



Araştırma Makalesi (Research Article)

Alüminyum tepsilerden gıdalara alüminyum geçişinin belirlenmesi

Determining the migration of aluminum from aluminum trays to foods**

Naile DOĞAN ^{1*} (orcid.org/0000-0001-6964-5729)

İlkay YILMAZ ² (orcid.org/0000-0001-5938-3112)

¹Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Ankara, Türkiye

²Başkent Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Ankara, Türkiye

Özet

Amaç: Alüminyum; hafifliği, yüksek ısı iletkenliği, esnekliği ve korozyon direnci nedeniyle endüstriyel ve ev tipi mutfaklarda yaygın olarak kullanılan bir pişirme kabı materyalidir. Ancak alüminyum ekipmanların gıdayla teması sonucunda gıdalara alüminyum geçişi gerçekleşmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel ve ev tipi mutfaklarda kullanılan alüminyum pişirme kaplarından farklı gıdalara alüminyum geçişinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışmada, üretiminde alüminyum ekipman kullanımının yaygın olduğu patlıcan musakka, tepsi kebabı, kazandibi, su böreği ve baklava örnekleri incelenmiştir. Patlıcan musakka asidik, tepsi kebabı ise alkali özellik göstermesi nedeniyle tercih edilmiştir. Kazandibi ve su böreğinde ekipmanla temas yüzeyi ve süresinin fazla olması, baklavada ise yalnızca alüminyum tepsi kullanılması ve uzun temas süresi seçim kriteri olmuştur. Ürünler yeni alüminyum tepsi, deformasyonlu alüminyum tepsi ve çelik tepsilerde hazırlanmıştır. Patlıcan musakka ve tepsi kebabı için 2 saat; kazandibi ve su böreği için 24 ve 48 saat; baklava için ise 24, 48 ve 72 saat muhafaza süreleri uygulanmıştır. Pişirme ve muhafaza işlemleri sonunda örneklerdeki alüminyum miktarları ICP-MS yöntemiyle belirlenmiştir.

Bulgular: Patlıcan musakkada en yüksek alüminyum miktarı deformasyonlu alüminyum tepside $3,68 \pm 0,03$ mg/kg olarak belirlenmiştir. Tepsi kebabında en yüksek değer yeni alüminyum tepside $3,54 \pm 0,03$ mg/kg olarak tespit edilmiştir. Kazandibi örneklerinde, yeni alüminyum tepside 48 saat muhafaza edilen numune dışında alüminyum tespit edilmemiştir. Su böreğinde en yüksek alüminyum miktarı, 48 saat muhafaza edilen ve yeni alüminyum tepside hazırlanan örnekte $1,67 \pm 0,03$ mg/kg olarak belirlenmiştir. Baklavada ise en yüksek alüminyum geçişi, 72 saat muhafaza edilen deformasyonlu alüminyum tepsideki örnekte $6,26 \pm 0,03$ mg/kg olarak saptanmıştır.

Tartışma: Elde edilen sonuçlar, alüminyum pişirme kaplarından gıdalara alüminyum geçişinin ürünün kimyasal özellikleri, kullanılan ekipmanın durumu ve muhafaza süresinden etkilendiğini göstermiştir. Özellikle asidik ve alkali ortamların alüminyum geçişini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca muhafaza süresinin uzamasıyla birlikte gıda-ekipman temas süresinin artması, alüminyum migrasyonunu önemli ölçüde etkilemiştir. Bu bulgular, gıda üretiminde kullanılan alüminyum ekipmanların seçimi ve kullanım koşullarının tüketici maruziyeti açısından dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Pişirme Kapları, Alüminyum Geçişi, Depolama Süresi

Abstract

Objective: Aluminum is one of the most abundant elements in nature and is widely used as cookware in both industrial and domestic kitchens due to its lightweight structure, high thermal conductivity, flexibility, and corrosion resistance. However, contact between aluminum cookware and food may result in the migration of aluminum into food products. This study aimed to determine the migration of aluminum from aluminum cookware into various foods commonly prepared in industrial and household kitchens.

Methods: Food products in which aluminum equipment is frequently used during production were selected, including eggplant moussaka, tray kebab, kazandibi, su böreği, and baklava. Eggplant moussaka was chosen due to its acidic

** Bu makale 2024 yılı Ocak ayında Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümünde yüksek lisans çalışması olarak gerçekleştirilmiştir.

* Sorumlu yazar: nyurduseven@baskent.edu.tr

characteristics, whereas tray kebab was selected because of its alkaline properties. Kazandibi and su böreği were preferred because of their extensive surface contact and prolonged contact time with aluminum equipment. Baklava was selected because it is baked exclusively in aluminum trays and remains in contact with the tray for extended periods. Based on typical serving and storage conditions, storage durations were established as follows: 2 h for eggplant moussaka and tray kebab; 24 and 48 h for kazandibi and su böreği; and 24, 48, and 72 h for baklava. The products were prepared in new aluminum trays, deformed aluminum trays, and stainless-steel trays. Aluminum concentrations were determined after cooking and storage using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Results: The highest aluminum concentration in eggplant moussaka was detected in samples cooked in deformed aluminum trays (3.68 ± 0.03 mg/kg). For tray kebab, the highest value was observed in samples prepared in new aluminum trays (3.54 ± 0.03 mg/kg). In kazandibi samples, aluminum was not detected except in the sample stored for 48 h in a new aluminum tray. In su böreği, the highest aluminum concentration was found in samples stored for 48 h in new aluminum trays (1.67 ± 0.03 mg/kg). The highest aluminum concentration in baklava was detected in samples stored for 72 h in deformed aluminum trays (6.26 ± 0.03 mg/kg).

Discussion: The findings demonstrated that aluminum migration from cookware to food is influenced by several factors, including the acidic or alkaline nature of the food, storage duration, and the condition of the cookware. Both acidic and alkaline environments increased aluminum migration. Furthermore, prolonged storage periods increased the contact time between food and cookware, thereby enhancing aluminum transfer. These results indicate that food composition, storage conditions, and the physical condition of aluminum cookware should be considered important factors affecting consumer exposure to aluminum.

Keywords: Aluminum, Cooking Utensil, Aluminum Migration, Storage Duration

Giriş

Son zamanlarda dünyada insan sağlığına verilen önemin artmasıyla ve sağlıklı bireylerden oluşan toplumlar için gıda güvenliği konusu önem kazanmıştır (Teyin, 2018). Gelişmiş ülkelerde gıda maddelerinin içeriklerinde ağır metal varlığının tespiti için araştırmalar yapılmaktadır. Ağır metal bulaşan gıdaların, insanlar tarafından tüketilmesi gıda güvenliği hususunda önemli çalışmaların yapılmasında etkili olmuştur (Radwan ve Salama, 2006: 1273). Gıda kökenli toksik zehirlenmelerin ve ağır metaller gibi kimyasallarla bulaşmış gıdaların tüketiminin artması gıda güvenliğinin önemini ortaya koymaktadır (Teyin ve Nizamlioğlu, 2020). Ağır metaller, bozulmayan biyolojik yapılarıyla vücuda alındığında vücudun çeşitli yerlerde birikimi ile insan sağlığını tehdit etmektedir (Teyin, 2018). Ağır metaller vücuda ağız, deri ve solunum yolları gibi çeşitli yollarla alınır. Bu ağır metaller çoğu müdahale olmadan vücuttan atılamamaktadır. Vücuttan atılamayan ağır metaller biyolojik organizmalarda birikerek nörolojik, otizm, tiroit vb hastalıklara neden olmaktadır. Ağır metallerin vücutta; DNA hasarı, otoimmün hastalıklar, nörolojik bozukluklar gibi hücre içi metabolik düzene toksik etkisi vardır (Özbolet ve Tuli, 2016). Ağır metallerin gıdaya bulaşmasını engellemek için ulusal ve uluslararası alanda yasal düzenlemeler mevcuttur (Türközü ve Şanlıer, 2012).

Pişirme ekipmanlarının ana malzemeleri olarak kullanılan alüminyum, bakır, çelik, teflon kaplama gibi malzemelerden pişirme esnasında gıdalara ağır metal geçişinin olduğunu ortaya çıkaran birçok bilimsel çalışma mevcuttur (Baş, 2004). Gıda ile temas olduğunda meydana gelen madde geçişi migrasyon olarak ifade edilmektedir. Günümüzde gıda ile temas eden ekipmanlardan ağır metal migrasyonu üzerinde durulan bir konu haline gelmiştir (Biricik, Çöplü ve Dağdelen, 2015: 2).

Ağır metallerden alüminyum; hafif, ısı geçirgenliği yüksek, korozyona dayanıklı olması gibi özellikleriyle mutfaklarda çok kullanılan malzemedir (Tayfur, Ünlüoğlu ve Bener, 2002). Endüstriyel ve ev tipi mutfaklarda kullanılan tencere, tava, tepsi vb. ekipmanların gıdanın lezzetini ve yapısal özelliklerini etkilememelidir (Teyin, 2018). İnsanlar tarafından gıda tüketildikçe mutfak pişirme ekipmanlarından gıdaya geçen ağır metaller insan sağlığına zarar vermektedir. Risk oluşturabilecek ağır metallerin insan vücudunda tolere edilebilecek limitleri yasal olarak belirlenmiştir. Ancak gıda ile temas halinde olan maddelerden migrasyon miktarları ile ilgili herhangi bir mevzuat yoktur (Biricik vd., 2015: 2).

