


## Farklı Ön İşlemlerin Patates Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri ve Rehidrasyon Yetenekleri Üzerine Etkisi

Mustafa Remzi OTAĞ<sup>1\*</sup> 

### Öz

Bu çalışmada sitrik asit çözeltisine daldırma, sıcak suya daldırma, etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemlerinin patates dilimlerinin kuruma karakteristikleri ve rehidrasyon özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. En yüksek kuruma süresi ön işlem uygulanmamış örneklerde tespit edilirken, tüm ön işlemler kuruma süresini kısaltmış olup, aralarında en düşük kuruma süresine etanol ön işlemine tabi tutulan örnekler olduğu belirlenmiştir. Ön işlemlerin farklı kuruma davranışlara sebep olduğu tespit edilmiştir. Ön işlem uygulanmamış örnekler ile sıcak suya daldırılan örnekler Parabolik model ile açıklanırken, sitrik asit çözeltisine daldırılan örnekler Wang ve Singh, etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemine daldırılan örneklerin kuruma eğrileri Page model ile açıklanmıştır. Ayrıca etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemi uygulanan örneklerde önemli düzeyde ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleşmiştir. Diğer bir yandan tüm ön işlemlerin kurutulmuş patates dilimlerinin rehidrasyon yeteneğini artırdığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Patates, Kurutma Karakteristiği, Ön İşlem, Etanol, Ultrases, Rehidrasyon

## The Effect of Different Pretreatments on Drying Characteristics and Rehydration Abilities of Potato Slices

### Abstract

In this study, the effect of some pretreatments such as immersing citric acid, blanching hot water, immersing ethanol solution and ultrasound on the drying characteristics and rehydration properties of potato slices. All pretreatments reduced drying time of the potato slices. The highest drying rate was observed in potato slices immersed ethanol solution, whereas the untreated samples had the lowest drying rate. Different drying behaviors were determined because of different pretreatments. The most appropriate models for drying curves were given as; the untreated and blanched samples for Parabolic model, the samples immersed in citric acid solution for Wang and Singh, the samples immersed in ethanol solution and ultrasonicated samples for Page models. Besides, remarkable weight reduction, water loss and dry matter loss were observed from the samples immersed in ethanol solution and the ultrasonicated samples. On the other hand, all pretreatments enhanced the rehydration ability of the dried potato slices.

**Keywords:** Potato, Drying Characteristics, Pretreatment, Ethanol, Ultrasound, Rehydration

<sup>1</sup> Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, [mustafa.otag@giresun.edu.tr](mailto:mustafa.otag@giresun.edu.tr)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5450-1546>

## 1. Giriş

Meyve ve sebzeler içeriklerinde bulunan biyoaktif bileşikler sayesinde dejeneratif hastalıklar, kanser ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi sorunların görülme sıklığının azaltılmasında önemli rol oynamaktadırlar. Ancak bünyelerinde bulunan yüksek miktarda sudan kaynaklı olarak özellikle hasat sonrası süreçte gerek kimyasal gerek mikrobiyolojik gerekse de fiziksel değişimler sebebiyle raf ömrü oldukça kısa sürmektedir (da Cunha ve ark., 2020; Osaie ve ark. 2020; Gomez ve Garcia 2020; Tepe ve Kadakal 2022).

Patates (*Solanum tuberosum* L.) *Solanaceae* familyasına ait olan bir kök sebzedir. Mısır, buğday ve pirinçten sonra dünyada en çok üretimi yapılan ve tüketilen bir gıdadır. Dünyada önemli patates üreticisi ülkelerin Çin, Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri ve Ukrayna olduğu bildirilmektedir (Wang ve ark., 2020). Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK, 2022) verilerine göre ise 2021 yılında Türkiye’de 5.100.000 ton patates üretimi gerçekleşmiştir. Patates vitamin, diyet lifi, mineral ve esansiyel aminoasitlerce zengin bir gıda maddesi olarak tanımlanmaktadır (Wu ve ark., 2018). Patates de diğer birçok sebze gibi yüksek su içeriğinden dolayı hasat sonrasında oldukça kısa bir raf ömrüne sahiptir (Wang ve ark., 2020).

Kurutma patatesin muhafazasında ve işlenmesinde dünyada en sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir (Amjad ve ark., 2018). Kurutma yöntemleri arasında zirai ürünlerin kurutulmasında en çok tercih edilen yöntemlerden birisi de sıcak hava kurutma yöntemidir. Bu yöntemin temeli ısıtılmış bir hava ile gıda içerisindeki suyun uzaklaştırılması ve böylece su aktivitesinin ve mikrobiyolojik gelişmenin azaltılması, uzun raf ömrü ve kimyasal reaksiyonların büyük ölçüde önlenmesidir. Ayrıca ağırlık ve hacim azalması ile daha az paketleme ve daha ucuz transfer ve depolama maliyetleri sağlamaktadır (Tepe ve Tepe 2020; Tunçkal ve Doymaz 2020; Huang ve ark., 2020). Ancak bu yöntemin yüksek sıcaklıklarda düşük ürün kalitesi, düşük sıcaklıklarda uzun kuruma süresi ve yüksek enerji tüketimi ve rehidrasyon yeteneği üzerine olumsuz etkileri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca sıcaklık, hava hızı, bağıl nem, kurutma ortamı ve ısı kaynağı gibi etkenler sıcak hava kurutmanın performansını etkileyen faktörler arasındadır (Bondaruk ve ark., 2007; Ju ve ark., 2016; Deng ve ark., 2018; Tepe ve Kadakal, 2022). Belirtilen dezavantajların giderilmesi amacıyla kurutma öncesinde çeşitli ön işlemler uygulanabilmektedir (Osaie ve ark., 2020). Ön işlemler geçirgenliği artırmak, bazı enzimleri inaktive etmek ve oksidasyonu önlemek suretiyle kuruma hızını artırabilmektedir (Basseyy ve ark., 2021).

