

# DENEYSEL ÇALIŞMALARDAKİ HATA ANALİZİNE BİR ÖRNEK: KURUTMA DENEYLERİNDEKİ HATA ANALİZİ

Ebru KAVAK AKPINAR \*

*Bütün ölçüm aletleri ve ölçümler belirli özelliklere sahiptir. Bu genel özellikleri anlamak doğru ölçüm yapabilmenin ilk adımını oluşturmaktadır. Hatalar ve belirsizlikler hem ölçüm aletinin hem de yapılan ölçüm işleminin doğasında vardır. Uygun ölçüm aletiyle değer okumada kesin sonuçlar alabilmek doğru metotlara ve sağlam bir programa bağlıdır. Deneysel çalışmalarda hata ve belirsizlikler ölçüm aletinin seçiminden, özelliklerinden, kalibrasyonundan, çevre ve deney şartlarından ve okuma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada deneysel çalışmalarda hata analizi siklon tipi bir kurutucudaki kurutma olayının hata analiziyle açıklanmaya çalışılmıştır.*

**Anahtar sözcükler :** Hata analizi, deneysel çalışma, kurutma

*All instruments and measurements have certain general characteristics. An understanding of these common qualities is the first step towards accurate measurements. Errors and uncertainties are inherent in both the instrument and the process of making the measurement. Final accuracy depends on a sound program and on correct methods for taking readings on proper instruments. Errors and uncertainties in the experiments can arise from instrument selection, instrument condition, instrument calibration, environment, observation, and reading. Therefore, in this study, error analysis in experimental studies was explained, with an example drying in a cyclone type dryer.*

**Keywords :** Error analysis, experimental study, drying

\* Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

## GİRİŞ

Deneysel çalışmalar, incelenen sistemler hakkında daha doğru ve kesin bilgileri vermeleri bakımından her zaman sayısal ve analitik çalışmaların önünde yer almıştır. Son yıllarda daha ucuz ve kolay olması nedeniyle sayısal çalışmalar ağırlık kazanmasına rağmen, bu çalışmalardan elde edilen sonuçların deneysel olarak desteklenmesi, deneysel çalışmaların önemini ayrıca artırmaktadır. Bununla birlikte deneysel çalışmalarda, elde edilen sonuçlar kadar önemli bir başka nokta; ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli etken ise, deneyler sırasında farklı nedenlerden ortaya çıkabilecek hatalardır. Literatürde belirtilen standartlara uygun olarak kurulan bir deney düzeneğinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerde, hata iki farklı şekilde ortaya çıkabilir. Bunlardan biri, deney setinin ve ölçü araçlarının yapısından kaynaklanan hatalar, diğeri ise, deneyi yapan kişiden kaynaklanan hatalardır. Bahsedilen ikinci tür hataların, yetenekli bir deneycinin deneyleri yapması ile giderilmesi mümkündür. Fakat birinci tür hataların giderilmesi ve belirlenmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bunun nedeni, hataların doğrudan deneyde kullanılan araç ve gereçlerin yapısından kaynaklanmasıdır. Bu hatalı genliklerin genellikle belli olmaması nedeniyle literatürde hata diye adlandırılmaktadır (Midilli, 2001; Akpınar, 2002).

Yukarıda genel olarak birinci tür hatalar diye ifade edilen, deneysel çalışma sonuçlarının belirsizliğini etkileyen hata tiplerinin üç ana grupta toplamak mümkündür (Holman, 1971). Birinci olarak; deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatından kaynaklanan hatalar, ikinci olarak; sebebi genellikle kesin olarak bilinmeyen, aynı büyüklüğün tekrar okunması sırasında ortaya çıkan sabit hatalar, üçüncü olarak; deney ve gereçlerinde rastgele elektronik salınımlardan, sürtünme etkilerinden vs. kaynaklanan rastgele hatalardır. Çoğu zaman sabit hatalar ile rastgele hataları birbirinden ayırt etmek zordur (Holman, 1971). Sabit hatalar, deney sırasında okunan her değer için aynıdır ve uygun bir kalibrasyon ve düzeltme ile ortadan kaldırılabılır.

