

ISI POMPALI TEKSTİL KURUTMA MAKİNELERİNDE KURUTMA HAVASI DEBİSİNİN KURUTUCU PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ

Muammer Durmuş

Kırıkkale Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale

Kemal Bilen*

Yrd. Doç. Dr.
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü,
Ankara
kemal.bilen@ybu.edu.tr

İbrahim Uzun

Prof. Dr.,
Kırıkkale Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü,
Kırıkkale

ÖZET

Tekstil (çamaşır) kurutma makineleri, enerji alanında dışarıya bağımlı olan ülkemizde bir enerji çıktısı olarak evlerimize girmektedir. Bu nedenle, daha az enerji tüketen kurutma makinelerinin yapılmasına yönelik çalışmalar daha da önem kazanmıştır.

Bu çalışmada; farklı kuru tekstil kütlelerinde ve bu tekstilin farklı namlendirilme oranlarında kurutma havası debisi değişiminin ısı pompalı kurutucu performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan 36 adet deneyden her biri için belirli zaman aralıkları sonunda, soğutucu akışkan tarafındaki sıcaklık değerleri ile kurutma havası tarafındaki bağıl nem ve sıcaklık değerleri veri toplama sistemi aracılığıyla kaydedilmiştir. Ayrıca; her bir deney için deneylerin sonunda, uzaklaştırılan nem kütlesi ve makinenin harcadığı enerji tespit edilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak oluşturulan grafikler son bölümde yorumlanarak verilmiştir. Son olarak, belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak bütün deneyler için hata analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil kurutma makinesi, çamaşır kurutma makinesi, ısı pompalı kurutucu, değişken hava debisi, nem alma

Experimental Analysis of Effect of Air Flow Rate on the Heat Pump Based Dryer Performance

ABSTRACT

Textile drying machines enter our homes as an energy output in our country which is dependent on foreign world in the energy area. Therefore, it has been more important to make drying machines consuming less energy.

In this study; effects of drying air flow rate on the performance of the heat pump based dryer are investigated for different dry textile mass and different textile humidification rate, experimentally. For each experiment from all of the 36 experiments, temperature values at the refrigerant side and relative humidity, and temperature values at the air side were collected by a data acquisition system at the end of the specific time intervals. In addition, moisture amount removed from textile and energy consumption of the machine were determined at the end of each experiment. Graphs obtained by using experimental dates are given with comments in the conclusion. Finally, error analysis was performed by using uncertainty analysis for each experiment.

Keywords: Tumble dryer, drying machine, heat pump based dryer, variable air flow rate, moisture extraction

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 16.11.2012
Kabul tarihi : 07.01.2013

Durmuş, M., Bilen, K., Uzun, İ. 2012. "Isı Pompalı Tekstil Kurutma Makinelerinde Kurutma Havası Debisinin Kurutucu Performansına Etkisinin Deneysel Analizi," Mühendis ve Makina, cilt 53, sayı 635, s. 40-50

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze tekstillerin kurutulması sadece evlerin balkonlarında veya açık alanlarda yapılmaktaydı. Fakat bu tür kurutmada kurutma işlemi doğrudan hava koşullarına bağlı olmakta ve kurutma uzun süren bir işlem olmaktadır. Günümüz yaşam koşullarında tekstilleri kurutacak alanların azalması, insanların hızlı bir kurutma işlemine ihtiyaç duyması ve özellikle bazı coğrafi bölgelerde iklimin kurutma için uygun olmaması nedeniyle çamaşır kurutma makinelerinin kullanılması ihtiyaç haline gelmiştir.

Geleneksel kurutma işlemlerinde herhangi bir enerji sarfiyatı olmamaktadır. Buna karşılık, çamaşır kurutma makineleri elektrik enerjisi harcamaktadır. Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç; sanayinin gelişmesi, dünya nüfusunun artması, günlük yaşamda kullandığımız makinelerin sayısının artması gibi nedenlerle devamlı artmaktadır. Enerjiye olan ihtiyacın artmasına rağmen kullanılan enerji kaynakları ise sınırlıdır. Bu yüzden günlük yaşamda kullandığımız makineler arasında yer almaya başlayan çamaşır kurutma makinelerinin enerji verimliliği önemli bir konu haline gelmiş olup bu konuda sürekli artan sayıda çalışmalar yapılmaktadır.

Çamaşır (tekstil) kurutma makineleri, tekstil yıkandıktan sonra tekstilde kalan nemi istenilen orana istenilen sürede kontrollü bir şekilde getiren elektrikli makinelerdir. Birçok farklı modeli olmasına rağmen genel olarak bu makineler, nem alma kapasitesi artırılmış ortam havasının tekstil üzerinden geçirilerek tekstilin nemini alma prensibiyle çalışırlar. Çamaşır kurutma makinesi olarak birçok farklı model yapılmıştır. Bunlar; bacalı, kondenserli (yoğuşturucu), ısı pompalı, mikrodalgalı, santrifüjlü ve vakumlu çamaşır kurutma makinelidir. Piyasada en yaygın olarak kullanılan modeller ise; bacalı, kondenserli ve ısı pompalı çamaşır kurutma makineleridir.

Bu çalışmanın konusu olan ısı pompalı çamaşır kurutma makinelerinde, sistemde dolaşan havanın nemini almak için ısı pompası kullanılır. Kurutma makinesi içindeki sıcak ve nemli hava ısı pompası üzerinden geçirilir. Bu sırada ısı pompasının buharlaştırıcısı, havanın içindeki su buharını yoğuşturur ve elde edilen su toplama haznesine iletilir. Isı pompasının yoğuşturucusu ise kurutma havasını ısıtır. Bu yüzden hem kurutma makinesi için dışarı açılan kanal sistemine gerek olmaz hem de ısının dışarı atılması yerine kurutucunun içinde kalması temin edilmiş olur. Bu yüzden ısı pompalı kurutucular, bacalı veya kondenserli kurutma makinelerine göre enerji sarfiyatı açısından çok daha verimli olmaktadır.

Bu çalışmada; evlerde tekstil kurutmak için en sık kullanılan kurutma makinesi türü olan ısı pompalı çamaşır kurutma makinesine ait deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler, üç farklı kuru tekstil kütlesinde ve bu tekstilleri üç farklı namlendirme oranında namlendirilerek yapılmıştır. Ayrıca bir invertör (frekans değiştirici) yardımıyla sistemde dolaşan kurutma ha-

vasının debisi değiştirilerek dört farklı debide deneyler tekrarlanmıştır. Böylece kurutma havası debisinin; SMER, MER ve kurutma verimine olan etkisi incelenmiştir.

2. SİSTEMİN TANITIMI

2.1 Tekstil Kurutma Makineleri ve Çalışma Sistemleri

Kurutma, katı veya katı hâle yakın durumdaki maddelerden uygun miktarda suyun/su buharının uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma, günümüzde birçok sektörde kullanılan bir işlemdir. Kurutma işleminin uygulandığı sektörler arasında tekstil sektörü de bulunmaktadır. Tekstil ürünleri üretim süreci içerisinde bir takım ıslak işlemlere tabi tutulmakta ve bu işlemlerden sonra kurutulmaları gerekebilmektedir. Aynı zamanda, tekstil endüstrisi yanında insanların gündelik kullanımları sonucunda kirlenen tekstil ürünlerinin yıkanmasının ardından kurutulması da gerekmektedir.

Çağımızda nemi alınması istenen tekstil ürünlerinin kurutulması farklı yollardan gerçekleştirilmektedir. Bu kurutma yöntemlerinin başında tabii kaynaklar olan güneş ve rüzgârdan yararlanma gelmektedir. Fakat güneşte kurutmanın bir takım sakıncaları vardır. Kullanıcı açısından zahmetli ve zaman alıcı olmasının yanında, açık havada ve güneş ışınlarına maruz kalan tekstilin kirlenme ve solma gibi durumları bu sakıncalar arasında sayılabilmektedir. Aynı zamanda günümüzde yapılan yeni binaların balkonlarının kurutma açısından çok uygun olmaması kurutma işlemi zorlaştırmaktadır. Yukarıda ifade edilen bu sakıncalarla birlikte tüketicilerin ihtiyaç ve beklentileri birleşince tekstil ürünlerini kurutma makinesi ortaya çıkmıştır.