Kurutma prosesi uygulandığı ürünlerin yapısını ve fizikokimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Rehidrasyon özellikleri kurutulmuş ürünlerde bu değişimlerin belirlenmesinde başvurulan en önemli yollardan bir tanesidir. Rehidrasyon esnasında gıda kaybettiği suyun bir kısmını geri kazanmaktadır. Böylece kuruma öncesi durumunun bir kısmını yeniden kazanabilmektedir

(Bharvaga ve ark., 2021). Ayrıca rehidrasyon işlemi ile kurutulan ürünün ne kadar zarar gördüğü de belirlenebilmektedir (Tepe ve Tepe, 2020).

Bu çalışmada patates dilimlerine geleneksel olarak kullanılan sıcak suya ve sitrik asit çözeltisine daldırma ön işlemi ile yeni yöntemler olarak ise etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemi uygulanmıştır. Ardından bu yöntemlerin patates dilimlerinin kuruma karakteristiklerine ve rehidrasyon yeteneklerine etkisi araştırılması ve karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Örneklerin hazırlanması

Patates (*Solanum tuberosum*) örnekleri Denizli ilindeki bir marketten sağlam görümlü ve eş boyutlarda olacak şekilde satın alınmıştır. Patatesler yabancı materyallerin uzaklaştırılması amacıyla yıkanmış ve yüzeydeki fazla su uzaklaştırılmıştır. Ardından paslanmaz çelikten imal edilmiş bir kabuk soyucu yardımı ile patateslerin kabukları soyulmuştur. Kabukların soyulmasından sonra paslanmaz çelik bir dilimleyici ile kalınlığı 5 mm olacak şekilde dilimlenmiştir. Patates örneklerinin başlangıç nem içeriği  $81,55 \pm 0,48$  olarak tespit edilmiştir.

### 2.2. Kurutma Prosedürleri

#### 2.2.1. Ön İşlem Uygulanmamış Örnekler

Ön işlem uygulanmamış patates örnekleri 5 mm kalınlığında dilimlendikten sonra 100 g olarak tartılarak kurutma tepsilerine yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi sıcak hava kurutma fırınında (Arçelik KMF 833 W)  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $1\text{ m s}^{-1}$  hava hızında gerçekleştirilmiştir. Kurutma esnasında örneklerde meydana gelen ağırlık değişimi 0,01 hassasiyete sahip dijital hassas terazide (İsolab) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi örneklerin yaş bazda nem içeriği %10 değerine ulaştığında sonlandırılmıştır. Bu değer aynı zamanda  $0,1\text{ g su g kuru madde (KM)}^{-1}$  değerine tekabül etmektedir. Ayrıca kurutma işlemleri 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.2. Sitrik Asit Çözeltisine Daldırma Ön İşlemi

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri %1 sitrik asit (SA)(Sigma) içeren çözeltiliye 2 dakika süreyle daldırılmış olup, süre sonunda örnekler süzölmüş ve yüzeyindeki fazla su filtre kâğıdı

yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Ardından diğer işlemler ön işlem uygulanmamış örneklerle aynı prosedürle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 65 °C + %1 SA olarak kodlanmıştır.

### **2.2.3. Sıcak Suya Daldırma Ön İşlemi**

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri %1 SA içeren çözeltiliye 2 dakika süreyle daldırılmış olup, süre sonunda örnekler süzölmüş ve yüzeyindeki fazla su filtre kâğıdı yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Ardından diğer işlemler ön işlem uygulanmamış örneklerle aynı prosedürle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 65 °C + %1 SA olarak kodlanmıştır.

### **2.2.4. Ultrases Ön İşlemi**

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri 1:4 (ağırlık/hacim) olacak şekilde su dolu ultrasonik su banyosunda (Bandelin Sonorex Digiplus, DL 510 H, 35 kHz) %100 güç (640 W) uygulanarak 30 dakika süreyle ultrases ön işlemine tabi tutulmuştur. Ultrases uygulaması sonlandıktan sonra örnekler süzölmüş ve yüzeydeki fazla su filtre kâğıdı yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Kurutma işlemi ön işlem uygulanmamış örnekler ile aynı prosedürle gerçekleştirilmiş olup, örnekler 65 °C + %100 US olarak kodlanmıştır. Ayrıca ultrases uygulaması öncesi suyun sıcaklığı bir termometre (Thr233x-1) yardımı ile 24,3 °C ölçülürken işlem sonrasında 32,8 °C olarak ölçülmüştür.

### **2.2.5. Etanol Çözeltisine Daldırma Ön İşlemi**

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri 1:4 (ağırlık/hacim) olacak şekilde %100 etanol (%99,9 saflıkta, İsolab, Almanya) içeren çözeltiliye 10 dakika süreyle daldırılmış olup, süre sonunda örneklerin yüzeyinde fazla çözelti filtre kâğıdı yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Ön işlem sonrasında kurutma işlemi ön işlem uygulanmamış örneklerle aynı prosedürle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 65 °C + 100 ET olarak kodlanmıştır.