Ölçü aletinin imalatının da doğru yapıldığı kabul edilirse, hata analizi; sabit ve rastgele hataları belirleyerek bunların deneysel sonuçlar üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasıdır (Midilli, 2001; Akpınar, 2002).

Hata analizi sadece deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların yorumlanmasında değil, aynı zamanda uygun ölçüm metodunun ve ölçü aracının seçiminde önemli rol oynamaktadır. Ölçülecek büyüklük ve ölçü araçlarının seçiminden önce hata analizinin yapılması ve buna uygun büyüklük ve ölçüm aracının seçilmesi, sonuçların içinde yer alabilecek belirsizliğin minimuma indirilmesine yardımcı olacaktır (Midilli, 2001; Akpınar, 2002). Diğer taraftan, ölçülen büyüklüklerden hangisinin toplam hata üzerinde en etkin rol oynadığının tespit edilmesi, bu ölçümlerin daha hassas yapılması için önlem almayı gerektireceğinden sonuçların belirsizliğinin azaltılmasına ayrıca katkıda bulunacaktır.

Deneysel çalışmalar literatürde bir hayli fazla olmasına, bu çalışmalarda, planlama aşamasından itibaren önemli bir yere sahip olan hata analiziyle ilgili sınırlı sayıda çalışmaya rastlanılmıştır (Moffat, 1982; Moffat, 1985; Moffat, 1988; Coleman ve Steele, 1995; Hepbaşlı ve Akdemir, 2004). Ancak son yıllarda deneysel çalışmalarda hata analizine verilen önem giderek artmakta, deneysel çalışmaların önemli ve vazgeçilmez bir bölümünü teşkil etmektedir (Midilli, 2001; Akpınar, 2002).

Bu çalışmanın ana amacı deneysel çalışmalarda hata analizini siklon tipi bir kurutucuda yapılan kurutma deneyleri örneğiyle açıklamaya çalışmaktır. Bu sistem için ele alınan kriterler belirtilerek hataların dereceleri ve miktarları konusunda sistematik olarak bilgiler vermektir.

## ÖRNEK UYGULAMA

### Sistemin ve Ölçüm Cihazlarının Tanıtımı

Örnek uygulama için ele alınan sistemin şematik resmi Şekil 1'de görülmektedir (Akpınar, 2002; Akpınar ve

Biçer, 2002; Akpınar ve diğerleri, 2003a, 2003b, 2003c). Deneylerde hava hızını ölçmek için iki tip hız ölçer kullanılmıştır. Siklon içindeki hava hızlarını ölçmek için 0-15 m/s ve 0-80 °C arasında ölçüm yapabilen, hem sıcaklık hem de hız değerlerini okuyabilen TA-2 AIRFLOW marka bir termal hız ölçer kullanılmıştır. Bu hız ölçer sayesinde siklon içindeki gerekli noktalardaki hızlar rahatlıkla ölçülmüştür. Ayrıca deneylerde birde LUTRON marka (AM- 4201) 0.4 - 30 m/s arasında  $\pm$  %2 doğrulukla ölçüm yapan probu pervaneli bir hız ölçer kullanılmıştır.

Sıcaklık tespitinde J- tipi demir (+) Constantan (-) termo elemanları ve 20 kanallı Elimko 6400 elle kumandalı 0.1 °C hassasiyetli dijital termometre kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri ölçüm yapılacak kısımlara yerleştirilen ikişer adet termo elemanlarla yapılmıştır. Termo elemanların iki ucu yan yana getirildikten sonra nokta kaynağı yapılmış ve verniklenerek izolasyonu sağlanmıştır. Bu termo elemanlar sıcaklık ölçümü istenen noktalara yerleştirilmiştir. Bu noktalar aşağıda verilmiştir:

- Soğuk hava girişine (fandan önce)
- Sıcak hava girişine (ısıtıcı rezistanslardan hemen sonra)
- Sıcak havanın kurutma odasına giriş noktasına
- Sıcak hava çıkışına
- Kurutulacak ürünlerin merkezine
- Tepsilerin buldukları ortama
- Çevre sıcaklığını ölçmek için açık alana