Bu çalışma; endüstriyel ve evsel mutfaklarda sıklıkla kullanılan alüminyum tepsilerde farklı sıcaklıkta pişirilen ve farklı sürelerde muhafaza edilen tatlılara, böreklerle, yemeklere alüminyum geçişinin olup olmadığı, geçiş varsa geçen alüminyum miktarının belirlenmesi için yapılmıştır.

Kavramsal Çerçeve

Dünyada en çok bulunan üçüncü element alüminyum; ağırlığının hafif olması, esnekliği, iyi ısı iletkenliği, korozyona dayanıklılığı gibi fiziksel özellikleri ile mutfaklarda, ev eşyalarında, paketleme malzemesi başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (İnan Eroğlu, 2017). Son zamanlarda gelişen sanayi sektörü ile alüminyumun önemi artmıştır. Alüminyum sürdürülebilir malzeme olması ve çok tercih edilmesini sağlayan fiziksel özelliklerinden ötürü endüstri sektöründe çok talep edilen malzeme haline gelmiştir (Ranau vd., 2001). Periyodik cetvelin 3A grubunda yer alan alüminyum elementi 13 atom numarasına sahiptir. Doğada serbest

halde bulunmayan alüminyum, su (H₂O) ve nitrik asitte (HNO₃) çözünmez (İnan Eroğlu, 2017).

Alüminyum elementi, insan vücuduna gıda, gıda katkı maddeleri, içecek, ilaç gibi farklı yollarla alınmaktadır. Alüminyumun vücuda alımı durumunda birikerek sinir sistemi, iskelet sistemi vb. önemli sistemlere zararlıdır (Wang vd., 2016).

İnsanlar alüminyuma çevre, gıda, hava yoluyla maruz kalmaktadır. Çevresel alüminyum maruziyeti toksik etkisi göstermediği değerlendirildiği için son zamanlarda sağlıklı insanlar için zararsız olduğu düşünülmektedir. Ancak gıda ile alınan alüminyumun Alzheimer, amiotrofik lateral skleroz gibi nörodejeneratif hastalıklarda rol oynayan, gıda zincirindeki zararı zamanla kabul görmektedir (Müller, vd., 1998). Fakat diğer bir araştırmaya göre alüminyumun gıda ile alınımının Alzheimer gibi nörolojik bozukluklara neden olması hususunda kesin kaniya varılamamıştır. Buna rağmen toplum sağlığı ve gıda güvenliğine etkileri konusunda insanların ilgileri artmaktadır. Bunların yanı sıra farklı yollarla vücuda alınan alüminyum nörolojik bozukluklara neden olduğu bazı çalışmalarla belirlenmiştir (Ranau vd., 2001). Alüminyum toksik etkisi ile hastalığın neden olduğu hedef bölgelerde birikerek Alzheimer hastalığından sorumlu birincil etkendir (McLachlan, 1986).

Ağır metal olan alüminyumun gıdaya migrasyonunun önemi 1980 yılların başında fark edilmiştir. İlk zamanlarda maruz kalmanın potansiyel kaynağı ihmal edilebilir düzeydedir. Sadece domates püresi, turşu gibi asitli gıdaların kaplanmamış tencerelerde pişirilmesi esnasında alüminyum migrasyonu meydana gelmiştir (Müller vd., 1998). Birleşmiş Milletler Dünya Sağlık Örgütü -World Health Organization (WHO) tarafından tüm gıdadaki alüminyum bileşenleri için geçerli olan güncel geçici tolere edilebilen haftalık alım miktarı 1 mg/ vücut ağırlığı olarak belirlenmiştir. Bu miktar Gıda ve Tarım Örgütü ve Dünya Sağlık Örgütü' nün Birleşik Gıda Katkıları Uzmanlar Komitesi (JECFA) tarafından 2012 yılında güncellendiğinde tolere edilebilen haftalık alım miktarı 2 mg/kg vücut ağırlığı olarak belirlenmiştir. Anne sütünde alüminyum miktarı 23,4 ± 9,6 mg/L düşük seviyede bir değer belirlenmiştir (Fernandez- Lorenzo vd., 1999). Emzirme ile bu miktarın bir kısmı bebeğe geçmektedir (Flarend vd., 2001). Anne sütünün dışında bebekler soya içeren bebek mamaları ve süt içerikli bebek mamaları ile alüminyuma maruz kalabilmektedir (İnan Eroğlu, 2017).

Suların arıtılmasında alüminyumun kullanımı kolay emilen, çözülebilen, düşük molekül ağırlıklı alüminyum çeşitlerini arttırmaktadır (Bondy, 2009). İçme suyundan günlük alüminyum alım miktarı 100 mg/L' dir (Yokel vd., 2001). Bu miktarda günlük alüminyum alınımının yaklaşık %3' üdür (Soni vd., 2001).

Ülkemizde de Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Yönetmeliğinde yapılan güncellemelerle alüminyum ile ilgili kısıtlamalar mevcuttur. Yönetmeliğe göre alüminyum ve alüminyum alaşımı malzemelerden gıdaya geçen alüminyum miktarı en fazla 5 mg/kg gıda olarak bildirilmiştir (İnan Eroğlu, 2017). Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler yönetmeliğine göre gıda ile temas halinde olan alüminyum madde ve malzemelerin kullanım alanları kısıtlanmıştır. Gıdalarla günlük alüminyum alımı miktarı gıdaların hazırlanması için kullanılan alüminyum içerikli tencere, tava, folyo gibi mutfak malzemelerinden alüminyum geçişi ile artmaktadır (Bassioni vd., 2012). Alüminyum içerikli malzemelerden gıdalara alüminyum geçişi asidik, tuzlu, sıcaklık, pişme süresi gibi etkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Ve ek olarak alüminyum malzemelerin kullanım etiketlerinde asidik, tuzlu gıdaların pişirilmesi, işlenmesi ve muhafazası için kullanılmaması hususlarında uyarıların olması zorunlu kılınmıştır (İnan Eroğlu, 2017).

Alüminyumun gıdalarla, gıda katkı maddeleri ile insan vücuduna alınımının dışında alüminyum malzemelerde depolama, hazırlama ve pişirme ekipmanlar ve alüminyum içerikli malzemelerle direkt temas sonucu insanlar alüminyuma daha fazla maruz kalabilmektedir. Pişirme süresi, sıcaklığı, pH değeri ve gıdanın içerikleri vs. gıdalara alüminyum geçişlerini etkileyen faktörler arasındadır. Normal şartlarda gıda ile temas eden malzemelerden alüminyum geçişi diğer kaynaklara göre geçişin az bir kısmını oluştursa da alüminyum ve alüminyum içerikli malzemelerin asidik (domates, elma, sirke, tuzlanmış balık vs.) gıdaların işlenmesinde ve depolanmasında kullanıldığında alüminyum geçişi artmaktadır (Domingo, 2003; Aguilar vd., 2008). Gıdaya alüminyum geçişinde diğer bir faktörde süre ve sıcaklıktır (Turhan, 2006). İnsan vücuduna alüminyum geçişi olduğu varsayılan diğer yol ise alüminyum kutulardır. Bira, meyve suları, soda ve gazlı içeceklerin muhafazasında alüminyum kutular kullanılmaktadır (Domingo, 2003). Alüminyum kutulardaki içecekler cam şişelerdekine göre daha çok alüminyum içermektedir (Duggan, vd., 1992).

Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyum tek veya alaşım şeklinde birçok alanda kullanılmaktadır. Yumuşak metal olması sebebiyle daha çok diğer metallerle güçlendirilerek alaşım hali kullanılmaktadır. Alüminyumun bu farklı halleri tıp alanında,

aşı adjuvanları (tetanoz,kuduz,difteri gibi) hazırlamada, kozmetikte, gıda katkı maddelerinde ve mutfak ekipmanlarında sıkça kullanılmaktadır (Aranson, 2006). Alüminyumun tek ve bileşik halleri ulaşımında, inşaat malzemesi olarak, paketlemede, tekstil sanayinde ve alev geciktirici olarak da kullanılmaktadır (Yokel, 2001). Genny, vd., (1926) ilk olarak 1926 yılında alüminyumun aşısı adjuvan özelliğini keşfetmişlerdir. En sık kullanılan adjuvanları alüminyum hidroksit [Al (OH)₃] ve alüminyum fostat (AlPO₄)' dir (Lindblad, 2004). Alüminyumun bu bileşik hallerini içeren ilaçlar reflü, ülser gibi hastalıkların tedavisinde antiasit olarak kullanılmaktadır (Krewski vd., 2007). Alüminyumun farklı bileşik halleri antiseptik su ve hemoroidal ilaç olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Domingo, 2003). Kozmetikte alüminyum silikat ve magnezyum alüminyum silikat topaklanma engelleyici, hacim artırıcı, opaklaştırıcı ve vizkozite ayarlayıcı olarak kullanılmaktadır (İnan Eroğlu, 2017).

Türk Gıda Kodeksi (TGK) Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'ne göre nemlendirici, sertleştirici ve beyazlatıcı olarak gıda katkı maddeleri alüminyum (E 173), alüminyum sülfat (E 520), alüminyum sodyum sülfat (E 521), alüminyum potasyum sülfat (E 522), alüminyum amonyum sülfat (E 523) vb. olarak gıdalarda kullanılması uygun bulunmuştur.