Çamaşır kurutma makineleri; ıslak tekstilde bulunan nemi, kontrollü bir şekilde belirli bir sürede istenilen nem oranına kadar azaltan elektrikli ev aletleridir. Evsel çamaşır kurutma makinelerinin kullanımı gittikçe artmaktadır. Bununla beraber, çamaşır kurutma makinelerinin tasarımında, tekstilden nem alma karakterinin irdeleniyor olması önem taşımaktadır. Tüketicilerin çamaşır kurutma makinelerinden beklentileri; kısa sürede, tekstil ürünlerine zarar vermeden ve en az enerji tüketimiyle tasarruflu bir kurutma yapmasıdır [1].

Günümüzde genel olarak piyasada kullanılan üç tip çamaşır kurutma makinesi modeli vardır. Bunlar; bacalı, kondenserli ve ısı pompalı çamaşır kurutma makineleridir. Bacalı tip çamaşır kurutma makinesinde tekstili kurutmak için kullanılan hava ortamdandır. Sonra ısıtıcıda ısıtılarak tambura verilir böylece tekstilin nemi alınır ve en son olarak da ortama geri verilir. Bacalı tip makinedeki hava çıkış yeri ihtiyacı önlemek için başka bir tip çamaşır kurutma makinesi tasarlanmıştır. Bu da kondenserli tip çamaşır kurutma makinesidir. Bacalı çamaşır kurutma makinesi ile kondenserli çamaşır kurutma makinesi arasındaki ana fark, kondenserli çamaşır kurutma

makinesinde tekstili kurutmak için sürekli aynı havanın kullanılmasıdır. Tekstili kurutmak için kullanılan hava kapalı bir çevrim içinde dolaşır. Havanın dolaşımı bir fan ile sağlanır. Isıtıcıdan geçen hava tambura verilerek tekstilin neminin alınması sağlanır. Hava filtreden geçtikten sonra bir yoğuşturucuya gelir ve havanın aldığı nem burada yoğuşur. Hava yeniden ısıtılır, böylece sürekli bir hava çevrimiyle tekstil kurutulmuş olur. Yoğuşma, havanın soğutulmasıyla gerçekleştirilir. Bu durumda ikinci bir fan, yoğuşturucu içinde hava akımını sağlar. Soğutucu hava ile kurutma havası arasındaki sıcaklık farkından dolayı su buharı yoğuşur. Yoğuşan su buharı, bir haznede toplanarak su tankına gönderilir [2].

2.2 Tekstil Kurutma Makinesi Çeşitleri

Genel olarak çamaşır kurutma makinesi çeşitleri kaynaklarda [3] şu şekilde verilir: Bacalı, kondenserli, ısı pompalı, mikrodalgalı, santrifüjlü ve vakumlu çamaşır kurutma makineleri.

2.2.1 Isı Pompalı Tekstil Kurutma Makineleri ve Çalışma Prensibi

Isı pompalı çamaşır kurutma makinelerini diğerlerinden ayıran en büyük fark, diğer kurutucularda mevcut olan ve enerji tüketiminin artmasında önemli bir rol oynayan ısıtıcının, ısı pompalı kurutucuda olmamasıdır. Bu makinelerde gerçek anlamda enerji tasarrufu olmaktadır. Isı pompalı çamaşır kurutma makinesi, kurutma havasından nemi uzaklaştıran kapalı devreli bir kurutma sistemidir. Çalışma sistemi olarak kondenserli çamaşır kurutma makinesine benzese de ikisinin arasında önemli farklılıklar mevcuttur.

Isı pompalı çamaşır kurutma makinesinde ilk önce, tamburdan gelen nemli hava, buharlaştırıcı borularının üzerinden geçerek içerisindeki nem yoğuşur. Böylece hava, ısısını ve nemini buharlaştırıcının üzerine bırakarak yoğuşturucuya geçer. Kurut-

ma havası yoğuşturucudan geçerken ısınır. Isınmış olan hava, bir fan yardımıyla tamburun içine üflenir. Tamburun hareketiyle nemli tekstil ile temas eden sıcak hava, tekstil içerisindeki nemin buharlaşmasını sağlar, böylece hava tekrar nemlenir. Tamburdan gelen nemli hava, kanaldan buharlaştırıcıya geçer. Kurutma işlemi süresince bu olaylar sürekli olarak tekrarlanır. Isı pompalı çamaşır kurutma makinesinde dolaşan havanın sıcaklığının diğer kurutuculara göre düşük olmasından dolayı kurutulan tekstil, bunlarda zarar görmez [3].

Bu uygulamada tamburdan (kurutucudan) gelen egzoz havası, taşıdığı nemin uzaklaştırılabilmesi için yoğuşma sıcaklığının altına soğutulmalıdır. Bu sürecin izlediği yol, psikrometrik diyagramda yine Şekil 1'de görülmektedir. Tamburdan gelen egzoz havasının ısı pompası buharlaştırıcısına giriş koşulları 2 noktası ile belirlenir. Buharlaştırıcıda önce egzoz havasının sıcaklığı düşer (3), ardından içerdiği nem yoğuşarak 4 noktası ile gösterilen koşullara ulaşılır. Nemi uzaklaştırılan egzoz havası, ısı pompası yoğuşturucusunda ısıtılarak 1 noktası ile gösterilen koşullara tekrar getirilir [4].

2.3 Tekstil Kurutucularda Kurutma Süreçleri

Tekstil kurutma sistemlerinde, tekstilin ıslak halden kuru hale geçişinde belirgin olup ayırt edilebilir üç farklı süreç vardır. Bunlar; ısınma süreci, kararlı süreç ve düşme sürecidir [5].

Bu süreçlerden ilki olan ısınma sürecinde, tekstil en yüksek nem düzeyinde ve kuru hava da yeterli ölçüde kuru haldedir. Bu ilk süreçte, kurutulacak olan tekstilin yüzey sıcaklığı, kuru havanın yaş termometre sıcaklığından daha düşüktür. Bu durumda, kuru havanın yaş termometre sıcaklığı azaltılmalı ve tekstilin yüzey sıcaklığı artırılmalıdır. Kuru hava bu yüzden tekstile ısı geçişi sağlarken tekstil de havaya nem geçişi sağlar. Bu süreç, tekstilin yüzey sıcaklığının havanın yaş termometre sıcaklığına eşit olduğu zaman sona erecektir.

Tekstil kurutma süreçlerinin ikincisi olan kararlı süreçte ise, tekstilin yüzey sıcaklığı ile havanın yaş termometre sıcaklığı sürekli aynı kalmaktadır. Tekstilden havaya dengeli bir nem geçişi meydana gelmektedir ve bu süre zarfında tamburdaki kurutma işlemi buharlaşma yoluyla olmaktadır. Kararlı durumdaki bu buharlaşmanın nedeni, ıslak tekstilin yüzeyine bitişik havanın kısmi basınç değeri ile tamburdaki sıcak havanın kısmi basınç değeri arasındaki farktır.

Tekstil kurutma süreçlerinin sonuncusu olan düşme sürecinde, değişmeyen hava-tekstil sınır tabakasında, su buharının kısmi basıncını koruyan tekstil yüzeyinin yakınında yetersiz miktarda nem vardır. Böylece; hava-tekstil sınır tabakasında suyun kısmi basıncı azalırken, buharlaşma potansiyeli de azalır.

2.4 Kurutma Sistemlerinde Kullanılan Verim Tanımlamaları

Isı pompalı çamaşır kurutma makinelerinde sistemin veriminin ve etkinliğinin belirlenebilmesi için; özgül nem alma hızı, nem alma hızı, kurutma verimi ve ısı pompası etkenlik katsayısı gibi tanımlamalardan yararlanılır.

