

FARKLI KAVURMA YÖNTEMLERİNİN LEBLEBİDE ISIL İŞLEM KONTAMİNANTLARININ OLUŞUMUNA ETKİSİ

Zehra Günel*

Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Geliş / Received: 06.12.2021; Kabul / Accepted: 27.01.2022; Online baskı / Published online: 25.03.2022

Günel, Z. (2022). Farklı kavurma yöntemlerinin leblebide ısı işlem kontaminantlarının oluşumuna etkisi. *GIDA* (2022) 47 (2) 296-309 doi: 10.15237/gida.GD21151

Günel, Z. (2022). The effect of different roasting methods on the formation of heat-induced contaminants in roasted chickpea. *GIDA* (2022) 47 (2) 296-309 doi: 10.15237/gida.GD21151

ÖZ

Bu çalışmanın amacı farklı kavurma yöntemleri (mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu, sıcak hava) ile kavru lan leblebi örneklerinde furan, furfural, 5-hidroksimetilfurfural (HMF) ve akrilamid gibi ısı işlem kontaminantlarının oluşumunu incelemektir. Leblebi örneklerinin ısı işlem kontaminantlarının yanı sıra esmerleşme indeksi (BI), ultraviyole absorban sı (UV-A) ve Hunter *L*, *a* ve *b* renk değ erleri de belirlenmiştir. Farklı kavurma yöntemleri leblebi örneklerinin BI, UV-A ve renk değ erleri üzerinde istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etki gösterirken, artan kavurma sıcaklık ve süresiyle birlikte BI, UV-A ve Hunter *a* değ erleri artış göstermiştir. Çalışmada en yüksek ısı işlem kontaminantı oluşumu sıcak hava kavurma yönteminde belirlenirken, mikrodalga kavurma yöntemi tüm ısı işlem kontaminantlarında en düşük sonuçları vermiştir. Örneklerin akrilamid içeriğ inin, kavurma işlemi ile artış göstermediğ i ve tüm örneklerde tayin limiti (LOQ) değ erinin altında kaldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Leblebi, kavurma, furan, furfural, akrilamid, HMF

THE EFFECT OF DIFFERENT ROASTING METHODS ON THE FORMATION OF HEAT-INDUCED CONTAMINANTS IN ROASTED CHICKPEA

ABSTRACT

This study aims to investigate the formation of heat-induced contaminants such as furan, furfural, 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and acrylamide in roasted chickpea samples using different roasting methods (microwave, microwave-hot air combination, hot air). In addition to heat-induced contaminants of roasted chickpea samples, browning index (BI), ultraviolet absorbance (UV-A) and Hunter *L*, *a* and *b* color values were also determined. While different roasting methods had a statistically significant ($p < 0.01$) effect on BI, UV-A and color values of roasted chickpea samples, BI, UV-A and Hunter *a* values increased with increasing roasting temperature and time. In the study, the highest heat-induced contaminant formation was determined in the hot air roasting method, while the microwave roasting method gave the lowest results in all heat-induced contaminants. It was determined that the acrylamide content of the samples did not increase with the roasting process and remained below the limit of quantification (LOQ) value in all samples.

Keywords: Roasted chickpea, roasting, furan, furfural, acrylamide, HMF

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ zehra.gunel@gidatarim.edu.tr

☎ (+90) 332 223 53 12

☎ (+90) 332 223 54 90

Zehra Günel; ORCID no: 0000-0002-3431-7984

GİRİŞ

Baklagiller, tüm dünyada farklı hazırlama prosedürleri uygulanarak sıklıkla tüketilen temel gıdalar arasındadır. Isıt işlem uygulanarak yemek olarak tüketilebildikleri gibi kavrulduktan sonra atıştırılabilir olarak tüketilmekte ya da un haline getirilip farklı gıdalara katkı olarak kullanılabilmektedirler (Joghalli vd., 2017). Nohut (*Cicer arietinum* L.) nispeten yüksek protein içeriğinin yanı sıra, karbonhidratlar, esansiyel amino asitler, mineraller (K, Zn, Ca ve Mg), diyet lifi ve doymamış yağ asitleri açısından da oldukça zengin bir baklagildir (Simsek vd., 2016). Ülkemizde ve birçok Ortadoğu ülkesinde nohut, kavrulmuş tane halinde veya kavrulmuş tanenin un haline getirilmesi ile günlük diyetinde sıklıkla yer almaktadır. Nohuttan kavurma yöntemiyle elde edilen ve "leblebi" olarak adlandırılan ürün ise yapılan çalışmalarda Ortadoğu'nun en popüler atıştırılabilir olarak adlandırılmıştır (Coşkun ve Karababa, 2004). Türkiye, leblebi üretiminde dünyada ilk sırada gelmektedir. Ülkemizin başlıca leblebi üreten illeri Çorum, Denizli, Kütahya ve Gaziantep olup, her bölgede leblebi işleme yöntemi farklılık gösterebilmektedir. Leblebi üretiminde ham nohut taneleri suda ıslatılmakta ve ardından belirli süre ve sıcaklıkta kavrulmaktadır (Coşkun ve Karababa, 2004; Oğuz ve Sayaslan, 2019). Kavurma işlemi ile nohut tanelerinin lezzeti, dokusu, aroması ve rengi iyileşmekte, tüketici beğenisi kazanılmaktadır (Simsek vd., 2016). Kavurma işlemi genellikle kavurucu tipine, ısı transfer mekanizmasına ve zaman-sıcaklık profiline bağlı olarak 150-400 °C sıcaklık arasında gerçekleştirilmekte olup, bu işlemle birlikte duyu özelliklerinin gelişmesinin yanı sıra su aktivitesi azaltılarak, nohut tanelerinin raf ömrü de uzatılmaktadır (Malgorzata vd., 2016; Joghalli vd., 2017). Leblebi üretiminin en önemli aşaması olan kavurma ile zamana ve sıcaklığa bağlı olarak bazı kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonların en önemlisi indirgen şekerlerin karbonil grupları ile serbest aminoasitler arasında meydana gelen Maillard reaksiyonudur. Maillard reaksiyonu ile meydana gelen melanoidin gibi bazı bileşikler antioksidan etki gösterse de diğer bir takım ara bileşikler insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Rannou vd., 2016). Bu bileşiklerin başında ise 5-

hidroksimetilfurfural (HMF), furfural, furan ve akrilamid gelmektedir (Mogol ve Gökmen, 2016; Gunel vd., 2018). HMF ve furfural birincil Maillard reaksiyonu ürünleri olarak kabul edilmektedir (Anese ve Suman, 2013). Furfural DNA hasarına, hücre membranının parçalanmasına ve çeşitli enzimlerin inaktivasyonuna sebep olabilen bir Maillard reaksiyonu ürünüdür (Park vd., 2015; Gunel vd., 2018). Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından akrilamid A grubu muhtemel kanser yapıcılar arasında sınıflandırılırken, furan B grubu muhtemel kanser yapıcılar arasında yer almıştır (Anonim, 1995). Tüm bu zararlı etkilerinden dolayı kavurulmuş ürünlerde ısıt işlem kontaminantlarının oluşumunun kontrol edilebilir olması oldukça önemli bir husustur.

