

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Sıcaklıklarda Kurutulmuş Madımak Bitkisinin (*Polygonum cognatum* Meisn.) Kuruma Hızının ve Bazı Kalite Parametrelerinin BelirlenmesiElif UĞUR¹ Ferda SARI²¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, TÜRKİYE²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü 58140, Sivas, TÜRKİYESorumlu yazar e-posta² : fesari@cumhuriyet.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2249-3489>
e-posta¹: ugurelif92@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1229-6454>

Geliş Tarihi: 27.04.2022

Kabul Tarihi: 22.09.2022

Öz

Bu çalışmada madımak (*Polygonum cognatum* Meisn.) bitkisi tepsili kurutucuda 40, 50 ve 60 °C'de kurutulmuştur. Sıcaklığın madımağın kuruma kinetiği, toplam fenolik madde içeriği, antioksidan kapasitesi, klorofil a, b ve toplam klorofil miktarı üzerine etkisi incelenmiştir. Madımağın kuruma eğrisini tanımlamak için Page, Newton ve Weibull olmak üzere 3 farklı model test edilmiştir. Uygulanan tüm koşullarda en iyi uyum sağlayan modelin Page model olduğu belirlenmiştir. Kurutma azalan hız periyodunda gerçekleşmiş olup uygulanan sıcaklığın artmasıyla kuruma oranı artmış ve kuruma süresi ise azalmıştır. Kurutulmuş madımağın toplam polifenol içeriği ve antioksidan kapasitesi sırasıyla 21.06-27.80 mg GAE g⁻¹ KM ve % 66.82-76.33 arasında değişmiştir. Her üç sıcaklık için de, kurutma sonrası madımağın toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesinde taze örneğe göre azalma saptanmıştır. Azalma en fazla 40 °C'de en az ise 60 °C'de tespit edilmiştir. Uygulanan tüm sıcaklıklar için, kurutulmuş madımağın taze örneğe göre daha az klorofil a, b ve toplam klorofil içerdiği belirlenmiştir. Klorofildeki bu azalma, en fazla 60 °C'de en az ise 40 °C'de gözlenmiştir.

Anahtar kelimelerKurutma; Madımak (*Polygonum cognatum* Meisn.); Toplam fenolik; Antioksidan aktivite; Klorofil**Determination of Drying Rate and Some Quality Parameters of Madımak (*Polygonum cognatum* Meisn.) Dried at Different Temperatures****Abstract**

In this study, madımak (*Polygonum cognatum* Meisn.) was dried in a convective dryer at the temperatures of 40, 50 and 60 °C. The effect of temperature on the drying kinetics, total phenolic content, antioxidant capacity, chlorophyll a, b and total chlorophyll content of madımak plant was investigated. Three different models, Page, Newton and Weibull, were tested to define the drying curves of madımak. It was determined that the best fit model in all conditions applied was the Page model. Drying took place in the decreasing rate period, and with the increase in the temperature applied, the drying rate increased and the drying time decreased. Total polyphenol content and antioxidant capacity of dried madımak varied between 21.06-27.80 mg GAE g⁻¹ DM and 66.82-76.33 % respectively. For all temperatures applied, after drying, the total phenolic content and antioxidant capacity of madımak decreased compared to the fresh sample. The highest and the lowest decreases were detected at 40 °C and 60 °C, respectively. For all temperatures applied, dried madımak contained less chlorophyll a, b and total chlorophyll contents than fresh one. The highest and the lowest decreases in chlorophyll contents were detected at 60 °C and at 40 °C, respectively.

KeywordsDrying; Madımak (*Polygonum cognatum*); Total phenolic; Antioxidant activity; Chlorophyll

1. Giriş

Bitki örtüsü zenginliği bakımından Anadolu, dünyanın önemli bölgelerinden biridir. Birçok yabancı ot Anadolu'da doğal olarak yetişmektedir. Bu otlar daha çok taze olarak, salata veya işlenmiş gıdalar olarak tüketilmektedir (Sayili *et al.* 2013). Madımak olarak adlandırılan *Polygonum cognatum* Meisn, Polygonaceae familyasından Orta Anadolu'ya özgü endemik bir bitkidir (Çevik *et al.* 2014) ve yol kenarlarında, tarla sınırlarında ve tarım yapılmayan alanlarda yetişir (Baytop 1999, Yıldırım *et al.* 2003). Madımak Tokat, Sivas, Amasya, Çorum illerinde geleneksel bir Türk yemeği olarak yaygın olarak tüketilmektedir. Daha önce geleneksel olarak toplanıp evlerde tüketilen madımak, giderek ticari bir ürüne dönüşmüştür. Bu nedenle artan pazar ihtiyacını karşılamak amacıyla madımak tarımı yapılmaya başlanmıştır (Özkurt 2008). Madımlar ilkbahar mevsiminde (Nisan, Mayıs ve Haziranın ilk yarısı) toplanmaktadır. Ayrıca kurutularak kışlık olarak da kullanılmaktadır. Tarımsal ürünlerin kurutularak dayanıklılık kazandırılması yöntemi, insanın doğadan öğrendiği en eski muhafaza yöntemidir (Aral and Beşe 2016). Gıdaların mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal olarak bozulması su aktivitesi ile ilgilidir. Gıdaların kurutulmasında amaç gıdada bulunan su miktarının bu reaksiyonları durduracak seviyeye düşürülmesidir (Xu *et al.* 2017). Kurutulan ürünün kalitesi, kurutma koşullarının yanı sıra kurutma yönteminden de büyük ölçüde etkilenir (Naidu *et al.* 2016).

