



Fırın Et Yemeklerine Alüminyum Gıda Tepsilerinden Olası Alüminyum Migrasyonunun Belirlenmesi*

Sabure Özlem BİLİCİ ¹, Adalet DIŞHAN ², Zafer GÖNÜLALAN ¹✉

¹ Erciyes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Veteriner Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Kayseri/Türkiye

² Yozgat Bozok Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Yozgat/Türkiye

◆ **Geliş Tarihi/Received:** 16.02.2025

◆ **Kabul Tarihi/Accepted:** 22.02.2025

◆ **Yayın Tarihi/Published:** 30.06.2025

Bu makaleye atıfta bulunmak için/To cite this article:

Bilici SÖ, Dışhan A, Gönülalan Z. Fırın Et Yemeklerine Alüminyum Gıda Tepsilerinden Olası Alüminyum Migrasyonunun Belirlenmesi. Bozok Vet Sci (2025) 6, (1):8-15.

Özet: Bu çalışmada, fırınlardan toplanan alüminyum tepsilerde pişirilen et yemeği örneklerinde alüminyum, krom, demir, bakır, çinko elementleri açısından ağır metal migrasyonunun araştırılması amaçlandı. Kayseri'nin Bünyan, Sarioğlu, Pınarbaşı, Sarız, Yahyalı, Develi, Yeşilhisar, Talas, Melikgazi ve Kocasinan ilçelerinden 41 fırın et yemeği örneği materyal olarak kullanıldı. Ayrıca, deneysel olarak alüminyum migrasyonunu incelemek için dokuz et yemeği örneği alüminyum folyo, porselen ve cam kaplarda 150, 180 ve 200 °C'de pişirilerek hazırlandı. Tüm numuneler, çözünürleştirme işleminin ardından ICP-MS ile analiz edildi. Sonuçlar, alüminyum folyo kaplarda 200 °C'de 30 dk. pişirilen et yemeğinde, 2,924±0,107 mg/kg alüminyum bulunduğunu gösterdi. Haftalık olarak 70 kg'lık bir birey için kabul edilebilir alüminyum maruziyeti için üst limitin 140 mg olduğu göz önüne alınırsa, bu yemeklerin düzenli tüketimiyle sınırın aşılabileceği ve sağlık açısından tehdit oluşturabileceği sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Alüminyum, Migrasyon, Sıcaklık, Ambalaj

Determination Of Possible Aluminium Migration from Aluminium Food Trays to Oven Meat Dishes

Abstract: In this study, the aim was to determine the migration of heavy metals, specifically aluminum, chromium, iron, copper, and zinc, in meat dishes cooked in aluminum trays collected from bakeries. A total of 41 oven-cooked meat samples were collected from the districts of Bünyan, Sarioğlu, Pınarbaşı, Sarız, Yahyalı, Develi, Yeşilhisar, Talas, Melikgazi, and Kocasinan in Kayseri province. Additionally, nine meat dish samples were experimentally prepared by cooking them in aluminum foil, porcelain, and glass containers at 150, 180, and 200 °C to investigate aluminum migration. All samples were analyzed using ICP-MS after a digestion process. The results showed that 2,924±0,107 ppm of aluminum was detected in meat cooked 30 min. at 200 °C in aluminum foil containers. Considering that the upper limit for acceptable aluminum exposure for a 70 kg individual is 140.0 mg on a weekly basis, it was concluded that consumption of these meals exceeding the acceptable limit posed a health threat.

Keywords: Aluminium, Heavy metal, Migration, Package, Temperature

1. Giriş

Özkütlesi yüksek, metal özellikte ve çoğu zaman toksik olan elementler "ağır metal" olarak adlandırılmaktadır ve alüminyum (Al), kurşun (Pb), cıva (Hg), kadmiyum (Cd), demir (Fe), arsenik (As) ve kobalt (Co) bu elementler arasında yer almaktadır (1). Bu metaller su, gıda ve solunum yoluyla vücuda alınarak birikim oluşturur. Vücutta böbrek, akciğer, karaciğer, kemik ve yağ dokularında depolanırken; bir kısmı solunum, safra, dışkı ve idrar yoluyla atılmaktadır. Ancak uzun vadede birikimleri, sağlık üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Kadmiyum, cıva ve kurşun çok düşük miktarlarda bile toksik etki gösterebilir. Özellikle kadmiyum ve cıvanın 0.001-0.1 ppm konsantrasyonlarında toksisiteye neden olduğu belirtilmiştir (2). Bir ağır metalin organizma