2.4.1 Özgül Nem Alma Hızı (SMER)

Isı pompalı bir kurutucunun enerji verimliliği genellikle özgül nem alma hızıyla belirlenir. Bu büyüklük; birim kWh enerji kullanımı için, kurutulacak üründen uzaklaştırılan su kütlesini gösterir ve kısaca SMER olarak adlandırılır. Bir kurutucunun işletme giderleri, enerji verimliliği için önemli bir parametredir. SMER için, SMER_{IP} ve SMER_{ts} şeklinde iki tanımlama yapılabilir [6].

$$SMER = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi}}{\text{Enerji sarfıyatı}} \left[\frac{kg - su}{kWh} \right] \quad (1)$$

$$SMER_{IP} = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi}}{\text{Enerji sarfıyatı (kompresör için)}} \left[\frac{kg - su}{kWh} \right] \quad (2)$$

$$SMER_{ts} = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi}}{\text{Enerji sarfıyatı (tüm sistem için)}} \left[\frac{kg - su}{kWh} \right] \quad (3)$$

2.4.2 Nem Alma Hızı (MER)

Kurutucudan birim zamanda (ortalama olarak) uzaklaştırılan nem kütlesine nem alma hızı denir ve kısaca MER olarak adlandırılır [6].

$$MER = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi}}{\text{Kurutma süresi}} \left[\frac{kg - su}{h} \right] \quad (4)$$

2.4.3 Kurutma Verimi

Kurutma verimi ise, başlangıçta tekstilde bulunan su mikta-

rının ne kadarlık bir yüzdesinin tekstilden uzaklaştırıldığını ifade eder.

$$\% \text{ Kurutma verimi} = \frac{m_1 - m_2}{m_{su}} 100 \quad (5)$$

Burada;

m_1 : Tekstilin ilk durumdaki nemli kütlesi,

m_2 : Tekstilin kurutmadan sonraki kütlesi,

m_{su} : Tekstilde ilk durumda bulunan su kütlesi anlamlarındadır.

2.5 Fan Kanunları

Bu çalışmada incelenen en önemli parametre olan kurutma havası debisinin değiştirilebilmesi için, ısı pompalı çamaşır kurutma makinesinde bulunan fanın frekansı, bir invertör sayesinde kontrollü bir şekilde değiştirilmiştir. Fanın frekansı değiştirilerek fanın gücünün, dolayısıyla da fanın temin ettiği kurutma havasının debisinin değişmesi sağlanmıştır.

Deneyler için ilk önce; fanın normal çalışma şartlarında yani fan, makine içerisindeki şebeke geriliminin frekansı olan 50 Hz frekansında çalışırken fanın çektiği güç enerji analizörü sayesinde tespit edilmiştir. Ayrıca; üretici firmadan, fanın normal çalışma şartlarında sağladığı hava debisi öğrenilmiştir. Sonra fan kanunları denklemleri kullanılarak deneyler için belirlenen hava debilerinde fanın gücünün ne olması gerektiği hesaplanmıştır. Son olarak; yapılacak deney hangi hava debisinde yapılmak isteniyorsa, invertör yardımıyla fanın gücü o hava debisi için hesaplanan değere getirilmiştir.

Mevcut bir fanın fiziksel ölçüleri değiştirilmeden fanın gücü değiştirildiğinde; fanın sağladığı havanın debisi, basınç değeri, fanın devir sayısı, fanın verimi ve fanın ses seviyesi gibi parametrelerdeki değişimleri gösteren denklemlere fan kanunları adı verilir ve fan kanunları aşağıda verilen denklemlerden oluşur [7].

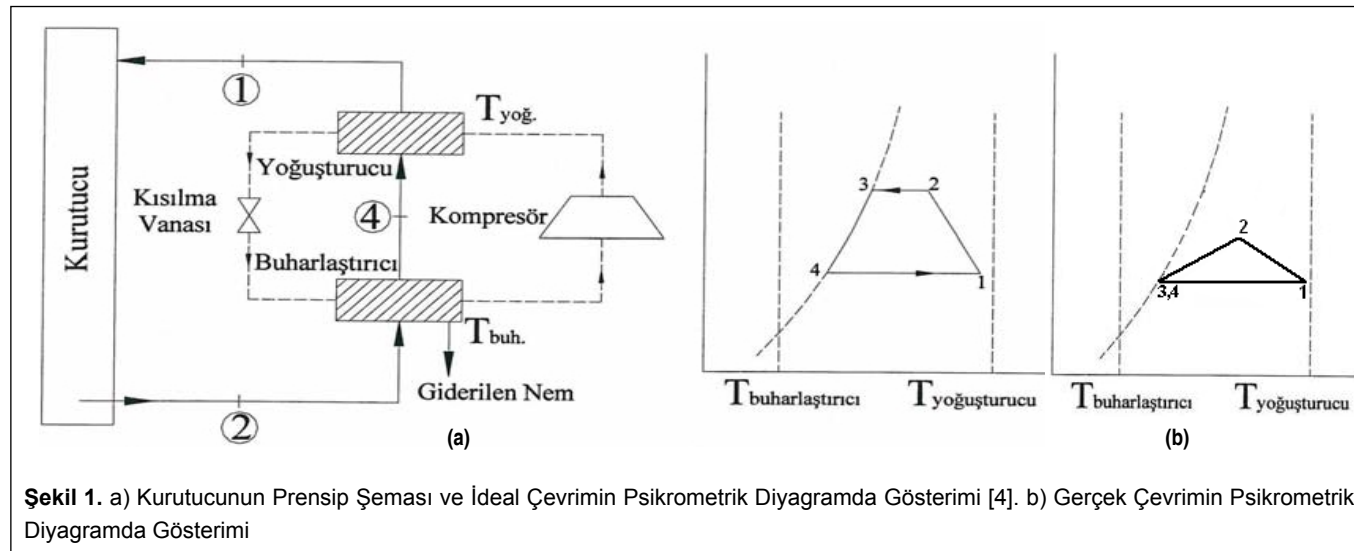
1. Fanın debisi (Q), devir sayıları (N) oranıyla doğru orantılı olarak değişir.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (6)$$

2. Fanın gücü (W), devir sayıları (N) oranının, diğer bir ifadeyle fanın sağladığı debiler (Q) oranının küpüyle doğru orantılı olarak değişir.

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^3 \quad (7)$$

3. Basınç (P), devir sayıları (N) oranının, diğer bir ifadeyle fanın sağladığı debiler (Q) oranının karesiyle doğru orantılı olarak değişir.



Şekil 1. a) Kurutucunun Prensip Şeması ve İdeal Çevrimin Psikrometrik Diyagramda Gösterimi [4]. b) Gerçek Çevrimin Psikrometrik Diyagramda Gösterimi

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 \quad (8)$$

4. Fanın verimi (η), devir sayısının (N) değişmesiyle değişmez. Çünkü verim (η) 9 numaralı denklemlerle tanımlandığından, 10 numaralı denklemlerden de görüleceği gibi, devir sayısının değişmesiyle verimde bir değişim meydana gelmez.

$$\eta = \frac{QP}{W} \quad (9)$$

$$\eta_2 = \frac{Q_2 P_2}{W_2} = \frac{(2Q_1)(4P_1)}{8W_1} = \frac{Q_1 P_1}{W_1} = \eta_1 \quad (10)$$

Yukarıda açıklanan fan kanunları göz önüne alınarak deneylerde, kurutucuda yer alan fanın beslediği elektrik geriliminin frekansı değiştirilerek gücü değiştirilmiş ve böylece fanın kurutucuya temin ettiği kurutma havasının debisi istenilen değerlere getirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir.