## **2.3. Ağırlık Kaybı, Su kaybı ve Katı Madde Kayıplarının Hesaplanması**

Ağırlık kaybı (AK), su kaybı (SK) ve katı madde kayıpları (KMK) Bozkır ve Ergün (2020)'nin belirttiği yöntemle gerçekleştirilmiştir. AK, SK ve KMK'nın hesaplanmasına dair denklemler denklem 1, denklem 2 ve denklem 3'te sırasıyla verilmiştir.

$$AK \% = \frac{w_i - w_s}{w_i} * 100 \quad (1)$$

$$SK \% = \frac{w_i * X_i - w_s * X_s}{w_i} * 100 \quad (2)$$

$$KMK \% = \frac{[w_s * (1 - X_s) - w_i * (1 - X_i)]}{w_i} * 100 \quad (3)$$

$w_i$ : patates örneklerinin başlangıç ağırlığı (g)

$w_s$ : patates örneklerinin ön işlem sonrası ağırlığı (g)

$X_i$ : patates örneklerinin başlangıç su içeriği

$X_s$ : patates örneklerinin ön işlem sonrası su içeriği

## 2.4. Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

### 2.4.1. Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Patates örneklerinin nem içeriği Tepe ve ark. (2021)'in belirttiği denkleme 4 göre hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (4)$$

$M_t$ : patates örneklerinin herhangi bir zamanda nem içeriği (g su g  $KM^{-1}$ )

$m$ : patates örneklerinin ağırlığı (g)

$KM$ : patates örneklerinin kuru madde içeriği (g)

### 2.4.2. Nem Oranının Belirlenmesi

Denkleme 5 kuruma süresinde örneklerinin nem oranının (NO) belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır (Tepe ve ark., 2021).

$$NO = \frac{M_t - M_d}{M_i - M_d} \quad (5)$$

$M_t$ : patates örneklerinin herhangi bir zamanda nem içeriği (g su g  $KM^{-1}$ )

$M_d$ : patates örneklerinin denge nem içeriği (g su g  $KM^{-1}$ )

$M_i$ : patates örneklerinin başlangıç nem içeriği (g su g  $KM^{-1}$ )

$M_d$  değeri  $M_t$  ve  $M_i$  değerlerine kıyasla oldukça düşük bir değer olmasından ötürü hesaplama esnasında ihmal edilmiştir (Tepe ve ark., 2021)

### 2.4.3. Kuruma Hızının Hesaplanması

Örneklerin kuruma hızı (KH) denklem 6'ya göre hesaplanmıştır (Tepe ve Kadakal, 2022).

$\Delta t$ : iki ölçüm noktası arasındaki zaman farkı

$M_{t+\Delta t}$ : zaman farkındaki nem içeriği (g su g  $KM^{-1}$ )

$$KH = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (6)$$

### 2.4.4. Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Sabit nem difüzyonu ve sonsuz kalınlıktaki örneklerde efektif difüzyon katsayısının hesaplanması amacıyla Fick'in ikinci kanunu kullanılmıştır (Denklem 7) (Crank 1975).

$$NO = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)\pi^2 \frac{D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (7)$$

L: Kurutma öncesi örnek kalınlığının yarısı (m)

Denklem 7'nin çözümlenmesi ile basitçe denklem (8) yazılabilir (Demiray ve ark., 2017).

$$\ln(NO) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2}{4L^2} D_{eff} t\right) \quad (8)$$

Denklem 8'in NO'nun zamana karşı doğal logaritması ile çözümlenmesi ile doğrusal bir eğri elde edilir ve denklem 9'da ki gibi bir eğim elde edilir (Demiray ve ark., 2017).

$$\text{Slope} = - \frac{\pi^2}{4L^2} D_{eff} \quad (9)$$

### 2.5. Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Olarak Modellenmesi

Kök ortalama kare hatası (RMSE), indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) ve determinasyon katsayılarına ( $R^2$ ) ait denklemler sırasıyla denklem 10, denklem 11 ve denklem 12'de verilmiştir.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (NO_{tah,i} - NO_{den,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=0}^N (NO_{tah,i} - NO_{den,i})^2}{N - n} \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{\sum(MR_{tah} - \sum MR_{den})^2}{\sum(MR_{tah,ort} - \sum MR_{den})^2} \quad (12)$$

Tahmini NO:  $NO_{tah}$

Deneysel NO:  $NO_{den}$

Tahmini NO'larının ortalaması:  $MR_{tah,ort}$

N ve n sırasıyla matematiksel modellere ait gözlem sayısı ve denklem sabiti sayısını ifade etmektedir (Demiray ve ark., 2017). Denemelerde kullanılan matematiksel modeller Tablo 1'de verilmiştir. İstatistiksel parametrelerinin hesaplanabilmesi için MATLAB (2015a, versiyon 8.5) yazılımının trust-region algoritma ayarlı Curve Fitting Toolbox özelliği kullanılmıştır. En uygun model seçimi yapılırken ise en yüksek  $R^2$  değeri ve en düşük RMSE ve  $\chi^2$  değerleri göz önünde bulundurulmuştur (Tepe ve Tepe 2020).