Gıda Güvenliği Açısından Alüminyum

Gıdaların tarladan tabağa kadar üretim, işleme, depolama ve sevkiyat aşamalarını kurallara uyararak ve gerekli önlemleri alarak sağlıklı gıda üretiminin yapılması gıda güvenliği olarak adlandırılır (Uzunöz vd., 2008). Gıda üretim zincirindeki son aşama olan gıda ile temas eden malzemelerin güvenilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu malzemelerin gıda güvenliğinin üzerine etkileri, neden olduğu riskleri tüketicilere bildirilmesi ve toplum sağlığının korunması mecburidir (Biricik vd, 2015).

Gıda güvenliği zincirinde gıdaların geçirmiş olduğu aşamalarda taş, toprak, cam kırıkları gibi fiziksel riskler, mikotoksinler, ağır metal bulaşları, tarım ilaçları gibi kimyasal riskler ve bakteri, virüs bulaşları gibi biyolojik riskler için önlemler alınmalıdır (Onurlubaş, 2015).

Gıda ambalajlamanın temel amacı gıda güvenliğinin sağlanması, gıdanın dış etkenlerden korunması, gıda kalitesinin devamlılığının sağlanması ve bunlar sağlanırken tüketicilerin bilgilendirilmesidir (Ceyhun Sezgin vd., 2019). Ambalaj üretim sistemlerinde gelişmelere bağlantılı olarak gıda endüstrisinde cam, kâğıt, alüminyum ambalaj malzemelerinin kullanımının artması ile gıdaya farklı miktarlarda kimyasal geçişi olmaktadır (Öksüztepe ve Beyazgül, 2015). Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Yönetmeliğinde '*Bu malzemelerden insan sağlığını tehlikeye sokacak, gıdanın bileşiminde istenmeyen değişimlere veya duyuşal özelliklerinde değişikliğe neden olacak miktarda geçiş olamaz*' ile ifade edilmiştir (Anonim, 2011).

Avrupa Komisyonu ve Avrupa Gıda Güvenlik Otoritesi (EFSA) tarafından beyan edilen kılavuzda gıda ambalaj malzemesi olarak alüminyumun kullanımı hakkında bilgiler mevcuttur. Bu kılavuz alüminyumun alüminyum fosfat, alüminyum silikat, alüminyum sülfat gibi farklı bileşik hallerinin olduğu yer almaktadır (Anonim, 2004).

Alüminyum ve Çelik Mutfak Ekipmanları

Mutfak ekipmanlarının üretimi farklı hammaddeler kullanılarak yapılmaktadır. Bu hammaddelerle üretilen mutfak ekipmanlarından, pişirme kaplarından gıdaya herhangi bir metal geçişinin olmaması gerekmektedir. Alüminyum kaplar dayanıklıdır ancak gıdayla teması sonucu geçiş olabilmektedir (Temizkan ve Sever, 2020). Endüstriyel mutfaklarda araç gereçlerin kullanılmaya uygun olması, gıda ile etkileşime girmemesi, araç gereçlerden gıdaya koku ve tat geçişinin olmaması gerekmektedir. Alüminyumun hafif, iyi ısı iletkenliği, kolay temizlenebilir olması mutfak ekipmanı olarak kullanımının en önemli nedenleri arasındadır. Alüminyum ekipmanlar içerisinde pişirilen ürün içeriği özelliğinden etkilenmektedir (Erel, 1976).

Gıda üretiminin yapıldığı mutfaklarda geçmişten günümüze farklı özellikteki araç gereçler kullanılmıştır. Birçok çalışmada pişirme ekipmanlarından zararlı madde geçişleri olmuştur. Gıda işleme anında bu malzemeler gıda ile reaksiyona girmemeli, lezzetini ve yapısı bozmaması gerekir. Korozyona uğrayan ekipmanlardan pişirme esnasında gıdaya metal geçişi olabilmektedir. Alüminyum zamanla gıda ile reaksiyona girerek gıdaya metal bulaşı olmaktadır. Bu da vücutta birikerek insan sağlığını tehlikeye sokmaktadır (Elveren ve Osma, 2021).

Alüminyum pişirme ekipmanları ile Birleşmiş Milletler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen vücuda günlük tolere edilebilir 1 mg/kg vücut ağırlığı kadar olan alüminyum miktarının fazlasına maruz kalılabilmektedir. Gıdayı hazırlama ve pişirme sırasında üründe biriken alüminyum miktarı ortam ve ürün

içerik özelliğine göre farklılık göstermektedir (Bassione vd, 2012).

Bir çalışmada evlerde kullanılan pişirme kaplarından ağır metal geçişinin halk sağlığı açısından endişe verici olduğu düşünülerek alüminyum ve dökme demir tencerelerde domates sos ve fasulyelerde ağır metal analizi yapılmıştır. Pişirme kaplarından ürün hazırlama ve pişirme sırasında bir miktar metal geçişi olduğu tespit edilmiştir. Bu miktarların önerilen güvenli limitlerin üzerinde alüminyum gibi metal geçişlerinin olduğu görülmüştür. Çalışma sonucu gıdaya metal geçişine ortamın pH ve temas süresinin artırma yönünde etkili olduğu göstermiştir (Ogidi vd., 2017). Paslanmaz çelik ekipmanların üretiminde en önemli element kromdur (Yüksel, 2002). Paslanmaz çeliklerin endüstriyel mutfaklarda en çok kullanılan çeşidi ostenitik paslanmaz çeliktir. Bu paslanmaz çelik çeşidinin korozyona direncinin yüksek olması, kolay temizlenebilir olması ve iyi ısı iletkenliğinin olması ekipmanın mutfaklarda kullanımını yaygınlaştırmıştır (Doruk, 2005). Paslanmaz çelikler atmosfer ve suya dayanıklı özelliğe sahip olmaları ile birlikte asidik ve korozif ortamlarda yapısı bozulmamaktadır (Yüksel, 2002). Paslanmaz çelik korozyona dayanıklı olması, ısıyı iyi iletmesi nedeniyle gıda sektöründe çok fazla kullanılan ekipmanlardandır. Pişirme ve depolama sürelerine göre asitli gıda pişirildiğinde çelik ekipmandan ağır metal geçişi olmaktadır (Kamerud vd., 2013). Çelik ekipman üretiminin son aşaması olan deoksidasyon işleminde oksijeni uzaklaştırmak için alüminyum elementi kullanılır. Alüminyum en güçlü deoksidanlar arasında olduğundan, çelikte bulunan diğer tüm oksitlerle birleşebilmekte ve kısmen veya tamamen oksijeni azaltabilmektedir (Anonim, 2023).

Gıdaya ağır metal geçişinde etkili olan diğer bir etken ekipmanın yeni olmasıdır. Bir çalışmada yeni kullanılmamış ekipmandan gıdaya metal geçişi olduğu ortaya konulmuştur. Eski kaplardan metal geçişi yeni kaplara oranla daha fazla olduğu belirtilmiştir (Teyin ve Nizamlıoğlu, 2020). Mutfak pişirme ekipmanlarının ürünün yapısını bozmaması, lezzetini etkilememesi ve kimyasallarla reaksiyona girmemesi gerekmektedir. Ekipmanlardan genel olarak beklenen özellik ısıyı iyi ve eşit iletterek yüksek randıman vermesidir (McGee, 2004).

Alüminyumun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Alüminyum mutfak ekipmanlarından gıdaya alüminyum geçişi olabilmekte ve insan sağlığına zarar verebilmektedir. Alüminyumun geçiş kaynakları arasında üretim ve depolama sırasında temas halinde olan ambalaj, mutfak araç gereçleri, pişirme kapları yer almaktadır (Bircik vd, 2015). Alüminyumun diyetle az miktarda alındığında akut toksisitesi gözlenmediği fakat uzun sürede alındığında risk oluşturduğu konusunda araştırmalar mevcuttur. Belli bir yıla kadar alüminyumun tehlikeli olduğu düşünülmemiştir. 1972 yılında böbrek hastalarının tedavisinde sürekli kullanılan alüminyum içerikli ilaçları kullanan hastalarda bazı beyin hastalıklarının görülmesi üzerine alüminyumun insan sağlığına zararlı olduğu ile ilgili çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmaların sonucunda alüminyumun önemli hastalıklara neden olduğu tespit edilmiştir (Nizamlıoğlu, 2023).

Son zamanlarda daha da önem kazanan zararsız olduğu düşünülen alüminyuma az miktarda uzun süreli maruz kalındığında insan sağlığı için risk oluşmuştur. Bu nedenle fazla miktarda alınması tehlikelidir. Alüminyum iskelet ve sinir sistemi rahatsızlıklarına, gastrointestinal, hematolojik gibi hastalıklara neden olabilmektedir (Akman vd., 2011). Son zamanlarda sağlık açısından önem kazanan ve sağlığa zararlı bir etken olmamasına rağmen vücuda alındığında riskli bir metaldir şeklinde ifade edilmiştir. Alüminyum vücuda farklı yollarla alındığında iskelet ve sinir sistemi hastalıkları gibi hastalıklara neden olmaktadır (Öztürk, 2011). Alzheimer hastalığı olan kişilerin beyindeki küçük arter duvarlarında çok fazla alüminyum olduğunu gösteren araştırmalar vardır (Nizamlıoğlu, 2023). İçme suyu ile vücuda alınan alüminyum Alzheimer hastalığına neden olduğu dair riskler tespit edilmiştir (Wang vd, 2016).