Leblebi üretim koşulları itibariyle ısıt işlem kontaminantlarının oluşumunun beklendiği bir üründür (Ölmez vd., 2008). Yapılan araştırmalarda nohutun kuru maddede yaklaşık %67 karbonhidrat içerdiği, bu karbonhidrat içeriğinin %3'lük kısmının ise indirgen şekerlerden oluştuğu bildirilmiştir (Coşkun ve Karababa, 2004; Kaur ve Prasad, 2021). Ayrıca nohutun serbest aminoasitleri de içeriğinde bulundurduğu ve toplam serbest amino asit bileşiminin majör aminoasitlerinin yaklaşık %18 oranıyla glutamik asit ve %12 oranıyla aspartik asitten oluştuğu rapor edilmiştir (Daur vd., 2008). Yapılan çalışmalarda glutamik asit ve aspartik asidin Maillard reaksiyonuna en yavaş katılan aminoasitler olduğu, reaksiyona katılabilmeleri için yüksek sıcaklığın yanı sıra uygulama süresinin de yüksek olması gerektiği bildirilmiştir (Batu vd., 2014). Nohutta glutamik ve aspartik asitten sonra en çok bulunan aminositlerin ise arjinin, lösin ve lizin olduğu rapor edilmiştir (Daur vd., 2008). Literatür çalışmalarında gıdalarda ısıt işlem kontaminantlarından biri olan furan oluşumu için ısıt işlem uygulamasında serin ve sistein aminoasitlerinin varlığında başka herhangi bir kaynağa ihtiyaç duyulmadan furan oluşabileceği bildirilmiştir (Perez Locas ve Yaylayan, 2004). Nitekim nohutta bulunan serbest aminoasitlerin yaklaşık %13'lük kısmının serin ve sisteinden oluşmasından dolayı, leblebide furan oluşumunun beklenen bir olay olduğu rapor edilmiştir (Daur

vd., 2008; Simsek vd., 2016). Serin ve sisteinin yanı sıra çoklu doymamış yağ asitlerinden linoleik ve linolenik yağ asitlerinin ısıl işlem ile oksidasyonu sonucunda furan oluşabileceğine bildiren çalışmalar da mevcuttur. Nohutta yaklaşık 490 g/kg linoleik ve 26 g/kg linolenik yağ asidi bulunduğu, ısıl işlem ile oksidasyona uğrayıp, furan oluşturabilecekleri bildirilmiştir (Owczarek-Fendor vd., 2010; Simsek vd., 2016). Isıl işlem kontaminantlarından biri olan akrilamidin oluşumunda ise öncül serbest aminoasit asparajin olarak bildirilmiş ve asparajin varlığında akrilamid oluşumunun daha hızlı gözlenebileceği rapor edilmiştir (Zyzak vd., 2003; Ölmez vd., 2008; Arusoglu, 2015). Nohut ile yapılan çalışmalarda ise nohut içerisinde serbest formda asparajin varlığına rastlanılmamış, mevcut nohut proteinlerinin termotabil yapılarından dolayı yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu, ısıl işlemde dahi asparajine parçalanamayacakları bildirilmiştir (Vattem ve Shetty, 2003; Arcan ve Yemenicioğlu, 2007; Friedman ve Levin, 2008). Bu nedenle leblebide akrilamid oluşumunun serbest formda asparajin eksikliğinden dolayı oldukça düşük düzeylerde beklenen bir olay olduğu bildirilmiştir (Vattem ve Shetty, 2003; Friedman ve Levin, 2008; Ölmez vd., 2008).

Bu çalışmanın amacı mikrodalga, mikrodalga sıcak hava kombinasyonu ve yalnız sıcak hava kullanılan kavurma işlemlerinin leblebi örneklerinde ısıl işlem kontaminantlarının (HMF, furfural, furan, akrilamid) oluşumuna etkisini belirlemektir.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Çalışma kapsamında leblebi üretimi için yerel bir firmadan nohut temin edilmiştir. Kullanılan kimyasallar niteliğine uygun olarak analitik ve kromatografik saflıkta Merck (Darmstadt, Almanya) ve Sigma-Aldrich (St. Louis, ABD) firmalarından satın alınmıştır.

Kavurma İşlemleri ve Leblebi Üretimi

Leblebi üretimi için yabancı maddelerinden ayrılmış ve temizlenmiş nohut taneleri, su içerisinde (nohut:su, 1:2) oda sıcaklığında 45 dakika boyunca bekletilmiştir. Bekleme süresi sonunda bir elek yardımı ile süzülen nohut taneleri

oda sıcaklığında 10 dakika bekletilerek fazla yüzey suyunun uzaklaştırılması sağlanmıştır (Raza vd., 2019). Daha sonra kavurma işlemlerine başlanılmış ve her kavurma prosedürü için 200 g nohut kullanılmıştır. Mikrodalga ile kavurma işlemi için Pyrex petri kutuları içerisine yerleştirilen nohut taneleri 600 W güç seviyesinde 20 dakika boyunca kavurulmuştur. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile yapılan kavurma işleminde nohut taneleri 360 W mikrodalga gücünde 10 dakika ve 150 °C sıcak havada 5 dakika olmak üzere toplamda 15 dakika boyunca kavurulmuştur. Son olarak yalnız sıcak hava kullanılan kavurma işleminde nohut taneleri 250 °C sıcaklıkta 20 dakika boyunca kavurulmuştur. Kavurma işlemleri için kullanılan sıcaklık, güç ve süre değerleri ön denemelerle belirlenmiş olup, tüm kavurma işlemleri mikrodalga ve sıcak hava ünitesi bulunan bir fırın (Bosch, HMG656RS1, Stuttgart, Almanya) içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Nem İçeriği ve Su Aktivitesi

Farklı kavurma yöntemleri ile kavruan leblebi örneklerinin nem içerikleri gravimetrik yöntemle belirlenirken, su aktivitesi değerleri su aktivitesi ölçüm cihazı (AwTherm, Rotronic, Bassersdorf, Sweden) yardımıyla belirlenmiştir (Günel vd., 2020).

Esmerleşme İndeksi ve Ultraviyole Absorbansı

Leblebi örneklerinin esmerleşme indeksi ve ultraviyole absorbansı değerlerini belirlemek amacıyla, ilk olarak örnekler bir öğütücü (Delonghi, KG49, Treviso, İtalya) yardımıyla toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler 1:20 oranında distile su ile homojenizatör (T-25, IKA, Staufen, Almanya) yardımıyla karıştırılmıştır. Elde edilen karışımın esmerleşme indeksi için 420 nm ve ultraviyole absorbansı için ise 294 nm dalga boyunda spektrofotometre cihazında absorbansları (Rayleigh Spectrophotometer, UV-1800 V/VIS, Beijing, China) ölçülmüştür. Ölçülen absorbanslar seyreltme oranları ile çarpılarak örneklerin BI ve UV-A değerleri belirlenmiştir.

Renk Değişimi

Farklı kavurma yöntemlerinin leblebi örneklerinin renk değişimine etkisini belirleyebilmek amacıyla

renk ölçüm cihazı (ChromaMeter, CR-400, Konica-Minolta, Osaka, Japonya) kullanılmış ve örneklerin renk değerleri Hunter L [(0) koyu - (100) açık], *a* [(+) kırmızı - (-) yeşil] ve *b* [(+) sarı - (-) mavi] olarak ifade edilmiştir. Ölçümlere başlanmadan önce cihaz beyaz bir plakaya karşı kalibre edilmiş ve kalibrasyon değerleri Hunter $L=98.76$, $a=0.09$ ve $b=1.00$ olarak belirlenmiştir.

HMF, Furfural, Furan ve Akrilamid Analizleri
Örneklerin HMF ve furfural içerikleri kromatografik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla 0.5 g leblebi tozu 5 mL deiyonize su ile karıştırılmış ve 1 dakika boyunca vortekslenmiştir. Bu karışımın üzerine 0.25 mL Carrez I ve 0.25 mL Carrez II çözeltileri eklenerek karışımın berraklaşması sağlanmıştır. Elde edilen karışım santrifüjlenmiş (Allegra X-30, Beckman Coulter, California, USA) ve ayrılan berrak kısım deiyonize su ile 10 mL'ye tamamlanmıştır. Son karışım 0.45 µm filtreden geçirildikten viallere alınmıştır. Örnekler LiChro-Spher C18 kolonda (5 µm, 25 x 0.4 cm), 32 °C kolon sıcaklığında, 1 mL/dk akış hızına sahip hareketli faz (Asetonitril:Su-%5 v/v; izokratik) yardımıyla HPLC'de (HP1100, Agilent, Waldbronn, Almanya) analiz edilmiş, bireysel pikler SPD-M20A Diode Array dedektör ile tespit edilmiştir. Örneklerin HMF (0-30 mg/kg) ve furfural (0-10 mg/kg) içerikleri harici standartlar kullanılarak hesaplanmıştır (Rufián-Henares vd., 2006).