Bu çalışmada madımların (*Polygonum cognatum*) farklı sıcaklıklarda kurutulması ve uygulanan farklı sıcaklıkların kurutma kinetiği üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca sıcaklığın toplam fenolik madde içeriği, antioksidan kapasite, klorofil a, b ve toplam klorofil miktarı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan madımlar Sivas'ta yerel bir pazardan satın alınmıştır. Madımlar +4 °C'de muhafaza edilerek 24 saat içerisinde denemeye alınmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Kurutma

Çalışmada kullanılan tepsili kurutucu EKSiS Makine Tic. Ltd. Şti. (Isparta) tarafından üretilmiştir. Kurutma işlemi sabit hava hızında (0.5 m/s), 40, 50 ve 60 °C'de yapılmıştır. Kurutma işlemi yıkanmış ve kağıt havlu ile kurulan madımların sağlıklı kısımlarından yaklaşık 5 g alınarak tek sıra olacak şekilde tel sepetlere dizilerek gerçekleştirilmiştir. Kurutma kinetiğinin belirlenmesinde örnekler sabit tartıma ulaşıncaya kadar her 15 dakikada bir kurutucudan alınıp ± 0.01 g hassasiyete sahip dijital tartım cihazında (AND GX 4000) tartılmıştır. Her bir tartım süresinin 10 saniyeyi geçmeyecek şekilde yapılmasına dikkat edilmiştir. Denemeler üç tekrarlı yapılmıştır.

2.2.2 Nem İçeriğinin Ve Kuruma Hızının Belirlenmesi

Madımların kurutulması sırasında, herhangi bir t süresindeki nem içeriği hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (1)$$

Burada, M_t t süresindeki nem miktarını ($g\ su\ g^{-1}\ KM$), m numunenin kütlesini (g), KM numunenin kuru madde miktarını (g) belirtmektedir.

Kuruma hızı ($g\ su\ g^{-1}\ KM\ sn$), aşağıdaki eşitlik kullanılarak, nem içeriğine karşılık kuruma süresi eğrilerinin türevleri alınarak bulunmuştur.

$$\text{Kuruma Hızı} = -\frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (2)$$

Burada, M_{t+dt} , t + dt süresindeki nem içeriğini ($g\ su\ g^{-1}\ KM$), dt ise kuruma süresini (saniye) belirtmektedir.

2.2.3 Nem Oranının Hesaplanması

Modellemelerde madımların ağırlık değişimlerinden hesaplanan nem oranı değerleri (Eşitlik 3) kullanılmıştır.

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

Burada MR, nem oranını (birimsiz), M_t , t süresindeki nem miktarını ($g\ su\ g^{-1}\ KM$), M_o , başlangıç nem miktarını ($g\ su\ g^{-1}\ KM$), M_e , denge nem miktarını (0 kabul edilir) ($g\ su\ g^{-1}\ KM$) belirtmektedir.

2.2.4 Kurutma Prosesinin Modellenmesi

Madımakların kuruma davranışını açıklamak için Newton, Page ve Weibull modelleri test edilmiştir (Çizelge 1). Modellerin deneysel verilere uyumu doğrusal olmayan regresyon yapılarak MINİTAB (16) istatistik programında belirlenmiştir. En uygun modelin belirlenmesi için validasyon yapılmıştır. Modeller ile nem oranlarının tahmin edilmesinde iki tekerrür ortalaması kullanılarak validasyon 3. tekerrür sonuçları ile yapılmıştır.

Çizelge 1. Modellemede kullanılan eşitlikler

Model	Eşitlik	Kaynaklar
Newton	$MR = \exp(-k \cdot t)$	Soysal (2006)
Page	$MR = \exp(-k \cdot t^n)$	Soysal (2006)
Weibull	$MR = \exp(-t/\alpha)^\beta$	Babalıs et al. (2006)

Modelin kuruma eğrilerine uyumunu belirlemek için regresyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve χ^2 hesaplanmıştır. RMSE ve χ^2 değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Walther and Moore 2005).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tah,i} - MR_{den,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{tah,i} - MR_{den,i})^2}{N-z} \quad (5)$$

Burada, N gözlem sayısını, z kullanılan modeldeki katsayı sayısını, $MR_{den,i}$, deneysel nem oranının i. düzeyi, $MR_{tah,i}$, modelden tahmin edilen i. düzeyi belirtmektedir.

2.3 Analizler

2.3.1 Örneklerin Ekstraksiyonu

Kurutulan madımaklar kahve öğütücüde (Sinbo) öğütülmüş ve daha sonra elek açıklığı 300 μm ve 150 μm olan eleklerden (RETSCH) geçirilmiştir. Ekstraksiyon için taze ve kurutulmuş örneklerden 0.2 g alınarak üzerine 10 ml 50 °C'de saf su konulmuştur. Daha sonra 30 dakika 50 °C'deki çalkalamalı su banyosunda tutulmuştur. Ardından 1

dakika vortekste karıştırılan örnekler filtre kağıdından süzölmüştür. Ekstraktlar analize kadar -18 °C'de tutulmuştur.

2.3.2 Toplam Polifenol Tayini

Madımakaların toplam polifenol içeriği ISO (14502-1:2005) yöntemi kullanılarak yapılmış sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE) g^{-1} kuru madde (KM) olarak ifade edilmiştir.

2.3.3 Antioksidan Kapasite Tayini

Örneklerin antioksidan kapasitesi, DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) yöntemi (Türkmen et al. 2009) kullanılarak belirlenmiştir.