için önemli olup olmadığı, onun biyolojik işlevlerine bağlıdır. Örneğin, nikel bitkiler için toksikken, hayvanlar için eser element olup toksik değildir. Diğer sistemlerde ise toksisite, konsantrasyona bağlı olarak değişkenlik gösterir (3). Alüminyum, ışık geçirmeme, %90 oranında radyasyonu yansıtabilme, düşük elastikiyet katsayısına sahip olma, kolay şekil alma, yüksek ve düşük sıcaklıklara karşı dayanıklılık gibi özelliklerinden ötürü gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (4). Günümüzde alüminyum, süt ve süt ürünleri, kahve, çay, hazır çorba, şekerleme, puding, çerez, unlu mamuller, balık ve et ürünleri, meyve suyu, bira ve şarap gibi birçok ürünün ambalaj ve kapaklarında kullanılmaktadır (5,6). Alüminyum sınırlı derecede korozyona duyarlıdır. Laklanmamış ve 20 µm'den daha ince alüminyum folyolar gözenekli yapıdadır. Bu tür folyolar su buharı ve oksijene

✉: zgonulalan@erciyes.edu.tr

*Bu çalışma ERÜ BAP tarafından desteklenen TYL-2020-9908 kodlu aynı isimli Yüksek Lisans Tezinden özetlenmiştir

karşı hassas gıdalar için uygun değildir. Esnek yapısı nedeniyle, kutuların iç basınca dayanıklılığını artırmak için "Durulamin" (AlCuMg) gibi korozyona dayanıklı alaşımlar kullanılmaktadır. Gıda sektöründe yaygın kullanılan diğer alüminyum alaşımları ise AlMn, AlMg1 ve AlMgSi1'dir (6). İnsanlar alüminyuma diyet veya diyet dışı kaynaklar yoluyla maruz kalmaktadır. Alüminyum tuzları içme suyu arıtımında, gıda ambalajlarında ve flokülant olarak kullanılmaktadır. Ayrıca aşılar, ilaçlar, kozmetik ürünler, güneş kremleri, deodorantlar ve makyaj malzemeleri gibi birçok üründe de bulunmaktadır (7). Gıda ve Tarım Organizasyonu/Dünya Sağlık Organizasyonu (Food and Agriculture Organization, FAO/ World Health Organization, WHO)'nun ortaklığı ile kurulan Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA), 1989 yılında alüminyumun 7.0 mg/kg vücut ağırlığı için geçici tolere edilebilir haftalık alımını (Provisional tolerable weekly intake, PTWI) belirlemiştir (8). Alüminyumun güvenliği 2007 yılında JECFA tarafından yeniden değerlendirilerek, PTWI'yi kg vücut ağırlığı başına 1.0 mg'a düşürmüştür. Bununla birlikte, JECFA, yeni biyoyararlanım ve toksikolojik verilerin bir sonucu olarak 2011'de PTWI'yi 2.0 mg/kg vücut ağırlığı olarak yenilemiştir (9).

Cıva oda sıcaklığında sıvı halde bulunan, yoğunluğu sudan ve havadan yüksek bir metaldir. Suda çözünmez ve sanayi atıkları ile pestisitler nedeniyle çevrede birikimi artabilir. Cıva, vücut dokularında ciddi değişimlere yol açan çevresel bir toksik kirleticidir (10). İnsanlar çevre kirliliği, kontamine gıdalar, diş dolguları, tıbbi uygulamalar ve endüstriyel işlemler yoluyla cıvaya maruz kalmaktadır. Örneğin, amalgam dolgular uzun süreli cıva maruziyetine neden olarak görme bozuklukları, kas zayıflığı ve Alzheimer gibi hastalıklara yol açabilir (2). Endüstriyel atıkların doğrudan denize bırakılması sonucu balıklar yoluyla insanlara geçen metil cıva, ciddi sağlık sorunlarına neden olmuştur (3).

