

Balığın Kuruma Davranışı Üzerinde Parça Etkisi ve Sistemin Enerji Gereksiniminin İncelenmesi

Murat Erdem^{1*}, Yasin Varol², Hakan Fehmi Öztop³, İsmail Türkbay²

¹Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, 23119 Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ

³Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ

*m.erdem82@gmail.com, yvarol@gmail.com, hfoztop4@gmail.com, iturbay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 11.04.2016; Kabul/Accepted: 15.06.2016)

Özet

Bu çalışmada, sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında alabalığın kurutma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Hava giriş hızı 1.5 m/s ve sıcaklığı 53 °C olarak seçilmiştir. Deneyler %28-42'lik bağıl nem aralığında gerçekleştirilmiştir. Balıklar tek parça, beş parça ve on parça olarak kurutulmuştur. Balığın nem içeriği, kuruma hızı ve iç sıcaklığı ile ilgili elde edilen veriler kuruma zamanının bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Bunun yanında kuruma işlemi boyunca gerekli olan toplam enerji de hesaplanmıştır. Minimum ve maksimum enerji ihtiyacı sırasıyla on parça olarak kurutulan balık için 68.442 kWh ve tek parça olarak kurutulan balık için 77.471 kWh bulunmuştur. Parça etkisinin balığın kuruma zamanı üzerinde çok etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Kurutma Hava Hızı ve Sıcaklığı, Balık, Balık Kurutma.

Investigation of the Energy Requirement of System and the Effect of Piece on the Drying Behavior of Fish

Abstract

In this study, drying behavior of trout at a constant air inlet velocity and its temperature has been investigated experimentally. Drying air inlet velocity and its temperature was selected as 1.5 m/s and 53 °C, respectively. Experiments have been conducted in the range of 28-42% relative humidity. Fish have been dried as one piece, five pieces and ten pieces. The obtained data related to the interior temperature, drying rate and moisture content of fish has been presented as a function of drying time. Moreover, throughout the drying process has been also calculated total energy requirement. The minimum and maximum energy requirement has been found as 68.442 kWh for fish dried with ten pieces and 77.471 kWh for fish dried with a single piece, respectively. The impact of the piece on the drying time of fish was observed to be very effective.

Key words: Drying, Drying Air Velocity and Temperature, Fish, Fish Drying.

1. Giriş

Tarım ve hayvancılıkta besin maddelerinin kurutularak saklanması ve depolanması çok uzun yıllardan beri bilinen ve her tür besin maddesine uygulanabilen bir yöntemdir. Tahıllar, baklagiller, sebze, meyve, et ve su ürünleri gibi her türlü besin maddesi kurutularak muhafaza edilebilir. Kurutma, besinleri uzun süre saklamak için kullanılan en sağlıklı yöntemlerden bir tanesidir. Dünyada kurutma işleminde en çok uygulanan tekniklerinden birisi açık güneş altında kurutma tekniğidir. Bu teknik aynı zamanda doğal kurutma olarak tanımlanmaktadır. Ancak, açık güneşte kurutma

tekniki, kurutma parametrelerinin kontrol edilmesindeki güçlük, hava şartlarındaki belirsizlik, çok fazla işçilik gerektirme, geniş kurutma alanı ihtiyacı, böcekler, tozlar ve diğer yabancı maddelerin ürüne karışması gibi nedenlerden dolayı kontrolü oldukça zor bir işlemdir. Hayvansal ürünlerin çoğu da kurutma tekniği ile muhafaza edilebilir. Bunlardan biri de balıktır. Balığın kurutulması, balığın su miktarının düşürülüp, bakteri üreme ve gelişmesine uygun olmayan seviyeye getirilmesi prensibine dayanan en eski balık işleme metotlarından bir tanesidir. Özellikle balık avcılığının çok gerçekleştiği dönemlerde, taze olarak tüketilemeyen balıkların, daha az avcılığın

gerçekleştiği dönemlere saklanması için uygulanan bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Bir başka deyişle, kurutma; gıda maddesinin içerdiği suyun kontrollü koşullarda buharlaştırılması işlemidir. Balık eti, bozulmaya karşı son derece hassas bir besin maddesidir. Bu hassasiyeti nedeniyle, avlanıldığı andan itibaren fiziksel ve çevresel faktörlerden hızlı bir şekilde etkilenir. Balık genellikle, soğuk hava depolarında soğutulmuş muhafaza edilir. Ayrıca balığın nakledilmesi gereken durumlarda donduruculu taşıtlar kullanılarak ürünün korunması sağlanır. Soğutma, enerji maliyeti yönünden oldukça maliyet gerektiren bir işlemdir. Bu maliyet doğrudan ürüne yansımaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş işleme teknolojileri çok çeşitlilik göstermekle birlikte hepsinde temel amaç, mevcut kaliteyi ve balığın yenilebilir durumunu uzun süre korumaktır [1-3].