2.3.4 Klorofil Ekstraksiyonu ve Analizi

Klorofil ekstraksiyonunda % 80'lik soğuk aseton kullanılmıştır (Shivanna ve Subban 2014, Sun ve Li 2017). 0.05 g örnek üzerine feofitinizasyonu önlemek için 0.01 g $MgSO_4$, klorofillerin ekstraksiyonu için 3 ml % 80'lik aseton ilave edilerek 30 s havanda ezilmiştir. Daha sonra süpernatant alınarak kalıntı üzerine 3 ml aseton ilave edilmiştir. Bu işlem 4 defa tekrarlanmıştır. Elde edilen süpernatantlar birleştirilerek 1 dakika vortekste karıştırılarak filtre kağıdından süzölmüş ve spektrofotometrede (Optima, SP-3000 plus) 645 ve 663 nm'de absorbanları ölçülmüştür. Hesaplama aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Sonuçlar mg klorofil g^{-1} KM olarak ifade edilmiştir.

$$Klorofil\ a\ (mg\ L^{-1}) = 12.72 * A_{663} - 2.59 * A_{645} \quad (8)$$

$$Klorofil\ b\ (mg\ L^{-1}) = 22.88 * A_{645} - 4.67 * A_{663} \quad (9)$$

$$Top.klorofil\ a\ (mg\ L^{-1}) = 20.29 * A_{645} - 8.05 * A_{663} \quad (10)$$

2.3.5 İstatistiksel Analiz

İstatistik analizleri, Statistica (1995) programında varyans analizi ile gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki önemli farklılıklar çoklu karşılaştırma testlerinden Tukey's testi yapılarak belirlenmiştir ($p < 0.05$).

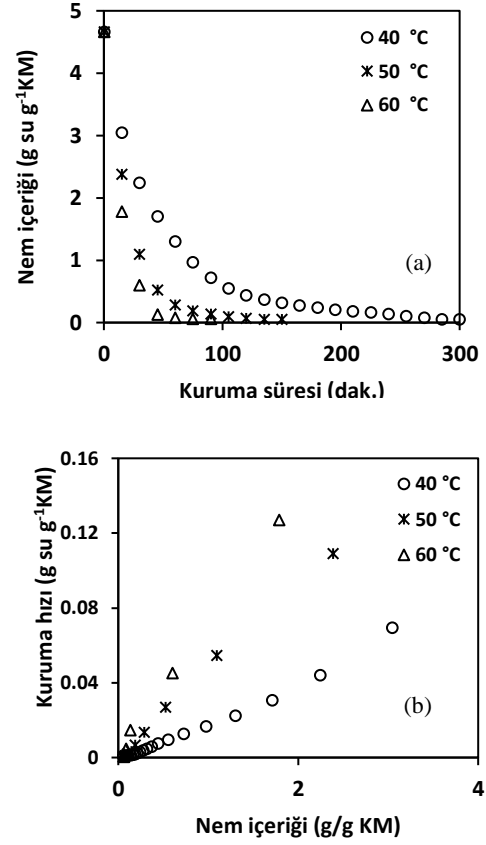
3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Farklı Sıcaklıkların Madımak Bitkisinin

Kurutma Kinetiği Üzerine Etkisi

3.1.1 Nem İçeriği Değişimi

Madımakların başlangıç nem miktarları eşitlik 1.'e göre hesaplanmış ve $4.67 \text{ g su g}^{-1} \text{ KM}$ olarak bulunmuştur. Madımak örneklerinin farklı sıcaklıklarda kurutma denemelerine ait kuruma süreleri 40, 50 ve 60°C 'de sırasıyla 300, 150 ve 90 dakika sürmüştür. Kuruma sonrası örneklerin nem içeriği ise ortalama $0.05 \text{ g su g}^{-1} \text{ KM}$ olarak bulunmuştur. Kuruma süresi en düşük 60°C , en yüksek ise 40°C sıcaklıkta tespit edilmiştir. Sıcaklığın 40°C 'den 50°C 'ye çıkarılmasıyla kuruma süresinde % 50, 60°C 'ye çıkarılmasıyla % 70'lik bir azalma görülmüştür. Sıcaklığın artması kuruma süresini azaltmıştır. Bu durum daha önceki çalışmalarda da tespit edilmiştir (Prabhanjan *et al.* 1995, Ramesh *et al.* 2001). Madımak bitkisinin farklı sıcaklıklarda kurutulması sırasında zamana bağlı olarak nem içeriklerinin değişimi Şekil 1 (a)'da verilmiştir. Şekil 1 (a)'dan da görüldüğü gibi, kuruma süresi uygulanan kurutma sıcaklığından etkilenmiş, sıcaklık arttığında nem kaybı hızlanmış ve kuruma süresi ise kısalmıştır. Benzer durum daha önce yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir (Simal *et al.* 1996, Vega *et al.* 2007). Madımak örneklerinin nem içeriğindeki değişim başlangıçta hızlı iken denemelerin sonlarında ise daha yavaş olmuştur.



Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş madımakların kuruma eğrisi (a) ve kuruma hızı eğrisi (b)

Kurutmanın başlangıcında en hızlı kuruma 60°C 'de en düşük ise 40°C 'de elde edilmiştir. Örneklerdeki su kaybı fazla olduğu için kuruma eğrilerinde hızlı düşüşler görülmüştür. Kurutma havası sıcaklığının artması kuruma süresinin kısalmasına neden olmuştur. Kurutma havası sıcaklığının yükselmesi kurutulan malzemeye olan ısı transferinin artmasıyla su moleküllerinin enerjisini yükselterek nemin hızlı bir şekilde uzaklaşmasına dolayısıyla kuruma süresinin de kısalmasına neden olmaktadır (Sousa *et al.* 2018). Aynı durum reyhan bitkisinin (Polatçı ve Tarhan, 2009), alıcın (Aral and Beşe 2016), ve ayvaların (Szychowski *et al.* 2018) kurutulması sırasında da görülmüştür.