Kavrulmuş leblebi örneklerinin furan içeriklerini belirleyebilmek amaçıyla GC-MS cihazı kullanılmıştır (Zoller vd., 2007). 5 g toz haline getirilmif leblebi headspace örnek vialine alınarak, üzerine 5 mL saf su eklenmiştir. Bu karışımın üzerine internal standart olarak d_4 furan eklenerek vialin kapağı hermetik olarak kapatılmıştır. Headspace örnekleme viali 60 °C sıcaklıkta 20 dakika boyunca inkübe edildikten sonra vialin hava boşluğundan şırıngaya örnek alınmış ve GC-MS (Agilent 6890 GC ve Agilent 5973N MS, Agilent, Palo Alto, ABD) ile HP-Plot Q analitik kolonda (15 m, 0.32 mm, 20 µm, Agilent Palo Alto, ABD), 1.4 mL/dk sabit akışlı helyum ile 200 °C GC giriş sıcaklığında analiz edilmiştir. Fırın sıcaklık programı 6 dakika boyunca 40 °C'de kaldıktan sonra dakikada 20 °C'lik artışla 110

°C'ye çıkıp, 1 dakika bu sıcaklıkta beklemenin ardından, dakikada 70 °C'lik artışla 250 °C'ye çıkıp, 3.5 dakika bu sıcaklıkta kalacak şekilde ayarlanmıştır. Leblebilerin furan içerikleri harici standart (0-20 ng/g) metodu ile hesaplanmıştır.

Örneklerin akrilamid içeriklerini belirleyebilmek amaçıyla 1 g leblebi tozu üzerine 8.2 mL 60 °C sıcaklıkta saf su eklenmiştir. Bu karışımın üzerine 300 µL Carrez I ve 300 µL Carrez II çözeltileri ayrı ayrı ilave edildikten sonra 60 °C sıcaklıkta 20 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karışıma 2 mL saf su eklendikten sonra 8000 rpm hızda 30 dakika süre ile santrifüj (Allegra X-30, Beckman Coulter, California, USA) edilmiştir. Üst faz 0.45 µm naylon filtreden geçirildikten sonra ayrılan 3 mL üst fazın üzerine 300 µL bromlama çözeltileri ilave edilmiştir. (Bromlama çözeltileri 15.2 gr potasyum bromür, 0.8 ml hidrobromik asit, 5 ml %1.6 doymuş bromlu su ve 60 ml damıtılmış su ile hazırlanmıştır.) Karışım ağız kapalı tüpler içerisinde 1 saat boyunca buz banyosunda bekletilmif, oluşan sarı rengin giderilebilmesi için 1-2 damla 1 M sodyum tiyosülfat çözeltileri eklenmiştir. Ardından 3 defa her biri 1 mL olacak şekilde etil asetat çözeltileri ilave edilip, 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Her karıştırma sonrası üst faz alınıp, 5000 rpm hızda 10 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. 1 mL süpernatant üzerine 100 µL trietil amin eklenip, elde edilen karışım GC viallerine alınmış ve GC-MS'de (Agilent 6890 GC ve Agilent 5973N MS, Agilent, Palo Alto, ABD) kromatografik olarak analiz edilmiştir (Cengiz ve Boyacı-Gündüz, 2013). Akrilamid analizi TR-WAX analitik kolonda (30 m, 0.25 mm, 0.25 µm), 1mL/dk sabit akışlı helyum ile, 2 µL enjeksiyon hacminde gerekleştirilmifdir. Fırın sıcaklık programı 50°C sıcaklıkta 1 dk kaldıktan sonra dakikada 20°C'lik artışla 180°C sıcaklığa ve daha sonra dakikada 10°C'lik artışla 260°C sıcaklığa ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Akrilamid kalibrasyon kurvesini oluşturabilmek amaçıyla 0-100 µg/kg konsantrasyonlardaki standart çözeltileri kullanılmıştır.

Isıtım işlem kontaminantlarının tespit limiti (LOD), tayin limiti (LOQ) ve kalibrasyon kurvelerinden elde edilen regresyon katsayısı (R^2) değerleri izelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Isıl işlem kontaminantı standartlarının tespit limiti (LOD), tayin limiti (LOQ) ve regresyon katsayısı (R^2) değerleri

Table 1. The limit of detection (LOD), limit of quantification (LOQ) and coefficients of regression (R^2) values of heat-induced contaminant standards

Isıl işlem kontaminantı / Heat-Induced Contaminants	LOD	LOQ	R^2
Furfural / Furfural (mg/kg)	0.20	0.63	0.9852
Furan / Furan (ng/g)	5.06	14.52	0.9993
HMF / HMF (mg/kg)	0.32	0.97	0.9785
Akrilamid / Acrylamide (μ g/kg)	25.06	76.52	0.9896

İstatistiksel Analizler

Mevcut çalışmada leblebi kavurma işlemleri üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilirken, uygulanan tüm analizler üç paralel şekilde yürütülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar ve ana varyasyon kaynakları varyans analizi ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine (SAS, Windows V7, SAS Enstitüsü, Cary, NC, ABD) tabi tutulmuştur. Ayrıca ısı işlem kontaminantlarının birbirleri ile ilişkilerini belirleyebilmek amacıyla SPSS paket programı (SPSS paket programı, Versiyon 25.0, IBM, New York, ABD) kullanılarak Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Varyans analizlerinde, ham nohut örneklerine ait veriler standart sapmayı yükselteceği için istatistiksel analizlere dahil edilmemiştir. Ham nohut örneklerine ait veriler referans olması açısından tablo ve şekillerde ham veri olarak verilmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Leblebi Örneklerinin Nem İçerikleri ve Su Aktivitesi Değerleri

Farklı kavurma yöntemleri ile kavurulmuş leblebi örneklerinin nem içerikleri Şekil 1'de verilmiştir. Nohut örneklerinin kavrulmadan önceki nem içerikleri 9.58 ± 0.12 olarak belirlenirken, bu içerik kavurma işlemi ile birlikte yaklaşık %55 oranında azaltılmıştır. Ham nohut örneğinden sonra en yüksek nem içeriği (5.49 ± 0.26) mikrodalga kavurma işleminde belirlenirken, en düşük nem içeriği (3.27 ± 0.20) sıcak hava kavurma işleminde hesaplanmıştır. Farklı kavurma işlemlerinin leblebi örneklerinin nem değerleri üzerinde istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etki gösterdiği belirlenmiştir. Kavrulmamış nohut örneklerinin ve leblebi

örneklerinin nem değerleri literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalarla uyumlu bulunmuştur (Simsek vd., 2016; Özbey vd., 2017; Sağlam ve Seydim, 2017; Oğuz ve Sayaslan, 2019). Özbey (2017) yaptığı çalışmada sıcak hava kavurma yöntemi ile ürettiği leblebi örneklerinin bazı fizikokimyasal özelliklerini analiz etmiştir. Çalışma sonucunda kavurma ile leblebi örneklerinin nem içeriklerinin %69 oranında azaltılabildiğini rapor etmiştir.