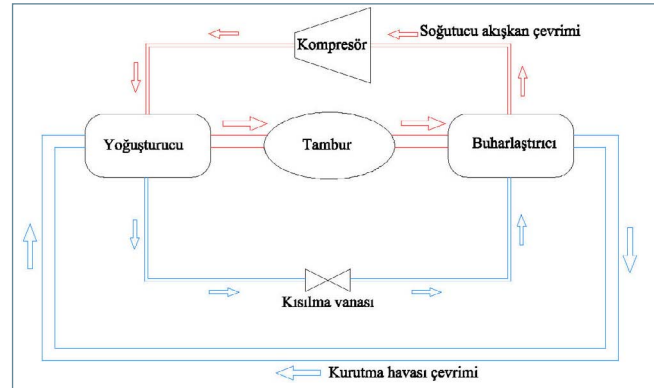
Tablo 1. Kurutucuda Yer Alan Fanın Güç ve Debisinin Frekans ile Değişimi

Frekans (Hz)	Güç (W)	Debi (l/s)
30.1	32.59	40
40.7	63.70	50
50.0	110.00	60
58.2	139.77	65

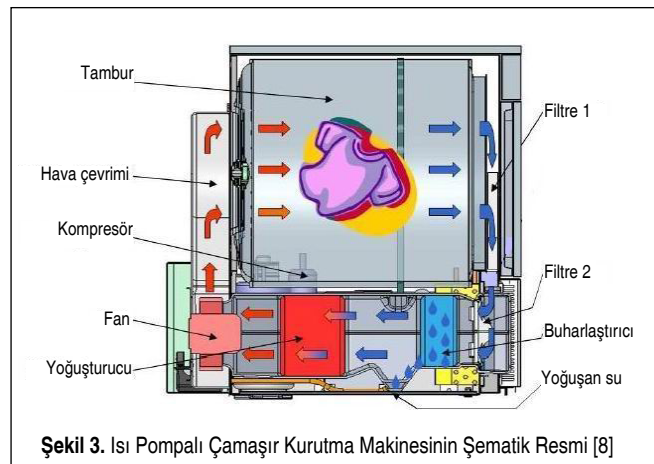
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmaya konu olan ısı pompalı çamaşır kurutma makinesindeki kurutma havası çevrimi ile soğutucu akışkan çevrimi Şekil 2'de, makinenin şematik resmi ise Şekil 3'te gösterilmiştir. Kurutma havası çevriminde ilk olarak kurutma havası yoğusturucu tarafından ısıtılarak tambura gönderilmektedir. Tamburun içinde ıslak tekstilin nemini alan kurutma havası buharlaştırıcıya gönderilir. Buharlaştırıcıda nemi alınan kurutma havası tekrar yoğusturucuya gönderilir. Yoğusturucuda sıcaklığı artırılan kurutma havası tekrar tambura gönderilir. Böylece hava çevrimi tamamlanmış olur.

Soğutucu akışkan çevriminde ise; ısıl enerjinin aktarılmasını sağlayan soğutucu akışkanı sıkıştırma görevini kompresör yapar. Kompresörden çıkan soğutucu akışkan yoğusturucuya yüksek sıcaklıkta ve gaz fazında girer. Gaz fazında olan soğutucu akışkan, yoğusturucuda ısı enerjisini kurutma havasına aktarır ve kendisi yoğusturucuyu sıvı fazda terk eder. Soğutucu akışkan yoğusturucudan sonra kısılma vanasına veya kılcal boruya girer. Kısılma vanasında veya kılcal boruda soğutucu akışkanın basıncı ve sıcaklığı düşer. Kısılma vanasından çıkan ve sıcaklığı düşmüş olan soğutucu akışkan buharlaştırıcıya girer. Buharlaştırıcı, ortam sıcaklığından daha düşük sıcak-



Şekil 2. Isı Pompalı Kurutma Makinesindeki Kurutma Havası ile Soğutucu Akışkan Çevrimleri



Şekil 3. Isı Pompalı Çamaşır Kurutma Makinesinin Şematik Resmi [8]

lıktadır ve çevresinden ısı alır. Sıvı haldeki soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan aldığı ısı enerjisi sayesinde buhar haline gelir ve kompresöre döner. Böylece soğutucu akışkan da tam bir çevrim yapmış olur.

Çalışmaya konu olan ısı pompalı çamaşır kurutma makinesinin Şekil 2'de gösterilen çalışma sisteminde görüldüğü üzere, kurutma havası çevrimi ve soğutucu akışkan çevrimi aynı anda olmaktadır.

3.1 Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Çamaşır kurutma makinesi: Deneylerde, 7 kg kapasiteli Blomberg marka ısı pompalı çamaşır kurutma makinesi kullanılmıştır. Deneyler sırasında gerekli olan sıcaklık ve bağıl nem değerlerini ölçmek için, makinenin muhtelif yerlerine 5 adet nem ve sıcaklıkölçer, 15 adet de termoeleman yerleştirilmiştir.

Masaüstü bilgisayar: Deneyler esnasında veri toplayıcının (data logger) okuduğu verilerin kayıt altına alınmasında kullanılan deney tesisatı elemanıdır. Gerekli bağlantı kablolarıyla veri toplayıcıya bağlantısı yapılmıştır.

Veri toplayıcı: Deneylerde; sıcaklık, basınç ve nem değerleri-

nin okunması ve bunların bilgisayara aktarılması için her biri 20 kanallı 2 adet kartı (multiplexer) ile beraber Agilent marka bir veri toplayıcı kullanılmıştır.

Enerji analizörü: Bu çalışmada; ısı pompalı çamaşır kurutma makinesinin deneyler esnasında harcadığı enerjiyi, çekilen gücü, akımı ve voltajı dijital olarak ekranında gösteren ZES Zimmer marka enerji analizörü kullanılmıştır.

Nem ve sıcaklıkölçer: Bu ölçüm aletleri, bağlantı yapıldıkları yerdeki havanın bağıl nemini ve kuru termometre sıcaklığını ölçen cihazlardır. Bu çalışmada, Michell marka 5 adet nem ve sıcaklıkölçer kullanılmıştır.

Sıcaklıkölçer (termoeleman): Bu çalışmadaki deneylerde, hem hava hattında hem de soğutucu akışkan hattında toplam 15 farklı noktadaki sıcaklık değerlerini okumak için kullanılan termoelemanlar T tipi olup, ± 0.5 °C hassasiyete sahiptirler. T tipi termoelemanlar Bakır-Konstantan ikilisinden müteşekkil olup mavi ve kırmızı renklerde olurlar. Bunlar ucuz olup çıkış gerilimleri yüksektir. Bu termoelemanlarla, -185 ila +370 °C arasındaki sıcaklıklar ölçülebilir [9].

İnvertör (frekans değiştirici): İnvertörler, bağlantı yapıldıkları elektrikli makinelerin beslediği elektriğin frekansını değiştirerek bu makinelerin elektriksel gücünü değiştiren cihazlardır. Bu çalışmadaki deneylerde, kurutma havasının debisini değiştirmek için, Eskon marka bir invertörün fan ile bağlantısı yapılmış ve böylece fanın beslediği elektrik geriliminin frekansı değiştirilerek fanın gücü değiştirilmiştir.

Hassas terazi: Kurutulacak tekstilin kütlesini ölçmek için maksimum 5000 g kapasiteli ve ± 2 g ölçüm belirsizliğine sahip Oertling marka hassas terazi kullanılmıştır.

Tekstil (çamaşır): Deneylerde kurutulacak tekstil olarak her biri yaklaşık 100 g kütleye sahip pamuklu havlu kullanılmıştır.

3.2. Hata Analizi

3.2.1 Deneysel Hata Tipleri ve Nedenleri

Deneysel çalışmaların tümü, çeşitli nedenlerden dolayı hata içerir. Deneysel çalışmalarda yapılan bu hatalar genellikle üç grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi deneyi yapan araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. İkinci grup hatalar sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rastgele hatalardır [10].

Deneysel sonuçların geçerliliğinin belirlenebilmesi için mutlaka bir hata analizi yapmak gerekmektedir. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan parametrelere ait hata miktarlarının oranlarının tespiti için pratikte birkaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde, akılcı yaklaşım (commonsense basis) ve belirsizlik analizi (uncertainty

analysis) yöntemleri en çok kullanılanlarıdır. Son yıllardaki çalışmalarda hata analizinde; ilk olarak Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan ve diğerlerine göre daha hassas bir yöntem olan belirsizlik analizi yöntemi daha çok tercih edilmektedir [10].