Termo eleman olarak 0.5 mm çapında demir-constantan kullanılmıştır. Termo elemanlardan okunan sonuçlar kanal seçiciye oradan da yirmi kanallı bir dijital termometreye aktarılmıştır. Tartım işlemlerinin yapıldığı deneylerde kurutulan ürünlerin merkez sıcaklığı ve tepsilerin bulunduğu ortamların sıcaklık değerleri alınmamıştır. Daha sonra sıcaklık ve hız bakımından aynı şartlar sağlanarak, bu değerleri tespit edebilmek

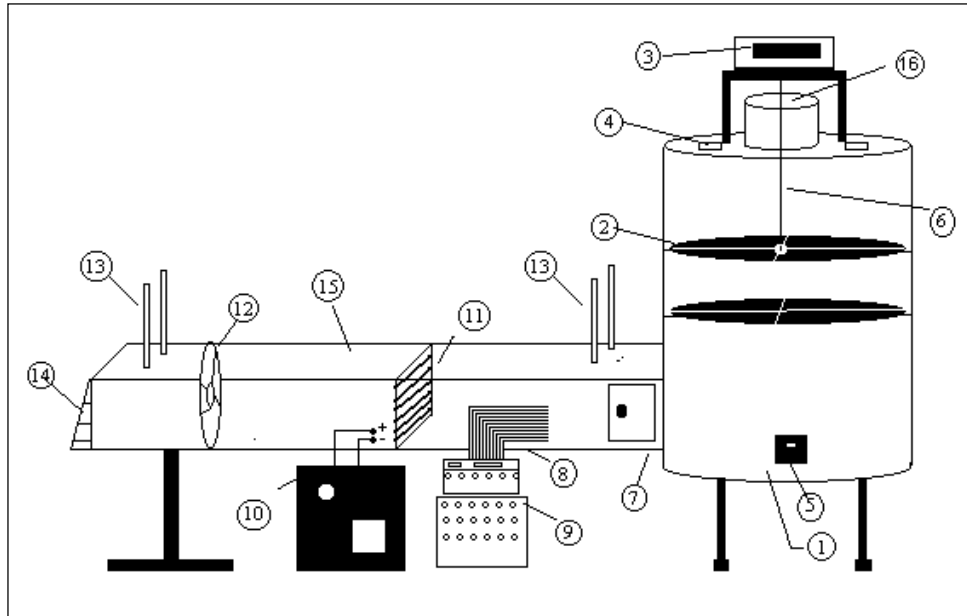
için ayrı deneyler yapılmıştır. Kurutma odasına yerleştirilen termo elemanların akışı bozmasından endişe duyulduğu için böyle bir uygulamaya gidilmiştir. Deneylerde, kurutma odası içindeki sıcaklığı belirlemek ve aynı zamanda ortam sıcaklığını bu sıcaklıkta sabitleyebilmek için oda içine bir termostat yerleştirilmiştir. Ancak termostatın çok hassas olmamasından dolayı termo elemanla ölçülen sıcaklık değeri esas alınmıştır. Deneylerde giriş sıcaklığı esas alınmış ve bu sıcaklığın sürekli aynı değerde kalması bir varyasyon ile sağlanmıştır. Ayrıca, taze havanın kanala giriş noktasına, sıcak havanın kurutma odasına giriş noktasına ve sıcak havanın çıkış noktasına birer kuru ve yaş termometre yerleştirilerek de sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Nem ölçümünde EXTECH 444731 markalı hem sıcaklık hem de %RH olarak nem değişimini veren bir termo higrometre kullanılmıştır. Böylelikle çevre havasının ve kurutucudan çıkan havanın nem değişimi ölçülmüştür. Laboratuvar tipi deney düzeneğinde ağırlık tespiti BEL

marka 0.01 gram duyarlıklı maksimum 3100 grama kadar ölçüm yapabilen dijital bir terazi ile yapılmıştır. Kurutulan ürünün başlangıç ve son nem içerikleri METTLER marka infrared nem tayin cihazıyla belirlenmiştir. Ayrıca başlangıç ve son nem içerikleri 0-300 °C arasında ve 100 dakikaya kadar otomatik zaman ayarı yapabilen, 2000 W gücündeki termostatlı bir fırında da belirlenmiştir.