Literatürde meyve, sebze ve et ürünlerinin kurutulması ve kuruma eğrileri ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ancak balıkların kurutulması ve sistemin toplam enerji ihtiyacının hesaplanması ile ilgili veriler çok kısıtlıdır. Konuyla ilgili bazı araştırmacıların çalışmaları şöyle sıralanabilir. Kiliç [4], kurutma uygulamalarında düşük sıcaklık fakat yüksek hızda balığın kalitesi üzerinde bazı karakteristiklerin etkisini incelemiştir. Uygulanan metodun balığın mikrobiyolojik ve biyokimyasal bozulmaları minimize etmek için kullanılabileceği önerilmiştir. Varlık ve arkadaşları [5], su miktarı belirli bir oranın altına düşürülmüş olan gıda maddelerinin, normal atmosfer koşullarında diğer maddelere göre kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalara karşı daha dayanıklı olduğunu savunmuşlardır. Jain ve Pathare [6], güneş altında bazı balıkların kuruma kinetiklerini incelemiştir. Çalışmada, karides balığı ve Hindistan sazan balığını kurutmuşlardır. Kuruma oranı eğrilerinin kuruma süresince lineer olarak düştüğünü gözlemlemiştir. Nispeten yüksek geçirgenliğe sahip yumuşak ağaç tipleri yüksek sıcaklıkta kurutulmasını Nijdam vd. [7] tarafından incelenmiş olup, bir boyutlu temel üzerinden modelleme yapılmıştır. Zamana göre modelden tahmin edilen sıcaklık ve ortalama nem içeriği profilleri literatürde mevcut deneysel verilerle uyum içinde olduğu iddia edilmektedir. Simal vd. [8], aynı kurutma modeli farklı besin

ya da kurutma şartlarına aynı hassasiyetle uygulanamayacağını savunmaktadırlar. Akpınar ve Dinçer [9], siklon tipi bir kurutucuda patlıcan numunelerinin kuruma davranışını deneysel olarak incelemiştir, daha sonra bunları matematiksel değerlerle karşılaştırmışlardır. Deneysel ve Matematiksel verilerin birbirleriyle uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Özgen [10], Kızılıcığın kurutma karakteristikleri üzerinde hava giriş hızının etkisini konvektif bir kurutucuda deneysel olarak incelemiştir. Toplam kuruma zamanı üzerinde hava giriş hızının etkili olduğunu gözlemlemiştir. Koyuncu [11], sera tipi zirai kurutucuların performansını geliştirmek amacıyla iki farklı tipte kurutucu tasarlamıştır. Sonuçta zirai ürünleri kurutmak için tasarlanan sirkülasyonlu sera kurutucuların kullanımının açık havada yapılan kurutuculardan 3-5 kat daha verimli olduğunu tespit etmiştir. Öztop ve Akpınar [12], bazı ürünleri taşınım kurutma için nem transferi analizini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Erdem vd. [13], sabit hava giriş sıcaklığında fakat üç farklı hava giriş hızı için alabalığın kuruma davranışını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada kullandıkları kurutma sistemi için balık numunelerinin en uygun $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 2.5ms^{-1} hava giriş hızında kurulmasını önermektedirler. Literatürde kızılıcık meyvesinin kuruma karakteristikleri ve enerji gereksinimi (Energy requirement) ile ilgili Özgen [14] ve Koyuncu [15] tarafından gerçekleştirilen bazı çalışmalar analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, kare karşıt-kesitli, kurutma kanalı cam yünü ile yalıtılmış elektrikli bir kurutucuda sabit hava giriş sıcaklığı ve sabit hava giriş hızında alabalığın kuruma davranışını, balığın üç farklı yüzey alanı için incelemektir. Literatürde sık sık ürünün yüzey alanının kuruma zamanı üzerinde etkili olduğu vurgulanmış ancak somut olarak gerçekleştirilmiş çalışmalar neredeyse yok denecek kadar azdır. Bu nedenle bu çalışmanın ürünün yüzey alanının kuruma zamanı üzerindeki etkisini somut olarak sunulmasından dolayı, kurutma çalışmaları için faydalı olacağı öngörülmektedir. Aynı zamanda kurutma sistemleri içinde çok önemli olan ve yine literatürde çok az rastlanılan enerji ihtiyacının hesaplanması da bu çalışmanın diğer bir amacıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Nem içeriği

Nem içeriği, ürün içerisinde bulunan nemin bir ölçüsüdür. Nem içeriği yaş temel ve kuru temel olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir. Yaş temele göre hesaplanan nem içeriği aşağıdaki formül ile elde edilmiştir [16]:

$$M_{wb} = \frac{M_w}{M_T} \quad (1)$$

Üründeki suyun miktarının, ürünün kuru kütle miktarına bölünmesiyle kuru temele göre nem içeriği elde edilebilmektedir. Kuru temele göre nem içeriği (M_{db}) aşağıdaki formül ile elde edilebilmektedir:

$$M_{db} = \frac{M_w}{M_k} \quad (2)$$

Burada, (1) nolu denklemdeki M_T , balığın toplam ağırlığı (kuruma öncesi ağırlık), M_w , suyun gram cinsinden miktarıdır ve (2) nolu denklemde M_k , balığın kuru madde ağırlığıdır.

2.2. Boyutsuz nem oranı

Ürünün herhangi bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin, başlangıç anındaki nem içeriğine oranına nem oranı denilmektedir. Nem oranı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır [17]:

$$M = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (3)$$

Bu denklemde, M , kuruma esnasında balığın boyutsuz nem içeriğini, M_e denge ağırlığını, M_t balığın t anındaki ağırlığını ve M_o ürünün başlangıç ağırlığını temsil etmektedir.