Bu çalışmanın amacı endüstriyel ve ev tipi mutfaklarda alüminyum pişirme kaplarının en çok kullanıldığı patlıcan musakka, tepsi kebabı, kazandibi, su böreği ve baklava gibi ürünlere alüminyum geçişinin olup olmadığını ve süreye göre değişkenlik gösterip göstermediğinin tespit edilmesi ve paslanmaz çelik tepsilerle karşılaştırılmasıdır. Sonuçlara göre bu geçişin insan sağlığına zararlı olabilecek düzeyde olup olmadığı da tespit edilecektir.

Yöntem

Çalışmada materyal olarak yeni alüminyum tepsi (Resim 1), deformasyona uğramış alüminyum tepsi (Resim 2) ve kullanılmış çelik tepsi (çelik gastronom, Resim 3) kullanılmıştır. Çelik tepsi, üretiminde ara katmanda kullanılan alüminyumun gıdaya olası geçişi düşünülerek alüminyum tepsilerden gıdaya geçebilecek

miktarların kıyası için kullanılmıştır. Bu ekipmanlarla endüstriyel ve ev tipi mutfaklarda pişirme ve muhafaza amaçlı en çok tercih edilen gıda ürünleri tercih edilmiştir. Alüminyum ve çelik ekipmanlarda pişirme ve muhafaza edilen patlıcan musakka, tepsi kebabı, kazandibi, su böreği ve baklava ürünleri tercih edilmiştir. Bu ürünlerin ayrı ayrı tercih edilme nedeni mevcuttur. Patlıcan musakka yemeğinin tercih edilme nedeni dana eti ve salçalı sos kullanımından ötürü asidik ortam oluşmasıdır. Tepsi kebabı tercih edilme nedeni dana eti ve kuzu etinin kullanımı ile oluşan alkali ortam oluşmasıdır. Kazandibi tercih nedeni kullanılan ekipmanın direk ocak ateşine maruz kalması ve alkali ortam oluşmasıdır. Su böreğinin alt ve üst kısmı aynı oranda pişmiş olması gerekmektedir. Bunun içinde alüminyum tepsilerin iyi ve eşit ısı iletim özelliğinden faydalanmak istenilmiştir. Ev ve endüstriyel mutfaklarda baklava alüminyum tepsilerde üretilmektedir. Baklavaların istenilen kriterde pişirilebilmesi için alüminyum tepsinin ısı iletkenliği özelliğinden faydalanmak için alüminyum tepsi kullanılmıştır. Bu ürünlerin tüketime sunulma ve muhafaza sürelerine göre patlıcan musakka ve tepsi kebabı için 2 saat, kazandibi ve su böreği için 24 ve 48 saat, baklava için 24 saat, 48 ve 72 saat muhafaza süreleri belirlenmiştir. Tüm bu yiyecekler geleneksel olarak evlerde ve toplu beslenme sistemlerinde alüminyum tepsilerde pişirilmekte ve muhafaza edilmektedir. Örnekler saklama sürelerinde de bu kaplarda muhafaza edilmişlerdir.

Resim 1. Yeni alüminyum tepsi



Resim 2. Deformasyonlu alüminyum tepsi



Resim 3. Paslanmaz Çelik tepsi



Alüminyum tepsilere ve çelik tepside pişirilen ürünler uygun pişirme tekniği ile pişirilmiştir. Patlıcan musakka ve tepsi kebabı tepsi çeşitlerine hazırlanarak endüstriyel fırında 180 °C de 25- 30 dakika pişirilmiştir. Kazandibi hazırlığında muhallebi karışımı doğal gazlı ocaklarda yakma işlemi yapıldıktan sonra dinlenmeye bırakılmıştır. Su böreği tepsilere hazırlandıktan sonra endüstriyel fırında 220 °C 60- 70 dakikada alt-üst zeminleri çevrilerek pişirilmiştir. Baklava tepsilere hazırlandıktan sonra endüstriyel fırında 220- 230°C’de 60 dakika pişirilerek şerbeti verilmiştir. Bu ürünler tüketime sunulan alüminyum ve çelik tepside uygun sürelerde muhafaza edilerek alüminyumun gıdaya olası geçişi analiz edilmiştir.

Alüminyum tepsilere ve çelik tepsilere pişirilen ürünler tüketimi için bekletilen uygun muhafaza süreleri belirlenmiştir. Tercih edilen ürünler tüketim süresinden dolayı piştiği gün ve uygun sürede pişme ekipmanında bekletilerek süre sonundan numune alınmıştır. Patlıcan musakka ve tepsi kebabında tüketim için yemek servis süresi ve sıcaklığında (85 °C) muhafaza edildiğinden 2 saat muhafaza süre tespiti yapılmıştır. Kazandibi ve su böreği ürünün tüketilebilir olma süreleri 24 ve 48 saat olarak, Baklava ürününün ise tüketim süresi uygunluğu kapsamında 24, 48 ve 72 saat olarak süre belirlenmiştir. Belirlenen muhafaza sürelerinin sonunda resmi numune alma prosedürüne göre en az 250 gr numuneler steril numune poşetlerine konulmuştur.

ICP-MS ile örneklerin analiz edilmesi

İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma (ICP); bir ve birden çok elementin aynı anda kantitatif ve kalitatif analizi yapılabilen spektroskopik analiz tekniğidir. 1960’lı yıllarda geliştirilerek elementlerin doğruluğu, yüksek duyarlılık nedeniyle kullanılan önemli analiz tekniği olmuştur. ICP-MS tekniği gıda, içme suyu, jeoloji, petrokimya gibi birçok alanda analiz için kullanılmaktadır. ICP ve kütle spektrometresi (MS) olarak iki farklı bölümden oluşan analitik bir cihazdır (Bakırcı, 2019). Bu teknikte numuneler belirli çözücülerle fırınlarda yakılarak kalibrasyon bilgileri doğrultusunda seyreltilerek cihaza analiz için yerleştirilir. Spektroskopik analizlerin en gelişmiş ICP-MS teknolojisidir. ICP-MS teknolojisinde ICP yüksek sıcaklıklarda numunelerin iyonlarına ayrışmasını, MS ise iyonlarında kütleleri sayesinde atomların ayrışmasını sağlayarak nitel ve nicel ölçümler yapar. Bu tekniğin önemli kılan aynı anda birden fazla nicel analiz yapıp çok düşük limitleri belirleyebilmesidir (İzol ve İnik, 2022). ICP-MS tekniği verimliliği yüksek olması ve spektral gürültünün az olması gibi avantajlar sayesinde tercih edilen bir tekniktir (Nasuh, 2021). Bu çalışmada ICP-MS analiz tekniği ile numuneler içerisindeki alüminyum miktarı belirlenmiştir. Şahit numunelerde dahil olmak üzere her bir örnek üç tekrar olarak çalışılmıştır.

İstatistik Analizler

Üç ve daha fazla ilişkili grubun karşılaştırılmasında Friedman testi uygulanmış, anlamlı farklılığın belirlenmesi sonrasında farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını ortaya koymak amacıyla ikili karşılaştırmalarda Wilcoxon işaretli sıralar testi kullanılmıştır.

Bulgular

Araştırmadan elde edilen bulgulara göre, patlıcan musakka, tepsi kebabı, kazandibi, su böreği ve baklava numunelerinde tespit edilen alüminyum miktarlarının ortalama değerleri Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Farklı pişirme kaplarında pişirilen ürünlerin alüminyumun ortalamaları(mg/kg)

Ürün	Süre	Tepsi Türü	Al Miktarı
Patlıcan Musakka	2 Saat	Yeni Al Tepsi	2.81±0.02
		Deformasyonlu Al Tepsi	3.68±0.03
		Çelik Tepsi	2.65±0.01
Tepsi Kebabı	2 Saat	Yeni Al Tepsi	3.54±0.03
		Deformasyonlu Al Tepsi	1.70±0.26
		Çelik Tepsi	3.35±0.02
Kazandibi	24 Saat	Yeni Al Tepsi	ND
		Deformasyonlu Al Tepsi	ND
		Çelik Tepsi	ND
	48 Saat	Yeni Al Tepsi	2.67±0.02
		Deformasyonlu Al Tepsi	ND
		Çelik Tepsi	ND
Su Böreği	24 Saat	Yeni Al Tepsi	0.94±0.02
		Deformasyonlu Al Tepsi	1.00±0.03
		Çelik Tepsi	ND
	48 Saat	Yeni Al Tepsi	1.67±0.03
		Deformasyonlu Al Tepsi	1.25±0.03
		Çelik Tepsi	ND
	24 Saat	Yeni Al Tepsi	ND
		Deformasyonlu Al Tepsi	ND
		Çelik Tepsi	ND
Baklava	48 Saat	Yeni Al Tepsi	0.76±0.03
		Deformasyonlu Al Tepsi	0.81±0.01
		Çelik Tepsi	ND
	72 Saat	Yeni Al Tepsi	1.03±0.02
		Deformasyonlu Al Tepsi	6.26±0.03
		Çelik Tepsi	ND

Tablo 1 'de görüldüğü gibi patlıcan musakkada 2 saat yemek servis süresi sonunda en düşük alüminyum miktarı $2,65\pm 0,01$ çelik tepside tespit edilirken en yüksek alüminyum miktarı ise deformasyonlu alüminyum tepside $3,68\pm 0,02$ olarak tespit edilmiştir. Tepsi kebabında en düşük alüminyum miktarı $1,7\pm 0,26$ olarak deformasyonlu alüminyum tepside tespit edilirken en yüksek alüminyum miktarı $3,54\pm 0,03$ olarak yeni alüminyum tepside tespit edilmiştir. Kazandibinde 24 saat süre için yeni alüminyum tepsi, deformasyonlu alüminyum tepsi ve çelik tepsilerde gıdaya geçen alüminyum miktarı tespit edilmemiştir. 48 saat süre için ise yeni alüminyum tepside $2,67\pm 0,02$ olarak alüminyum miktarı tespit edilirken deformasyonlu alüminyum tepsi ve çelik tepside gıdaya geçen alüminyum miktarı tespit edilmemiştir.