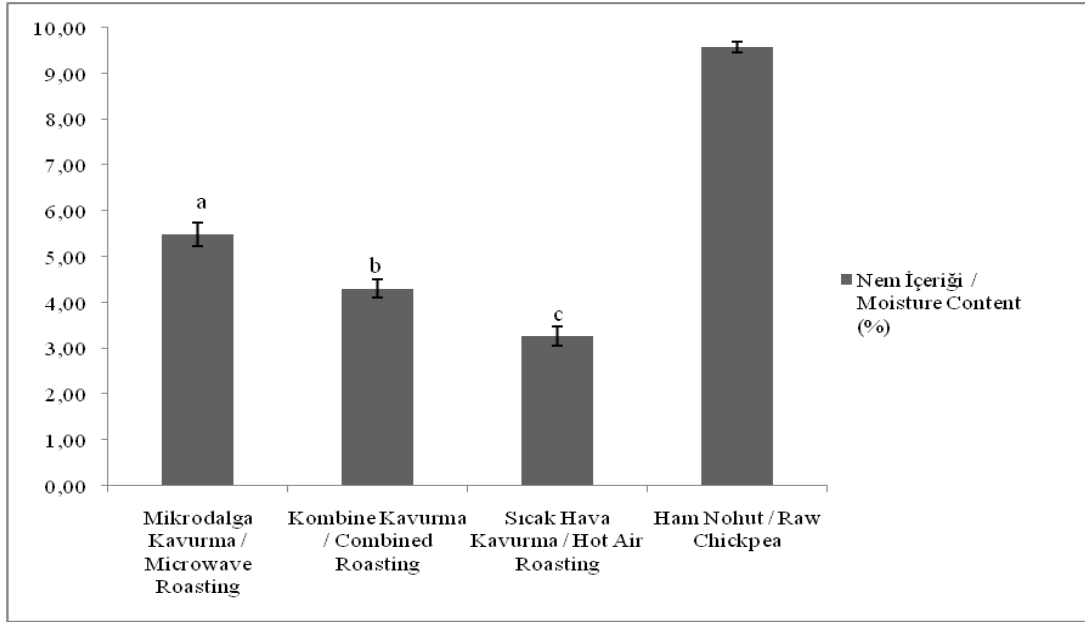
Mevcut çalışmada elde edilen leblebi örneklerinin su aktivitesi değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Nem içeriklerine benzer şekilde kavurma işlemi ile birlikte ham nohut örneğine göre leblebi örneklerinin su aktivitesi değerlerinde de düşüş gözlenmiştir. Beklenildiği üzere en yüksek su aktivitesi değeri (0.42 ± 0.02) mikrodalga kavurma işleminde hesaplanırken, en düşük su aktivitesi değeri (0.29 ± 0.00) sıcak hava kavurma işleminde hesaplanmıştır. Farklı kavurma yöntemlerinin leblebi örneklerinin su aktivitesi değerleri üzerinde istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etki gösterdiği belirlenmiştir.

Leblebi Örneklerinin Renk, Esmerleşme İndeksi ve Ultraviyole Absorbansı Değerleri

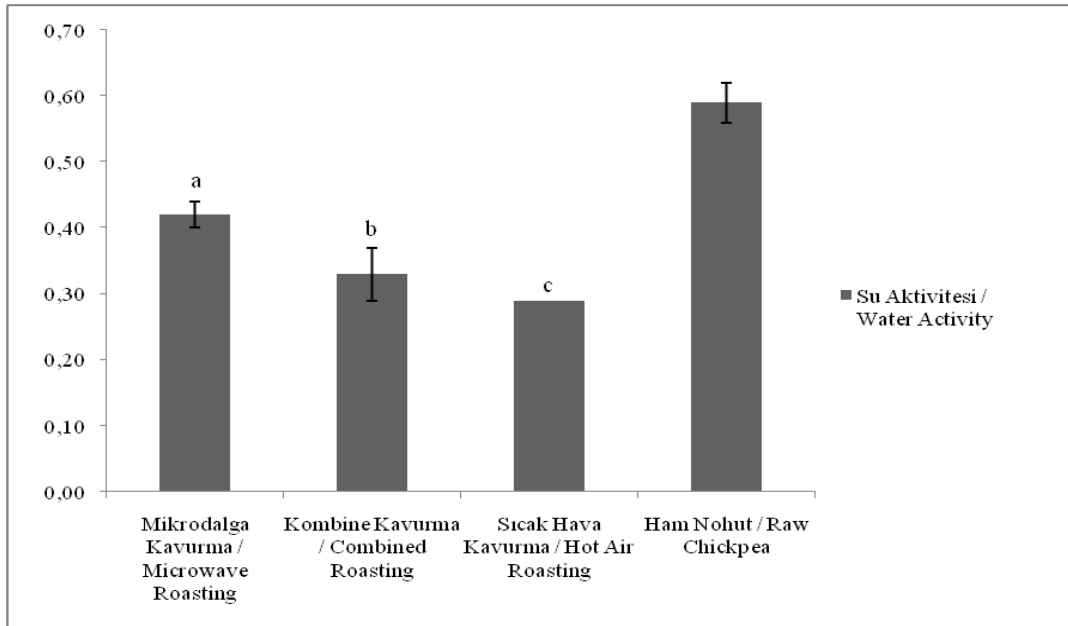
Mevcut çalışmada elde edilen leblebi örneklerine ait Hunter L , a ve b değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre ham nohut örneklerinin Hunter L , a ve b değerleri sırasıyla 87.11 ± 0.13 , -0.92 ± 0.01 ve 21.56 ± 0.06 olarak belirlenirken, kavurma işlemi ile örneklerin L ve b değerlerinde düşüş, a değerlerinde ise artış gözlenmiştir. Farklı kavurma yöntemlerinin leblebi örneklerinin Hunter renk değerleri

üzerinde istatistikî açıdan önemli ($p<0.01$) bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ham nohut örneklerinin ve farklı kavurma yöntemleri ile elde edilen leblebi örneklerinin Hunter renk değerleri için elde edilen veriler, literatürde konu ile alakalı yapılmış çalışmalarla da uyumlu bulunmuştur

(Kaur vd., 2005; Jogihalli vd., 2017). Ayrıca kavurma işlemi ile Hunter L ve b değerlerinin yükseldiği ve a değerinin düştüğü, Kahyaoglu (2008) tarafından fıstığın kavurulması için, Günel vd. (2018) tarafından ise keçiyoynuzunun kavurulması için rapor edilmiştir.



Şekil 1. Leblebi örneklerinin nem içerikleri
Figure 1. Moisture content of the roasted chickpea samples



Şekil 2. Leblebi örneklerinin su aktivitesi değerleri
Figure 2. Water activity values of the roasted chickpea samples

Çizelge 2. Leblebi örneklerinin renk, esmerleşme indeksi (BI) ve ultraviyole absorbanı (UV-A) değerleri

Table 2. Color, browning index (BI) and ultraviolet absorbance (UV-A) values of the roasted chickpea samples

Kavurma Yöntemi / Roasting Method	Hunter L	Hunter a	Hunter b	BI	UV-A
Mikrodalga Kavurma / Microwave Roasting	83.10 ^a ±0.14	-0.86 ^c ±0.00	20.02 ^a ±0.14	41.50 ^c ±1.31	504.52 ^c ±21.03
Kombine Kavurma / Combined Roasting	76.26 ^b ±0.09	-0.21 ^b ±0.04	16.04 ^b ±0.10	44.06 ^b ±2.11	516.17 ^b ±20.11
Sıcak Hava Kavurma / Hot Air Roasting	62.41 ^c ±0.14	1.14 ^a ±0.02	10.06 ^c ±0.07	50.03 ^a ±1.91	527.56 ^a ±17.02
Önem Düzeyi / Significance Level	**	**	**	**	**
Ham Nohut / Raw Chickpea	87.11±0.13	-0.92±0.01	21.56±0.06	38.10±0.98	492.50±11.16

** $p < 0.01$, Aynı sütundaki farklı harfler istatistiki açıdan önemli etki ifade eder. Ham nohut örneklerine ait veriler referans olması açısından verilmiştir / Different letters in the same column represent a statistically significant effect. The data of raw chickpea samples are given for reference.