2.3. Kuruma hızı

Kurutulan üründeki nem içeriğinin gram olarak birim zamandaki değişimine kuruma hızı

denilmektedir. Takip edilen denklem kuruma hızını hesaplamak için kullanılmaktadır:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \right) = - \frac{dM}{dt} \quad (4)$$

(4) nolu denklemde, dM/dt kuruma hızını ve M_t , t anındaki balığın ağırlığını, $M_{t+\Delta t}$ ise, $t+\Delta t$ anındaki balığın gram cinsinden ağırlığını göstermektedir.

2.4. Toplam enerji gereksinimi

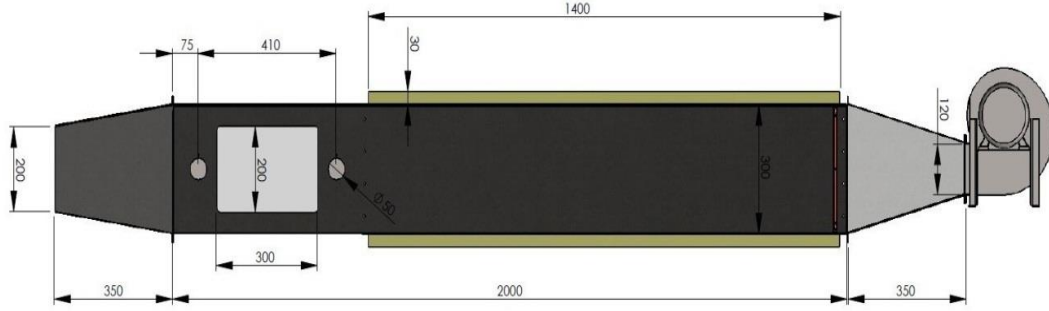
Deneyler esnasında, sabit hava giriş hızı ve hava sıcaklığında farklı boyutlardaki balıklar için toplam kuruma zamanı hesaplandı. Diğer taraftan, ürünün kuruması esnasında kurutucu için ihtiyaç duyulan toplam enerji belirlendi [14]:

$$E_t = Av\rho c\Delta T D_t \quad (5)$$

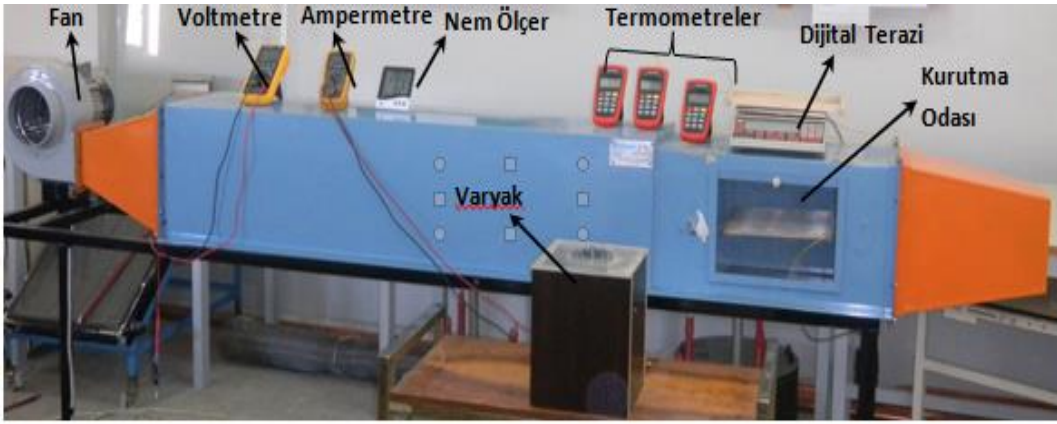
Burada, A, kuruma havası akış yüzey alanı, v, kurutma hava giriş hızı, ρ , hava yoğunluğu, c, havanın özgül ısısı, ΔT , kurutucunun girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ve D_t , toplam kuruma zamanıdır.

3. Deney Düzenegi

Deney setinin ölçüleri Şekil 1 a'da (mm olarak), Şekil 1 b'de ise deney setinin komple gerçek resmi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi deney seti genel olarak; fan, giriş boğazı, elektrikli ısıtıcı, akış kanalı, yalıtımlı bölge, ölçüm alma yerleri (yaş ve kuru termometre sıcaklıkları), gözetleme penceresi ve çıkış boğazından oluşmaktadır. Akış kanalının üzerindeki yalıtım bölgesinin uzunluğu 1400 mm olarak imal edilmiştir. Deney setinin akış kanal uzunluğu 2000 mm boyutunda olup, 300x300 mm ebatlarında kare karşı-kesitli olarak tasarlanmıştır. Deney setinin giriş ve çıkış nozul uzunlukları 350 mm olarak yapılmıştır. Fan çıkışı yani deney düzeneginin hava giriş kesiti 120x120 mm ebatında kare olarak oluşturulmuş ve yalıtım kalınlığı 30 mm olarak imal edilmiştir.



a)



b)