## HATA ANALİZİ

Ölçülen büyüklüklerin hata değerleri ise, ölçü araçlarının üretici firmaları tarafından önerilen hata değerleri yanında yapılan kalibrasyon çalışmalarından ve deneysel tecrübelerden teorik olarak belirlenmiştir. Her ne kadar hata analizi rastgele hataların belirlenmesi olsa bile, yukarıda belirtildiği gibi sabit hatalarla rastgele hataların birbirinden ayırt edilmesinin zor olmasından dolayı her bir büyüklük için elde edilen hata değerleri yukarıda belirtilen iki tip hatayı da kapsamaktadır. Bunun yanında diğer bir hata tipi olarak bahsedilen deneyde



**Şekil 1.** Siklon Tipi Kurutucunun Şematik Gösterimi: 1-Kurutma odası, 2- Tepsiler, 3- Terazi, 4- Gözetleme camları, 5- İç sıcaklığı gösteren termometre, 6- Tartım çubuğu, 7- Kumanda panosu, 8- Termoelemanlar, 9- Dijital termometre ve kanal seçici, 10- Voltaj transformatörü, 11- Isıtıcılar, 12-Fan, 13- Yaş ve kuru termometreler, 14- Klape, 15- Kanal, 16- Kurutma havası çıkışı

kullanılan araç ve gereçlerin imalatı sırasında yapılmış herhangi bir hatanın olmadığı kabul edilmiştir. Bütün bunların göz önüne alınması ile her bir bağımsız değişken için ortaya çıkabilecek hatalar değerleri şu şekilde belirlenebilir.

## Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hatalar

Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkabilecek hatalar deneylerde kullanılan ölçüm aletlerine bağlı olarak değişmektedir. Deneyler sırasında sistemde çeşitli noktalarda yapılan sıcaklık ölçümlerinden kaynaklanan hatalar;

- (a1) Termoeleman çiftlerinden kaynaklanan  
hata =  $\pm 0.25-0.5$  °C,
- (b1) Dijital termometreden kaynaklanan hata =  $\pm 0.1$  °C,
- (c1) Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan  
hata =  $\pm 0.1$  °C,
- (d1) Cam termometrenin yapısından, iletim kabiliyetinden ve kılcallığından kaynaklanan  
hata =  $\pm 0.25-0.5$  °C,
- (e1) Fan girişinde sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata =  $\pm 0.25$  °C,
- (f1) Isıtıcı çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata =  $\pm 0.5$  °C,
- (g1) Kurutma havasının siklona giriş sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.25$ °C,
- (h1) Kurutma havasının siklondan çıkış sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.25$ °C,
- (j1) Örneğin merkez sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.25$ °C,
- (k1) Siklon içerisindeki ve tepsiler arasındaki sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.25$ °C,
- (l1) Çevre ya da deney ortamı sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.25$ °C,

- (m1) Fan girişindeki sıcaklığın kuru ve yaş termometre ile okunması sırasındaki yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.5$ °C, şeklinde sıralanabilir.

## Zaman Ölçümünden Kaynaklanan Hatalar

Kurutma deneyleri sırasında zaman değerleri dijital bir saat yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen zaman değerleri kurutma süresinin belirlenmesinde önemli bir faktör olduğundan ortaya çıkabilecek hatalar;

- (a2) Zaman ölçerin titreşiminden kaynaklanan hata= $\pm 0.0003$  dakika
- (b2) Periyodik olarak tartım alınmasında yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.10$  dakika
- (c2) Periyodik olarak sıcaklık değerlerinin alınmasında yapılabilecek ortalama hata= $\pm 0.10$  dakika şeklinde sıralanabilir.

## Kütle Kayıplarının Ölçümünden Kaynaklanan Hata

Kütle kayıplarının ölçümünde ortaya çıkabilecek hatalar, deneyler sırasında kullanılan hassas terazi ve okuyucuya bağlı değişmektedir. Deneyler sırasında kütle ölçümlerinden kaynaklanan hatalar,

- (a3) Hassas teraziden kaynaklanan hata = $\pm 0.01$  gr
- (b3) Okumaktan kaynaklanan hata= $\pm 0.01$ gr
- (c3) Tepsilerin kurutma odası cidarına sürtünmesinden dolayı kaynaklanan hata= $\pm 0.5$ gr şeklinde sıralanabilir.