Farklı kavurma yöntemleri ile elde edilen leblebi örneklerine ait esmerleşme indeksi (BI) ve ultraviyole absorbanı (UV-A) değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgede yer alan sonuçlara göre kontrol örneğinin BI ve UV-A değerlerinin kavurma işlemi ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Kavurma işleminin örneklerin BI ve UV-A değerleri üzerinde istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etki gösterdiği belirlenmiştir. Kavurma işlemi ile ham nohut örneğinin BI değeri yaklaşık %19 oranında artış gösterirken, UV-A değeri yaklaşık %5 oranında artış göstermiştir. Literatürde doğrudan leblebi örneklerinin BI ve UV-A değerlerinin belirlendiği bir çalışmaya rastlanılmamakla birlikte benzer atıştırma süreçlerinin üretiminde de kavurma işlemi ile BI ve UV-A değerlerinde artış gözlemlendiği bildirilmiştir. Söz konusu bu çalışmalardan birinde kavurulmuş fıstık örneklerinde BI değerleri belirlenmiş ve mevcut çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde kavurma sıcaklık ve süresindeki artış ile birlikte örneklerin BI değerlerinde artış gözlemlendiği rapor edilmiştir (Pukkasorn vd., 2018). Günel vd. (2018) yaptıkları çalışmada keçiyoynuzu örneklerinde kavurma işleminin artan sıcaklık, süre ve güç değerleri ile BI- ve UV-A değerlerinin arttığını rapor

etmişlerdir. Yine keçiyoynuzu ile yapılmış bir diğer çalışmada kavurma işleminde artan sıcaklık ve sürenin enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını tetiklediği, bu nedenle örneklerin BI ve UV-A değerlerinde artış gözlemlendiği bildirilmiştir (Şahin vd., 2009).

Literatürde Maillard reaksiyonu ürünlerinin bir diğer deyişle ısı işlem kontaminantlarının ultraviyole ışığı absorbe edebilme kapasitesinin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle kavurulmuş ürünlerde UV-A değerinin Maillard reaksiyonu ürünlerinin oluşumu ile doğru orantılı olabileceği bildirilmiştir. Kavurulmuş ürünlerde UV-A değerinin belirlenmesi ve ısı işlem ile artışının gözlenmesi, ısı işlem kontaminantlarının varlığının bir göstergesi olarak literatürde yer almıştır (Ajandouz vd., 2001; Benjakul vd., 2005; Şahin vd., 2009). Ancak nohut gibi karmaşık gıda matrislerinde fenolik bileşiklerin de 294 nm'de Maillard absorbanı yapabilecekleri belirtilmiştir. Ayrıca heterosiklik bileşiklerin de UV ışını absorbe edebileceği literatür çalışmalarınca bildirilmiştir (Eichner ve Karel, 1972; Ledl ve Schleicher, 1990; Benjakul vd., 2005; Şahin vd., 2009). Nohut uçucu bileşiklerinin de yaklaşık %

8.2'lik kısmının heterosiklik bileşiklerden oluştuğu (Lasekan vd., 2011) göz önüne alındığında, mevcut çalışmada kavurma işlemi ile BI ve UV-A değerlerindeki artış, ısıtıl işlem kontaminantlarının oluşumunun yanı sıra karmaşık nohut matrisinden kaynaklı heterosiklik bileşiklere ve fenolik bileşiklere de bağlanabilmektedir.

Leblebi Örneklerinin Furan, Furfural, HMF ve Akrilamid İçerikleri

Mevcut çalışmada elde edilen leblebi örneklerinin furan, furfural, HMF ve akrilamid içerikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Farklı kavurma yöntemleri ile örneklerin furan içerikleri 5.29 ± 0.02 ng/g ve 8.88 ± 0.00 ng/g olmak üzere değişen miktarlarda belirlenmiştir. En yüksek furan içeriği beklenildiği üzere sıcak hava ile kavurma yönteminde tespit edilirken, en düşük furan içeriği mikrodalga ile kavurma yönteminde tespit edilmiştir. Kavurma işlemi uygulanmamış ham nohutun furan içeriği 4.13 ± 0.03 ng/g olarak belirlenmiş olup, kavurma işlemi ile yaklaşık olarak %67 oranında arttığı gözlenmiştir. Kavurma işlemlerinin leblebi örneklerinin furan içerikleri üzerinde istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etki gösterdiği

belirlenmiştir. Literatürde ısıtıl işlem ile furan oluşabilmesi için indirgen şeker ve serbest aminoasit varlığının yanı sıra, serin ve sistein aminoasitlerinin başka herhangi bir kaynağa ihtiyaç duymadan tek başlarına dahi furan oluşumuna sebebiyet verebileceği rapor edilmiştir (Perez Locas ve Yaylayan, 2004). Ayrıca linoleik ve linolenik yağ asidi gibi çoklu doymamış yağ asitlerinin de ısıtıl işlem uygulaması ile okside olabileceği ve bu oksidasyon sonucunda furan oluşabileceğine bildiren çalışmalar da mevcuttur (Owczarek-Fendor vd., 2010). Nohutun serbest aminoasitlerinin yaklaşık %13'lük kısmının serin ve sisteinden oluştuğu (Daur vd., 2008) ve yüksek oranda linoleik ve linolenik yağ asitlerine sahip olduğu (Owczarek-Fendor vd., 2010) göz önüne alındığında, mevcut çalışmadaki furan oluşumu Maillard reaksiyonunun yanı sıra bahsi geçen durumlara da bağlanabilmektedir. Mevcut çalışmada kavurma güç, sıcaklık ve süresindeki artış ile örneklerin furan içeriğinde gözlenen artışa benzer sonuçlar kavrulmuş keçiyoynuzu (Günel vd., 2018), kavrulmuş kahve (Altaki vd., 2011) ve kavrulmuş badem ve fıstık (Cha ve Lee, 2020) için de rapor edilmiştir.

Çizelge 3. Leblebi örneklerinin furfural, furan, HMF ve akrilamid içerikleri
Table 3. Furfural, furan, HMF and acrylamide contents of the roasted chickpea samples

Kavurma Yöntemi <i>Roasting Method</i>	Furfural (mg/kg) <i>Furfural (mg/kg)</i>	Furan (ng/g) <i>Furan (ng/g)</i>	HMF (mg/kg) <i>HMF (mg/kg)</i>	Akrilamid (µg/kg) <i>Acrylamide (µg/kg)</i>
Mikrodalga Kavurma <i>Microwave Roasting</i>	$0.26^c \pm 0.02$	$5.29^c \pm 0.02$	$1.14^c \pm 0.06$	<LOQ
Kombine Kavurma <i>Combined Roasting</i>	$1.04^b \pm 0.01$	$6.52^b \pm 0.04$	$2.01^b \pm 0.02$	<LOQ
Sıcak Hava Kavurma <i>Hot Air Roasting</i>	$2.03^a \pm 0.13$	$8.88^a \pm 0.00$	$2.98^a \pm 0.00$	<LOQ
Önem Düzeyi <i>Significance Level</i>	**	**	**	-
Ham Nohut <i>Raw Chickpea</i>	<LOD	4.13 ± 0.03	<LOD	<LOQ

** $p < 0.01$, LOD: Tespit limiti, LOQ: Tayin limiti, Aynı sütundaki farklı harfler istatistiki açıdan önemli etki ifade eder. Ham nohut örneklerine ait veriler referans olması açısından verilmiştir / LOD: Limit of detection, LOQ: Limit of quantification, Different letters in the same column represent a statistically significant effect. The data of raw chickpea samples are given for reference.