3.2.2 Hata Analizinde Belirsizlik Analizi Yöntemi

Herhangi bir deney tesisatı aracılığıyla tespit edilmesi/hesaplanması gereken büyüklük R , bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda; $R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ yazılabilir. Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait sabit hata miktarları (belirsizlikler); $\pm w_{x_1}, \pm w_{x_2}, \pm w_{x_3}, \dots, \pm w_{x_n}$ olsun. R büyüklüğünün sabit hata miktarı olan $\pm w_R$ ise, Pythagorean teoremine göre aşağıdaki gibi yazılır [10];

$$w_R = \pm \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_{x_3} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

Yukarıdaki bağıntı dikkatle incelendiği zaman, belirsizlik analizi yönteminin diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüklerinden birinin, deneylerde en büyük hataya neden olan değişkenin hemen tespit edilebilmesinin olduğu görülecektir. Böylece hatayı azaltmak için, söz konusu bu değişkenin ölçümünde kullanılan cihaz üzerine yoğunlaşılabilir. Ayrıca, yukarıdaki bağıntıda yer alan terimlerin eş boyutluluk ilkesi açısından uyumlu olduğuna dikkat edilmelidir. Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarında meydana gelebilecek belirsizlikler, bu cihazların kalibrasyonu yapılmak suretiyle belirlenir. Buna göre; bağımsız değişkenlere (ölçülecek parametrelere) ilişkin belirsizlikler bilindiğinden, yukarıdaki bağıntı kullanılmak suretiyle bağımlı değişkenlere (hesaplanacak parametrelere) ilişkin belirsizlikler de tespit edilebilir [10].

3.2.3 Hata Analizi Sonuçları

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler için, belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak hata analizi yapılmıştır. Ölçülen büyüklüklerin belirsizlik değerleri; ölçüm aletlerinin imalatçı firmaları tarafından bildirilen değerlerden, deneysel tecrübelerden ve kaynaklardan [11] yararlanılarak bulunmuştur.

Deneylerde ölçülen büyüklükler; ısı pompası hattında kullanılan borular üzerindeki sıcaklık değerleri, kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem değerleri, kuru ve nemlendirilmiş tekstilin kurutma öncesi ve kurutma sonrası kütlesi, kurutma süresi ve kurutma için harcanan toplam enerji şeklindedir.

3.2.4 SMER, MER ve Kurutma Veriminde Ortaya Çıkan Hatanın Tespiti

Bu deneysel çalışmada inceleme konusu olan; SMER, MER

ve kurutma verimi parametrelerine ilişkin hata analizinin nasıl yapıldığı aşağıda izah edilmiştir.

3.2.4.1 Tekstil Kütlesinin Ölçümünde Ortaya Çıkan Toplam Hata

Tekstil kütlesi ölçümünde ortaya çıkabilecek olan hatalar; deneylerde kullanılan hassas teraziden ve okuyucudan kaynaklanan hatalardır. Tekstil kütlesi ölçümünde ortaya çıkan hatalar kaynaklarda [11] şu şekilde verilir:

w_{m_a} : Hassas teraziden kaynaklanan hata,

w_{m_b} : Okumaktan kaynaklanan hata,

w_{m_c} : Tekstilin makineden çıkartılırken el ile temasından kaynaklanan hata şeklindedir.

Buna göre; tekstil kütlesi ölçümünde yapılabilecek toplam hatayı hesaplamak için 12 numaralı denklem kullanılır [11].

$$w_m = \pm \left[(w_{m_a})^2 + (w_{m_b})^2 + (w_{m_c})^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

3.2.4.2 Enerji Sarfiyatının Ölçümünde Ortaya Çıkan Toplam Hata

Kurutma sırasındaki toplam enerji sarfiyatı bir enerji analizörü yardımıyla ölçülmüştür. Toplam enerji sarfiyatının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek hatalar, kaynaklarda [11] şu şekilde verilir:

w_{E_1} : Enerji analizöründen kaynaklanan hata,

w_{E_2} : Okuyucudan kaynaklanan hata şeklindedir.

Buna göre; toplam enerji sarfiyatının ölçümünde yapılabilecek toplam hatayı hesaplamak için 13 numaralı denklem kullanılır [11].

$$w_E = \pm \left[(w_{E_1})^2 + (w_{E_2})^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

3.2.4.3 Kurutma Süresinin Ölçümünde Ortaya Çıkan Toplam Hata

Deneylerde kurutma süresi dijital bir saat yardımıyla ölçülmüştür. Kurutma süresinin ölçülmesinde ortaya çıkabilecek hatalar, kaynaklarda [11] şu şekilde verilir:

$w_{\Delta t_1}$: Dijital saatten kaynaklanan hata,

$w_{\Delta t_2}$: Kurutma süresinin ölçümünde okuyucudan kaynaklanan hata şeklindedir.

Buna göre; kurutma süresinin ölçümünde yapılabilecek toplam hatayı hesaplamak için 14 numaralı denklem kullanılır [11].

$$w_{\Delta t} = \pm \left[(w_{\Delta t_1})^2 + (w_{\Delta t_2})^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

Bu deneysel çalışmanın kapsamlı bir hata analizini yapmak için, yukarıda verilen hesaplama yöntemi takip edilmelidir. Bu hesaplamalarda kullanılacak verilerin bir kısmı deneylerde kullanılan cihazların kataloglarından, bir kısmı bu çalışmada elde edilen tecrübelerden, bir kısmı da yukarıdaki kaynakta [11] verilen sayısal değerlerden alınmıştır. Belirsizlik analizi yönteminin takip edildiği hata analizinde kullanılan bu sayısal değerler Tablo 2’de gösterilmiştir.

3.2.4.4 SMER, MER ve Kurutma Verimi İçin Hata Analiz Bağlantıları

SMER için sabit hata miktarını (belirsizliği) gösteren w_S ; SMER $f(m_1, m_2, E)$ şeklinde tanımlandığından aşağıdaki gibi bulunur.

$$w_S = \pm \left[\left(\frac{\partial S}{\partial m_1} w_{m_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial m_2} w_{m_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial E} w_E \right)^2 \right]^{1/2} = \pm \left[\left(\frac{1}{E} w_{m_1} \right)^2 + \left(\frac{-1}{E} w_{m_2} \right)^2 + \left(\frac{-m_1 - m_2}{E^2} w_E \right)^2 \right]^{1/2} \quad (15)$$

MER için sabit hata miktarını gösteren w_M ; MER = $f(m_1, m_2, \Delta t)$ şeklinde tanımlandığından aşağıdaki gibi bulunur.

$$w_M = \pm \left[\left(\frac{\partial M}{\partial m_1} w_{m_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial m_2} w_{m_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial \Delta t} w_{\Delta t} \right)^2 \right]^{1/2} = \pm \left[\left(\frac{1}{\Delta t} w_{m_1} \right)^2 + \left(\frac{-1}{\Delta t} w_{m_2} \right)^2 + \left(\frac{-m_1 - m_2}{\Delta t^2} w_{\Delta t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

Kurutma verimi için sabit hata miktarını gösteren w_{kv} ; kurut-

ma verimi = $f(m_1, m_2, m_{su})$ şeklinde tanımlandığından aşağıdaki gibi bulunur.

$$w_{kv} = \pm \left[\left(\frac{\partial kv}{\partial m_1} w_{m_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial kv}{\partial m_2} w_{m_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial kv}{\partial m_{su}} w_{m_{su}} \right)^2 \right]^{1/2} = \pm \left[\left(\frac{1}{m_{su}} w_{m_1} \right)^2 + \left(\frac{-1}{m_{su}} w_{m_2} \right)^2 + \left(\frac{-m_1 - m_2}{m_{su}^2} w_{m_{su}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (17)$$

3.3 Deneylerin Yapılmasında İzlenen Yol

Deneylerde ilk olarak kurutma işlemi yapılacak olan tekstil (havlu) hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra bu tekstil, belirlenen nem oranına kadar kontrollü bir şekilde nemlendirilmiştir ve 60 dakikalık kurutma programında 40 dakika boyunca kurutulmuştur. 40 dakika sonra makineden alınan tekstilin kütlesi, hassas terazi yardımıyla; bu süre içerisinde makine tarafından sarf edilen toplam enerji ise enerji analizörü yardımıyla ölçülmüştür. Aynı zamanda; kurutma süresi boyunca 10 s aralıklarla, makinenin çeşitli yerlerine tespit edilen termoelemanlar ve nem ve sıcaklıkölçerler yardımıyla ölçülen sıcaklık ve nem değerleri bilgisayara kaydedilmiştir.