**Tablo 1.** Matematiksel modellemede kullanılan eşitlikler

Model Adı	Model	Kaynak
Lewis	$\exp(-kt)$	Tepe ve ark., (2021)
Henderson ve Pabis	$a \exp(-kt)$	Tepe ve ark., (2021)
Page	$\exp(-kt^n)$	Tepe ve ark., (2021)
Parabolik	$a + bt + ct^2$	Tepe ve ark., (2021)

## 2.6. Rehidrasyon Oranının Hesaplanması

Rehidrasyon denemeleri Tepe ve Tepe (2020)'nin belirttiği yöntemin modifiye edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. 5 g kuru patates örneği önceden 40 °C sıcaklığı ulaşmış 400 ml saf suya ilave edilmiştir. Rehidrasyon işlemi 12 saat süre sonunda sonlandırılmış, örnekler süzildükten sonra yüzeyindeki su filtre kâğıdı ile uzaklaştırılmıştır. Ardından örnekler tartılarak denklem 13 yardımı ile rehidrasyon oranı hesaplanmıştır.

$$RO\% = \frac{W_r}{W_i} \quad (13)$$

$W_i$ : Rehidrasyon öncesi örnek ağırlığı (g)

$W_r$ : Rehidrasyon sonrası örnek ağırlığı (g)

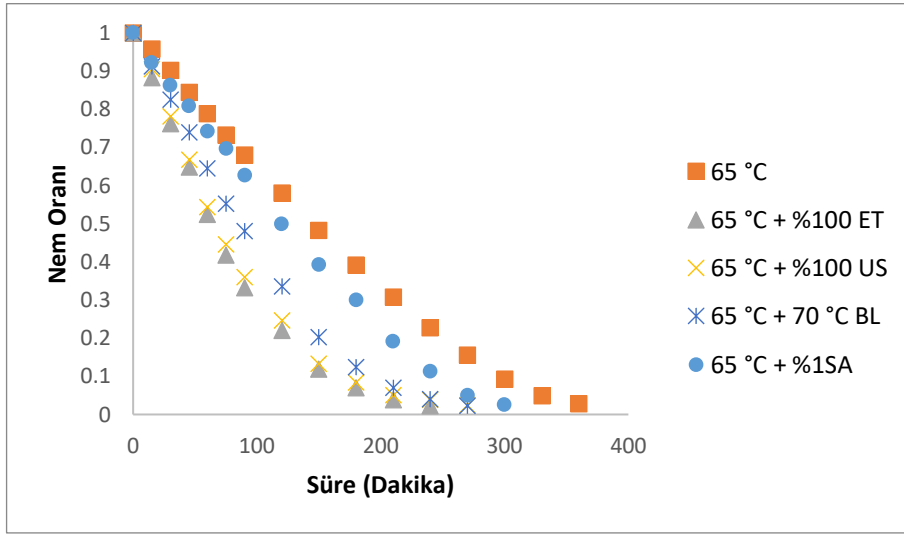
## 2.7. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler SPSS yazılımı (versiyon 22, SPSS Inc.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.  $p = 0,05$  anlamlılık düzeyine sahip değerler arasındaki farklılıkları değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Gruplar arasındaki farklılıklar Duncan testi kullanılarak belirlenmiştir.

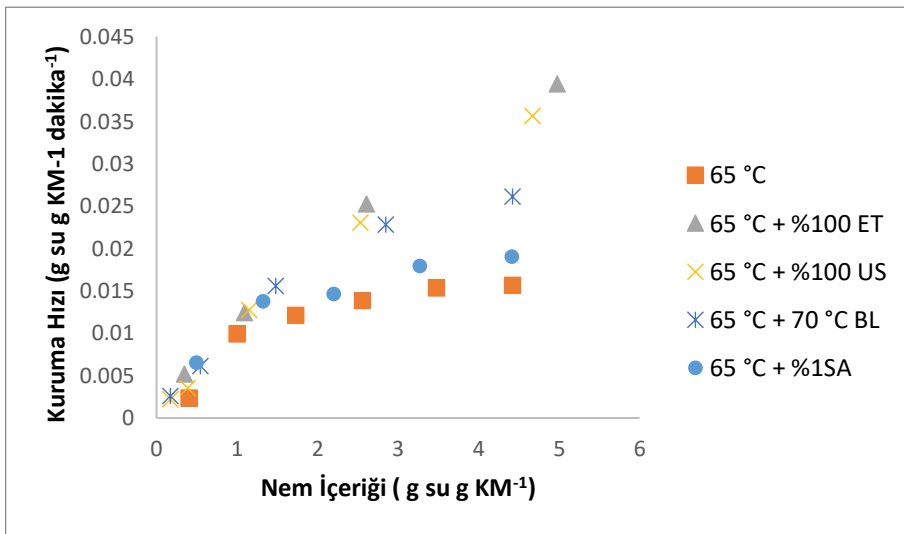
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Patates Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri

Farklı ön işlemler kullanılarak kurutulan patates dilimlerine ait NO ve KH grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Herhangi bir ön işlem uygulanmamış patates dilimlerinin kuruma süresi 360 dakika olarak tespit edilirken, ön işlem uygulanan örneklerde kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Sitrik asit çözeltisine daldırma, sıcak suya daldırma, ultrases ve etanol çözeltisine daldırılan patates örneklerinin kuruma süreleri sırasıyla 300, 270, 270 ve 240 dakika olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan patates dilimlerinin nem oranı



