserjisinin hangi oranda geri dönüştürülebildiği su debisine bağlı olarak karşılaştırılmaktadır. Isı geri kazanım sistemi ile atık havanın enerjisinin %70-80 oranında geri dönüştürülüp tekrar kullanılabilirdiği görülmüştür. Geri kazanılan enerji oranı su debisinden etkilenmemektedir. Atık havanın ekserjisinin geri kazanım oranı ise su debisine bağlı olarak değişmekte, su debisi arttıkça azalmaktadır. Ekserji geri kazanım oranı, enerji geri kazanımına göre oldukça düşüktür (%10-30 arasında).



Şekil 11. Atık havanın enerjisinin ve ekserjisinin geri kazanılma oranı

Şekil 11'de verilen sonuçlar sistemin enerji ve ekserji verimiyle benzerdir. Diğer yandan, ramözdeki temel enerji kaynağı ramöze giren yakıttır (bu uygulama için doğal gaz). Bu nedenle, ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin performansının yakıtı göre de değerlendirilmesi kazanımların boyutlarının bilinmesi açısından faydalı olacaktır. Bu amaçla analiz yapılan fabrikadan termofiksaj işlemi sırasında tüketilen doğal gaz miktarı alınmış (180 °C'de fiksaj için ortalama 1,25 m³/dk; 190 °C'de termofiksaj için ortalama 1,47 m³/dk) ve kullanılan yakıtın enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır.

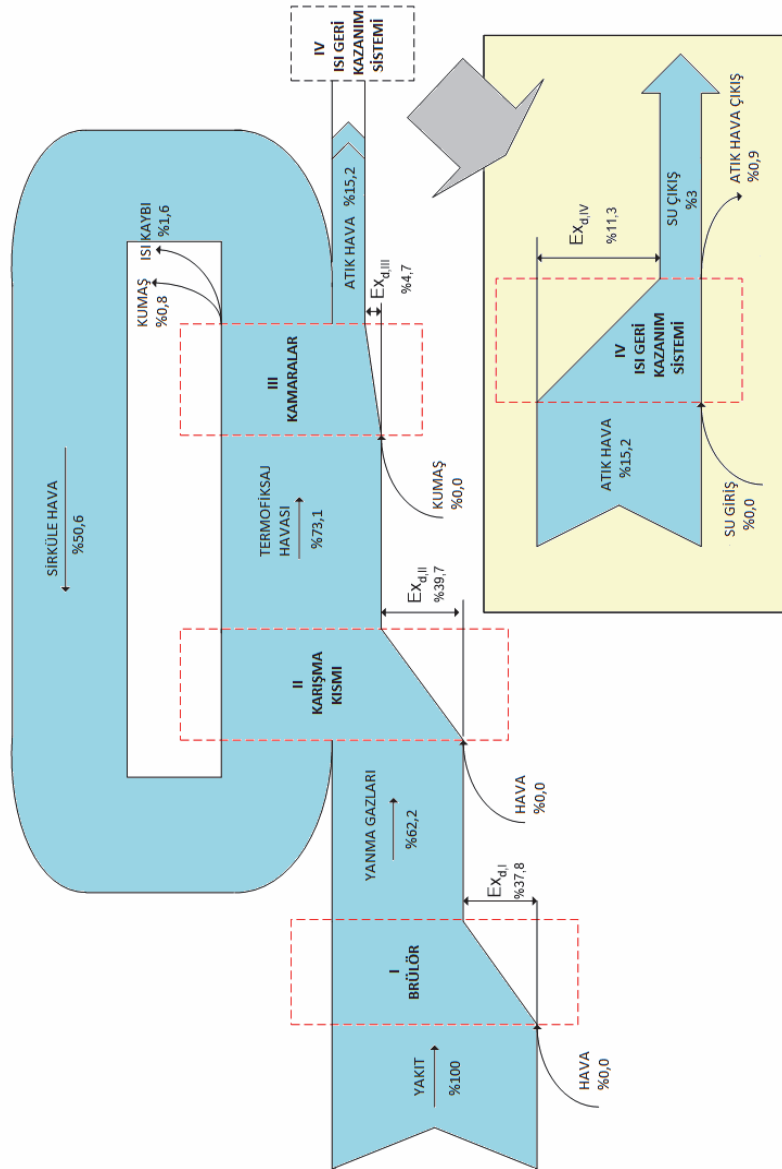
Şekil 12'de yakıtın enerji ve ekserjisinin hangi oranda geri dönüştürüldüğü su debisine bağlı olarak karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi, ramöz atık havasından ısı geri kazanım sistemi kurulması ile ramözde kullanılan doğal gazın enerjisi %60-70 oranında geri kazanılabilmektedir. Diğer yandan ekserji geri kazanım oranı, yakıtı göre değerlendirildiğinde oldukça düşüktür. Yakıtı göre ekserji geri kazanımı su debisine bağlı olarak %2,5-5 arasındadır.