## Hız Ölçümünden Kaynaklanan Hatalar

Deneyler sırasında kurutma havasının hız değerleri anemometreyle tespit edilmiştir. Ölçülen kurutma havası hızının belirlenmesinde ortaya çıkabilecek hatalar;

- (a4) Anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata= $\pm 0.1$  m/s
- (b4) Debi kaçaklarından kaynaklanan hata= $\pm 0.1$  m/s şeklinde sıralanabilir.

### Havanın Bağlı Neminin Ölçümünden Kaynaklanan Hatalar

Siklondan çıkan kurutma havasının nemi ve çevre havasının neminin belirlenmesinde ortaya çıkabilecek hatalar;

(a5) Termohigrometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata= $\pm 0.1RH$

şeklindedir.

(b5) Havanın bağlı neminin okunmasından kaynaklanan hata= $\pm 0.01RH$

### Örneklerin Bünyesindeki Nem Miktarının Tespit Edilmesinde Ortaya Çıkan Hatalar

Kurutulan ürünün başlangıç ve son neminin tespit edilmesinde ortaya çıkabilecek hatalar;

(a6) Nem tayin cihazının hassasiyetinden kaynaklanan hata= $\pm 0.001gr$

(b6) Nem tayin cihazındaki değerin okunmasından kaynaklanan hata = $\pm 0.0001gr$

şeklindedir.

### Diğer Hatalar

Deneyler sırasında elde edilen deneysel verileri kullanarak yapılan hesaplamalarda ihtiyaç duyulan tablo değerlerinin ya da fiziksel değerlerin okunması sırasında yapılabilecek hatalarda hesap sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu kapsamda,

(a7) Fiziksel özelliklerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek hata;

$$W_p = W_{cp} = \dots = \pm 0.1-0.2$$

şeklinde yazılabilir.

### Ölçülen Değerlerden Kaynaklanan Toplam Hataların Hesaplanması

Siklon tipi kurutucuda yapılan kurutma deneylerinde sıcaklığın, zamanın, kütle kayıplarının, hızın, havanın

neminin, ve örneklerin kuru madde miktarının ölçülmesi sırasında, hem sabit hatalardan hem imalat hatalarından hem de rastgele hatalardan kaynaklanan hataların etkili olduğu tahmin edilmiştir. Ölçülen değerleri dikkate alarak siklon tipi kurutucuda yapılan kurutma işlemleri için bu değerlerden kaynaklanan toplam hataların hesaplanması gerekir.

Bir parametrenin değerinin ölçülmesinde, sabit hatalar, rastgele hatalar ve imalat hataları nedeniyle ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı (1) denklemindeki gibi yapılabilir. Farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan  $W_R$  belirsizliği aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir (Holman, 1971):

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada  $R, x_1, x_2, \dots, x_n$  bağımsız değişkenlerinin verilen bir fonksiyonudur.  $W_1, W_2, \dots, W_n$  ise bağımsız değişkenlerin belirsizliğidir.

### Sıcaklık Ölçümünde Ortaya Çıkan Toplam Hataların Analitik İfadeleri

Fan girişinde hava sıcaklığının ( $T_{fg}$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ölçümünde ( $W_{T_{fg}}$ ) (2a) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{T_{fg}} = \left[ (a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (e1)^2 \right]^{1/2} \quad (2a)$$

$$W_{T_{fg}} = \left[ (0.25)^2 + (0.1)^2 + (0.1)^2 + (0.25)^2 \right]^{1/2}$$

$$W_{T_{fg}} = \pm 0.380$$

Eğer (a1) yerine 0.5 değerini alırsak sonuç  $\pm 0.576$  olacaktır.