3.1.2 Kuruma Hızı Değişimi

Farklı sıcaklıklarda kurutulan madımak örneklerinin kuruma hızı değerleri Şekil 1 (b)'de verilmiştir. Madımakların kuruma hızları eşitlik 2'ye göre hesaplanmış olup şekilden de görüldüğü gibi

kurutmanın başlangıcında 40 °C'de 0.0694 g su g⁻¹ KM dak., 50 °C'de 0.1090 g su g⁻¹ KM dak. ve 60 °C'de 0.12682 g su g⁻¹ KM dak. olarak bulunmuştur. Sıcaklık arttığında kuruma hızının da arttığı görülmektedir. Kuruma hızı en yüksek 60 °C'de en düşük ise 40 °C'de kurutulan örneklerde görülmüştür. Kurutmanın başlarında örneklerde nem içeriği yüksek olduğu için daha çok nem difüzyonu olmaktadır. Bu durumda daha yüksek kuruma hızları elde edilmiştir. Düşük sıcaklıkta kurutma uygulandığında kurutulan materyal daha uzun süre ısıya maruz kalmaktadır. Bu durum hücre duvarlarının büzülmesine neden olarak kuruma hızını azaltmaktadır (Karunasena *et al.* 2014, Aral and Beşe 2016). Sıcaklık artışının kuruma hızını artırdığı diğer çalışmalarda da tespit edilmiştir (Gupta *et al.* 2002, Aral and Beşe 2016, İzli *et al.*

2017). Farklı sıcaklıklarda kurutulan madımakların kuruma hızı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Azalan hız periyodunda, üründeki nem oranının azalması ile kuruma hızı azalmaktadır (Sousa *et al.* 2018).

3.1.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellere Uygunluğu

Tarımsal ürünlerin farklı koşullarda kuruma eğrilerinin modellenmesinde birçok eşitlik kullanılmaktadır. Bu çalışmada madımak bitkisinin farklı sıcaklıklarda kurutulması sırasında elde edilen nem oranının kuruma süreleriyle değişimi Page, Newton ve Weibull modele göre yapılmıştır (Çizelge 1). Bu modellere ilişkin uyum verileri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş Madımak bitkisine uygulanan modellere ilişkin parametreler ve modellere uyum verileri

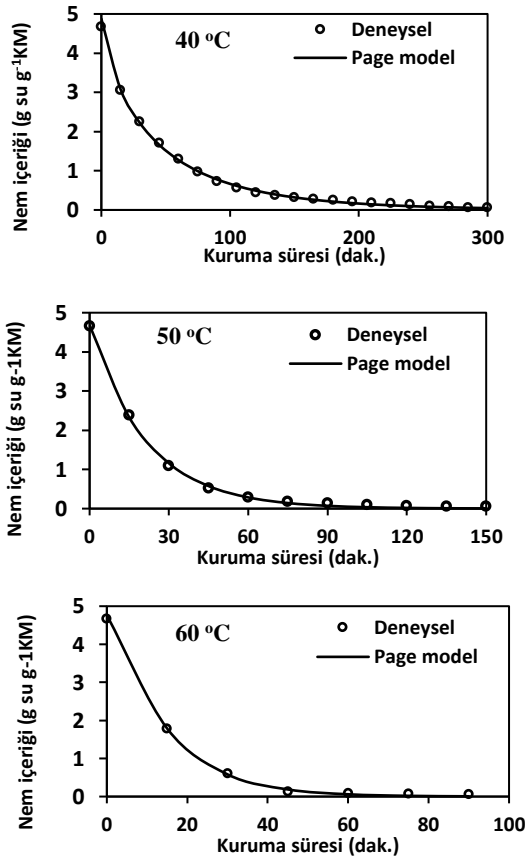
Sıcaklık (°C)	Model	Katsayılar	R ²	RMSE	χ ²
40	Page	k: 0.0448946; n:0.800916	0.9991	0.00772	0.00006
	Newton	k:0.0216148	0.9956	0.02683	0.00076
	Weibull	α:45.5391; β:0,800916	0.9991	0.00772	0,00006
50	Page	k: 0.0477709; n:1.01051	0.9985	0.01220	0.00018
	Newton	k:0.0464843	0.9984	0.01245	0.00017
	Weibull	α:21.5671; β:1.01051	0.9985	0.01220	0.00018
60	Page	k: 0.048685; n:1.1084	0.9994	0.00883	0.00011
	Newton	k:0.0664636	0.9984	0.01371	0.00022
	Weibull	α:15.5476; β:1.1084	0.9994	0.00883	0.00011

k: dak⁻¹ α: dak

Matematiksel modellerin uygunluğu R² değerinin yüksek, RMSE ve χ² değerlerinin ise mümkün olduğunca düşük olması ile belirlenir (Sarsavadia *et al.* 1999, Soysal *et al.* 2006). Modellere ait regresyon katsayıları (R²) dikkate alındığında tüm sıcaklık uygulamalarında Page ve Weibull modelde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bir modelin uygunluğunun belirlenmesinde RMSE'nin sifıra eşit veya yakın olması istenir (Walther and Moore 2005). Modellere ilişkin RMSE değerleri karşılaştırıldığında uygulanan tüm sıcaklıklarda RMSE değeri en düşük Page ve Weibull modellerinde tespit edilmiştir. χ² değerinin düşük olması test edilen modele uygunluğun arttığını göstermektedir. Modellere ilişkin χ² değerleri 50 °C dışındaki (bu sıcaklıkta modeller arasında farklılık olmamıştır) diğer tüm sıcaklıklarda en düşük Page ve Weibull modellerinde belirlenmiştir. Madımakların kuruma davranışını açıklamak için karşılaştırılan her üç modelin R²,