Şekil 12. Yakıtın enerji ve ekserjisinin geri kazanılma oranı

Ramöze giren yakıt, brülörde yakılmakta ve yanma gazları ile kurutma havası ısıtılmaktadır. Cay vd.'de [21] de gösterildiği gibi, brülör kısmındaki tersinmezliklerden dolayı büyük bir ekserji tahribi ortaya çıkmaktadır. Yanma işlemi çok önemli bir tersinmezlik kaynağıdır. Bununla birlikte, yanma işleminde ortaya çıkan tersinmezlikleri büyük ölçüde azaltmak mümkün olamamaktadır. Ekserji tahribini azaltmak için hava-yakıt oranının azaltılması ve yanma havasının ön ısıtmasının yapılmasının faydalı olacağı bilinmektedir, ancak birçok durumda bu önlemler toplam ekserji tahribinin ancak küçük bir kısmını yok etmektedir [15]. Yanma işleminden sonra, yanma gazları sirkülasyon havası ile karıştırılmakta ve kurutma (veya termofiksaj) havası istenen sıcaklığa ısıtılmaktadır. İkinci büyük ekserji tahribi, yanma gazlarının sirkülasyon havası ve temiz hava ile karışması esnasında ortaya çıkmaktadır. Akımların karıştırılması sırasında, akımlar arasındaki sıcaklık farkı arttıkça, ortaya çıkan ekserji tahribi de artmaktadır [15]. Direkt yakmalı ramözlerde çok yüksek sıcaklıktaki yanma gazları ile daha düşük sıcaklıktaki kurutma sirkülasyon havası karıştığından ortaya çıkan ekserji tahribi de büyük olmaktadır. Fanlarda ve kamaralarda da bir miktar ekserji tahribi olacağı göz önüne alındığında, ramöze yakıt ile giren ekserji akımının büyük bir kısmının tahrip olduğu ve çıkan atık havanın ekserjisinin oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır. Son olarak da ısı geri kazanım sisteminde daha yüksek sıcaklıktaki atık hava (yüksek sıcaklıkta olduğundan) ile çok daha düşük sıcaklıkta su elde edildiğinden, burada da bir ekserji tahribi ortaya çıkmakta, dolayısıyla suya aktarılan ekserji iyice azalmaktadır. Bu nedenle yakıtı göre ekserji geri kazanım oranı oldukça düşüktür.

Isı geri kazanım sisteminin bağlı bulunduğu ramözle birlikte analiz edilmesini örneklendirmek amacıyla ısı geri kazanım sisteminin bulunduğu ramözde 180 °C'de termofiksaj işlemi için ekserji analizi yapılmıştır. Şekil 13'de bu analize ait Grassman diyagramı gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, yakıtın ekserjisi termofiksaj işlemi süresince büyük oranda tahrip edilmektedir. Brülör ve karışma kısmında oldukça yüksek ekserji tahribi görülmekte iken kamaralarda (yani kumaşın ısıtılması işleminde) ortaya çıkan ekserji tahribi düşüktür. Isı geri kazanımı ile geri dönüştürülen ekserji, bu örnekte yakıtın ekserjisinin yalnızca %3'ü kadardır.