Çizelge 3'te yer alan sonuçlara göre, kavurma işleminin leblebi örneklerinin furfural içeriklerini önemli ölçüde etkilediği söylenebilmektedir. Ham nohut örneğinde furfural içeriği tespit edilememişken sıcak hava ile kavurma sonrasında bu oran 2.03 ± 0.13 mg/kg değerine çıkmıştır. Furan içeriğine benzer şekilde örneklerin furfural içerikleri de kavurma artan işlem parametreleri ile artış göstermiştir. Kavurma işleminin örneklerde furfural oluşumu üzerine istatistik olarak önemli ($p < 0.01$) etki gösterdiği belirlenmiştir. Furfural oluşum mekanizmasında indirgen şeker ve serbest amino asit varlığının elzem olduğu bilinmekte olup (Batu vd., 2014), nohutta hem indirgen şeker hem de serbest aminoasit varlığının furfural oluşumuna sebebiyet verdiği düşünülmüştür. Nitekim yapılan çalışmalarda nohutta bulunan karbonhidratların yaklaşık %3'lük kısmının indirgen şekerlerden oluştuğu, bunun yanı sıra ortalama %15 oranında serbest durumda glutamik asit ve aspartik asit aminoasitlerini de içerdiği bildirilmiştir (Coşkun ve Karababa, 2004; Daur vd., 2008; Kaur ve Prasad, 2021). Literatürde kavurma işlemi ile atıştırmalık ürünlerin furfural içeriğinin arttığına dair çalışmalar (Nicolotti vd., 2013; Čepo vd., 2014; Günel vd., 2018) bulunmakta olup, mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlarla paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

HMF gıdalarda farklı yollar izleyerek oluşabilmektedir. Heksozların dehidrasyonu olarak da bilinen Maillard reaksiyonu veya karamelizasyon gibi farklı yollar HMF'nin oluşumuna sebebiyet verebilmektedir (Murkovic ve Bornik, 2007; Durmaz ve Gökmen, 2010). Literatür çalışmalarında HMF oluşumu için su aktivitesi değerinin oldukça kritik bir rol oynadığı, 0.4'ün altındaki su aktivitesi değerlerinde HMF oluşum eğrisinin daha da keskinleştiği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra 100 °C sıcaklık değerinin de HMF oluşumunda kritik bir eşik olduğu, bu sıcaklığın üzerinde HMF oluşumunun belirli bir noktaya kadar hızla arttığı rapor edilmiştir (Gökmen vd., 2008). Mevcut çalışmada da literatür verileri ile uyumlu şekilde en yüksek HMF içeriği (2.98 ± 0.00 mg/kg) en düşük su aktivitesine (0.29 ± 0.00) ve en yüksek kavurma sıcaklığına (250 °C sıcaklıkta 20 dk) sahip olan sıcak hava ile kavurma yönteminde tespit

edilmiştir (Çizelge 3). Ham nohut örneğinin HMF içeriği 0.19 ± 0.02 mg/kg (<LOD) olarak tespit edilirken, kavurma işlemi ile HMF içeriğinde ortalama 10 katlık bir artış tespit edilmiştir. Literatürde doğrudan leblebi örneklerinin kavurma işlemi ile değişen HMF içeriğinin belirlendiği bir çalışmaya rastlanılmamış olsa da benzer atıştırmalıkların (Fallico vd., 2003; Günel vd., 2018), kahvenin (Murkovic ve Bornik, 2007) ve kakaonun (Sacchetti vd., 2016) kavrukları çalışmalarda uyumlu sonuçlar rapor edilmiştir.

Mevcut çalışmada ham nohut örneğinin ve leblebi örneklerinin tamamında akrilamid içeriği tayin limit değerinin (LOQ) altında bulunmuştur (Çizelge 3). Ham nohut örneğinde 32.51 ± 1.14 µg/kg (<LOQ) olarak belirlenen akrilamid içeriği kavurma işlemleri sonunda ortalama 34.86 ± 0.82 µg/kg (<LOQ) olarak hesaplanmış ve neredeyse hiç artış göstermediği sonucuna varılmıştır. Nitekim literatürde akrilamid bileşiğinin stabil bir bileşik olmadığı, yüksek sıcaklıklarda, altında yatan mekanizma bilimsel açıdan tam anlamıyla aydınlatılmamış olsa da farklı ısıl işlem bileşiklerine ayrışabileceği, kavurma işleminin başlarında yüksek bulunabilirken, işlem sonlarına doğru tamamen parçalanabileceği bildirilmiştir (Farah vd., 2012). Ancak mevcut çalışmada akrilamid içeriğinde artış olmamasının sebebi tamamen kavurma işlemine değil, nohutun yüksek protein içeriğine sahip olmasına da bağlanabilmektedir. Literatürde nohut ve farklı tahıl bazlı ürünlerin kavrukları bir çalışmada, nohut örneklerinde akrilamid içeriğinin diğer tahıllara göre daha düşük seviyelerde olduğu, son örneğin akrilamid içeriğinin LOQ değerinin altında kaldığı bildirilmiştir (Oğuz ve Sayaslan, 2019). Benzer şekilde Türk marketlerinde atıştırmalık olarak satılan gıdaların akrilamid içeriklerinin belirlendiği bir çalışmada da diğer pek çok atıştırmalığa göre leblebinin akrilamid içeriğinin oldukça düşük seviyelerde kaldığı bildirilmiştir (Ölmez vd., 2008). Yapılan çalışmalar nohut proteinlerinin ısıl işlem kontaminantı oluşumuna karşı koruyucu bir etki gösterdiğini, nohutta bulunan proteinlerin termostabil yapıda olduklarını ve bu nedenle pek çok gıdada nohut unununun ısıl işlem kontaminantı oluşumuna karşı katkı maddesi olarak

kullanılabileceğini bildirmişlerdir (Vattem ve Shetty, 2003; Friedman ve Levin, 2008). Vattem ve Shetty (2003) yaptıkları çalışmada patates dilimlerini kızartıp, cips haline getirmeden önce farklı bitkisel kökenli unlarla (kızılıcak, kekik ve nohut unu) ön işleme tabi tutmuşlar ve son üründe akrilamid oluşumunu incelemişlerdir. Çalışma sonunda akrilamide karşı en yüksek koruyucu etkiyi nohut ununun gösterdiği, nohut unu ile muamele edildikten sonra kızartılan patates dilimlerinin akrilamid içeriklerinin neredeyse hiç kızartılmamış patates dilimlerine yakın olduğu rapor edilmiştir. Mevcut çalışmada da leblebi örneklerinin akrilamid içeriklerinin kavurma işlemi ile artmaması ve LOQ değerinin altında kalmasının temel nedeninin nohut proteinlerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Nohut proteinlerinin termostabil yapıda olup, ısıt işlem ile parçalanmalarının yanı sıra akrilamid oluşumu öncü aminoasidi olan asparajinin nohut bileşiminde serbest formda bulunmamasının da (Daur vd., 2008) leblebide akrilamid oluşumunun düşük düzeylerde kalmasının nedeni olabileceği değerlendirilmiştir.

Pearson Korelasyonu Analiz Sonuçları

Kavurma işlemi ile meydana gelen renk değişiklikleri temelde Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon olayı ile ilişkilendirilebilmektedir (Özdemir ve Devres, 2000). Bu nedenle kavurma ile meydana gelen renk değişiklikleri ile Maillard

reaksiyonu arasında bir korelasyon olabileceği literatür çalışmalarınca bildirilmiştir (Şenyuva ve Gökmen, 2005; Günel vd., 2018; Suri vd., 2019). Nitekim Çizelge 4'te verilen Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre de Hunter renk değerleri ile ısıt işlem kontaminantlarının oluşumu arasında yüksek oranda korelasyon olduğu belirlenmiş, bu korelasyonun Hunter *L* ve *b* değerleri ile negatif yönlü, *a* değerleri ile ise pozitif yönlü olduğu gözlenmiştir. Belirlenen tüm korelasyonlar %90'ın üzerinde bulunurken, Hunter *L* değerinin düşmesi yani kavruan ürünün renginin koyulaşması ısıt işlem kontaminantı oluşumu ile negatif korelasyon göstermiştir. Bu durum, Hunter *L* değeri düştükçe ısıt işlem kontaminantları da bununla %90 ve üzeri korele bir şekilde artmaktadır şeklinde yorumlanabilmektedir. Şenyuva ve Gökmen (2005) de mevcut çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde yaptıkları çalışmada kahvede ısıt işlem kontaminantı oluşumu ile kahvenin renk değerleri arasında yüksek korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir. Yine benzer sonuçlar, Günel vd. (2018) tarafından keçiyoynuzu için rapor edilmiş, renk değerleri ve ısıt işlem kontaminantları arasında yüksek korelasyon olduğu belirtilmiştir. Keçiyoynuzu örneklerinde de artan ısıt işlem kontaminantı ile Hunter *L* ve *b* değerlerinin negatif, Hunter *a* değerlerinin ise pozitif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir.