Şekil 1. a) Deney setinin ölçüleri (mm), b) Deney setinin gerçek resmi

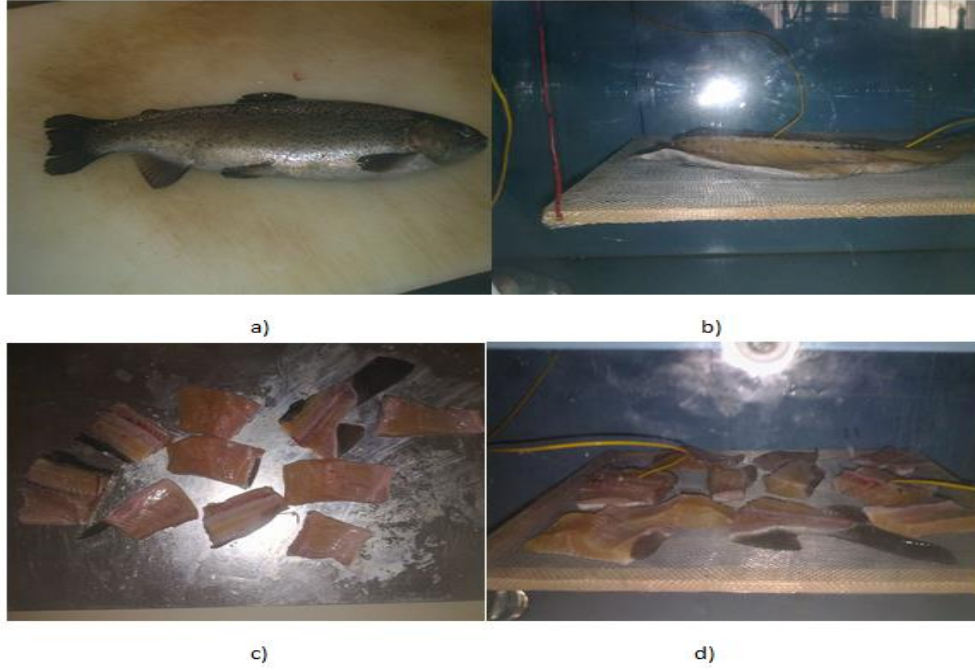
Kurutma odasının giriş ve çıkış bölgesinde yaş ve kuru termometre sıcaklıklarını ölçmek için her biri 50 mm çapında olan iki tane delik mevcuttur. Bu delikler arası mesafe 410 mm olarak ayarlanmış ve bu deliklerde oluşabilecek hava kaçağı deney setiyle birlikte imal edilen kapaklarla kontrol altında tutulmaktadır. Deneyler esnasında, ölçüm aralığı $-20+80^{\circ}\text{C}$ olan K tipi dijital el termometre yardımıyla kurutma odası giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığı ve ürünün iç sıcaklığı bir saat aralıklarla ölçülmüştür. Kurutma odasının içerisindeki kuruyan ürünü gözetlemek için, kurutma odasının gözetleme penceresi pleksiglasstan imal edilmiştir. Pleksiglassın ebatları 300x200 mm olarak oluşturulmuştur. Ayrıca, deney düzeneğinin hava çıkışı kare kesitli olarak 200x200 mm ebatında tasarlanmıştır. Düzenekte kullanılan fanın gücü 375 W, devir sayısı 1400 d/d ve debisi $1250 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Fan aracılığıyla elde edilen farklı hava hızları dimmerle kontrol

edilmiştir. Kuruma işlemi esnasında sistem arasından geçen hava hızı, 0.4-3 m/s aralığında ölçüm yapabilen ve %3 hassasiyete sahip RAM DT-619 model dijital bir el anemometresi yardımıyla ölçülmüştür. Sistemde ısıtıcı olarak rezistanslar kullanılmıştır. Rezistanslar hava akışını engellemeyecek şekilde ve bulunduğu bölgeyi eşit ısıtacak şekilde yerleştirilmiştir. Sisteme takılan varyak vasıtasıyla rezistanslara sabit ısı akısı verilmiştir. Bu şekilde rezistanslar ısıtılarak istenilen sıcaklıklar elde edilmiştir. Numunelerin nem kaybı, $\pm 0.1\text{g}$ hassasiyete sahip ve ölçüm aralığı 0-6000g arasında değişen Avery Berkel (Model CC061) marka terazi yardımıyla 10 dakikada bir ölçülmüştür. Balıklar kurutma odasından çıkartılmadan ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan ürünlerin başlangıç nem içeriği, nem tayin cihazı ile belirlenmiştir. Deney seti St-52 sac malzemeden imal edilmiş ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır.

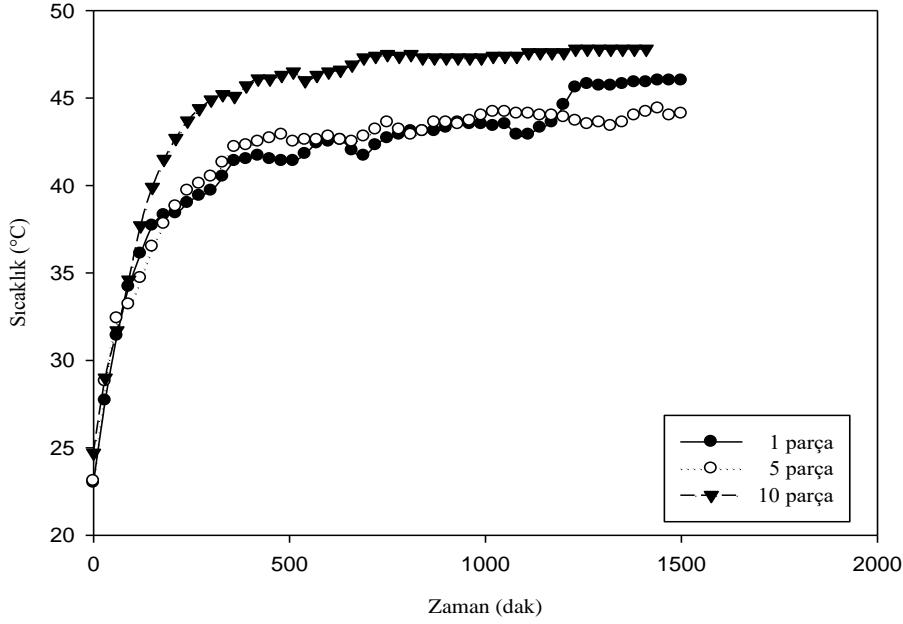
4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, elektrikli kare karşıt-kesitli konvektif bir kurutucuda alabalığın kuruma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Balıklar tek parça, beş parça ve on parça olarak kurutucuda kurutulmuştur. Balıkların kuruma eğrileri ve kurutucunun toplam enerji ihtiyacı, sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında, balığın farklı yüzey alanları için elde edilmiş ve sonuçlar grafik olarak sunulmuş ve tartışılmıştır. Balıklar kurarken nem kaybı ölçümü yapılmış ve bu esnada balıklar kuruma odasından çıkartılmamıştır. Bu şekilde kuruma odasından