Deneyleri aynı şartlar altında yapabilmek için; her bir deneye başlanmadan önce, tamburun kapağında ve makinenin alt kısmında bulunan filtreler temizlenmiş ve su tankında biriken su tahliye edilmiştir. Ayrıca, yeni bir deneye başlanmadan önce makinenin belirli bir sıcaklığa kadar soğuması beklenmiş, sonra deneye başlanmıştır.

Deney sürelerinin ne kadar olacağını tespit edilebilmesi için yapılan çalışmada; kurutma işleminin ısınma, sabit kurutma ve düşük kurutma fazlarından oluştuğu hususu göz önüne alınmıştır. Bununla beraber, ısınma ve sabit kurutma fazlarındaki kurutma veriminin, birinci derecede kurutma havası özelliklerine bağlı olduğu belirlenmiş olup bu durum literatürle de uyumludur. Bu çalışmadaki deneylerin amacının da bu doğrultuda; yani kurutma havası özelliklerinin kurutma işlemi üzerindeki etkisinin belirlenmesi olması nedeniyle çalışmada sadece ısınma ve sabit kurutma fazları ele alınmıştır. Bu iki fazın toplam süresinin tespiti için yapılan çalışmalar sonucunda, 60 dakikalık programın yaklaşık 40. dakikasında sabit kurutma fazının bittiği gözlemlenmiştir. Bu yüzden bu çalışmadaki deneylerin tamamı için deney süresi 40 dakika, yani ilk iki fazın toplam süresi olarak belirlenmiştir.

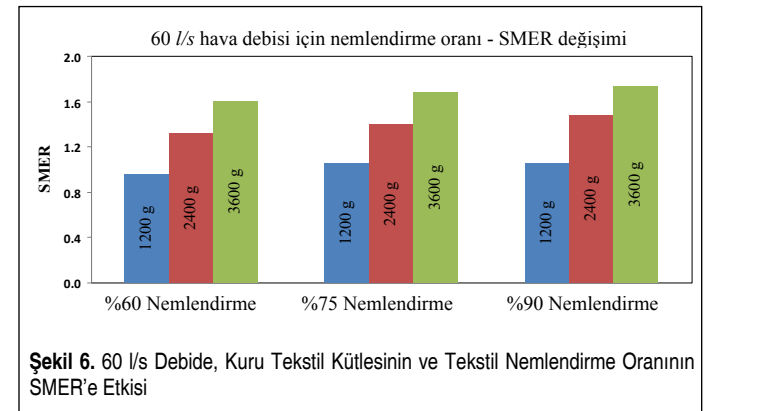
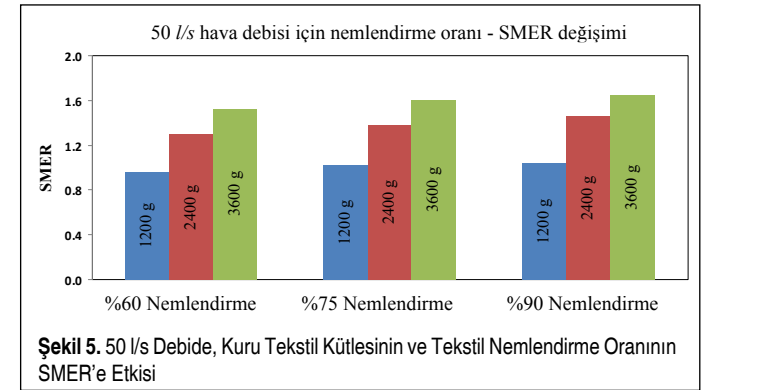
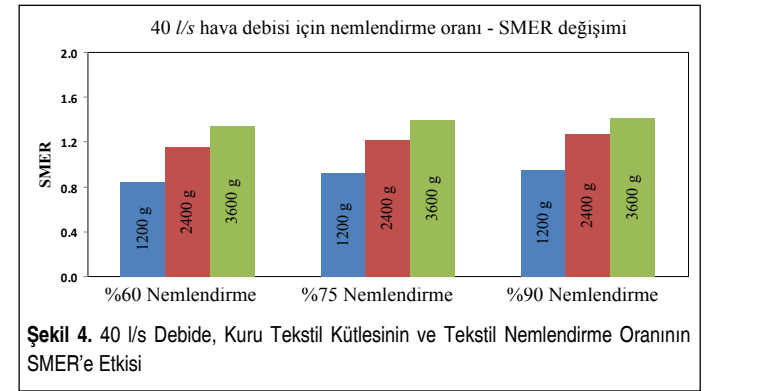
4. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmaya kaynaklık eden Yüksek Lisans Tezi [12] kapsamında; 4 farklı hava debisinde, 3 farklı kuru tekstil kütlesinde ve 3 farklı tekstil nemlendirme oranında toplam 36 adet deney yapılmıştır. Yapılan bu deneylerde; kurutma havasının debisi,

kuru tekstil kütlesi ve bu tekstilin nemlendirilme oranı gibi parametreleri değiştirerek bu parametrelerin; SMER, MER ve kurutma verimi gibi, kurutma sistemlerinde sıklıkla kullanılan verim tanımlamalarını nasıl etkilediği incelenmiştir.

Deneylerde ölçülen parametreler şunlardır: m : Kuru ve nemlendirilmiş tekstil kütlesi değerleri, T : Isı pompası devresindeki boruların yüzey sıcaklığı değerleri ile kurutma havası çevrimindeki havanın sıcaklık değerleri, ϕ : Kurutma havası çevrimindeki havanın bağıl nem değerleri, Δt : Kurutma süresi ve E : Her bir deney sonundaki enerji tüketim değerleri.

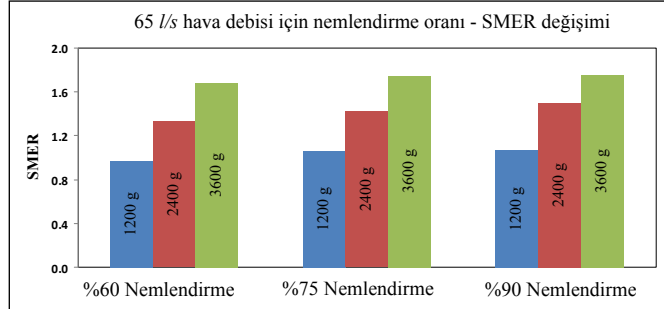
Deneylerden elde edilen bu verilerin bazıları kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda her bir deney için SMER, MER ve kurutma verimi değerleri bulunmuştur.



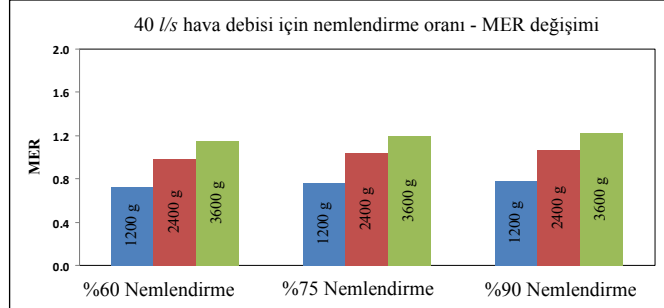
Tablo 2. Terazı, Enerji Analizörü ve Saat İçin Sabit Hata Miktarları (belirsizlikler)

Hassas terazi için				Enerji analizörü için			Dijital saat için		
w_{m_a} (g)	w_{m_b} (g)	w_{m_c} (g)	w_m (g)	w_{E_1} (Wh)	w_{E_2} (Wh)	w_E (Wh)	$w_{\Delta t_1}$ (s)	$w_{\Delta t_2}$ (s)	$w_{\Delta t}$ (s)
± 2	± 0.5	± 3	± 3.640	± 1.078	± 0.5	± 1.188	± 0.018	± 3	± 3.00005

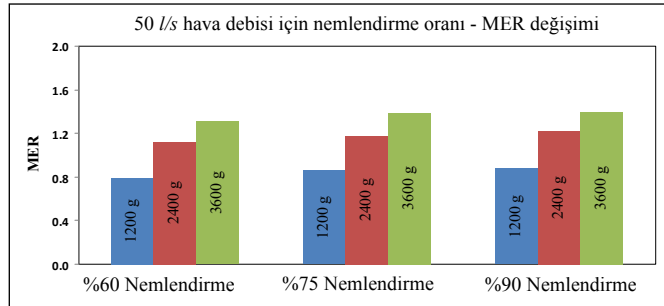
Çalışma kapsamında yapılan deneylerden elde edilen verilerden hareketle çeşitli grafikler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafiklerden Şekil 4, 5, 6 ve 7’de; 4 farklı kurutma havası debisi için, kuru tekstil kütlelerinin ve bu tekstilin nemlendirilme oranının SMER’e olan etkisi görülmektedir.