Çizelge 4. Isıt işlem kontaminantları ile Hunter renk değerleri arasındaki Pearson korelasyon tablosu
Table 4. Pearson's correlation table between the heat-induced contaminants and Hunter color values

	Furfural / <i>Furfural</i>	Furan / <i>Furan</i>	HMF / <i>HMF</i>	Akrilamid / <i>Acrylamide</i>
Hunter <i>L</i>	-0.9922**	-0.9999**	-0.9869**	-0.9274**
Hunter <i>a</i>	0.9570**	0.9188**	0.9671**	0,9973**
Hunter <i>b</i>	-0.9989**	-0.9979**	-0.9965**	-0.9536**

** $p < 0.01$

SONUÇ

Gerek ülkemizde gerekse dünyada en çok tüketilen atıştırılmalıkların başında gelen leblebi üretiminin ilk ve en önemli aşaması olan kavurma, leblebiye kendine has tat, koku ve aromasını veren bir işlemdir. Ancak kavurma prosesi leblebiye kendine has bazı özelliklerini kazandırmanın yanı sıra insan sağlığına zararlı bazı ısıt işlem kontaminantlarının oluşumuna da sebebiyet

verebilmektedir. Mevcut çalışmada da hemen hemen her hanede atıştırılmalık olarak tüketilen leblebinin farklı kavurma yöntemleri ile kavrulup, ısıt işlem kontaminantı oluşumunun ne düzeyde olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sadece sıcak hava kullanılarak kavruan leblebi örneklerinde fizikokimyasal analizlerin yanı sıra furan, furfural, HMF ve

akrilamid oluşumu takip edilmiştir. En düşük ısı işlem kontaminantı oluşumu beklenildiği üzere mikrodalga ile kavurma işleminde gözlenirken, en yüksek ısı işlem kontaminantı oluşumu sıcak hava kavurma prosesinde gözlenmiştir. Örneklerin Hunter renk değerleri ile ısı işlem kontaminantlarının oluşumu arasında oldukça yüksek korelasyon belirlenmiş olup, en koyu renkli (Hunter L değeri en düşük) örnekte en yüksek ısı işlem kontaminantı oluşumu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, farklı kavurma yöntemlerinin örneklerin akrilamid içerikleri üzerinde istatistiki açıdan önemli etki ($p>0.01$) göstermediği kaydedilmiştir. Literatür verileri ışığında leblebide kavurma ile akrilamid içeriğinin artmaması, nohutta akrilamid öncüsü asparajin aminoasidinin serbest formda bulunmamasına bağlanabilmektedir. Ayrıca nohut proteinlerinin yüksek termostabilite göstermesinin leblebi örneklerinde akrilamid oluşumunu sınırladığı düşünülmüştür.

Gelecek çalışmalarda farklı kavurma yöntemleri ile elde edilen leblebi örneklerine duyu analizler uygulanarak, en düşük ısı işlem kontaminantı sonuçlarını verse de mikrodalga kavurma işleminde yeterli aroma, tat ve koku oluşup, oluşmadığı belirlenebilir. Ayrıca elde edilen örneklere depolama stabilitesi analizleri uygulanarak farklı kavurma yöntemlerinin depolama stabilitesi üzerindeki etkileri gözlenebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bu çalışmada başka kişi veya kurum ve kuruluşlar ile herhangi bir çıkar çatışması olmadığı beyan etmektedir.

KAYNAKLAR

Ajandouz, E. H., Tchiakpe, L. S., Ore, F. D., Benajiba, A., Puigserver, A. (2001). Effects of pH on caramelization and Maillard reaction kinetics in fructose-lysine model systems. *J Food Sci*, 66(7), 926-931, doi: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb08213.x

Altaki, M. S., Santos, F. J., Galceran, M. T. (2011). Occurrence of furan in coffee from Spanish market: contribution of brewing and roasting. *Food Chem*, 126(4): 1527-1532, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.134

Anese, M., Suman, M. (2013). Mitigation strategies of furan and 5-hydroxymethylfurfural in food. *Food Res Int*, 51(1): 257-264, doi: 10.1016/j.foodres.2012.12.024

Anonim (1995). [IARC] International Agency for Research on Cancer. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 63.393-407. France: IARC.

Arusoğlu, G. (2015). Akrilamid oluşumu ve insan sağlığına etkileri. *Akademik Gıda*, 13(1), 61-71.

Benjakul, S., Lertittikul, W., Bauer, F. (2005). Antioxidant activity of Maillard reaction products from a porcine plasma protein-sugar model system. *Food Chem*, 93(2): 189-196, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.10.019

Cengiz, M. F., Boyacı-Gündüz, C. P. (2013). Acrylamide exposure among Turkish toddlers from selected cereal-based baby food samples. *Food Chem Toxicol*, 60: 514-519, doi: 10.1016/j.fct.2013.08.018

Čepo, D. V., Mornar, A., Nigović, B., Kremer, D., Radanović, D., Dragojević, I. V. (2014). Optimization of roasting conditions as a useful approach for increasing antioxidant activity of carob powder. *LWT-J Food Sci Technol*, 58(2): 578-586, doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.004

Cha, C. Y., Lee, K. G. (2020). Effect of roasting conditions on the formation and kinetics of furan in various nuts. *Food Chem*, 331: 127338, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127338

Coşkuner, Y., Karababa, E. (2004). Leblebi: a roasted chickpea product as a traditional Turkish snack food. *Food Rev Int*, 20(3): 257-274, doi: 10.1081/FRI-200029424

Daur, I., Khan, I. A., Jahangir, M. (2008). Nutritional quality of roasted and pressure-cooked chickpea compared to raw (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Sarhad J Agric*, 24(1), 117.

Durmaz, G., Gökmen, V. (2010). Determination of 5-hydroxymethyl-2-furfural and 2-furfural in oils as indicators of heat pre-treatment. *Food Chem*, 123(3): 912-916, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.05.001