RMSE ve χ² değerleri ele alındığında Page ve Weibull modellerinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak Page modeli gıdaların kuruma davranışlarının incelenmesinde yaygın olarak kullanıldığından ve dolayısıyla diğer çalışmalarla karşılaştırma kolaylığı sağlayacağından (Goyal *et al.* 2006, Szychowski *et al.* 2018) madımakların kuruma davranışını açıklamak için Page modelin en uygun model olduğuna karar verilmiştir. Page model parametrelerinden k 40, 50 ve 60 °C'de sırasıyla 0.0448946, 0.0477709 ve 0.048685 dak⁻¹ olarak n ise 0.800916, 1.01051 ve 1.1084 olarak bulunmuştur. Uygulanan kurutma sıcaklığının artmasıyla "k" değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bu durum artan kurutma sıcaklığının ürün içerisindeki nem transferini artırdığından kurumanın kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir. Benzer bulgular çekirdeksiz üzümün (Pangavhane *et al.* 1999) ve dereotunun (Naidu *et al.* 2016) kurutulması

sonucunda da tespit edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda kurutulan madımalarda kuruma süresi ile nem içeriği değişimini gösteren deneysel değerlerin, Page denkleminde elde edilen değerlere uyumluluğu Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de Page modelin kuruma verilerine uyumunun oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Mango dilimleri (Goyal *et al.* 2006) ve zencefilin (Phoungchandang and Saentaweek 2011) kuruma davranışını araştıran çalışmalarda da benzer sonuçlar belirtilmiştir.



Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda kurutulan madımalarda deneysel ve Page denkleminin tahmini nem içerikleri

3.2 Farklı Sıcaklıklarda Kurutmanın Madımak Bitkisinin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi

Sıcaklığın madımak bitkisinin toplam fenolik madde, antioksidan aktivite, klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil üzerine etkisi incelenmiştir, Varyans analiz sonuçları ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı sıcaklıklarda kurutmanın madımak bitkisinin kalite parametreleri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi

Faktör	Bağımlı değişken	SD ¹	Kareler ortalaması	F değeri
Sıcaklık	Toplam fenolik madde	3	28.62	53.09***
	Antioksidan aktivite		64.47	166.08***
	Klorofil a		3.38	393.41***
	Klorofil b		0.21	0.01**
	Toplam Klorofil		5.11	134.81***

*: p<0.05, **:p<0.01, ***: p<0.001, ¹Serbestlik Derecesi

3.2.1 Toplam Fenolik Madde Ve Antioksidan Aktivite Üzerine Etkisi

Sıcaklığın madımalarda toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesi üzerine etkisi (Çizelge 3) önemli bulunmuştur (p<0.001).

Çizelge 4. Farklı sıcaklıklarda kurutulan madımalarda toplam fenolik madde (mg GAE g⁻¹ KM) ve antioksidan aktiviteleri (% inhibisyon)

Sıcaklık °C	Toplam fenolik madde	Antioksidan kapasite
Taze	27.80 ± 0.24 ^a	76.33 ± 0.28 ^a
40	21.06 ± 0.69 ^c	66.82 ± 0.72 ^c
50	24.17 ± 1.09 ^b	69.10 ± 0.63 ^b
60	27.14 ± 0.66 ^a	75.24 ± 0.75 ^a

*: Aynı sütunda farklı harfler istatistiksel olarak birbirinde farklıdır (p<0.05)

Taze madımalarda toplam fenolik madde miktarı 27.80 mg GAE g⁻¹ KM olarak bulunmuştur (Çizelge 4). Eruygur *et al.* (2020) yaptıkları araştırmada Sivas yöresindeki madımalarda toplam fenolik miktarını 32.59 mg GAE g⁻¹ KM olarak daha yüksek bulmuşlardır. Bu farklılığın analiz yönteminin, uygulanan ekstraksiyon koşullarının ve hasat zamanının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kurutulmuş örneklerin toplam fenolik madde miktarı ise 40, 50 ve 60 °C'de sırasıyla 21.06, 24.17 ve 27.14 mg GAE g⁻¹ KM olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4). Kurutulmuş örneklerde fenolik madde içeriği en düşük 40 °C'de en yüksek ise 60 °C'de elde edilmiştir. Taze örneklerin toplam fenolik madde içeriği sıcaklığa bağlı olarak azalmıştır. Taze örneğe göre bu azalma 40, 50 ve 60 °C'de sırasıyla % 24.24, % 13.06 ve % 2.37 olmuştur. Taze örneklere göre 40 ve 50 °C'de toplam fenolik madde miktarındaki bu azalma önemli (p<0.05) iken 60 °C sıcaklık uygulamasında önemsiz bulunmuştur (p>0.05). Benzer şekilde Kumar *et al.* (2015) hibiskus yapraklarını 65 °C'de, kuruttukları araştırmalarında