Şekil 13. Ramöz ve ısı geri kazanım sistemi için ekserji kayıp ve akış (Grassman) diyagramı

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında işletme ölçekli ramöz atık havasından ısı geri kazanım sisteminin enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Isı geri kazanım sisteminde, termofiksaj işleminde açığa çıkan kuru atık hava ile işletme suyu ısıtılmaktadır. Termofiksaj sıcaklığı arttıkça, özellikle düşük su debilerinde ısıtılan su sıcaklığı bir miktar artmıştır. Ayrıca termofiksaj sıcaklığındaki artış geri kazanılan enerji miktarını da artırmıştır. Sistemde su çıkış sıcaklığını etkileyen en önemli parametrenin su debisi olduğu görülmüştür. Su debisi arttıkça elde edilen su sıcaklığı azalmıştır. Su debisi azaltıldığında (yaklaşık 2-2,5 kg/s debilerde) 70-75 °C’de sıcak su elde edilebildiği görülmüştür.

Isı geri kazanım sistemine ekserji analizi uygulanarak sistem parametrelerine bağlı olarak ekserji tahribi ve ekserji verimi değerlendirilmiştir. Termofiksaj sıcaklığı arttıkça ekserji tahribi

artmaktadır. Bu artış yüksek su debilerinde daha belirgindir. Ekserji verimi ise termofiksaj sıcaklığından ziyade su debisiyle ilişkilidir. Su debisi arttıkça sistemin ekserji verimi düşmektedir. Sistemin ekserji verimi, su debisine bağlı olarak yaklaşık %10-%30 olarak hesaplanmıştır.

Mevcut sistemde işletme ortamında alınan ölçümler sonucunda, düşük su debilerinde çalışmanın daha verimli olduğu görülmüştür. Böylelikle hem daha yüksek sıcaklıkta su elde edilmekte, hem de sistemin ekserji tahribi daha düşük olmaktadır.

Analiz edilen ısı geri kazanım sisteminde termofiksaj atık havası kullanılmıştır. Dolayısıyla atık havada nem bulunmamaktadır. İlerleyen çalışmalarda, kurutma işlemleri sonucu açığa çıkan nemli atık hava ile işletme suyu ve/veya kurutma havasının ısıtıldığı ısı geri kazanım sistemlerinin termodinamik modellenmesinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ege Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (Proje no: 13-TKUAM-003) tarafından desteklenmiştir.

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
ex	özgül ekserji (kJ/kg)
\dot{E}_x	ekserji akımı (kJ/s)
ε	ekserji verimi (%)
φ	endüstriyel yakıtlar için bir sabit (-)
h	entalpi (kJ/kg)
\dot{m}	kütleli debi (kg/s)
s	entropi (kJ/kgK)
T	sıcaklık (K veya °C)

<u>Alt indis</u>	<u>Açıklama</u>
0	referans çevre
a	hava, hava ile ilişkili
ch	kimyasal
d	tahrip
f	yakıt, yakıt ile ilişkili
i	giriş
o	çıkış
w	su

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
LHV	alt ısı değer (kJ/kg)
RER	geri kazanılan enerji oranı (%)
RExR	geri kazanılan ekserji oranı (%)