dışarıya doğru meydana gelebilecek ısı transferi kuruma süresini olumsuz etkileyeceğinden engellenmiştir. Balıkların iç sıcaklıkları hassas K tipi dijital el termometresine bağlanan kablolar yardımıyla Şekil 2’de gösterildiği gibi ölçülmüştür. Balıkların iç sıcaklıkları farklı noktalardan ölçülerek ortalama sıcaklıkları esas alınmıştır. Kurutulan numuneler Elazığ merkezde bulunan Keban alabalık tesisinin havuzundan temin edilmiş ve üzerinden fazla zaman geçmeden kurutucuya konulmuştur. Balığın kuruma öncesi ve kuruma esnasında çekilmiş bazı resimleri Şekil 2’de sunulmuştur.



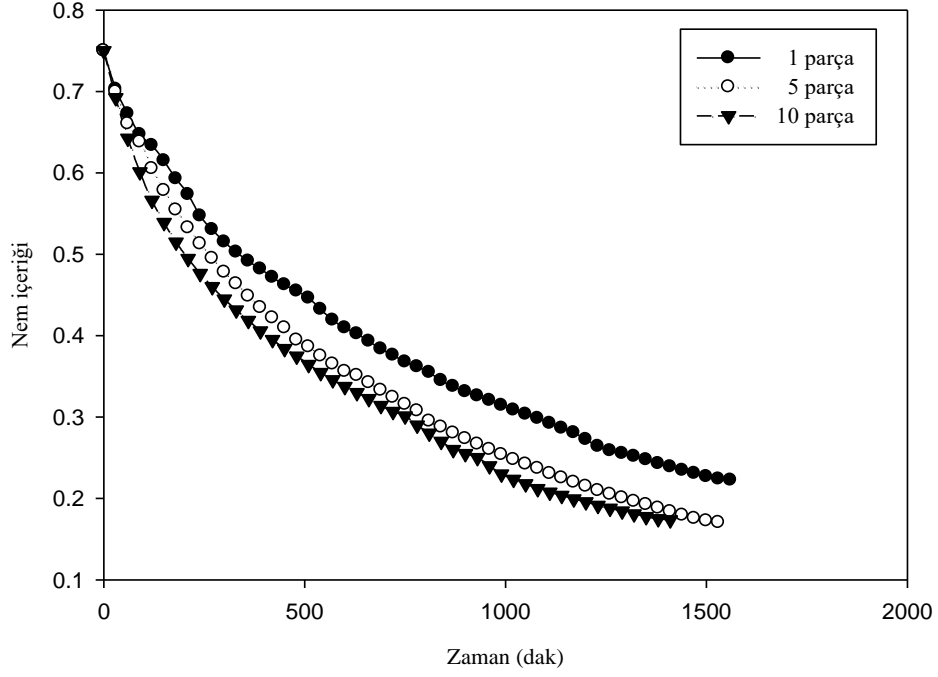
Şekil 2. Alabalık resimleri: a) kurutma işlemi öncesi balık, b) kuruyan tek parça balık, c) kuruma öncesi parçalara bölünmüş balık, d) kuruyan çok parçalı balık.