Su böreği örneğinde 24 saat süre için en düşük alüminyum miktarı $0,94\pm 0,02$ olarak tespit edilirken en yüksek alüminyum miktarı $1\pm 0,03$ olarak edilmiştir. Su böreği 48 saat süre için ise en düşük alüminyum miktarı $1,25\pm 0,03$ olarak tespit edilirken en yüksek alüminyum miktarı $1,67\pm 0,03$ olarak tespit edilmiştir. Su böreği örneğinin 24 ve 48 saat süreleri için çelik tepsilerde gıdaya geçen alüminyum miktarı tespit edilememiştir.

Baklava örneğinde 24 saat süre için 3 tepsi çeşidinde de gıdaya geçen alüminyum miktarı tespit edilememiştir. Baklava 48 saat süre için çelik tepside gıdaya geçen alüminyum miktarı tespit edilemezken en düşük alüminyum miktarı $0,76\pm 0,03$ olarak yeni alüminyum tepside tespit edilirken en yüksek alüminyum miktarı $0,81\pm 0,01$ olarak deformasyonlu alüminyum tepside tespit edilmiştir. Baklava 72 saat süre için ise en düşük alüminyum miktarı $1,03\pm 0,02$ olarak yeni alüminyum tepside tespit edilirken en yüksek alüminyum miktarı $6,26\pm 0,03$ olarak deformasyonlu alüminyum tepside tespit edilmiştir. Çelik tepside 72 saat süre için alüminyum miktarı tespit edilememiştir.

Patlıcan Musakka Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

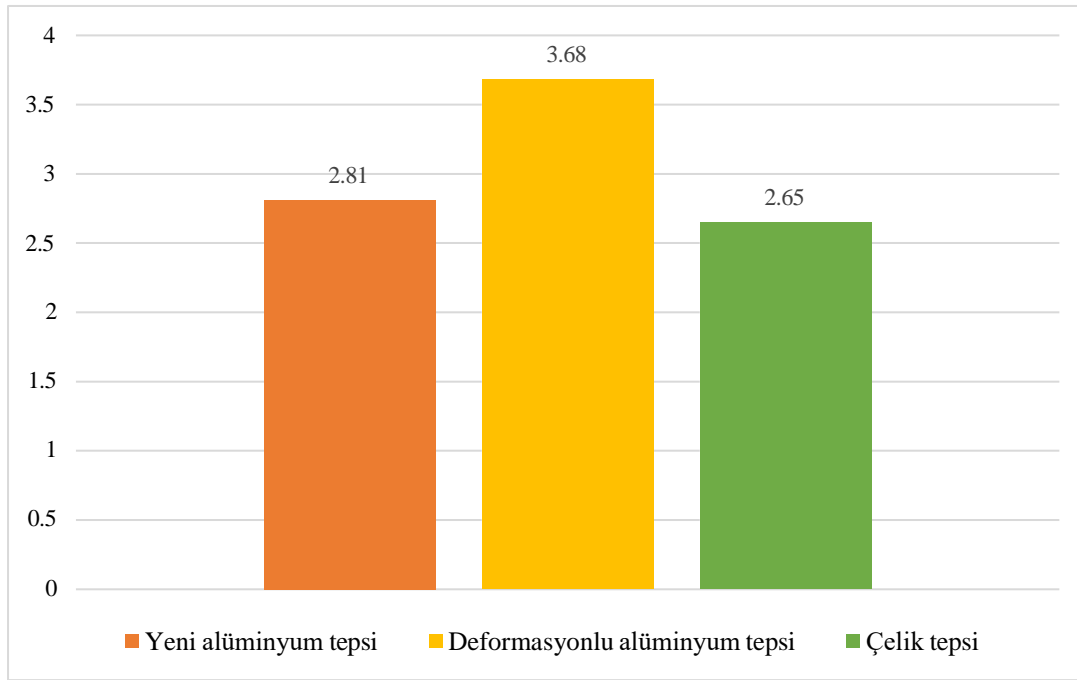
Patlıcan musakka ürününün 2 saat bekletildiği 3 farklı tepsi türünden alınan 3'er ölçüm neticesinde elde edilen bulgulara bakıldığında yeni alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $2,81 \pm 0,02$ mg/kg olduğu görülürken, deformasyonlu alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $3,68 \pm 0,03$ mg/kg ve çelik tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $2,65 \pm 0,02$ mg/kg olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Patlıcan Musakka Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Süre	Tepsi türü						p
	Yeni alüminyum tepsi		Deformasyonlu alüminyum tepsi		Çelik tepsi		
	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	
2 saat	2.81	0.02	3.68	0.03	2.65	0.02	0.001

Tablo 2'de yer alan bu değerler arasındaki farklılıkları test etmek için Friedman analizi uygulanmıştır. Şekil 1'de de bu sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda deformasyonlu alüminyum tepside alınan ölçüm değerlerinin, yeni alüminyum tepsi ve çelik tepside alınan ölçüm değerlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde yüksek olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Şekil 1. Patlıcan Musakka Ölçümlerinin Karşılaştırılması



Tepsi Kebabının Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

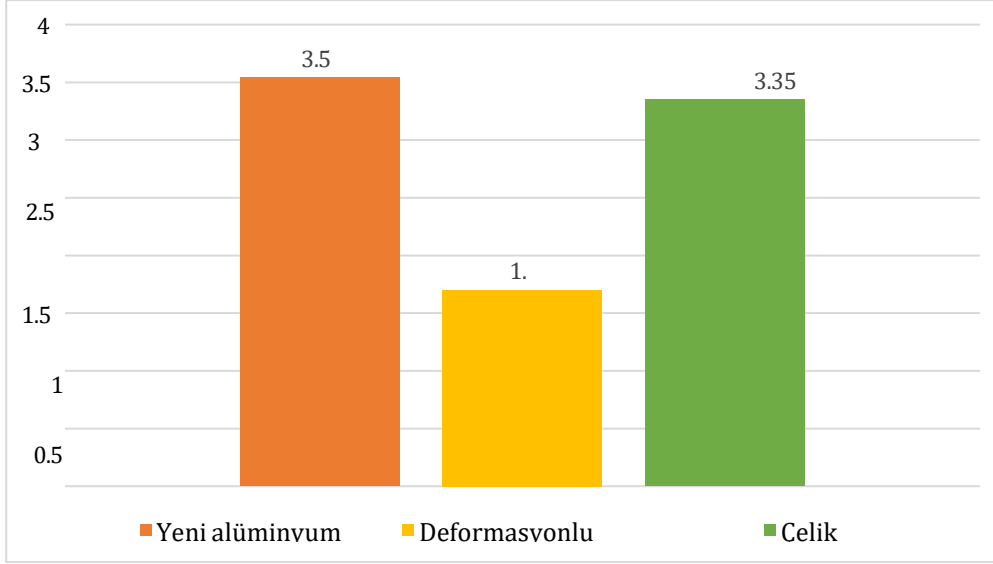
Tepsi kebabı ürününün 2 saat bekletildiği 3 farklı tepsi türünden alınan 3'er ölçüm neticesinde elde edilen bulgulara bakıldığında yeni alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $3,54 \pm 0,03$ mg/kg olduğu görülürken, deformasyonlu alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $1,7 \pm 0,26$ mg/kg ve çelik tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $3,35 \pm 0,02$ mg/kg olduğu görülmektedir. Tablo 3'de ölçülen bu değerler arasındaki farklılıkları test etmek için Friedman analizi uygulanmıştır. Şekil 2'ye kıyaslanan analiz sonucu deformasyonlu alüminyum tepside alınan ölçüm değerlerinin, yeni alüminyum tepsi ve çelik tepside alınan ölçüm değerlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Tablo 3. Tepsi Kebabı Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Tepsi türü	
------------	--

Süre	Yeni alüminyum tepsi		Deformasyonlu alüminyum tepsi		Çelik tepsi		p
	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	
2saat	3.54	0.03	1.70	0.26	3.35	0.02	0.006

Şekil 2. Tepsi Kebabı Ölçümlerinin Karşılaştırılması



Kazandibi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Kazandibi örneğinin yeni alüminyum tepsi, deformasyonlu alüminyum tepsi ve çelik tepsideki analiz sonuçlarında 24 saatlerinde alüminyum miktarı tespit edilemezken 48 saatlik ölçümlerinde sadece yeni alüminyum tepsi numunesinde alüminyum $2,67 \pm 0,02$ mg/kg olarak tespit edilmiştir. Diğer numunelerde tespit edilemediği için 48 saatlik yeni alüminyum tepsi sonucundaki alüminyum miktarının istatistiki olarak kıyaslama yapılacak bir veri yoktur.