Krom (III) düşük konsantrasyonlarda esansiyel bir elementtir ve aynı zamanda krom (VI) karsinojen olup yetişkinler için günlük gereksinimin 0.02 ile 0.5 mg/gün arasında olduğu tahmin edilmektedir (11). Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration, FDA), krom için limiti 13 mg/kg olarak belirlemiştir. Bilimsel Gıda Komitesi (Scientific Committee on Food, SCF) sadece krom için 1 mg/gün'den az olması gereken tolere edilebilir bir üst sınır önermektedir (12). Kodeks Alimentarius Komisyonu (CAC), Gıdalarda izin verilen maksimum krom seviyesini 0.025-0.2 mg/kg olarak belirtmiştir (13).

Kurşun, doğada toprak, su ve bitkilerde bulunur. Sanayi tesisleri ve şehir merkezlerine yakın alanlarda yetişen tahıl, meyve, et ve baklagillerin kurşun içerebildiği bilinmektedir. İnsan vücudu ortalama 125-200 mg kurşun içerir ve günlük 1-2 mg kadarını atabilir. WHO ve Birleşmiş Milletler (BM) tarafından tolere edilebilir haftalık doz 3000 mg olarak belirlenmiştir. Kurşuna maruziyet genellikle kontamine toz,

aerosol, gıda, su ve boyalar yoluyla gerçekleşmektedir (14). Yetişkinler kurşuna %35-50 düzeylerinde içme suyu yoluyla maruz kalırken, çocuklarda bu oran %50'nin üzerine çıkabilir. Kurşun vücutta en çok böbrekte birikir, ardından karaciğer, kalp ve beyin dokularına geçer (10). Kurşun zehirlenmesi sinir sistemini etkileyerek baş ağrısı, dikkat dağınıklığı, sinirlilik, hafıza kaybı ve zihinsel donukluk gibi belirtilerle kendini gösterebilir (14).

Kadmiyum ise doğada saf halde bulunmaz; çinko ve diğer metallerin cevherlerinde yer alır. Kadmiyum içeren kaynaklar arasında su boruları, sigara dumanı, sanayi atıkları, gübreler ve rafine gıdalar bulunmaktadır. İnsan vücudu yaklaşık 40 mg kadmiyum içerir ve günlük olarak bir miktarını atabilir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından tolere edilebilir haftalık doz 7 µg/kg olarak belirlenmiştir. Kadmiyum maruziyeti ileri safhalarda prostat, göğüs ve akciğer kanserleri gibi ciddi hastalıklara yol açabilir. Kadmiyum, solunum, sigara dumanı ve beslenme yoluyla vücuda alınırken, cilt yoluyla emilimi nadirdir (10). Kadmiyumun çevresel etkileri büyük ölçüde, madencilik, eritme, pil, pigment, stabilizatör ve alaşım üretimi gibi sanayi faaliyetlerinden kaynaklanır (15). Ayrıca yapraklı sebzeler, patates, tahıllar, tohumlar, karaciğer, böbrek, kabuklu deniz ürünleri ve deniz yosunu gibi gıdalarda eser miktarda bulunmaktadır. Kadmiyum dolaşım sistemi yoluyla vücutta taşınarak toksisiteye neden olmaktadır.

Besinlerde alüminyum seviyesini belirlemek için fotometrik, titrimetrik, florimetrik ve gravimetrik yöntemler geliştirilmiş olsa da metal iyonlarıyla reaksiyonları nedeniyle analiz zorlaşmaktadır (16). Alüminyum, besinlerde ya doğal hâlde ya da katkı maddeleri yoluyla bulunur (17,18). Bitkisel kaynaklı alüminyum, bitkinin toprak ve sudan emdiği miktara bağlıdır. Çay yaprakları, bazı subtropikal bitkiler ve Güney Amerika sebzeleri yüksek alüminyum emme kapasitesine sahiptir. Hayvansal kaynaklı besinlerde ise alüminyum düzeyleri, hayvanın tükettiği su ve yem içeriğine göre değişir (19).