Isıtıcı çıkışında hava sıcaklığının ( $T_{ic}$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_{T_{ic}}$ ) (2b) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{T_{ic}} = \left[ (a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (f1)^2 \right]^{1/2} \quad (2b)$$

Kurutma havasının siklona giriş sıcaklığının ( $T_{sg}$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_{Tsg}$ ) (2c) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Tsg} = [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (g1)^2]^{1/2} \quad (2c)$$

Kurutma havasının siklondan çıkış sıcaklığının ( $T_{sc}$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_{Tsc}$ ) (2d) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Tsc} = [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (h1)^2]^{1/2} \quad (2d)$$

Kurutulan örneklerin merkez sıcaklığının ( $T_m$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_{Tm}$ ) (2e) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Tm} = [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (j1)^2]^{1/2} \quad (2e)$$

Kurutma havasının siklondan içerisindeki ve tepşiler arasındaki sıcaklığının ( $T_{sta}$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_{Tsta}$ ) (2f) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Tsta} = [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (k1)^2]^{1/2} \quad (2f)$$

Çevre ya da deney ortamı sıcaklığının ( $T_c$ ) ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata ( $W_{Tc}$ ) (2g) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Tc} = [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (l1)^2]^{1/2} \quad (2g)$$

Fan girişinde hava sıcaklığının kuru ve yaş termometreyle ( $T_{kyf}$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ölçümünde ( $W_{Tkyf}$ ) (2h) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Tkyf} = [(d1)^2 + (m1)^2]^{1/2} \quad (2h)$$

### **Zaman ölçümünde ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadeleri**

Kurutma deneylerinde periyodik olarak okunan kütle kayıplarının tespitinde her bir tartım periyodunda ( $t_w$ )

meydana gelebilecek toplam zaman hatası ( $W_{tw}$ ) (3a) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{tw} = [(a2)^2 + (b2)^2]^{1/2} \quad (3a)$$

Deneylerde periyodik olarak okunan sıcaklık değerlerinin tespit periyodunda ( $t_s$ ) zaman bakımından meydana gelebilecek toplam hata ( $W_{ts}$ ) (3b) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{ts} = [(a2)^2 + (c2)^2]^{1/2} \quad (3b)$$

### **Kütle kayıplarının ölçümünde ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadeleri**

Kurutulan ürünlerin periyodik olarak kütle kayıplarının ( $W$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_w$ ) (4) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_w = [(a3)^2 + (b3)^2 + (c3)^2]^{1/2} \quad (4)$$

### **Hız ölçümünden ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadeleri**

Kurutma havası hızının ( $V$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_v$ ) (5) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_v = [(a4)^2 + (b4)^2]^{1/2} \quad (5)$$

### **Örneklerin Bünyesindeki Nem Miktarının Tespit Edilmesinde Ortaya Çıkan toplam hataların analitik ifadeleri**

Kurutulan örneklerin bünyesindeki nem içeriğinin ve kuru madde miktarının ( $M_{km}$ ) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata  $W_{Mkm}$  (6) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Mkm} = [(a6)^2 + (b6)^2]^{1/2} \quad (6)$$

Tablo 1'de deneylerde yapılan hataların toplam değerleri sayısal olarak verilmiştir.



Tablo 1. Kurutma Deneylerinde Yapılan Hataların Toplam Değerleri

Hata oluşturan parametreler	Birim	Toplam hata
<b>Sıcaklık ölçümündeki toplam hata</b>		
$W_{Tfg}$	°C	$\pm 0.380 - \pm 0.576$
$W_{Tıç}$	°C	$\pm 0.576$
$W_{Tsg}$	°C	$\pm 0.380$
$W_{Tsç}$	°C	$\pm 0.380$
$W_{Tm}$	°C	$\pm 0.380$
$W_{Tsta}$	°C	$\pm 0.380$
$W_{Tç}$	°C	$\pm 0.380$
$W_{Tkyf}$	°C	$\pm 0.559 - \pm 0.707$
<b>Zaman ölçümündeki toplam hata</b>		
$W_{tw}$	dakika	$\pm 0.1$
$W_{ts}$	dakika	$\pm 0.1$
<b>Kütle kaybının ölçümündeki toplam hata</b>		
$W_w$	gram	$\pm 0.5$
<b>Hız ölçümündeki toplam hata</b>		
$W_v$	m/s	$\pm 0.14$
<b>Havanın bağıl neminin ölçümündeki toplam hata</b>		
$W_{\varphi}$	RH	$\pm 0.1$
<b>Örneklerin bünyesindeki nem miktarının tespitindeki toplam hata</b>		
$W_{Mkm}$	gram	$\pm 0.001$
<b>Diğer hatalar</b>		
$W_p = W_{cp} = \dots\dots\dots$	%	$\pm 0.1 - 0.2$