örneklerin toplam fenolik madde içeriğinde, taze örneğe kıyasla azalma tespit etmişlerdir. Madımak örneklerinin fenolik madde miktarındaki azalma en düşük 60 °C'de olmuştur. Daha önce yapılan araştırmalarda maqui meyvesinin 40-80 °C'de (Rodríguez *et al.* 2016) ve biberlerin (çili) 50-70 °C'de (Wiriya *et al.* 2009) kurutulmasında 60 °C'den düşük sıcaklıklarda uzun süren kurutma işleminin oksidasyon sonucunda fenolik bileşiklerde daha fazla kayba neden olduğu belirtilmiştir. İzli *et al.* (2017), kivi meyvesini 60, 70 ve 80 °C'de kurutmuşlar ve örneklerin toplam fenolik madde miktarı değişimine bakmışlardır. Sıcaklığa bağlı olarak taze kiviye göre 60 ve 70 °C'de toplam fenolik madde içeriğindeki kayıp % 49 iken 80 °C'deki kaybın % 5 olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu düşük sıcaklıklardaki kurutmada (60, 70 °C) örneklerin ısıl işleme daha uzun süre maruz kalmasına neden olduğunu dolayısıyla düşük sıcaklık uygulamasının oksidatif enzimlerin tamamen inaktif olmamasına, bu nedenle fenolik bileşiklerin parçalanmasına neden olduğuna bağlamışlardır. Kim and Chin (2016) domates tozu elde etmek üzere domatesleri 60, 80 ve 100 °C'de kurutmuşlar ve sadece sıcaklık uygulamalarını kendi aralarında değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucunda sıcaklık artmasıyla toplam fenolik miktarında artış tespit etmişlerdir. Bu araştırma sonuçları ile uyumlu olarak kurutma sıcaklıkları kendi aralarında değerlendirildiğinde sıcaklığa bağlı olarak toplam fenolik madde içeriğinin arttığı gözlenmiştir ve bu artış anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$).

Yapılan araştırmalarda ısı uygulamalarının gıda matriksinde biyokimyasal değişiklikleri indüklediğini ve termal uygulama sırasında hücre yapısının bozulmasıyla fenolik bileşiklerin salınımının arttığı dolayısıyla ekstraksiyon çözeltisine geçişin kolaylaştığı belirtilmiştir (Chism and Haard 1996). Ayrıca düşük sıcaklıkta uzun süren kurutma işleminin peroksidaz ve polifenoloksidaz gibi oksidatif enzimlerin inaktif olmaması nedeniyle fenolik bileşiklerdeki kaybın oksidasyon sonucu olduğu belirtilmektedir (İzli *et al.* 2017).

Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş madımakların antioksidan aktiviteleri taze örnekte % 76.33 olarak bulunurken kurutulmuş madımak örneklerinin antioksidan aktiviteleri ise taze örneğe göre azalma göstererek 40, 50 ve 60 °C'de sırasıyla % 66.82, % 69.10 ve % 75.24 olarak tespit edilmiştir. Sıcaklığın antioksidan aktivite üzerine etkisi önemli bulunmuş olup (Çizelge 3 ve Çizelge 4) sıcaklığın antioksidan aktivite üzerine etkisi toplam fenolik madde üzerine etkisi ile aynı eğilim göstermiştir.

Taze örneklere göre 40 ve 50 °C'de antioksidan aktivitedeki bu azalma önemli ($p < 0.05$) iken 60 °C sıcaklık uygulamasında önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Bu durumun örneklerin fenolik madde miktarı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite arasında kuvvetli bir ilişki olduğu daha önce yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir. (Velioglu *et al.* 1998, Kim and Chin 2016). Tan *et al.* (2013) 40, 50 ve 60 °C'de kuruttukları acı kabağın antioksidan aktivitesinde 50 °C'ye kadar azalış 60 °C'de ise benzer şekilde antioksidan aktivitenin tekrar arttığını tespit etmişlerdir. İzli *et al.* (2017), kivi meyvesini 60, 70 ve 80 °C'de kurutmuşlar ve örneklerin antioksidan aktivitesine bakmışlardır. Araştırmacılar benzer şekilde sıcaklık uygulamasının taze kiviye göre antioksidan aktivitesinde azalmaya neden olduğunu ancak sıcaklık derecesi arttıkça antioksidan aktivitenin arttığını belirtmişlerdir. Kim and Chin (2016) domates tozu elde etmek üzere domatesleri 60, 80 ve 100 °C'de kuruttukları ve sıcaklıkları kendi aralarında değerlendirdikleri araştırmalarında sıcaklık artmasıyla örneklerin antioksidan aktivitelerinde de artış tespit etmişlerdir. Araştırmacılar yüksek sıcaklık uygulamalarının Maillard reaksiyonuna neden olduğunu ve reaksiyon sonucunda oluşan ürünlerin antioksidan aktiviteyi artırdığını belirtmişlerdir.

3.2.2 Klorofil a, Klorofil b ve Toplam Klorofil Üzerine Etkisi

Taze ve kurutulmuş madımakların klorofil miktarları Çizelge 5'te, Varyans analizi sonuçlarında Çizelge 3'te verilmiştir. Taze madımak örneğinin klorofil a, b ve toplam klorofil miktarı sırasıyla 6.42, 1.49 ve 7.91 mg

g⁻¹ KM olarak bulunmuştur. Yeşil renkli gıdalarda klorofil a ve b yaklaşık 3:1-4:1 oranında bulunmaktadır. Toplam klorofil miktarı çeşit, yetiştirme koşulları ve bitkinin olgunluğuna göre değişir. Ancak klorofil a/b oranı hemen hemen sabittir (Schwartz and Von Elbe 1983). Daha önce yapılan araştırmalarda klorofil a miktarının klorofil b'den fazla olduğu tespit edilmiştir (Shivanna and Subban 2014, Kumar *et al.* 2015). Çalışmada, bahsedilen araştırmalarla uyumlu olarak klorofil a, klorofil b'den daha fazla bulunmuştur. Taze madımak için klorofil a/b oranı ise 4.3 olarak tespit edilmiştir. Madımak bitkisinin klorofil miktarına ilişkin literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çizelge 5. Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş madımakların klorofil a, b ve toplam klorofil miktarları (mg g⁻¹ KM)

Sıcaklık (°C)	Klorofil a	Klorofil b	Toplam klorofil
Taze	6.42 ± 0.16 ^a	1.49 ± 0.23 ^a	7.91 ± 0.38 ^a
40	4.44 ± 0.06 ^b	1.20 ± 0.08 ^{ab}	5.64 ± 0.03 ^b
50	4.33 ± 0.02 ^{bc}	0.96 ± 0.01 ^b	5.29 ± 0.01 ^{bc}
60	4.17 ± 0.07 ^c	0.92 ± 0.02 ^b	5.09 ± 0.07 ^c