Ambalaj çeşitlerine bağlı olarak ambalajdan gıdaya madde geçişine migrasyon denmektedir ve geçen madde ise migrant adını almaktadır. Migrasyondan göç eden maddeler bir veya birden fazla kimyevi maddeler içerebilmektedir (20). Eğer bir tane kimyevi madde göç ediyorsa bu migrasyonun ölçülmesi spesifik migrasyon yani spesifik limit olarak bilinmektedir. Birden fazla göç eden kimyevi madde varsa ölçümü toplam grup migrasyonu ile yapılmaktadır. Migrasyon sadece ambalaj gıda yönünde olmayıp gıdadan ambalaj yönüne de migrasyon olmaktadır. Gıda eğer yağlı ve aromalı bir yapıya sahipse gıdadan ambalaja bir migrasyon gerçekleşmektedir. Migrasyon düzeyi çok yüksek olursa ambalajda şişme gibi yapısal bozulmalar meydana gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında, migrasyon yolu ile et yemeklerine geçen ağır metallerin farklı sıcaklık ve ambalaj ortamlarındaki düzeylerinin belirlenmesi amaçlandı.

2. Materyal ve Metot

2.1.Fırın Et Yemeği Numunelerinin Toplanması

Kayseri iline ait Bünyan, Sarıoğlu, Pınarbaşı, Sarız, Yahyalı, Develi, Yeşilhisar, Talas, Melikgazi ve Kocasinan ilçelerinden olmak üzere on farklı fırın beşer kez ziyaret edilerek toplamda 50 adet fırın et yemeği numunesi birer hafta aralıklarla Ocak ve Şubat 2020 tarihlerini kapsayan zaman dilimlerinde toplandı ve soğuk zincirde (+4°C) laboratuvara getirildi.

2.2. Deneysel Fırın Et Yemeği Örneklerinin Hazırlanışı

Ağır metal (Al, Cr, Fe, Cu, Zn) geçişini deneysel olarak kıyaslamak amacı ile yerel reçeteye göre hazırlanan, et yemeği; 150, 180, 200 derecelerde pastör fırınında 30 dakika boyunca cam, porselen ve alüminyum folyo kaplarında pişirilerek hazırlandı.

2.3. Numune Çözünürleştirme İşlemi

Çalışmada toplanan et yemeği ve deneysel olarak hazırlanan et yemeği örnekleri ön işlem olarak Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM)'inde çözünürleştirme işlemine tabi tutuldu.

Sıvı kısmından birer mililitre alınan et yemeği örneği üzerine 2mL HNO₃ ve 3 mL H₂O₂ eklenerek yaş yakma yöntemine göre sıcaklık ve basınç programının uygulanmasıyla mikrodalga (Berghoff, Belçika) kapalı sisteminde çözünürleştirildi. Elde edilen berrak çözeltiler alınarak saf su ile 25 mL' ye seyreltilti.

2.4.Ağır Metallerin ICP-MS ile Tayini

Çözünürleştirilen fırın et yemekleri alüminyum, krom, demir, bakır ve çinko ağır metalleri yönünden analiz edilmeden önce İndüktif Eşleşmiş Plazma - Kütle Spektrometresi (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer, ICP-MS, Agilent 7500a, ABD) cihazına tanıtmak amacıyla ön işlemlerden geçirildi. Analizi yapılacak elementleri içeren bilinen derişimlerde (0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ppb) standartlar hazırlandı. Cihazın ölçüm parametreleri, Ataro ve ark. (21)'dan modifiye edilen yöntemlerle uygulanarak kontrol edildi. Performans ayarının sağlanması için cihazdan 200 ppb lityum (Li), ytterbiyum (Yb) ve sezyum (Cs) içeren tune çözeltisi geçirildi.

Cihazın performansı tune çözeltisi ile kontrol edildikten sonra, analizi yapılacak elementleri içeren standartlar belirlenerek cihaza tanıtılmış ve çözünürleştirilip seyreltilen numunelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında, araştırılan elementlerin dışında, tüm periyodik tabloyu temsilen 200 ppb konsantrasyonunda berilyum (Be), skandiyum (Sc), rodyum (Rh) ve bizmut (Bi) içeren iç standart çözeltisi cihaza verilerek, çözünmüş örnekler ICP-MS ile analiz edilmiştir (21). Tüm analizler, tekrarlı ve iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir.

2.5. İstatistiksel Analiz

Örneklerde ağır metal düzeyleri Anova testi ile ortalamaların arasındaki farklar bakımından incelenmiştir. Farklılıklar Duncan testi ile kontrol edilmiştir. İstatistiksel analizlerde SPSS 24.0 programı kullanılmıştır.