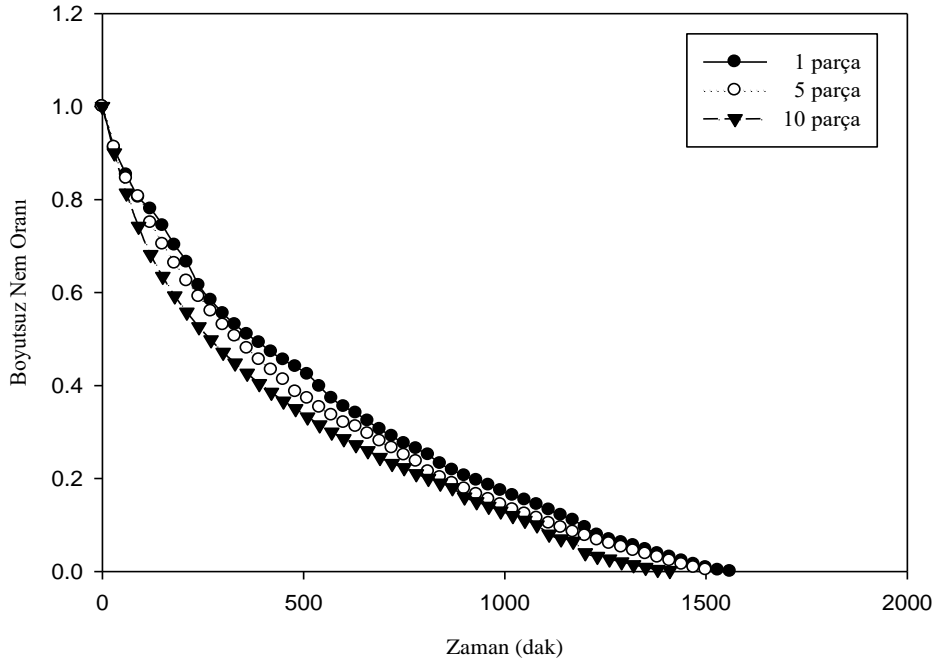
Şekil 3. Sabit hava hızı ve sıcaklığında parçalara bölünmüş balığın iç sıcaklığının zamana göre değişimi
($V = 1.5$ m/s, $T = 53$ °C)

Şekil 3'te sabit hızda ($V = 1.5$ m/s) ve sabit sıcaklıkta ($T = 53$ °C) kurutma alanı değiştirilmiş balıkların iç sıcaklığının kuruma zamanına göre değişim grafiği verilmiştir. Balıkların içindeki sıcaklık değişiminin kurutmanın özellikle ilk 500 dakikasına kadar çok hızlı bir şekilde artmıştır. İlerleyen zamanda bu artış miktarının azaldığı ve kuruma işleminin sonuna doğru sabitleştiği görülmektedir. Kurutma yüzey alanı arttıkça balığın iç sıcaklığın da daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum küçük parçaya bölünmüş balıkta sıcaklığın iç kısımlara daha hızlı bir sürede ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi tek parça olan balığın iç sıcaklığının diğerlerine göre geç arttığı ve 1200. dakikanın sonra ani bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Bu durum balığın tek parça olarak kurduğunda, sıcaklığın balığın iç kısımlarına daha geç ulaştığından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Şekil 4'de sabit hava giriş hızı ($V = 1.5$ m/s) ve sıcaklığında ($T = 53$ °C) kuruma yüzey alanı değiştirilmiş balıkların kurutulmasında, yaş temele göre hesaplanmış nem içeriğinin zamana göre değişim grafiği verilmiştir. Bulgular Denklem (1) kullanılarak elde edilmiştir. Her üç numunede beklenildiği gibi nem içeriği zamanla azalmıştır. 5 ve 10 parçaya ayrılmış balıkların tek parça halindeki balığa göre nem içeriğinin daha düzgün azaldığı ve birbirine daha çok benzediği görülmektedir. Balık küçük parçalara bölündüğünde balığın daha hızlı bir şekilde kuruduğu şekilden görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi nem kaybı, kurutmanın başında fazla iken kurutmanın sonuna doğru azaldığı görülmektedir. Bu durum kuruma prosesinin başında üründe daha fazla su bulunmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. Sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında parçalara bölünmüş balığın nem içeriğinin zamana göre değişimi ($V = 1.5 \text{ m/s}$, $T = 53 \text{ }^\circ\text{C}$)

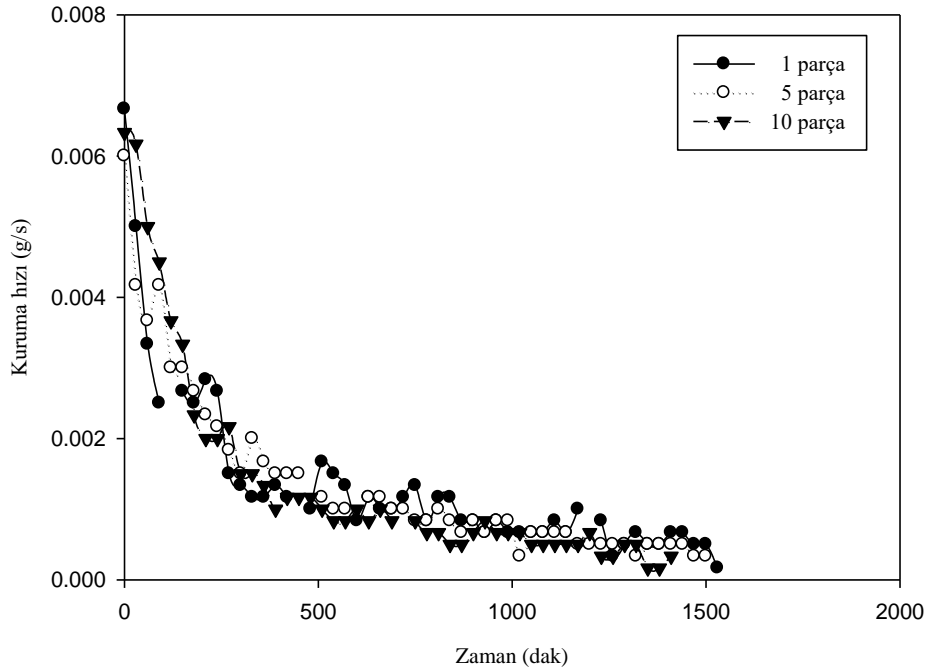


Şekil 5. Sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında parçalara bölünmüş balığın boyutsuz nem oranının zamana göre değişimi ($V = 1.5 \text{ m/s}$, $T = 53 \text{ }^\circ\text{C}$)