*: Aynı sütunda farklı harfler istatistiksel olarak birbirinde farklıdır (p<0.05)

Çizelge 5 incelendiğinde farklı sıcaklıklarda kurutmanın klorofil üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Taze madımakların klorofil içeriği kurutulmuş örneklerden yüksek bulunmuştur (p<0.05). Sıcaklık arttığında klorofil bileşikleri istatistiksel olarak önemli düzeyde azalmıştır. Benzer olarak Shivanna and Subban *et al.* (2014), 60 °C'de kurutulmuş köri yapraklarında, Kumar *et al.* (2015) 65 °C'de kurutulmuş Hibiskus yapraklarında, Naidu *et al.* (2016) ise 50 °C'de kuruttukları dereotunda taze örneklerle göre klorofil miktarında azalma tespit etmişlerdir. Potisate ve Phoungchandang (2010), 50, 55 ve 60 °C'de kuruttukları sarmaşık kabak yapraklarında klorofil içeriklerine bakmışlardır. Araştırmacılar taze örneklerin klorofil miktarlarını sıcaklık uygulamalarından daha yüksek bulmuşlardır. Ayrıca çalışmada sıcaklığın artmasıyla klorofil miktarlarında azalma tespit etmişlerdir. Guan *et al.* (2005) 50, 60, 80 ve 100 °C'de kuruttukları yalancı iğde otu (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis* Rousi) yapraklarında toplam klorofil miktarlarında sıcaklık artışına bağlı olarak azalma tespit etmişlerdir. Araştırmacılar toplam klorofil miktarındaki bu düşüşü klorofillerin sıcaklığa duyarlı olmasına ve dolayısıyla artan

sıcaklıklarda klorofilin degradasyona uğrayarak feofitinlerin oluşumuna bağlamışlardır. Ayrıca klorofil miktarındaki kayba ısı etkisiyle denatüre olan protein komplekslerinin de neden olduğu belirtilmektedir (Lisiewska *et al.* 2004, Ngamwonglumlert *et al.* 2017).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada madımak bitkisi 40, 50 ve 60 °C'de 0,5 m/s hava hızında kurutulmuştur. Uygulanan farklı sıcaklıkların madımak bitkisinin kuruma kinetiği, toplam fenolik madde içeriği, antioksidan aktivite, klorofil miktarları üzerine etkileri incelenmiştir. Farklı sıcaklıklarda madımakların kuruma eğrilerini açıklamada en uygun model olarak Page model seçilmiştir. Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş madımakların toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi sıcaklık uygulamalarında taze örneğe göre azalma göstermiştir. Taze madımakların klorofil a, b ve toplam klorofil içeriği kurutulmuş örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Sıcaklık arttığında klorofil bileşikleri önemli düzeyde azalmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 60 °C'de kurutmada daha kısa sürede daha yüksek kuruma hızı tespit edilmiştir. Bu nedenle madımakların kurutulmasında 60 °C uygulaması önerilmektedir.

Bilgilendirme

Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

5. Kaynaklar

- Aral, S. and Beşe, A. V., 2016. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food Chemistry*, **210**, 577-584.
- Baytop, T., 1999. Türkiye'de bitkiler ile tedavi: geçmişte ve bugün. Nobel Tıp Kitabevleri, 313.
- Chism, G.W. and Haard, N.F., 1996. Characteristics of edible plant tissues. In: Fennema O. R. (Ed.), *Food Chemistry*. Marcel Dekker, Inc., 943-1011, New York.
- Çevik, Ö., Şener, A., Kumral, Z. Ö., Çetinel, Ş., Altıntaş, A., Oba, R., ... Yarat, A., 2014. Protective and therapeutic effects of *Polygonum cognatum* Meisn. aqueous extract in experimental colitis. *Marmara Pharmaceutical Journal*, **18**(3), 126-134.