3. Bulgular

Alüminyum, 180°C cam materyalde pişirilen örnekte en düşük seviyede (0.456±0.010 ppm) tespit edilirken, 200°C'de alüminyum folyo kaplarda pişirilen örneğe ait değerler (2.924± 0.107 ppm) en yüksek seviye olarak belirlendi.

Porselen, cam ve alüminyum folyo kaplarda deneysel olarak 150, 180, 200°C ısı işlem uygulanan fırın et yemeklerine ait alüminyum miktarları belirtilen ortalama değerler Tablo1'de verildi. Elde edilen sonuçlara göre, analiz edilen örnekler arasında en düşük alüminyum seviyesi 180°C'de cam kapta pişirilen örnekte (0.456±0.010 ppm) belirlenirken, en yüksek seviye 200°C'de alüminyum folyo kaplarda pişirilen örneklerde (2.924±0.107 ppm) tespit edilmiştir. Analiz verilerine uygulanan iki yönlü Anova test ile sıcaklık ve ambalaj faktörlerinin, yemeğe alüminyum geçişi üzerinde etkili olduğu istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p<0.05). Duncan testine göre, alüminyum geçişinin en yüksek 200°C'de, takiben 180 ve 150°C'ler uygulanan et yemeklerinde olduğu gözlemlendi. Ambalaj materyalleri arasına yapılan karşılaştırmaya göre, alüminyum geçişin en yüksek düzeyde alüminyum folyo kaplarda pişirilen et yemeklerinde olduğu; porselen ve cam kapların alüminyum migrasyonu bakımından anlamlı düzeyde etkilerinin bulunmadığı gözlemlendi.

Kromun alüminyum folyo materyalde pişirilen et yemeğine geçişi, en yüksek (0.374±0.007 ppm) 180°C'de tespit edilirken, en düşük düzeyi (0.058 ±0.000 ppm) ise 200°C'de belirlendi (Tablo 1).

Veriler, sıcaklık ve ambalaj faktörlerinin krom geçişi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterdi (p<0.05). Duncan testi sonuçlarına göre, krom geçişinin, en yüksek 150 ve 180°C'lerde olduğu belirlendi. Ambalaj materyalleri açısından değerlendirildiğinde, cam kaplarda pişirilen et yemeklerinde krom geçişi en yüksek seviyede ölçüldü; ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı (p>0.05).

Demir migrasyonuna ilişkin analizler sonucunda, en düşük demir seviyesi (0.910±0.086 ppm) 150°C'de porselen kaplarda pişirilen örneklerde, en yüksek seviye ise (2.942±0.008 ppm) 200°C'de alüminyum folyo kaplarda pişirilen örneklerde tespit edildi (Tablo 1). Farklı sıcaklıkların et yemeğine demir geçişi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu belirlendi (p<0.05). Duncan testi sonuçlarına göre, demir geçişi en yüksek 200°C'de gerçekleşirken, 150 ve 180°C'de pişirilen örneklerde daha düşük seviyelerde

gözlemlendi. Ambalaj materyalleri açısından yapılan karşılaştırmada, demir geçişinin en yüksek alüminyum folyo kaplarda gerçekleştiği, ancak porselen ve cam kaplar arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edildi ($p>0.05$).

Tablo 1. Farklı ambalaj ve sıcaklıklarda pişirilen fırın et yemeklerinde ait ağır metal konsantrasyonları (ppm).

Ağır Metal	Ambalaj	Sıcaklık (°C)		
		150	180	200
Alüminyum	Porselen	0.661±0.047	0.787±0.018	1.210±0.020
	Cam	0.822±0.025	0.456±0.010	1.127±0.004
	Al	1.407±0.052	2.798±0.054	2.924±0.107
	Folyo			
Krom	Porselen	0.281±0.018	0.370±0.021	0.083±0.000
	Cam	0.333±0.021	0.331±0.002	0.335±0.008
	Al	0.353±0.017	0.374±0.007	0.058
	Folyo			±0.000
Demir	Porselen	0.910±0.086	1.708±0.054	1.900±0.006
	Cam	1.273±0.067	1.193±0.033	1.265±0.065
	Al	1.612±0.071	1.299±0.043	2.942±0.008
	Folyo			
Bakır	Porselen	0.200±0.009	0.239±0.003	0.355±0.002
	Cam	0.170±0.009	0.347±0.019	0.308±0.013
	Al	0.191±0.007	0.309±0.007	0.258±0.004
	Folyo			
Çinko	Porselen	0.323±0.063	0.241±0.021	0.243±0.001
	Cam	0.280±0.040	0.276±0.079	0.209±0.013
	Al	0.319±0.139	0.315±0.030	0.345±0.055
	Folyo			