KAYNAKLAR

- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), (2002), *Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for the Textiles Industry*, European Commission Directorate-General Joint Research Centre.
- Brückner Stenters and ECO-HEAT back-pack – heat recovery unit on dryer lower the energy consumption and other inputs at Lucky Tex Processing Mills, Special Mill Report, Pakistan Textile Journal, October 2012, 32-34.
- Brückner to present sustainable solutions at ITMA 2015, Innovation in textiles, 2015, <http://www.innovationintextiles.com/brckner-to-present-sustainable-solutions-at-itma-2015/#sthash.v8AyQsOx.dpuf> (Erişim tarihi: 09.06.2016).
- Stenter frame range Montex 6500, Integrated heat recovery, www.mongfongs.com (Erişim tarihi: 09.06.2016).
- Efficient heat recovery modules, Innovation in textiles, 2015, <http://www.innovationintextiles.com/package/efficient-heat-recovery-modules/> (Erişim tarihi: 09.06.2016).
- Italian textile producers reap benefits of heat recovery system, Application reports, www.monforts.de (Erişim tarihi: 09.06.2016).
- Energy Tower 7000, Stand-alone module for heat recovery, Energy saving, www.monforts.de (Erişim tarihi: 09.06.2016).
- Eco Booster HRC, Energy saving, www.monforts.de (Erişim tarihi: 09.06.2016).
- Oğulata, R.T., (2004), *Utilization of waste-heat recovery in textile drying*, Applied Energy, 79, 41-49.
- Şekkeli, M., Keçecioglu, Ö.F., (2012), *Scada based an energy saving approach to operation of stenter machine in a textile plant using waste heat recovery system*, Tekstil ve Konfeksiyon, 22(3), 248-257.
- Tarakçioğlu, I., Karaaslan, M.A., Çay, A., (2008), *An experimental study on the heat recovery from the exhaust air of stenters with a packed bed column*, International Journal of Energy Research, 32, 648-654.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., (2001), *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 4th ed., McGraw-Hill, New York.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., (1995), *Thermal Design and Optimization*, Wiley, New York.
- Kotas, T.J., (1995), *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, Krieger Publishing, Malabar, FL.
- Moran, M.J., (2000), *Exergy Analysis*, in The CRC Handbook of Thermal Engineering. Ed. Kreith, F., CRC Press, Boca Raton, FL.
- Szargut, J., Morris, D.R., Steward, F.R., (1998), *Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes*, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- De Palmenaer, A., Seide, G., Gries, T., (2015), Exergetic analysis of the thermal conversion process in PAN-based carbon fibre production, Tekstil ve Mühendis, 22(97), 7-13.
- Manfrida, G., (1984), *Improvements in energy savings by means of second-law analysis: An application to textile industrial plants*, Heat Recovery Systems, 4(5), 329-332.
- Cay, A., Tarakçioğlu, I., Hepbasli, A., (2007), *Exergetic performance assessment of a stenter system in a textile finishing mill*, International Journal of Energy Research, 31(13), 1251-1265.
- Cay, A., Tarakçioğlu, I., Hepbasli, A., (2009), *A study on the exergetic analysis of continuous textile dryers*, International Journal of Exergy, 6(3), 422-439.
- Cay, A., Tarakçioğlu, I., Hepbasli, A., (2010), *Exergetic analysis of textile convective drying with stenters by sub-system models: Part I- Exergetic modeling and evaluation*, Drying Technology, 28(12), 1359-1367.
- Cay, A., Tarakçioğlu, I., Hepbasli, A., (2009), *Assessment of finishing processes by exhaustion principle for textile fabrics: An exergetic approach*, Applied Thermal Engineering, 29, 2554-2561.
- Mozes, E., Cornelissen, R.L., Hirs, G.G., Boom, R.M., (1998), *Exergy analysis on the conventional textile washing process*, Energy Conversion and Management, 39(16-18), 1835-1843.
- Cay, A., Ozguney, A.T., Yavas, A., (2012), *Application of exergy analysis to textile printing process*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 20(95), 37-42.
- Kandilli, C., Koclu, A., (2011), *Assessment of the optimum operation conditions of a plate heat exchanger for waste heat recovery in textile industry*, Renewable and Sustainable Energy reviews, 15, 4424-4431.
- Tesisat dergisi, Sanayide 1000 kcal ısı ihtiyacı için gerekli olan çeşitli yakıtlar için maliyet karşılaştırma tablosu (27 Temmuz 2017 yakıt fiyatları, sanayi), <http://www.tesisat.com.tr/yayin/yakit-fiyatları/> (Erişim tarihi: 18.08.2017).