## SONUÇ

Yapılan çalışmada, siklon tipi kurutucuda kurutma olayındaki hata analizi ele alınarak deneysel çalışmalardaki hata analizinin belirlenmesi için bir örnek teşkil edilmiştir. Bu sistem için hata oluşturan kriterler belirlenerek hataların dereceleri ve miktarları verilmiştir. Sistemdeki

en büyük hata değerleri sıcaklık ölçümünde elde edilmiştir. Sıcaklık ölçümündeki toplam hata  $\pm 0.380 - \pm 0.707$  °C arasında değişmiştir. Bu değerlerin ölçümler açısından düşük değerler olduğu söylenebilir. Ayrıca, bu çalışmanın ileride yapılacak olan deneysel çalışmalardaki hata analizlerinin tespitinde araştırmacılara yararlı olacağı düşünülmektedir.

## SEMBOLLER

a, b, c, d, e, f, g, h, j, k, l, m	Parametre
R	Bir fonksiyon
W	Belirsizlik miktarı
x	Bağımsız değişken

## İNDİSLER

M <sub>km</sub>	Kuru madde miktarı
c <sub>p</sub>	Özgül ısı kapasitesi
t <sub>w</sub>	Kütle ölçümündeki zaman
t <sub>s</sub>	Sıcaklık ölçümündeki zaman
T <sub>fg</sub>	Fan girişindeki sıcaklık
T <sub>iç</sub>	Isıtıcı çıkışındaki sıcaklık
T <sub>sg</sub>	Siklon girişindeki sıcaklık
T <sub>şç</sub>	Siklon çıkışındaki sıcaklık
T <sub>m</sub>	Kurutulan örneklerin merkezindeki sıcaklık
T <sub>sta</sub>	Siklon içerisindeki ve tepsiler arasındaki sıcaklık
T <sub>ç</sub>	Çevre sıcaklığı
T <sub>kyf</sub>	Fan girişindeki havanın kuru ve yaş termometre sıcaklığı
v	Hız
w	Kütle
φ	Bağıl nem
ρ	Yoğunluk

## KAYNAKÇA

1. Akpınar E.K., Tarımsal Ürünler İçin Siklon Tipi Bir Kurutucunun Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2002.
2. Akpınar E. K., ve Biçer Y., Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Siklon Tipi Bir Kurutucunun Kullanılabilirliği, Mühendis ve Makina Dergisi, 43(515), 21-26, 2002.
3. Akpınar E., Midilli A., Biçer Y., Single Layer Drying Behavior of Potato Slices in a Convective Cyclone Dryer And Mathematical Modeling, Energy Conversion and Management, 44(10), 1689-1705, 2003a.

4. Akpınar E. K., Midilli A., Biçer Y., Experimental Investigation of Drying Behavior and Conditions of Pumpkin Slices Via a Cyclone-Type Dryer, Journal of the Science of Food and Agriculture, 83, 1480-1489, 2003b.
5. Akpınar E. K., Biçer Y., Midilli A., Modeling and Experimental Study on Drying of Apple Slices in a Convective Cyclone Dryer, Journal of Food Process Engineering, 26(6), 515-541, 2003c.
6. Coleman H. W., Steele W.G., Engineering Application of Experimental Uncertainty Analysis, AIAA J., 33, 1995
7. Hepbaşlı A., Akdemir O., Energy and Exergy Analysis of a Ground Source (geothermal) Heat Pump System. Energy Convers. Manage. 45, 737-753, 2004.
8. Holman J.P., Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill Book Company, 37-52, 1971.
9. Midilli A., Doğal Vakum Tekniği ile Atıksuların Damıtılması, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2001.
10. Moffat R.J., Contributions to the Theory of Single Sample Uncertainty Analysis. J. Fluids Engineering, 104, 250-260, 1982.
11. Moffat R.J., Using Uncertainty Analysis in The Planning of an Experiment. J. Fluids Engineering, 107, 173-178, 1985.
12. Moffat R.J., Describing the Uncertainties in Experimental Results, Experimental Thermal and Fluid Science, 1(1), 3-17, 1988.

**DAHA ETKİN  
BİR ODA İÇİN  
ÜYELİK  
ÖDENTİLERİMİZİ  
ZAMANINDA  
ÖDEYELİM**