Bakır miktarı, 150°C’de cam materyalde pişirilen et yemeğinde en düşük seviyede (0.170±0.009 ppm) belirlenirken, 200°C’de porselen kaplarda pişirilen örneklerde en yüksek seviyeye (0.355±0.002 ppm) ulaştığı belirlendi. Deney kapsamında porselen, cam ve alüminyum folyo kaplar kullanılarak 150, 180 ve 200°C sıcaklıklarında pişirilen fırın et yemeklerine ait bakır miktarlarına ait ortalama değerler Tablo 1’te sunulmuştur. İstatistiksel analizler sonucunda, ambalaj faktörünün bakır geçişi üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı ($p>0.05$), ancak sıcaklık faktörünün bakır geçişini etkilediği ($p<0.05$)

belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre, bakır geçişi 180 ve 200°C’de benzer seviyede olup, 150°C’de daha düşük tespit edilmiştir.

Tablo 1’te belirtildiği gibi, çinko miktarı 200°C’de cam kapta pişirilen et yemeğinde en düşük seviyede (0.209±0.013 ppm) tespit edilirken, aynı sıcaklıkta alüminyum folyo kaplarda pişirilen numunede en yüksek seviyede (0.345±0.055 ppm) belirlenmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda, sıcaklık faktörünün çinko geçişi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ($p>0.05$), ancak farklı ambalaj malzemelerinin çinko geçişinde belirgin bir farklılık yarattığı belirlendi ($p<0.05$). Duncan testine göre, çinko geçişinin en yüksek alüminyum folyo kaplarda gerçekleştiği, cam ve porselen kaplar arasında ise anlamlı bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Çalışmamızda incelenen 41 adet fırın et yemeği örneğine ait ağır metal geçişleri (Al, Cr, Fe, Cu, Zn) arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($p<0.05$).

İncelenen 2, 4, 33 ve 39 numaralı örnekler dışında kalan tüm örneklerde, laboratuvar ortamında alüminyum kapta hazırlanan et yemeğinde tespit edilen alüminyum seviyesinin (2.924 ppm) üzerinde değerler belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında analiz edilen 41 fırın et yemeği örneğine ait ağır metal düzeylerinin ortalama değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. Duncan çoklu aralık testi sonuçlarına göre, alüminyum seviyeleri 27 farklı grupta sınıflandırılmıştır. En yüksek alüminyum geçişi, 15 numaralı örnekte (11.434±0.042 ppm) tespit edilirken, en düşük seviye 4 numaralı örnekte (1.557±0.112 ppm) gözlemlenmiştir. Krom seviyeleri 24 grupta toplanmıştır. En yüksek krom geçişi 39 numaralı örnekte (0.883±0.019 ppm) olarak saptanırken en düşük seviye 1 numaralı örnekte (0.041±0.002 ppm) gözlemlenmiştir. Ayrıca dokuz örneğin (9,11,12,13,19,22,23,25,29) krom geçiş seviyelerinin aynı düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Fırın et yemeklerinin demir seviyeleri 19 grupta toplanmıştır. En yüksek demir seviyesi 28 numaralı örnekte (9.230±0.167ppm) olarak saptanırken en düşük seviyenin 34 numaralı örnekte (0.647±0.420ppm) olduğu belirlenmiştir. Altı örnekte (8, 17, 19, 26, 30 ve 38) demir geçiş seviyelerinin aynı düzeyde olduğu görülmüştür. Bakır seviyeleri 22 grupta toplanmıştır. En yüksek bakır geçişi, 28 numaralı örnekte 0.792±0.032 olarak belirlenirken, en düşük seviye ise 5 numaralı örnekte 0.204±0.260 olarak tespit edilmiştir. On bir örneğin (1, 7, 20, 22, 29, 33, 34, 36, 37, 39, 40) bakır içeriğinin ise aynı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Çinko seviyeleri 15 grupta toplanmış olup, en yüksek geçiş 41 numaralı örnekte 0.753±0.009, en düşük seviye ise bir numaralı örnekte 0.185±0.004 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Fırın et yemeklerinde ağır metal düzeyleri (ppm).