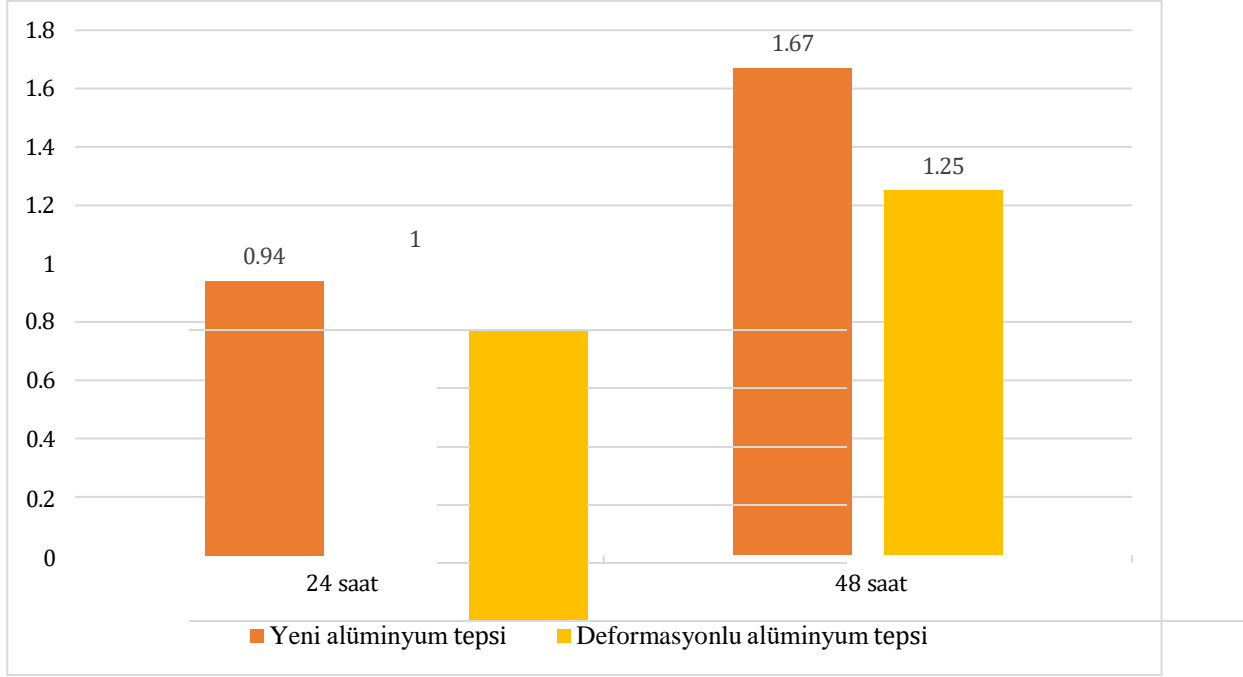
Su Böreğinin Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Su böreği ürününün 24 saat bekletildiği 2 farklı tepsi türünden alınan 3'er ölçüm neticesinde elde edilen bulgulara bakıldığında yeni alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $0,94 \pm 0,02$ mg/kg olduğu görülürken, deformasyonlu alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $1,00 \pm 0,03$ mg/kg olduğu görülmektedir. Su böreği ürününün 48 saat beklediği 2 farklı tepsi türünden alınan 3'er ölçüm sonucuna bakıldığında ise yeni alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $1,67 \pm 0,03$ mg/kg olduğu görülürken, deformasyonlu alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $1,25 \pm 0,03$ mg/kg olduğu görülmektedir. Tablo 4'de ölçülen bu değerler arasındaki farklılıkları test etmek için Wilcoxon analizi uygulanmıştır. Şekil 3'te analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Yapılan analiz sonucunda yeni alüminyum tepsi ve deformasyonlu alüminyum tepside alınan hem 24 saatlik ölçümlerin hem de 48 saatlik ölçümlerin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılaşmadığı bulunmuştur ($p < 0,05$).

Tablo 4. Su Böreği Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Süre	Yeni alüminyum tepsi		Deformasyonlu alüminyum tepsi		p
	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	
24 saat	0.94	0.02	1.00	0.03	0.109
48 saat	1.67	0.03	1.25	0.03	0.083

Şekil 3. Su Böreği Ölçümlerinin Karşılaştırılması



Baklava Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

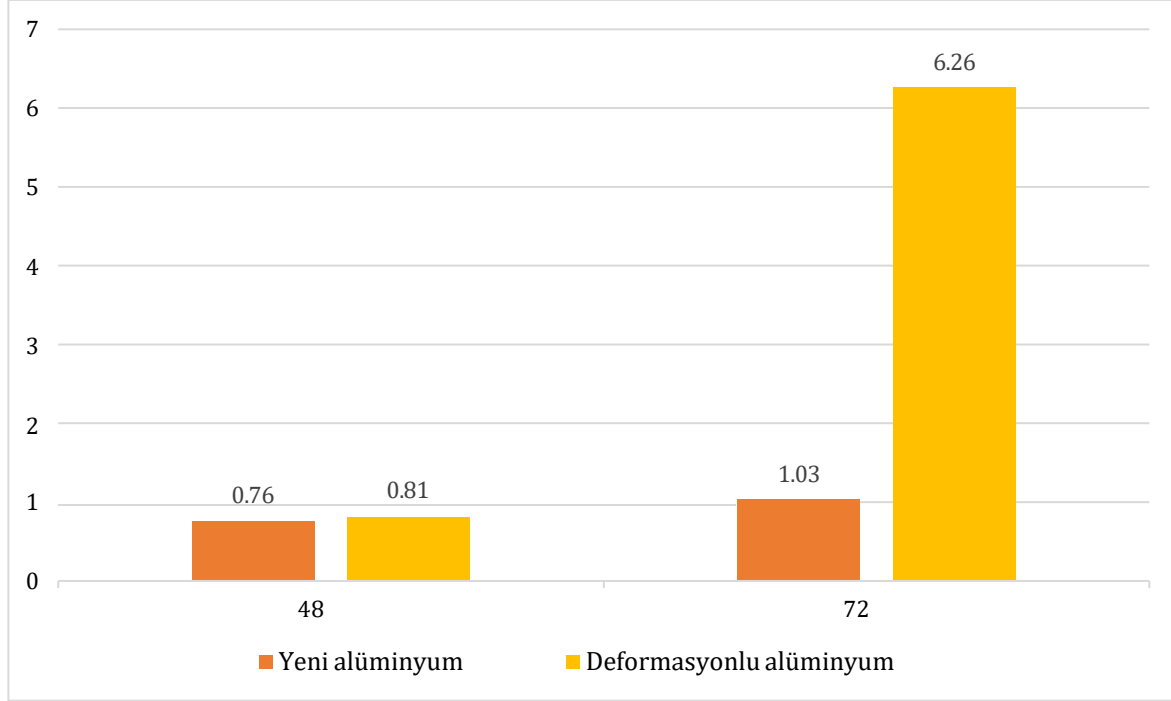
Baklava ürününün 48 saat bekletildiği 2 farklı tepsi türünden alınan 3'er ölçüm neticesinde elde edilen bulgulara bakıldığında yeni alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $0,76 \pm 0,03$ mg/kg olduğu görülürken, deformasyonlu alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $0,81 \pm 0,01$ mg/kg olduğu görülmektedir. Baklava ürününün 72 saat beklediği 2 farklı tepsi türünden alınan 3'er ölçüm sonucuna bakıldığında ise yeni alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $1,03 \pm 0,02$ mg/kg olduğu görülürken, deformasyonlu alüminyum tepside alınan alüminyum değerlerinin ortalama $6,26 \pm 0,03$ mg/kg olduğu görülmektedir. Tablo 5'te ölçülen bu değerler arasındaki farklılıkları test etmek için Wilcoxon analizi uygulanmıştır.

Tablo 5. Baklava Ölçümlerinin Karşılaştırılması

	Tepsi türü					p
	Yeni alüminyum tepsi		Deformasyonlu alüminyum tepsi			
Süre	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.		
48 saat	0.76	0.03	0.81	0.01		0.102
72 saat	1.03	0.02	6.26	0.03		0.000

Sonuçlar Şekil 4 'te kıyası yapılarak analiz sonucu yeni alüminyum tepsi ve deformasyonlu alüminyum tepside alınan 48 saatlik ölçümlerin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılaşmadığı bulunmuştur ($p < 0,05$). Öte yandan deformasyonlu alüminyum tepside alınan 72 saatlik ölçümlerin, yeni alüminyum tepside alınan 72 saatlik ölçümlere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Şekil 4. Baklava Ölçümlerinin Karşılaştırılması



Tartışma

Alüminyum vücuda farklı yollarla alınır. Vücudun alüminyum maruziyetinin çoğu gıda tüketimiyle olur. Ağır metal olan alüminyum pişirme kaplarıyla teması sonucu gıdaya bulaşır. Pişirme kaplarından gıdaya alüminyum geçiş miktarının belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada beş farklı ürünün farklı muhafaza sürelerinde yeni alüminyum tepsi, deformasyonlu alüminyum tepsi ve çelik tepside geleneksel pişirme yöntemleri ile pişirilerek hazırlanan ürünlerde alüminyum miktarı belirlenmiştir.