Şekil 2. Farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan patates dilimlerinin kuruma hızı değişimleri



Farklı ön işlemler kullanılarak kurutulan patates dilimlerine ait efektif difüzyon katsayıları ise Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den de görüldüğü gibi efektif difüzyon katsayıları kuruma süresi ile ters orantılı olup, kuruma süresi kısaltıldıkça efektif difüzyon katsayısının arttığı görülmüştür. En yüksek efektif difüzyon katsayısı  $2,74 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  değeri ile etanol çözeltisine daldırılan örneklerde tespit edilirken, en düşük efektif difüzyon katsayısı  $1,54 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  değeri ile ön işlem uygulanmayan patates örneklerinde gözlenmiştir. Buna ek olarak kuruma hızı ile kuruma süresi ters orantılı olup, en yüksek kuruma hızına etanol çözeltisine daldırılan patateslerde ulaşılrken, en düşük kuruma hızının ön işlem uygulanmamış örneklerde gözlendiği Şekil 2’den açıkça görülmektedir. Ön işlemlerin kuruma hızının artışı üzerine etkisi yüksek konsantrasyonda etanol çözeltisi için hücre zarında geçirgenlik artışı ve Marangoni etkisi; ultrases ön işlemi için kavitasyon nedeniyle mikrokanal ve por oluşumu; sıcak suya daldırma için enzim degradasyonu ve geçirgenlik artışına neden olan doku gevşemesi; sitrik asit çözeltisine daldırma için ise enzim degradasyonu ve zar geçirgenliği artışına neden olan pektin gevşemesi ile açıklana bilmektedir (Hiranvarachat ve ark., 2011; Wang ve ark., 2018; Deng ve ark., 2019; Bozkır ve ark., 2019; Llavata ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2021; Tepe ve Kadakal, 2022). Doymaz (2012) benzer şekilde sıcak suya ve sitrik asit çözeltisine daldırılan patates dilimlerinin  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de kuruma hızlarının ön işlem uygulanmayan örneklere kıyasla artış gösterdiğini bildirmiştir. Rojas ve Agosto (2018) ise etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemine tabi tutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlem uygulanmayan örneklere kıyasla daha kısa sürdüğünü gözlemlemişlerdir. Guedes ve ark. (2021) patates dilimlerinin kuruma hızlarının etanol çözeltisine daldırma ile artırılabilceğini bildirmişlerdir. Tepe (2022) de benzer şekilde sitrik asit çözeltisine daldırma, etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemi uygulanan elma dilimlerinin kuruma hızlarının arttığını gözlemlemiştir. Başka meyve ve sebzeler de çalışmamızla uyumlu sonuçlar tespit edilmiştir. Tepe ve Kadakal (2022) kavun meyvelerinin sitrik asit çözeltisine daldırma, sıcak suya daldırma, etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemleri ile kuruma sürelerinin kısalabildiğini bildirmişlerdir. Doymaz (2020) sitrik asit çözeltisine daldırılan kivi dilimlerinin kuruma sürelerinin kısaltıldığını bildirmiştir. Benzer şekilde Doymaz ve ark. (2015) ayva dilimlerinin kuruma hızlarının sitrik asit çözeltisine daldırma ön işlemi ile ön işlemsiz örneklere kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

**Tablo 2.** Patates dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

Kurutma Yöntemi	Efektif Difüzyon Katsayısı (Deff)
65 °C	$1,54 \times 10^{-9}$
65 °C + %100 ET	$2,74 \times 10^{-9}$
65 °C + %100 US	$2,47 \times 10^{-9}$
65 °C + %1 SA	$1,91 \times 10^{-9}$
65 °C + 70 °C BL	$2,42 \times 10^{-9}$

**Tablo 3.** Patates dilimlerinin kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller ve istatistiksel parametreleri