Numune	Ağır Metal				
	Al	Cr	Fe	Cu	Zn
1	3.700±0.014	0.041±0.002	1.649±0.013	0.346±0.005	0.185±0.004
2	2.013±0.033	0.074±0.001	3.040±0.048	0.391±0.005	0.359±0.008
3	4.901±0.154	0.095±0.001	7.282±0.085	0.613±0.014	0.327±0.013
4	1.557±0.112	0.076±0.001	2.866±0.051	0.528±0.018	0.399±0.019
5	3.211±0.318	0.248±0.042	3.498±0.399	0.204±0.260	0.306±0.031
6	4.890±0.277	0.392±0.020	4.650±0.263	0.749±0.029	0.393±0.018
7	3.370±0.272	0.437±0.039	3.607±0.259	0.278±0.069	0.229±0.066
8	6.412±0.467	0.550±0.017	4.060±0.184	0.596±0.018	0.202±0.250
9	7.493±0.188	0.328±0.006	7.154±0.091	0.582±0.028	0.278±0.000
10	5.494±0.156	0.359±0.014	6.723±0.117	0.787±0.273	0.397±0.004
11	10.263±0.245	0.325±0.002	5.588±0.088	0.460±0.070	0.357±0.013
12	6.179±0.185	0.325±0.001	4.627±0.083	0.705±0.007	0.338±0.020
13	5.917±0.035	0.327±0.003	4.822±0.065	0.688±0.017	0.322±0.014
14	3.699±0.047	0.300±0.003	2.721±0.055	0.375±0.005	0.254±0.011
15	11.434±0.042	0.312±0.005	2.927±0.517	0.620±0.003	0.361±0.024
16	9.102±0.308	0.305±0.015	1.709±0.143	0.419±0.023	0.288±0.006
17	8.441±0.083	0.297±0.001	4.243±0.041	0.502±0.006	0.344±0.013
18	7.250±0.133	0.307±0.004	4.587±0.098	0.449±0.010	0.273±0.037
19	10.103±0.123	0.329±0.000	4.284±0.068	0.541±0.005	0.288±0.125
20	9.604±0.025	0.305±0.008	3.654±0.079	0.290±0.008	0.245±0.004
21	8.547±0.084	0.293±0.009	4.746±0.888	0.567±0.002	0.301±0.013
22	5.117±0.086	0.323±0.009	5.647±0.154	0.301±0.010	0.298±0.017
23	6.935±0.064	0.334±0.001	5.276±0.082	0.471±0.005	0.400±0.007
24	4.960±0.139	0.283±0.012	5.659±0.157	0.601±0.020	0.504±0.054
25	7.357±0.081	0.322±0.004	5.051±0.013	0.557±0.004	0.308±0.007
26	3.658±0.040	0.531±0.014	4.306±0.068	0.521±0.003	0.361±0.007
27	11.072±0.133	0.510±0.008	4.985±0.154	0.481±0.016	0.573±0.004
28	7.132±0.158	0.361±0.018	9.230±0.167	0.792±0.032	0.522±0.031
29	5.298±0.057	0.336±0.010	6.853±0.115	0.318±0.006	0.492±0.014
30	8.674±0.099	0.276±0.022	4.359±0.301	0.219±0.013	0.277±0.070
31	4.798±0.124	0.603±0.039	2.441±0.943	0.402±0.239	0.628±0.048
32	5.410±0.478	0.596±0.000	2.132±0.387	0.414±0.041	0.478±0.026
33	2.889±0.231	0.578±0.026	1.389±0.675	0.279±0.112	0.329±0.018
34	5.289±0.191	0.560±0.007	0.647±0.420	0.321±0.166	0.362±0.017
35	5.958±0.102	0.573±0.005	1.799±0.035	0.234±0.002	0.599±0.007
36	4.256±0.082	0.603±0.000	2.252±0.905	0.332±0.069	0.514±0.113
37	3.836±0.481	0.613±0.014	2.780±0.184	0.339±0.057	0.327±0.028
38	5.668±0.291	0.647±0.025	4.059±0.199	0.417±0.028	0.392±0.029
39	2.703±0.098	0.883±0.019	1.545±0.078	0.263±0.006	0.602±0.013
40	6.238±0.218	0.592±0.005	2.120±0.071	0.303±0.009	0.492±0.013
41	4.215±0.024	0.594±0.012	2.403±0.018	0.384±0.001	0.753±0.009
X̄	5.97	0.394	3.985	0.455	0.382