Türk Gıda Kodeksi 'Gıda ile temas eden alüminyum ve alüminyum alaşımı madde ve malzemeler' yönetmeliğinde gıdaya geçen alüminyum miktarı en fazla 5 mg/kg gıda olarak bildirilmiştir. Bu çalışmada beş farklı ürünün farklı tepsi ve muhafaza sürelerinin ölçüm sonuçları Baklava numunesi deformasyonlu alüminyum tepsi 72 saat ölçümü (6.26 ± 0.03) dışında sonuçlar yönetmeliğe uyumludur. WHO günlük alüminyum alım miktarı limitlerine göre bu çalışmadaki numunelerin alüminyum miktarları WHO limitlerini geçmemektedir. Analiz sonuçlarının WHO limiti ile karşılaştırılması Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Analiz sonuçlarının WHO limiti ile karşılaştırılması

Ürün	Süre	Tepsi Türü	Al Miktarı	Who Değeri
Patlıcan Musakka	2 Saat	Yeni Al Tepsi	2.81 ± 0.02	3-14
		Deformasyonlu Al Tepsi	3.68 ± 0.03	
		Çelik Tepsi	2.65 ± 0.01	
Tepsi Kebabı	2 Saat	Yeni Al Tepsi	3.54 ± 0.03	3-14
		Deformasyonlu Al Tepsi	1.70 ± 0.26	
		Çelik Tepsi	3.35 ± 0.02	
	24 Saat	Yeni Al Tepsi	ND	
		Deformasyonlu Al Tepsi	ND	

Kazandibi	Çelik Tepsi	ND	3-14
	Yeni Al Tepsi	2.67±0.02	
	48 Saat Deformasyonlu Al Tepsi	ND	
Su Böreği	Çelik Tepsi	ND	3-14
	Yeni Al Tepsi	0.94±0.02	
	24 Saat Deformasyonlu Al Tepsi	1.00±0.03	
	Çelik Tepsi	ND	
	Yeni Al Tepsi	1.67±0.03	
	48 Saat Deformasyonlu Al Tepsi	1.25±0.03	
Baklava	Çelik Tepsi	ND	3-14
	Yeni Al Tepsi	ND	
	24 Saat Deformasyonlu Al Tepsi	ND	
	Çelik Tepsi	ND	
	Yeni Al Tepsi	0.76±0.03	
	48 Saat Deformasyonlu Al Tepsi	0.81±0.01	
	Çelik Tepsi	ND	
	Yeni Al Tepsi	1.03±0.02	
	72 Saat Deformasyonlu Al Tepsi	6.26±0.03	
	Çelik Tepsi	ND	

Güneş (2001) çalışmasında yemeklerde yapılan analizlerin yemeklerdeki alüminyum miktarları 11.0 ± 0.56 ve 20.0 ± 1.14 tespit edilirken bu çalışmadaki numunelerde ortaya çıkan alüminyum miktarları ile kıyaslandığında ölçümler fazlasıyla düşüktür. Ojezele vd., (2016) yaptıkları çalışmada eski yeni alüminyum kap, eski ve yeni çelik kap, demir ve kil kaplar olmak üzere altı farklı pişirme kabında pişirilen pirinçte ağır metallerin ölçümleri yapmışlardır ve alüminyumun en yüksek bulaş yeni alüminyum kaptaki pirinçte 440 ± 60 mg/kg olarak belirlenmiştir. Çalışmadaki üç farklı tepside pişen ürünlerin tespit edilen alüminyum miktarları ile kıyaslandığında ciddi fark olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılmış çelik tepside asitli ürünlerin pişirilmesi sonucu ağır metal geçişi olabilmektedir (Kamerud vd, 2013). Asitli ortam oluşmasında ürünün üretiminde salça kullanımının etkisi olmaktadır. Araştırmada çelik tepside alüminyum geçişi olması nedenleri arasında olduğu düşünülmektedir.

Tepsi kebabında yeni alüminyum tepside alüminyum geçişinin diğer numunelerden yüksek çıkması beklenmedik sonuçtur. Bunun nedenin yeni alüminyum tepsinin herhangi korozyona uğrayıp uğramadığı bilinmemesidir. İnan Eroğlu (2017) çalışmasında dana eti ve kuzu etinin kullanımı ortamın alkali oranını artırdığı tespitine dayanak alüminyum geçiş miktarını etkilediği düşünülmektedir.

Kazandibi örneğinde de muhafaza süresinin uzaması ile yeni alüminyum tepside geçiş olduğu tespit edilirken diğer numunelerden alüminyum geçişi tespit edilmemiştir. Alüminyum geçişini etkileyen faktörlerden biri de temas süresidir.

Su böreği numunelerinden yeni alüminyum tepside deformasyonlu alüminyum tepside alüminyum geçişinin artması, çelik tepside geçiş tespit edilmemesi ile beklenen sonuç elde edilmiştir.

Baklava numunesinde muhafaza süresinin uzaması halinde alüminyum geçişinin arttığı ve çelik tepside geçiş olmadığı tespiti ile olumlu sonuç elde edilmiştir. Weidenhamer vd., (2014) alüminyum pişirme ekipmanlarda asitli yemekler pişirilmiştir. Pişirilen yemekler yemek bekletme sürelerinde alüminyum kaplarda muhafaza edildiklerinde önemli oranda ağır metal geçişi olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada pişirme süreleri ve muhafaza sürelerinin ağır metal geçişinde önemli etken olduğu belirtilmiştir. Alüminyum ağır metal miktarını 174 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada alüminyum miktarı bu değer çok altında kalmıştır. Bir başka çalışmada eski ve yeni çelik ekipmandan gıdaya ağır metal geçişini incelenmiştir. Analiz sonucunda kadmiyum ve krom geçişi olduğu tespiti yapılmış ve eski çelik ekipmandaki metal geçişinin daha yoğun olduğu tespit edilmiştir (Temidayo, 2011). Bu çalışmada kullanılmış çelik ekipmandan da alüminyum geçişi olduğu tespit edilmiştir. Farklı ağır metal geçişinin olması çelik ekipman üretiminde farklı yöntemler uygulanmış olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Çelik tepside gözlenen alüminyum geçişi beklenen bir durum olmamakla birlikte, bu bulgunun kullanılan materyalin alaşım yapısında eser düzeyde alüminyum bulunması, üretim aşamasındaki yüzey işlemleri/kaplamalar, yüksek sıcaklık uygulamaları ve olası çapraz kontaminasyon gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Literatürde, metal yüzeylerden gıdaya element geçişinin yalnızca temel materyal bileşimine değil; sıcaklık, temas süresi, pH ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçların çok faktörlü değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Alüminyum karakteristik özellikleri nedeniyle mutfak malzemesi olarak çok fazla kullanılmaktadır. Mutfak malzemesi olarak kullanımı yaygın olmasının yanı sıra gıdaya temasıyla gıdaya alüminyum geçişi olmaktadır. Alüminyumun pişirme ekipmanlarından gıdaya geçişini etkileyen faktörler süre, sıcaklık, yağ içeriği, pH değeri, asitler ve tuzlar gibi maddelerin varlığıdır. Bu çalışmada endüstriyel ve ev tipi mutfaklarda alüminyum pişirme kaplarının en çok kullanıldığı patlıcan musakka, tepsi kebabı, kazandibi, su böreği ve baklava tercih edilmiştir. Bu tercih edilen ürünler servis edilmesi için uygun muhafaza süreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre alüminyum analiz sonuçlarının hemen hemen hepsi yasal limitlerin altında kalmıştır. Tolere edilebilir alım düzeyine dikkat edilerek alüminyumun toksik etkisinden korunabilir. Alüminyumun toksik etkisi göz önüne alındığında endüstriyel ve ev tipi mutfak ekipmanı olarak kullanımı sınırlandırılmalıdır. Mutfaklarda pişirme kabı olarak alüminyum yerine çelik ekipmanlar tercih edilmelidir. Ayrıca alüminyum pişirme kaplarını muhafaza amaçlı kullanılmamalıdır. Çünkü alüminyum ile teması azaltarak olası alüminyum geçişini engellenebilir veya azaltılabilir.

Bu kapsamda aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- Endüstriyel ve ev tipi mutfaklarda alüminyum pişirme ekipmanlarının kullanım sıklığı sınırlandırılmalıdır.
- Özellikle asidik, tuzlu ve uzun süre muhafaza edilen gıdalar için alüminyum kaplar tercih edilmemelidir.
- Pişirme ekipmanı olarak alüminyum yerine paslanmaz çelik gibi daha güvenli alternatif materyaller kullanılmalıdır.
- Alüminyum kaplar muhafaza amacıyla kullanılmamalı, pişirme sonrasında gıdalar farklı kaplara aktarılmalıdır.
- Toplumun bilinçlendirilmesi amacıyla alüminyum geçişi konusunda eğitim ve farkındalık çalışmaları yapılmalıdır.

Sonuç olarak, mevcut çalışmada elde edilen veriler yasal sınırlar içerisinde olmakla birlikte, halk sağlığının korunması açısından önleyici yaklaşım benimsenmeli ve alüminyum ile gıda teması mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Bu alanda farklı gıda grupları ve farklı pişirme koşullarını içeren ileri çalışmaların yapılması literatüre katkı sağlayacaktır.