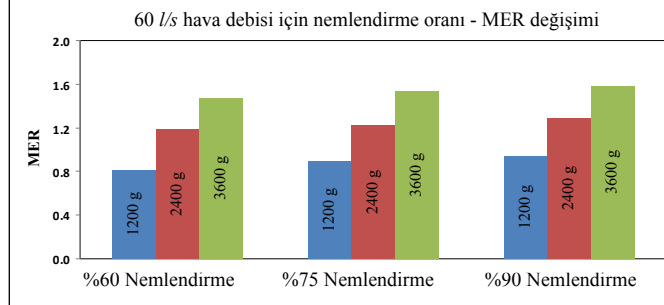
Şekil 7. 65 l/s Debide, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının SMER’e Etkisi



Şekil 8. 40 l/s Debide, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının MER’e Etkisi



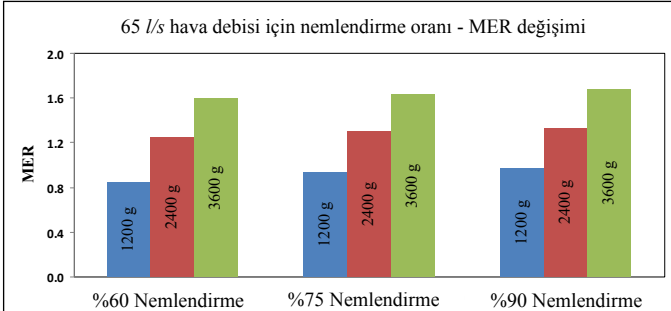
Şekil 9. 50 l/s Debide, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının MER’e Etkisi



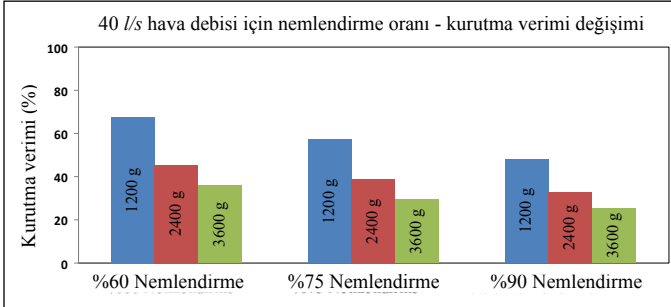
Şekil 10. 60 l/s Debide, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının Mer’e Etkisi

Şekil 8, 9, 10 ve 11’de ise, yine 4 farklı kurutma havası debisi için, kuru tekstil kütlelerinin ve bu tekstilin nemlendirilme oranının MER’e olan etkisi görülmektedir.

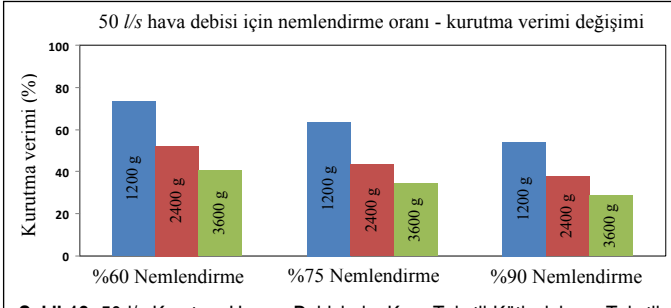
Şekil 12, 13, 14 ve 15’de 4 farklı kurutma havası debisi için yine kuru tekstil kütlelerinin ve bu tekstilin nemlendirilme oranının kurutma verimine olan etkisi görülmektedir.



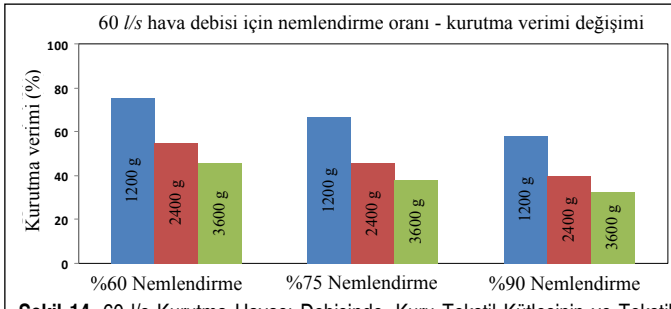
Şekil 11. 65 l/s Debide, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının MER’e Etkisi



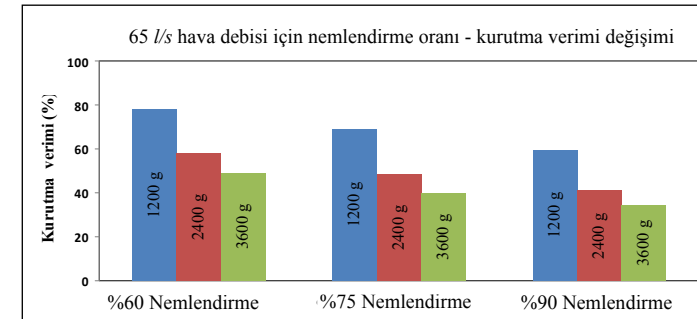
Şekil 12. 40 l/s Kurutma Havası Debisinde, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının Kurutma Verimine Etkisi



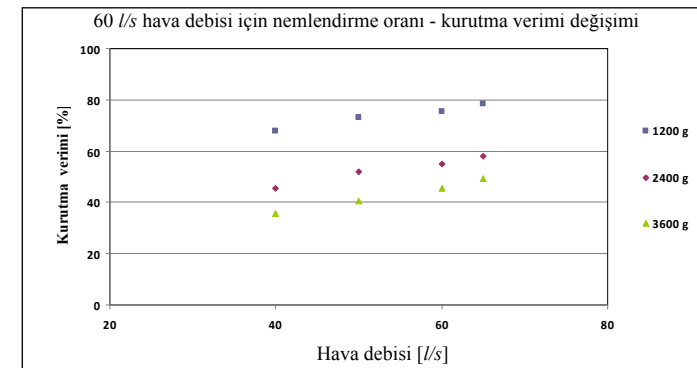
Şekil 13. 50 l/s Kurutma Havası Debisinde, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının Kurutma Verimine Etkisi



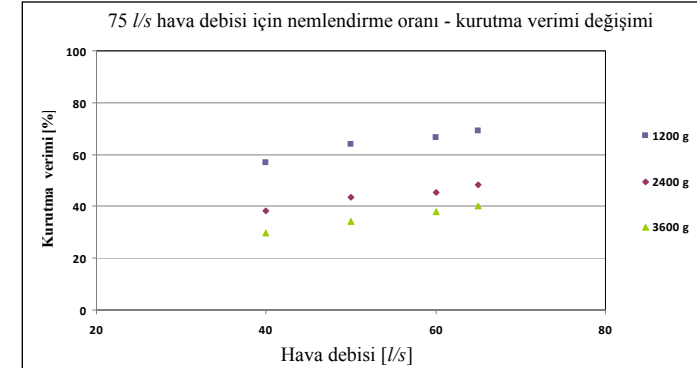
Şekil 14. 60 l/s Kurutma Havası Debisinde, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının Kurutma Verimine Etkisi



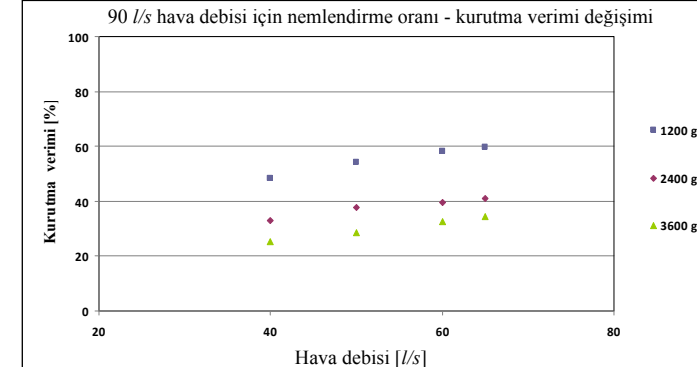
Şekil 15. 65 l/s Kurutma Havası Debisinde, Kuru Tekstil Kütlelerinin ve Tekstil Nemlendirme Oranının Kurutma verimine Etkisi



Şekil 16. %60 Tekstil Nemlendirme Oranında, Hava Debinin Kurutma Verimine Olan Etkisi



Şekil 17. %75 Tekstil Nemlendirme Oranında, Hava Debinin Kurutma Verimine Olan Etkisi



Şekil 18. %90 Tekstil Nemlendirme Oranında, Hava Debinin Kurutma Verimine Olan Etkisi

Şekil 16, 17 ve 18’de ise, 3 farklı nemlendirme oranı için kurutma havası debisinin kurutma verimine olan etkisi görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmaya kaynaklık eden Yüksek Lisans Tezi [12] kapsamında yapılan deneylerden elde edilen verilere göre oluşturulan grafikler Bölüm 4’te verilmiştir. Bölüm 4’te yer alan bu grafikler incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir.