Şekil 5’de sabit hava giriş hızı ($V = 1.5$ m/s) ve sıcaklığında ($T = 53$ °C) kurutma alanı farklı olan balıkların boyutsuz nem oranının kuruma zamanına göre değişim grafiği gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi boyutsuz nem oranının zamanla azaldığı görülmektedir. Kurutma işleminin başlangıcında nem kaybının, kurutma işleminin sonuna göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kurutma yüzey alanı en fazla olan balığın (10 parçaya bölünmüş balık) en önde sıfır çizgisine indiği, sonra beş parçaya bölünmüş balık ve daha sonra tek parça halindeki balığın sıfır çizgisine indiği Şekilden net bir şekilde anlaşılmaktadır. Buradan balık küçük parçalara bölündükçe balığın daha kısa zamanda kuruduğu, dolayısıyla kuruma işleminin daha

hızlı bir sürede tamamlandığı sonucuna varılmaktadır.

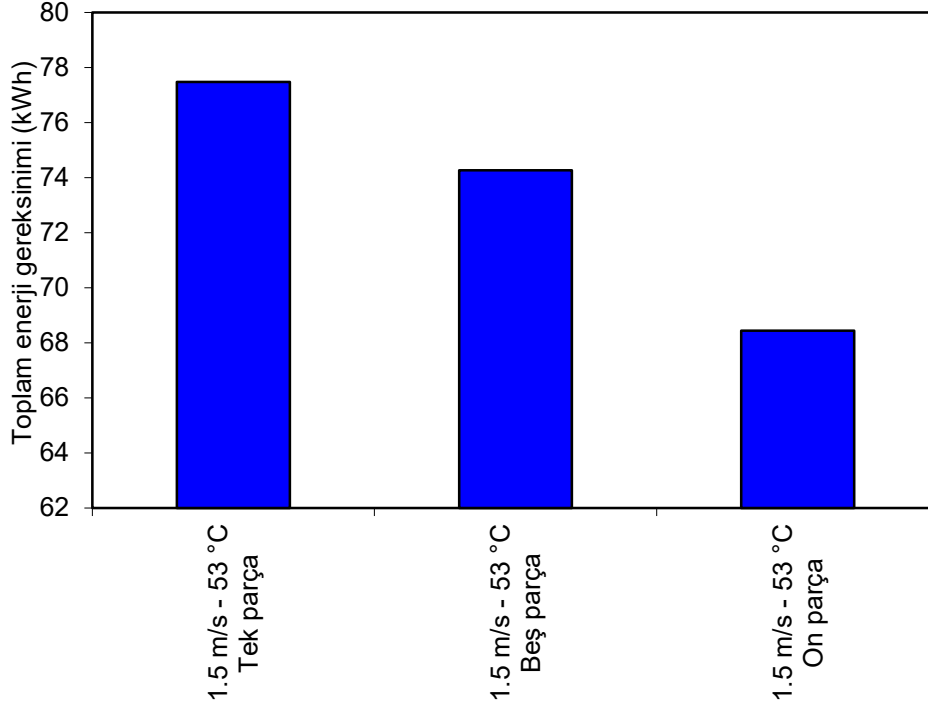
Şekil 6’da sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında balıkların farklı yüzey alanları için kuruma hızlarının kuruma zamanına göre değişim grafiği gösterilmiştir. Kurutmanın başlarında özellikle ilk 500 dakikaya kadar kuruma hızı süratle azalmaktadır. Birim zamandaki nem kaybının aşağı yukarı ilk 500 dakikaya kadar çok fazla olduğu görülmektedir. Daha sonraki zamanlarda kuruma hızı çok az bir şekilde değişmektedir. Kurutmanın sonuna doğru zamana bağlı nem kaybı değişiminin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında parçalara bölünmüş balığın kuruma hızının zamana göre değişimi ($V = 1.5$ m/s, $T = 53$ °C)

Şekil 7, 1.5 m/s hava giriş hızı ile 53 °C hava giriş sıcaklığında farklı kurutma yüzey alanlarına sahip numunelerin kurutulmaları esnasında kurutucu sistem için hesaplanan toplam ısı enerjisi gerekliliğini temsil etmektedir. Toplam enerji gerekliliği Denklem (5) ile hesaplanmıştır. 53 °C ve 1.5 m/s de tek parça halinde kurutulmuş balık için 77.471 kWh, beş

parça şeklinde kurutulmuş balık için 74.266 kWh ve on parça olarak kurutulmuş balık için 68.442 kWh olarak elde edilmiştir. Burada on parça olarak kurutulmuş balık için enerji gereksinimi en az olduğundan balığın bu şekilde kurutulmasının enerji tasarrufu bakımından avantajlı olduğundan önerilmektedir.