Etik Beyan: Araştırmanın arşiv tarama ve doküman analizi odaklı olması insan veya hayvanlar üzerinden (anket, mülakat, odak grup çalışması, insan veya hayvanlar üzerinde deneysel çalışmalar) veriler toplanmaması nedeniyle etik kurul raporuna gerek duyulmamıştır.

Yazar Katkı Beyanı: 1. Yazarın katkı oranı %50 2. Yazarın katkı oranı ise %50'dir.

Çıkar Beyanı: Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Kaynakça

- Aguilar, F., Autrup, H., Barlow, S., Castle, L., Crebelli, R., Dekant, W., et al. (2008). Safety of aluminium from dietary intake: Scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and food contact materials (AFC). *EFSA Journal*, 754, 1–34.
- Akman, Ö., Atasever, A., Güçlü, E., & Gümüş, G. (2013). Alüminyum ve insan. *Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi XIII. Öğrenci Sempozyumu Çalışma Grubu Raporları*.
- Anonim. (2004). *On materials and articles intended to come into contact with food (No. 1935/2004)*. European Union.
- Anonim. (2011). *Türk Gıda Kodeksi gıda ile temas eden madde ve malzemeler yönetmeliği (R.G. 29.12.2011–28157)*.

- Anonim. (2023, December 18). Çeliklerde alüminyum. <https://paslanmazcelik.poetry.blog/celiklerde-aluminyum/>
- Bakırcı, S. (2019). *Aydın ilinde üretimi yapılan bazı arı ürünlerindeki ağır metal düzeylerinin karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Türkiye.
- Bassioni, G., Mohammed, F. S., Zubaidy, E. A., & Kobrsi, I. (2012). Risk assessment of using aluminum foil in food preparation. *International Journal of Electrochemical Science*, 7, 4498–4509.
- Baş, M. (2004). *Besin hijyeni, güvenliği ve HACCP*. Sim Matbaacılık.
- Biricik, G., Çöplü, N., & Dağdelen, A. F. (2015). Gıda ile temas eden madde ve malzemelerden gıdaya geçebilecek alüminyum miktarı ve bunun riskleri. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi*, 15, 1–8.
- Bondy, S. C. (2009). Aluminum. In *Encyclopedia of neuroscience* (pp. 253–257). Academic Press.
- Domingo, J. L. (2003). Aluminum (Aluminium) toxicology. In *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (2nd ed., pp. 160–166). Academic Press
- Doruk, İ. (2005). *Gıda sanayinde kullanılan paslanmaz çelikler ve bu çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri* (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.
- Duggan, J. M., Dickeson, J. E., Tynan, P. F., Houghton, A., & Flynn, J. E. (1992). Aluminium beverage cans as a dietary source of aluminium. *The Medical Journal of Australia*, 156(9), 604–605.
- Elveren, M., & Osma, E. (2021). Farklı özellikteki tencerelerde pişirilen sebzelerde element birikiminin araştırılması. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 732–738.
- Erel, S. (1976). Kurum mutfak araçlarının yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri, kullanma ve bakımları. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 5(2), 171–176.
- Fernandez-Lorenzo, J. R., Cocho, J. A., Rey-Goldar, M. L., Couce, M., & Fraga, J. M. (1999). Aluminium contents of human milk, cow's milk, and infant formulas. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 28(3), 270–275.
- Flarend, R., Bin, T., Elmore, D., & Hem, S. L. (2001). A preliminary study of the dermal absorption of aluminium from antiperspirants using aluminium-26. *Food and Chemical Toxicology*, 39(2), 163–168.
- Güneş, M. (2001). *Alüminyum kaplardan yemeklere ve diğer yiyeceklere geçen alüminyum miktarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, Türkiye.
- İnan Eroğlu, E. (2017). *Farklı alüminyum folyolar kullanılarak fırınlanan çeşitli et türlerinde alüminyum geçişlerinin saptanması* (Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- İzol, E., & İnik, O. (2022). Topraktaki ağır metallerin güncel analiz yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (Özel sayı 36)*, 116–120.
- Kamerud, K. L., Hobbie, K. A., & Anderson, K. A. (2013). Stainless steel leaches nickel and chromium into foods during cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(39), 9495–9501. <https://doi.org/10.1021/jf402400v>
- Krewski, D., Yokel, R. A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., et al. (2007). Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 10(Suppl. 1), 1–269.
- Lindblad, E. B. (2004). Aluminium adjuvants—in retrospect and prospect. *Vaccine*, 22(27–28), 3658–3668.
- McGee, H. (2004). *On food and cooking: The science and lore of the kitchen* (1st ed.). Scribner.
- McLachlan, C. (1986). Aluminium and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, 7(6), 525–532.
- Müller, M., Anke, M., & Illing-Günther, H. (1998). Aluminium in foodstuffs. *Food Chemistry*, 61(4), 419–428.

- Nasuh, M. (2021). *Yatağan ve çevresinde üretilen ballarda halk sağlığı açısından risk oluşturacak bazı ağır metal düzeylerinin ICP-MS tekniği ile belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Türkiye.
- Nizamlioğlu, F., & Nizamlioğlu, M. (2023). Alüminyum maruziyeti ve sağlık. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 20, 735–747.
- Ogidi, M., Sridhar, M. K. C., & Coker, A. O. (2017). A follow-up study: Health risk assessment of heavy metal leachability from household cookwares. *Journal of Food Science and Toxicology*, 1(3), 1–9.
- Ojezele, O. J., Ojezele, M. O., & Adeosun, A. M. (2016). Cooking utensils as probable source of heavy metal toxicity. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(7), 2216–2220.
- Onurlubaş, E. (2015). *Tüketicilerin gıda güvenliği konusunda bilinç düzeylerinin ölçülmesi: Tokat ili örneği* (Doktora tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.
- Öksüztepe, G., & Beyazgül, P. (2015). Akıllı ambalajlama sistemleri ve gıda güvenliği. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 29(1), 67–74.
- Özbolat, G., & Tuli, A. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502–521.
- Öztürk, B. (2011). *Siçanlarda alüminyumun farklı doz ve sürelerde uygulanmasının eritrosit ozmotik fragilitesi ve eser elementler üzerine etkisi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Radwan, M. A., & Salama, A. K. (2006). Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food and Chemical Toxicology*, 44, 1273–1278.
- Ranau, R., Oehlenschläger, J., & Steinhart, H. (2001). Aluminium levels of fish fillets baked and grilled in aluminium foil. *Food Chemistry*, 73(1), 1–6.
- Sezgin, C. A., Öztürk, B., & Kalaycı, B. D. (2019). Yemek sistemlerinde kullanılan ambalaj materyalleri. In *4. Uluslararası Gastronomi Turizmi Araştırmaları Kongresi Bildirileri* (19–21 Eylül), Nevşehir, Türkiye.
- Soni, M. G., White, S. M., Flamm, W. G., & Burdock, G. A. (2001). Safety evaluation of dietary aluminum. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 33(1), 66–79.
- Tayfur, M., Ünlüoğlu, İ., & Bener, Ö. (2002). Alüminyum ve sağlık. *Gıda*, 27(4), 305–309.
- Temidayo, O. A. (2011). Cadmium and chromium determination in food boiled in steel and stainless steel pots. *Learning Publics Journal of Agriculture and Environmental Studies*, 2(2), 45–50.
- Temizkan, P., & Sever, Y. (2020). Mutfak donatımında gerekçeli ekipman analizi: Hazırlık ekipmanları. *Journal of Gastronomy, Hospitality and Travel*, 3(1), 122–133.
- Teyin, G. (2018). *Pişirme ekipmanlarından gıdalara ağır metal geçişinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Teyin, G., Nizamlioğlu, H. F. (2020). Mutfaklardaki ağır metal kontaminasyonları: Pişirme ekipmanları. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 8(2), 1578–1591.
- Turhan, S. (2006). Aluminium contents in baked meats wrapped in aluminium foil. *Meat Science*, 74(4), 644–647.
- Türközü, D., Şanlıer, N. (2012). Gıdalardaki ağır metal kontaminasyonları: Güncel bakış. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(4), 73–80.
- Uzunöz, M., Büyükbay Oruç, E., & Bal, H. S. G. (2008). Kırsal kadınların gıda güvenliği konusunda bilinç düzeyleri (Tokat ili örneği). *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 35–46.
- Wang, Z., Wei, X., Yang, J., Suo, J., Chen, J., Liu, X., et al. (2016). Chronic exposure to aluminum and risk of Alzheimer's disease: A meta-analysis. *Neuroscience Letters*, 610, 200–206.
- Weidenhamer, J. D., et al. (2014). Lead exposure from aluminum cookware in Cameroon. *Science of the Total Environment*, 496, 339–347.

Yokel, R. A., Rhineheimer, S. S., Brauer, R. D., Sharma, P., Elmore, D., & McNamara, P. J. (2001). Aluminum bioavailability from drinking water is very low and is not appreciably influenced by stomach contents or water hardness. *Toxicology*, *161*(1–2), 93–101.

Yüksel, M. (2002). *Malzeme bilgisi* (pp. 368–386). TMMOB Makina Mühendisleri Odası.