- Şekil 4, 5, 6 ve 7 incelendiğinde; 4 farklı kurutma havası debisi ve 3 farklı kuru tekstil kütleleri için de tekstil nemlendirme oranı arttıkça SMER’in az da olsa arttığı gözlemlenmiştir.
- Şekil 8, 9, 10 ve 11 incelendiğinde; 4 farklı kurutma havası debisi ve 3 farklı kuru tekstil kütleleri için de tekstil nemlendirme oranı arttıkça MER’in az da olsa arttığı gözlemlenmiştir.
- Şekil 12, 13, 14 ve 15 incelendiğinde; 4 farklı kurutma havası debisi ve 3 farklı kuru tekstil kütleleri için de tekstil nemlendirme oranı arttıkça kurutma veriminin biraz azaldığı gözlemlenmiştir.
- Yine, Şekil 4, 5, 6 ve 7 incelendiğinde; 4 farklı kurutma havası debisi ve 3 farklı tekstil nemlendirme oranı için de kuru tekstil kütleleri arttıkça SMER’in belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.
- Yine, Şekil 8, 9, 10 ve 11 incelendiğinde; 4 farklı kurutma havası debisi ve 3 farklı tekstil nemlendirme oranı için de kuru tekstil kütleleri arttıkça MER’in belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.
- Yine, Şekil 12, 13, 14 ve 15 incelendiğinde; 4 farklı kurutma havası debisi ve 3 farklı tekstil nemlendirme oranı için de kuru tekstil kütleleri arttıkça kurutma veriminin belirgin bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.
- Şekil 4, 5, 6 ve 7 incelendiğinde; 3 farklı kuru tekstil kütleleri ve 3 farklı tekstil nemlendirme oranı için de kurutma havası debisi arttıkça SMER’in belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.
- Şekil 8, 9, 10 ve 11 incelendiğinde; 3 farklı kuru tekstil kütleleri ve 3 farklı tekstil nemlendirme oranı için de kurutma havası debisi arttıkça MER’in belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.
- Şekil 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18 incelendiğinde; 3 farklı kuru tekstil kütleleri ve 3 farklı tekstil nemlendirme oranı için de kurutma havası debisi arttıkça kurutma veriminin belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Görüldüğü gibi tekstil nemlendirme oranı ve kuru tekstil kütleleri arttıkça kurutma verimi düşmektedir. Buna karşılık ku-

rutma havası debisi arttıkça kurutma veriminin arttığı görülmektedir.

Son olarak; belirsizlik analizi sonucunda; SMER için en büyük belirsizliğin % ± 1.07693 , MER için en büyük belirsizliğin % ± 1.06439 ve kurutma verimi için en büyük belirsizliğin ise % ± 1.17169 olduğu görülmüştür. Bütün bu değerler, ölçme tekniğinde kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır.

Sonuç olarak; ısı pompalı çamaşır kurutma makinelerinde daha verimli bir kurutma sağlamak için kurutma havası debisini artırmaya yönelik çalışmaların yapılması gerektiği açıktır. Bu durumun, az da olsa enerji sarfiyatını artıracığı gözden uzak tutulmamalıdır.

SEMBOLLER

E	: Sistemin enerji sarfiyatı (kWh)
m_1	: Kurutmadan önceki tekstil kütlesi (kg)
m_2	: Kurutmadan sonraki tekstil kütlesi (kg)
m_{su}	: Kurutmadan önce tekstilde bulunan su kütlesi (kg)
N	: Fanın devir sayısı (dev/dak)
P	: Fanın sağladığı havanın basıncı (kPa)
Q	: Fanın sağladığı havanın debisi (l/s)
T_{buh}	: Buharlaştırıcı çalışma sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{yog}	: Yoğuşturucu çalışma sıcaklığı ($^{\circ}C$)
W	: Fanın gücü (kW)

Yunan harfleri

Δt	: Kurutma süresi (h)
φ	: Bağıl nem (%)
η	: Fanın verimi (%)

Kısaltmalar

k_v	: Kurutma verimi (%)
MER	: Nem alma hızı (Moisture Extraction Rate) ($kg-su/h$)
$SMER$: Özgül nem alma hızı (Specific Moisture Extraction Rate) ($kg-su/kWh$)
$SMER_{ip}$: Isı pompası için özgül nem alma hızı ($kg-su/kWh$)
$SMER_{ts}$: Tüm sistem için özgül nem alma hızı ($kg-su/kWh$)

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya kaynaklık eden Yüksek Lisans Tezinin deneylerinin yapıldığı Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakül-

tesi bünyesindeki Isı Transferi Laboratuvarının imkânlarının artırılmasındaki destekleri nedeniyle Mühendislik Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK Bey'e ve çalışmanın her aşamasında her türlü bilgi ve donanım desteklerinden dolayı ARÇELİK A.Ş çalışanlarından, Sayın Yalçın GÜLDALI ve Sayın Önder BALIOĞLU şahsında ARÇELİK A.Ş'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. **Sönmez, H.** 2010. "Tekstil Ürünlerinde Zorlanmış Kütle Geçişine Etki Eden Parametrelerin Analizi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
2. **Ganjehsarabi, H.** 2009. "Isı Pompalı Çamaşır Kurutucunun Tasarımının Geliştirilmesi ve Termodinamik Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
3. **Cochran, P. M.** 2007. "A Feasibility Study of Incorporating Surface Tension Elements to Improve the Efficiency of Residential Clothes Dryers," M.S. Thesis, Kansas State University.
4. **Özbalta, N., Güngör, A.** 2000. "Kurutma Sistemlerinde Isı Pompası Kullanım Potansiyeli," III. GAP Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, s. 107-114.
5. **Goldberg, M., Truman, J., Kniffin, A.** 2006. "Heat Pump Clothes Dryer", Patent Application Publication.
6. **Oktay, Z.** 2003. "Testing of a Heat Pump Assisted Mechanical Opener Dryer," Applied Thermal Engineering, 23, p. 153-162.
7. Fan Kanunları, İMCO Havalandırma Sistemleri Bilgi Merkezi, <http://www.imco.com.tr/bilgimerkezi.html> (son erişim tarihi: 12.08.2012)
8. **Nipkow, J., Bush, E.** "Promotion of Energy-Efficient Heat Pump Dryers," Swiss Agency for Efficient Energy Use (SAFE), Topten International Group.
9. **Genceli, O. F.** 2000. Ölçme Tekniği (Boyut, Basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri), Birsen Yayınevi, İstanbul.
10. **Bilen, K.** 2012. Ölçme Teknikleri Ders Notları (Yayımlanmamış), Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
11. **Akpınar, E. K.** 2005. "Deneysel Çalışmalardaki Hata Analizine Bir Örnek: Kurutma Deneylerindeki Hata Analizi," Mühendis ve Makina, cilt: 46, sayı: 540, s. 41-48
12. **Durmuş, M.** 2012. "Isı Pompası Destekli Kurutucu Performansına Etki Eden Parametrelerin Deneysel Analizi," Yüksek Lisans Tezi, KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.