Model	Kurutma Yöntemi	Model Katsayıları			$\chi^2$	RMSE	R <sup>2</sup>
Page	65 °C	$k= 0,0006207$	$n= 1,425$		$0,000701203$	$0,02477$	$0,9951$
	65 °C + 100% ET	$k= 0,003583$	$n= 1,270$		<b><math>5,98293E-05</math></b>	<b><math>0,007061</math></b>	<b><math>0,9996</math></b>
	65 °C + 100% US	$k= 0,003180$	$n= 1,280$		<b><math>6,36538E-05</math></b>	<b><math>0,007339</math></b>	<b><math>0,9996</math></b>
	65 °C +1% SA	$k= 0,0007872$	$n= 1,430$		$0,001101722$	$0,03073$	$0,9924$
	65 °C + 70°C BL	$k= 0,001551$	$n= 1,380$		$0,00024167$	$0,0143$	$0,9985$
Henderson and Pabis	65 °C	$k= 0,006121$	$a= 1,084$		$0,004032411$	$0,0594$	$0,9717$
	65 °C + 100% ET	$k= 0,0126$	$a= 1,056$		$0,001625088$	$0,0368$	$0,9895$
	65 °C + 100% US	$k= 0,01198$	$a= 1,064$		$0,001552983$	$0,03625$	$0,99$
	65 °C +1% SA	$k= 0,00722$	$a= 1,073$		$0,004976295$	$0,06531$	$0,9656$
	65 °C + 70°C BL	$k= 0,00993$	$a= 1,074$		$0,003287236$	$0,05274$	$0,9791$
Wang and Singh	65 °C	$a= -0,003949$	$b= 0,000003252$		$0,000210451$	$0,01357$	$0,9984$
	65 °C + 100% ET	$a= -0,009067$	$b= 0,00002109$		$0,000286443$	$0,01545$	$0,9982$
	65 °C + 100% US	$a= -0,008498$	$b= 0,00001843$		$0,000457721$	$0,01968$	$0,9971$
	65 °C +1% SA	$a= -0,00471$	$b= 0,000004548$		<b><math>0,000264253</math></b>	<b><math>0,01505</math></b>	<b><math>0,9983</math></b>
	65 °C + 70°C BL	$a= -0,006954$	$b= 0,00001216$		$0,000352073$	$0,01726$	$0,9978$
Parabolic	65 °C	$a= 1,019$	$b= -0,00418$	$c= 0,000003792$	<b><math>0,000126962</math></b>	<b><math>0,01054</math></b>	<b><math>0,9995</math></b>
	65 °C + 100% ET	$a= 1,005$	$b= -0,00916$	$c= 0,00002142$	$0,000309894$	$0,01607$	$0,9982$
	65 °C + 100% US	$a= 1,008$	$b= -0,00863$	$c= 0,00001884$	$0,000483663$	$0,02023$	$0,9972$
	65 °C +1% SA	$a= 1,008$	$b= -0,004821$	$c= 0,000004858$	$0,000270612$	$0,01523$	$0,9983$
	65 °C + 70°C BL	$a= 1,023$	$b= -0,007322$	$c= 0,0000133$	<b><math>0,000231636</math></b>	<b><math>0,014</math></b>	<b><math>0,9987</math></b>
Lewis	65 °C	$k= 0,005549$			$0,005393931$	$0,0687$	$0,9595$
	65 °C + 100% ET	$k= 0,01184$			$0,002118816$	$0,04202$	$9850$
	65 °C + 100% US	$k= 0,01117$			$0,002205556$	$0,0432$	$0,9845$
	65 °C +1% SA	$k= 0,006619$			$0,00588448$	$0,07102$	$0,956$
	65 °C + 70°C BL	$k= 0,00914$			$0,004207874$	$0,05967$	$0,9709$

### 3.2 Patates Dilimlerinin Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Kuruma eğrilerinin modellenmesi bir çeşit matematiksel modelleme olup meyve ve sebzelerin kuruma kinetiğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Böylece kuruma prosesinin tasarımı ve optimizasyonu yapılmasını kolaylaştırmaktadır (Tepe ve Tepe, 2020). Kuruma eğrilerine ait matematiksel modeller ve istatistiksel parametreler Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'ten de görüldüğü gibi ön işlem uygulaması sonucunda kuruma eğrileri farklı matematiksel modellerle açıklanabilmektedir. Bunun temel sebebinin uygulanan ön işlemlerin ürün dokusu üzerinde etkisi ile kuruma davranışını etkilemesi olduğu düşünülmektedir. Ön işlem uygulanmamış örneklerin kuruma eğrileri en iyi Parabolik model ile açıklanabilirken, sitrik asit çözeltisine daldırılanlar Wang ve ark. (2019) sıcak suya daldırılanlar Parabolik, etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemi uygulananlar ise Page model ile açıklanmaktadır. Doymaz (2012) ön işlem uygulanmamış ve sıcak suya daldırılmış patates dilimlerinin kuruma eğrilerinin Midilli, Verma, iki terimli ve logaritmik modelle açıklanabildiğini, sitrik asit çözeltisine daldırılan örneklerin ise Midilli, modifiye Henderson-Pabis, parabolik ve logaritmik modellerle açıklanabildiğini belirtmiştir. Rojas ve Agosto (2018) ise etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemi uygulanan patateslerin kuruma eğrilerinin en iyi Page model ile açıklandığını gözlemlemişlerdir.

### 3.3 Patates Dilimlerinde Meydana Gelen Ağırlık Kaybı, Su Kaybı ve Katı Madde Kayıpları

Etanol ve ultrases ön işlemi görmemiş patates dilimlerinin başlangıç nem içeriği 4,42 g su g  $KM^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. Etanol ve ultrases ön işlemi görmüş patates dilimlerinin kuru madde bazında nem içerikleri sırasıyla 4,98 g su g  $KM^{-1}$  ve 4,67 g su g  $KM^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. Etanol ve ultrases ön işlemi görmüş patates dilimlerinde meydana gelen ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kayıpları Tablo 4'te gösterilmiştir. Sitrik asit çözeltisine daldırma ve sıcak suya daldırma ön işlemlerinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bunun sebebi ise kısa süreli daldırma işlemi olarak düşünülmektedir. Etanol ve ultrases ön işlemi uygulanan örneklerde ciddi düzeyde ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleşmiştir. Bunun sebebi ise uzun süreli uygulama süresi, geçirgenlik artışı ve kavitasyon etkisi olarak açıklanmaktadır (Tepe ve Kadakal, 2020). Nitekim Tepe ve Kadakal (2020) etanole daldırma ve ultrases ön işlemi uygulanan kavun meyvelerinde ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bozkır ve ark. (2019), La Fuente ve Tadini (2018) ve Wang ve ark. (2019) ultrases ön işlemi uygulanan sarımsak, muz ve kivi meyvelerinde benzer sonuçlar rapor etmişlerdir.