Şekil 7. Sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında farklı yüzey alanlarına bölünmüş balıkların kurutucu sistem için toplam enerji gereksinimi

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında farklı yüzey alanları için alabalığın kurutma davranışı kare karşıt-kesitli bir elektrikli kurutucuda deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerin gerçekleştiği ortamın bağıl nemi %28-42 olarak ölçülmüştür. Balıklar, tek parça, beş parça ve on parça olarak kurutulmuştur. Seçilen balıklar ortalama 200 gram ağırlığındadır ve toplam enerji ihtiyacı bu değere göre hesaplanmıştır. Balığın iç sıcaklığı, nem içeriği ve kuruma hızı değişimi zamanın bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Aynı zamanda sistem için gerekli olan toplam enerji miktarı da hesaplanmış ve bu değerler grafik olarak verilmiştir. Elde edilen minimum ve maksimum toplam enerji gereksinimi sırasıyla on parça olarak kurutulan balık için 68.442 kWh ve tek parça olarak kurutulan balık için 77.471 kWh elde edilmiştir. Bu değerler dikkate alındığında balığın parçalara ayrılarak kurutulması enerji tasarrufu açısından daha uygun olduğu önerilmektedir. Ayrıca bu hava giriş şartlarında

kurutulan balıkların renginde ve kokusunda herhangi bir bozulmanın meydana gelmediğinden bu şartlarda balık kurutulmasının uygun olduğu, balığın parçalara ayrılmasının kuruma zamanı üzerinde etkili olduğu ve bunun sistemin toplam enerji ihtiyacını etkilediği, aynı zamanda kurutma işleminin ortamın bağıl neminden önemli ölçüde etkilendiği sonucuna varılmıştır.

6. Semboller

- A : Kurutma havası akış yüzey alanı
- c : Havanın özgül ısısı
- D_t : Toplam kuruma zamanı
- E_t : Toplam enerji ihtiyacı
- M_{wb} : Yaş baza göre nem içeriği
- M_{db} : Kuru baza göre nem içeriği
- M_w : Ürünün su ağırlığı
- M_T : Ürünün toplam ağırlığı
- M_k : Ürünün kuru ağırlığı

- M : Nem oranı
 M_t : Ürünün t anındaki ağırlığı
 M_e : Denge nemi ağırlığı
 M_0 : Ürünün başlangıç ağırlığı
 $\frac{dM}{dt}$: Kuruma hızı
 $M_{t+\Delta t}$: Ürünün $t + \Delta t$ anındaki ağırlığı
 ρ : hava yoğunluğu
 v : kurutma hava giriş hızı
 ΔT : Kurutucunun girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı

7. Kaynaklar

1. Erdem, M., Öztop, H.F., Varol, Y., Kamışlı, F. (2013). Tepsili bir kurutucuda kurutulan alabalığın üzerinde hava giriş sıcaklığı etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Dicle Üniversitesi 2. Anadolu Enerji Sempozyumu, (2-4 Mayıs 2013) Bildirileri, H. Bayındır (Editör), Diyarbakır, 741-745.
2. Erdem, M. (2011). Balığın tepsili kurutucuda kurutma davranışının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 67s.
3. Erdem, M., Varol, Y. (2014). Alabalığın kurutulması ve tuzlanması üzerine deneysel bir çalışma. Termodinamik Dergisi, 264, 92-102.
4. Kilic, A. (2009). Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality, *Journal of Food Engineering*, **91**, 173-182.
5. Varlık, C., Erkan, N., Özden, Ö., Mol, S., Baygar, T. (2004). Su Ürünleri İşleme Teknolojisi, Yayın No:4465, İstanbul, Türkiye.
6. Jain, D., Pathare, P.B. (2007). Study the Drying Kinetics of Open Drying of Fish, *Journal of Food Engineering*, **78**, 1315-1319.
7. Nijdam, j., Langrişh, T.A.G. and Keey, R.B. (1999). A High Temperature Drying Model for SoftWood Timber. *Chemical Engineering Science*, **55**, 3585-3598.
8. Simal, S., Berna, A., Mullet, A., Rsello, C. (1993). A method for the calculation of the heat transfer coefficient in potato drying, *Journal of Science of Food Agriculture*, **63**, 365-367.
9. Akpınar, E.K., Dinçer, I. (2005). Moisture transfer models for slab drying. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **32**, 80-93.
10. Özgen, F. (2013) Kurutma Havası Hızının Kızılciğın Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, **25** (1), 49-56. 2013.
11. Koyuncu, T. (2006). An investigation on the performance improvement of greenhouse-type agricultural dryers. *Renewable Energy*, **31**, 1055-1071.
12. Oztop, H.F., Akpınar, E.K.. (2008). Numerical and experimental analysis of moisture transfer for convective drying of some products. *International Communication in Heat and Transfer*, **35**, 169-177.
13. Erdem M., Varol Y., Oztop H.F., Kamışlı F. (2014). Experimental study of thin layer drying behavior of a fish, (Eds) Dincer I, Midilli, A., Kucuk, H., Progress in Exergy, Energy, and the Environment, Springer International Publishing, Switzerland, 681-686.
14. Ozgen, F. (2015). Experimental investigation of drying characteristics of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*). *Heat and Mass Transfer* **51**, 343-352.
15. Koyuncu, T., Tosun, I., Pinar, Y. (2007). Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*). *Journal of Food Engineering*, **78**, 735-739.
16. Gökoğlu, N. (2002). Su Ürünleri İşleme Teknolojisi, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Su Ürünleri Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye.
17. Abe, T., Afzal, M.T. (1997). Thin-layer Infrared Radiation Drying of Rough Rice. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **67**, 289-297.