- Eichner, K., Karel, M. (1972). Influence of water content and water activity on the sugar-amino browning reaction in model systems under various conditions. *J Agric Food Chem*, 20(2): 218-223, doi: 10.1021/jf60180a025
- Fallico, B., Arena, E., Zappala, M. (2003). Roasting of hazelnuts. Role of oil in colour development and hydroxymethylfurfural formation. *Food Chem*, 81(4): 569-573, doi: 10.1016/S0308-8146(02)00497-1
- Farah, D. M. H., Zaibunnisa, A. H., Misnawi, J., Zainal, S. (2012). Effect of roasting process on the concentration of acrylamide and pyridines in roasted cocoa beans from different origins. *APCBEE Proc*, 4: 204-208, doi: 10.1016/j.apcbee.2012.11.034
- Friedman, M., Levin, C. E. (2008). Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. *J Agric Food Chem*, 56(15), 6113-6140, doi: 10.1021/jf0730486
- Gökmen, V., Açar, Ö. Ç., Serpen, A., Morales, F. J. (2008). Effect of leavening agents and sugars on the formation of hydroxymethylfurfural in cookies during baking. *Eur Food Res Technol*, 226(5): 1031-1037, doi: 10.1007/s00217-007-0628-6
- Gunel, Z., Tontul, İ., Dincer, C., Topuz, A., Sahin-Nadeem, H. (2018). Influence of microwave, the combined microwave/hot air and only hot air roasting on the formation of heat-induced contaminants of carob powders. *Food Addit Contam Part A*, 35(12): 2332-2339, doi: 10.1080/19440049.2018.1544720
- Gunel, Z., Torun, M., Sahin-Nadeem, H. (2020). Sugar, d-pinitol, volatile composition, and antioxidant activity of carob powder roasted by microwave, hot air, and combined microwave/hot air. *J Food Process Preserv*, 44(4): e14371, doi: 10.1111/jfpp.14371
- Joghalli, P., Singh, L., Kumar, K., Sharanagat, V. S. (2017). Novel continuous roasting of chickpea (*Cicer arietinum*): Study on physico-functional, antioxidant and roasting characteristics. *LWT*, 86: 456-464, doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.029
- Kahyaoglu, T. (2008). Optimization of the pistachio nut roasting process using response surface methodology and gene expression programming. *LWT-J Food Sci Technol*, 41(1), 26-33, doi: 10.1016/j.lwt.2007.03.026
- Kaur, M., Singh, N., Sodhi, N. S. (2005). Physicochemical, cooking, textural and roasting characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *J Food Eng*, 69(4): 511-517, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.002
- Kaur, R., Prasad, K. (2021). Nutritional characteristics and value-added products of Chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. *J Postharvest Technol*, 9(2), 1-13, doi: 10.1017/S0007114512000797
- Ledl, F., Schleicher, E. (1990). New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body. *Angew Chem Int Ed Eng*, 29(6): 565-594, doi: 10.1002/anie.199005653
- Malgorzata, W., Konrad, P. M., Zieliński, H. (2016). Effect of roasting time of buckwheat groats on the formation of Maillard reaction products and antioxidant capacity. *Food Chem*, 196: 355-358, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.064
- Mogol, B. A., Gökmen, V. (2016). Thermal process contaminants: acrylamide, chloropropanols and furan. *Curr Opin Food Sci*, 7: 86-92, doi: 10.1016/j.cofs.2016.01.005
- Murkovic, M., Bornik, M. A. (2007). Formation of 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) and 5-hydroxymethyl-2-furoic acid during roasting of coffee. *Mol Nutr Food Res*, 51(4): 390-394, doi: 10.1002/mnfr.200600251
- Nicolotti, L., Cordero, C., Bicchi, C., Rubiolo, P., Sgorbini, B., Liberto, E. (2013). Volatile profiling of high quality hazelnuts (*Corylus avellana* L.): Chemical indices of roasting. *Food Chem*, 138(2-3): 1723-1733, doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.086
- Oğuz, A., Sayaslan, A. (2019). Antioxidant properties of roasted whole-grain, oilseed and nut snacks and effect of roasting process on these properties. *Akademik Gıda*, 17(2): 149-156, doi: 10.24323/akademik-gida.612869

- Owczarek-Fendor, A., De Meulenaer, B., Scholl, G., Adams, A., Van Lancker, F., Yogendrarajah, P., De Kimpe, N. (2010). Importance of fat oxidation in starch-based emulsions in the generation of the process contaminant furan. *J Agric Food Chem*, 58(17), 9579-9586, doi: 10.1021/jf101671u
- Ölmez, H., Tuncay, F., Özcan, N., Demirel, S. (2008). A survey of acrylamide levels in foods from the Turkish market. *J Food Compost Anal*, 21(7): 564-568, doi: 10.1016/j.jfca.2008.04.011
- Özbey, F. (2017). Effect of traditional processing steps on chemical and nutritional composition of leblebi. *Acta Aliment*, 46(3): 290-296, doi: 10.1556/066.2015.7777
- Özdemir, M., Devres, O. (2000). Kinetics of color changes of hazelnuts during roasting. *J Food Eng*, 44(1): 31-38, doi: 10.1016/S0260-8774(99)00162-4
- Park, H. S., Um, Y., Sim, S. J., Lee, S. Y., Woo, H. M. (2015). Transcriptomic analysis of *Corynebacterium glutamicum* in the response to the toxicity of furfural present in lignocellulosic hydrolysates. *Process Biochem*, 50(3): 347-356, doi: 10.1016/j.procbio.2014.11.014
- Perez Locas, C., Yaylayan, V. A. (2004). Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan A food toxicant. *J Agric Food Chem*, 52(22), 6830-6836, doi: 10.1021/jf0490403
- Pukkasorn, P., Ratphitagsanti, W., Haruthaitanasan, V. (2018). Effect of ultra-superheated steam on aflatoxin reduction and roasted peanut properties. *J Sci Food Agric*, 98(8): 2935-2941, doi: 10.1002/jsfa.8788
- Rannou, C., Laroque, D., Renault, E., Prost, C., Sérot, T. (2016). Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods. *Food Res Int*, 90: 154-176, doi: 10.1016/j.foodres.2016.10.037
- Raza, H., Zaaboul, F., Shoaib, M., Ashraf, W., Hussain, A., Zhang, L. (2019). Physicochemical and structural characterization of microwave-roasted chickpea. *J Glob Innov Agric Soc Sci*, 7: 23-28, doi: 10.22194/JGIASS/7.805
- Rufián-Henares, J. A., Delgado-Andrade, C., Morales, F. J. (2006). Application of a fast HPLC method for simultaneously determination of furanic compounds and glucosylisomaltol in breakfast cereals. *J AOAC Int*, 89(1): 161-165, doi: 10.1093/jaoac/89.1.161
- Sacchetti, G., Ioannone, F., De Gregorio, M., Di Mattia, C., Serafini, M., Mastrocola, D. (2016). Non enzymatic browning during cocoa roasting as affected by processing time and temperature. *J Food Eng*, 169: 44-52, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.08.018
- Sağlam, H., Seydim, A. C. (2017). Leblebi Üretiminde İkinci Kavurma Koşullarının Leblebi'nin Fizikokimyasal Özellikleri ve Duyusal Kalitesi Üzerine Etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(3): 279-292, doi: 10.29050/harranziraat.339334
- Simsek, S., Herken, E. N., Ovando-Martinez, M. (2016). Chemical composition, nutritional value and in vitro starch digestibility of roasted chickpeas. *J Sci Food Agric*, 96(8): 2896-2905, doi: 10.1002/jsfa.7461
- Suri, K., Singh, B., Kaur, A., Yadav, M. P., Singh, N. (2019). Impact of infrared and dry air roasting on the oxidative stability, fatty acid composition, Maillard reaction products and other chemical properties of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed oil. *Food Chem*, 295, 537-547, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.140
- Şahin, H., Topuz, A., Pischetsrieder, M., Özdemir, F. (2009). Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *Eur Food Res Technol*, 230(1): 155-161, doi: 10.1007/s00217-009-1152-7
- Şenyuva, H. Z., Gökmen, V. (2005). Study of acrylamide in coffee using an improved liquid chromatography mass spectrometry method: Investigation of colour changes and acrylamide formation in coffee during roasting. *Food Addit Contam*, 22(3): 214-220, doi: 10.1080/02652030500109834
- Vattem, D. A., Shetty, K. (2003). Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 4(3), 331-338, doi: 10.1016/S1466-8564(03)00033-X

Zoller, O., Sager, F., Reinhard, H. (2007). Furan in food: headspace method and product survey. *Food Addit Contam*, 24(sup1): 91-107, doi: 10.1080/02652030701447389

Zyzak, D. V., Sanders, R. A., Stojanovic, M., Tallmadge, D. H., Eberhart, B. L., Ewald, D. K.,

Villagran, M. D. (2003). Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J Agric Food Chem*, 51(16), 4782-4787, doi: 10.1021/jf034180i