**Tablo 4.** Patates dilimlerinde meydana gelen ağırlık kayıpları, su kayıpları ve katı madde kayıpları

Ön İşlem	Nem İçeriği (%)	Ağırlık Kaybı (%)	Su Kaybı (%)	Katı Madde Kaybı (%)
100% ET	83,27	25,12	19,20	5,92
100% US	82,37	16,29	12,60	3,69

### 3.4 Kurutulan Patates Dilimlerinin Rehidrasyon Oranları

Ön işlem uygulanmayan ve uygulanan patates dilimlerinin rehidrasyon oranları Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'ten de görüldüğü gibi ön işlem uygulanan bütün örneklerin rehidrasyon oranlarında artış meydana gelmiştir. Sitrik asit çözeltisine daldırma ve suya daldırma ön işlemlerinin rehidrasyon yeteneği üzerine etkisi sebep oldukları zar geçirgenliği artışı ve degradasyon enzimlerinin inaktivasyonu olarak açıklanabilir (Tepe ve Kadakal, 2022). Etanol çözeltisine daldırma ön işleminin etkisi ise osmoz yolu ile hücre içine giren etanol moleküllerinin büzüşmeye karşı sebep olduğu direnç ile açıklanmaktadır (Zhou ve ark., 2021). Ultrases ön işleminin rehidrasyon yeteneğinde artışa sebebiyet vermesi ise yeni porlar, mikrokanallar, geniş tüneller ve boşluk ile yüksek doku içi stres ile açıklanmaktadır (Wang ve ark., 2019; Tao ve ark., 2019; Wu ve ark., 2019).

**Tablo 5.** Patates dilimlerine ait rehidrasyon oranları

Kurutma Yöntemi	Rehidrasyon Oranı
65 °C	3,01±0,06 <sup>a</sup>
65 °C + %100 ET	3,37±0,04 <sup>b</sup>
65 °C + %100 US	3,32±0,08 <sup>b</sup>
65 °C + %1 SA	3,45±0,07 <sup>b</sup>
65 °C + 70 °C BL	3,39±0,11 <sup>b</sup>

\* 3 ölçümün ortalaması ± SD (standart sapması); Farklı harflerle işaretlenmiş satırların ortalaması önemli ölçüde farklıdır (p≤0.05).

Doymaz (2012) sitrik asit çözeltisine daldırılarak kurutulan patates örneklerinin rehidrasyon yeteneklerinde artış meydana geldiğini, ancak sıcak suya daldırılan örneklerin rehidrasyon yeteneğinde azalma meydana geldiğini bildirmiştir. Doymaz ve ark. (2015) ise sitrik asit çözeltisine ve sıcak suya daldırılan ayva dilimlerinin rehidrasyon yeteneğinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Rojas ve ark. (2020) ve Zhou ve ark. (2021) ise sırasıyla etanole daldırma ön işleminin kurutulan elma ve yeşil soğanların rehidrasyon yeteneğini geliştirdiğini gözlemlemişlerdir. Bozkır ve ark. (2019) ve Zhang ve ark. (2016) ise sırasıyla ultrases ön işleminin kurutulmuş sarımsakların ve mantarların rehidrasyon yeteneğini artırdığını bildirmişlerdir.

#### 4. Sonuçlar ve neriler

Bu çalışmada geleneksel (sitrik asit çözeltisine daldırma ve sıcak suya daldırma) ve yeni ön işlemlerin (etanole daldırma ve ultrases uygulaması) patates dilimlerinin kuruma karakteristikleri ve rehidrasyon özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ön işlemler patates dilimlerinin kuruma hızlarını ön işlem uygulanmamış örneklere kıyasla artırmıştır.
- Ön işlemler arasında en yüksek kuruma süresine sahip örneklerin etanol çözeltisine daldırılan örnekler olduğu tespit edilmiştir.
- Ön işlemler kuruma davranışlarını değiştirdiği için kuruma eğrilerini açıklayan modellerde farklılıklar gözlenmiştir.
- Etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases uygulanan örneklerde önemli düzeyde ağılık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleşmiştir.
- Tüm ön işlemler patates dilimlerinin rehidrasyon yeteneklerini artırmıştır.

Bu bilgilerin bahsi geçen yöntemlerin endüstriyel olarak kullanım potansiyelinin artırılmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Özellikle son zamanlarda öne çıkan etanol çözeltisine daldırma ön işleminin başka bilimsel çalışmalarda kullanılabilmesi için kaynak niteliği taşımaktadır. Öneri olarak ise bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda ürünlerin besleyici özellikleri üzerine etkisinin araştırılması yöntemleri daha anlamlı kılacaktır.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

#### ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiėi Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Amjad, W., Crichton, S. O., Munir, A., Hensel, O., and Sturm, B. (2018). Hyperspectral imaging for the determination of potato slice moisture content and chromaticity during the convective hot air drying process. *Biosystems Engineering*, 166, 170-183.
- Bassey, E. J., Cheng, J. H., and Sun, D. W. (2021). Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 112, 137-148.
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., and Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293.
- Bondaruk, J., Markowski, M., & Błaszczak, W. (2007). Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 306-312.
- Bozkir, H., & Ergün, A. R. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon. *Lwt*, 131, 109704.
- Bozkir, H., Rayman Ergün, A., Tekgül, Y., & Baysal, T. (2019). Ultrasound as pretreatment for drying garlic slices in microwave and convective dryer. *Food Science and Biotechnology*, 28(2), 347-354.
- Crank, J. (1979). *The mathematics of diffusion*. Oxford UK, Clarendon Press.
- da Cunha, R. M. C., Brandão, S. C. R., de Medeiros, R. A. B., da Silva Júnior, E. V., da Silva, J. H. F., and Azoubel, P. M. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chemistry*, 333, 127502.
- Demiray, E., Seker, A., and Tulek, Y. (2017). Drying kinetics of onion (*Allium cepa* L.) slices with convective and microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 53(5), 1817-1827.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., and Xiao, H. W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408-1432.
- Deng, L. Z., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Zhao, J. H., Wang, D., Zhang, Q., and Xiao, H. W. (2018). Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8), 893-907.
- Doymaz, I. (2012). Drying of potato slices: Effect of pretreatments and mathematical modeling. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(4), 310-319.
- Doymaz, İ. (2020). Impact of citric acid on the drying characteristics of kiwifruit slices. *Acta Scientiarum. Technology*, 42.
- Doymaz, İ., Demir, H., and Yildirim, A. (2015). Drying of quince slices: effect of pretreatments on drying and rehydration characteristics. *Chemical Engineering Communications*, 202(10), 1271-1279.
- Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., and Pintado, M. (2020). Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and Biofunctional properties with Emphasis on Recent Trends and Advances. *Trends in Food Science and Technology*, 99, 507-519.
- Guedes, J. S., Santos, K. C., Castanha, N., Rojas, M. L., Junior, M. D. M., Lima, D. C., and Augusto, P. E. (2021). Structural modification on potato tissue and starch using ethanol pre-treatment and drying process. *Food Structure*, 29, 100202.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S., and Chiewchan, N. (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 89(2), 116-127.
- Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sunden, B., and Wu, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104950.
- Ju, H. Y., El-Mashad, H. M., Fang, X. M., Pan, Z., Xiao, H. W., Liu, Y. H., and Gao, Z. J. (2016). Drying characteristics and modeling of yam slices under different relative humidity conditions. *Drying Technology*, 34(3), 296-306.
- La Fuente, C. I., and Tadini, C. C. (2018). Ultrasound pre-treatment prior to unripe banana air-drying: effect of the ultrasonic volumetric power on the kinetic parameters. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 5098-5105.
- Llavata, B., García-Pérez, J. V., Simal, S., and Cárcel, J. A. (2020). Innovative pre-treatments to enhance food drying: A current review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 20-26.

- Osa, R., Essilfie, G., Alolga, R. N., Akaba, S., Song, X., Owusu-Ansah, P., and Zhou, C. (2020). Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2585-2599.
- Rojas, M. L., and Augusto, P. E. (2018). Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 65-75.
- Rojas, M. L., Augusto, P. E. D., and Cárcel, J. A. (2020). Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 61, 102328.
- Tao, Y., Han, M., Gao, X., Han, Y., Show, P. L., Liu, C., ... and Xie, G. (2019). Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. *Ultrasonics Sonochemistry*, 53, 192-201.
- Tepe, F. B. (2022). Impact of pretreatments and hybrid microwave assisting on drying characteristics and bioactive properties of apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e17067.
- Tepe, F. B., Tepe, T. K., and Ekinici, A. (2022). Impact of air temperature on drying characteristics and some bioactive properties of kiwi fruit slices. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 28(2), 151-159.
- Tepe, T. K., and Tepe, B. (2020). The comparison of drying and rehydration characteristics of intermittent-microwave and hot-air dried-apple slices. *Heat and Mass Transfer*, 56(11), 3047-3057.
- Tunckal, C., and Doymaz, İ. (2020). Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. *Renewable Energy*, 150, 918-923.
- Wang, H. O., Fu, Q. Q., Chen, S. J., Hu, Z. C., and Xie, H. X. (2018). Effect of hot-water blanching pretreatment on drying characteristics and product qualities for the novel integrated freeze-drying of apple slices. *Journal of Food Quality*, 2018, 1-12
- Wang, H., Liu, Z. L., Vidyarthi, S. K., Wang, Q. H., Gao, L., Li, B. R., ... and Xiao, H. W. (2020). Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, microstructure, and energy consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. *Drying Technology*, 39(3), 418-431.
- Wang, J., Xiao, H. W., Ye, J. H., Wang, J., and Raghavan, V. (2019). Ultrasound pretreatment to enhance drying kinetics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) slices: pros and cons. *Food and Bioprocess Technology*, 12(5), 865-876.
- Wu, B., Guo, Y., Wang, J., Pan, Z., and Ma, H. (2018). Effect of thickness on non-fried potato chips subjected to infrared radiation blanching and drying. *Journal of Food Engineering*, 237, 249-255.
- Wu, X. F., Zhang, M., Mujumdar, A. S., and Yang, C. H. (2019). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the infrared drying of Pakchoi Stems. *Drying Technology*, 38 (15), 2015-2026.
- Zhang, Z., Liu, Z., Liu, C., Li, D., Jiang, N., and Liu, C. (2016). Effects of ultrasound pretreatment on drying kinetics and quality parameters of button mushroom slices. *Drying Technology*, 34(15), 1791-1800.
- Zhou, C., Wang, Z., Wang, X., Yagoub, A. E., Ma, H., Sun, Y., & Yu, X. (2021). Effects of tri-frequency ultrasound-ethanol pretreatment combined with infrared convection drying on the quality properties and drying characteristics of scallion stalk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2809-2817.