- Eruygur, N., Ucar, E., Ataş, M., Ergul, M., Ergul, M. and Sozmen, F., 2020. Determination of biological activity of *Tragopogon porrifolius* and *Polygonum cognatum* consumed intensively by people in Sivas. *Toxicology reports*, **7**, 59-66.
- Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikantan, M.R. and Ilyas, S.M., 2006. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. *Biosystems Engineering*, **95(1)**, 43-49.
- Guan, T.T., Cenkowski, S. and Hydamaka, A., 2005. Effect of drying on the nutraceutical quality of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis*) leaves. *Journal of Food Science*, **70(9)**, E514-E518.
- ISO 14502-1:2005. Determination of substances characteristic of green and black tea. Part 1: Content of total polyphenols in tea. Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent.
- İzli, N., İzli, G. and Taskin, G., 2017. Drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity properties of kiwi dried by different methods. *Food Measure*, **11**, 64-74.
- Karunasena, H.C.P., Hasemi, P., Senadeera, W., Gu, Y.T., Brown, R.J. and Oloyede, A., 2014. Scanning electron microscopic study of microstructure of gala apples during hot air drying. *Drying Technology*, **32**, 455-468.
- Kim, H.S. and Chin, K.B., 2016. Evaluation of different drying temperatures on physico-chemical and antioxidant properties of water-soluble tomato powders and on their use in pork patties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **96(3)**, 742-750.
- Kumar, S.S., Manoj, P., Shetty N. P. and Giridhar, P., (2015). Effect of different drying methods on chlorophyll, ascorbic acid and antioxidant compounds retention of leaves of *Hibiscus Sabdariffa* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **95(9)**, 1812-1820.
- Lisiewska, Z., Kmiecik, W. and Słupski, J., 2004. Contents of chlorophylls and carotenoids in frozen dill: effect of usable part and pre-treatment on the content of chlorophylls and carotenoids in frozen dill (*Anethum graveolens* L.), depending on the time and temperature of storage. *Food Chemistry*, **84(4)**, 511-518.
- Naidu, M.M., Vedashree, M., Satapathy, P., Khanum, H., Ramsamy, R. and Hebbar, H.U., 2016. Effect of drying methods on the quality characteristics of dill (*Anethum graveolens*) greens. *Food Chemistry*, **192**, 849-856.
- Ngamwonglumlert, L., Devahastin, S. and Chiewchan, N., 2017. Natural colorants: pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **57(15)**, 3243-3259.
- Özkurt, M., 2008. *Polygonum Cognatum* Meisn. (Madımak) tohumlarının çimlenme biyolojisi ve klonları arasındaki genetik çeşitliliğin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 82 s.
- Pangavhane, D.R., Sawhney, R.L. and Sarsavadia, P.N., 1999. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, **39(2)**, 211-216.
- Phoungchandang, S. and Saentaweasuk, S., 2011. Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger. *Food and Bioprocess Processing*, **89(4)**, 429-437.
- Polatçı, H. and Tarhan, S., 2009. Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*Ocimum Basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **1**, 61 s
- Potisate, Y. and Phoungchandang, S., 2010. Chlorophyll retention and drying characteristics of ivy gourd leaf (*Coccinia Grandis* Voigt) using tray and heat pump-assisted dehumidified air drying. *Drying Technology*, **28**, 786-797.
- Prabhanjan, D.G., Ramaswamy, H.S. and Raghavan, G.S.V., 1995. Microwave assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, **25**, 283-293.
- Ramesh, M.N., Wolf, W., Tevini, D. and Jung, G., 2001. Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering*, **49(1)**, 63-72.
- Rodríguez, K., Ah-Hen, K.S., Vega-Gálvez, A., Vásquez, V., Quispe-Fuentes, I., Rojas, P. and Lemus-Mondaca, R., 2016. Changes in bioactive components and antioxidant capacity of maqui, *Aristotelia chilensis* [Mol] Stuntz, berries during drying. *LWT-Food Science and Technology*, **65**, 537-542.
- Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R. and Singh, S.P., 1999. Drying behaviour of brined onion slice. *Journal of Food Engineering*, **40**, 219-226.
- Sayili, M., Adiguzel, F. and Gozener, B., 2013. Investigation on madımak consumption status of consumers in central Tokat province. *Bulgarian journal of agricultural science*, **19(2)**, 303-313.

- Schwartz, S. J. and Von Elbe, J.H., 1983. Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *Journal of Food Science*, **48(4)**, 1303-1306.
- Shivanna, V.B. and Subban, N., 2014. Effect of various drying methods on flavor characteristics and physicochemical properties of dried curry leaves (*Murraya koenigii* L. Spreng). *Drying Technology*, **32(8)**, 882-890.
- Simal, S., Mulet, A., Tarrazo, J. and Rosselló, C., 1996. Drying models for green peas. *Food Chemistry*, **55(2)**, 121-128.
- Sousa, A.D., Ribeiro, P.R.V., Canuto, K.M., Zocolo, G.J., Pereira, R.D.C.A., Fernandes, F.A.N. and Sousa de Brito, E., 2018. Drying kinetics and effect of air-drying temperature on chemical composition of phyllanthus amarus and phyllanthus niruri. *Drying Technology*, **36(5)**, 609-616.
- Soysal, Y., Öztekin, S. and Eren, O., 2006. Microwavedrying of parsley: modelling, kinetics and energy aspects. *Biosystems Engineering*, **93(4)**, 403-413.
- Sun, Y. and Li, W., 2017. Effects the mechanism of micro-vacuum storage on broccoli chlorophyll degradation and builds prediction model of chlorophyll content based on the color parameter changes. *Scientia Horticulturae*, **224**, 206-214.
- Szychowski, P.J., Lech, K., Sendra-Nadal, E., Hernández, F., Figiel, A., Wojdyło, A. and Carbonell-Barrachina, Á.A., 2018. Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry*, **255**, 157-164.
- Tan, E.S., Abdullah, A. and Maskat, M.Y., 2013. Effect of drying methods on total antioxidant capacity of bitter gourd (*Momordica charantia*) fruit. *AIP Conference Proceedings*, **1571(1)**, 710-716.
- Türkmen Erol N., Sari F., Çalikoğlu E. and Velioglu Y.S., 2009. Green and roasted mate: Phenolic profile and antioxidant activity. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **33**, 353-362.
- Vega, A., Fito, P., Andrés, A. and Lemus, R., 2007. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, **79(4)**, 1460-1466.
- Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L. and Oomah, B.D., 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46(10)**, 4113-4117.
- Walther, B. A. and Moore, J.L., 2005. The Concepts of Bias, Precision and Accuracy, and Their Use in Testing The Performance of Species Richness Estimators, With A Literature Review of Estimator Performance. *Ecography*, **28(6)**, 815-829.
- Wiriya, P., Paiboon, T. and Somchart, S., 2009. Effect of drying air temperature and chemical pretreatments on quality of dried chilli. *International Food Research Journal*, **16(3)**, 441-454.
- Xu, F., Jin, X., Zhang, L. and Chen, X.D., 2017. Investigation on water status and distribution in broccoli and the effects of drying on water status using NMR and MRI methods. *Food Research International*, **96**, 191-197.
- Yıldırım, A., Mavi, A., Kara, A.A., 2003. Antioxidant and antimicrobial activities of *Polygonum cognatum Meisn* extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **83(1)**:64-69.