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 200°C’de alüminyum folyo kaplarda pişirilen et yemeği numunesine ait migrasyon değeri (2.924± 0.107 ppm) en yüksek seviyede tespit edilmiştir. Sıcaklık faktörünün, alüminyumun gıdaya geçişi üzerinde etkili

olduğu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Çalışmamıza benzer şekilde Bassoioni ve ark. (22), farklı bileşimlerde hazırladıkları alüminyum folyo ile kaplı et yemeği örneklerinde, artan ısı işlemi ile alüminyum migrasyonunun da arttığını tespit etmişlerdir. İnan-Eroğlu ve

ark. (23)'ın, fırın tepsisinde 150°C'de 40 dakika ve 200°C'de 20 dakika alüminyum folyo kullanılarak pişirilen balıklarda alüminyum seviyesinin tespiti üzerine yaptıkları çalışmada, sıcaklık arttıkça alüminyum sızıntısının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Busari ve Akpambang (24), alüminyum folyoda farklı süre ve sıcaklıkta (140 °C-200 °C) pişirilen sığır ve balık etlerinde alüminyum migrasyon seviyesinin en yüksek 200°C'de pişirilenlerde olduğunu ortaya koymuştur. Razeka ve ark (25), alüminyum pişirme kaplarında pişirilen baklada alüminyum düzeyinin 22.29 mg/kg'dan 43.2 mg/kg'a yükseldiği ve diğer pişirme kapları için pişirildikten sonra alüminyum metal için geçiş olmadığını tespit etmiştir. Çalışma bulgularımızdan düşük olarak, Filippini ve ark (26), et ve et ürünlerinde alüminyum konsantrasyonunu 584.59 µg/kg (0.58459 ppm) olarak belirlemişlerdir. Asit katkısının ve baharat ilavesinin ise gıdaya alüminyum geçişini arttırdığı daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (22, 27).

Bu çalışmada, krom ve demirin gıdaya geçişinin en yüksek 150 ve 180°C'de olduğu, bakır için ise en yüksek geçişin 180 ve 200°C'de gerçekleştiği belirlenmiştir. Öte yandan, sıcaklık faktörünün çinko geçişi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (p>0,05). Fırın et yemeği örneklerinde krom geçiş seviyeleri FDA ve SCF limitlerinin altında kalırken, 37 örnekte (%90,24) CAC'nun belirlediği izin verilen değeri (>0,2 mg/kg) aştığı tespit edilmiştir. Ancak, tüm örneklerde demir geçişinin CAC'nun belirlediği 30-150 mg/kg aralığındaki limitlerin altında olduğu belirlenmiştir (13). Purchas ve ark. (28), pişirme süresi ve sıcaklık farklılığının demir migrasyonu açısından önemli olmadığını belirtmişlerdir.

Tüm örneklerle ait bakır geçiş seviyeleri, CAC (40 mg/kg)'nın limitlerinin altında olduğu belirlenmiştir (13). Çalışmamızın bulgularıyla (0.455 ppm) benzer şekilde, Bamuwamy ve ark. (29)'da sığır etine ait fırınlanmış gıda örneklerindeki bakır düzeyini ortalama 0.37 mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Benzer şekilde bu çalışmada, gıda örneklerindeki çinko düzeyleri de (0.382 ppm) CAC limitinin (60 mg/kg), altında bulunmuştur. Djinovic-Stojanovic ve ark. (30), domuz eti türevli kuru fermente sosis, tütülenmiş et ürünleri, kurutulmuş et ürünleri ve pişirilmiş sosislerde çinko seviyelerini sırasıyla 32.7 mg/kg, 16.7 mg/kg, 27.5 mg/kg ve 14.3 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Yine, Joyce ve ark. (31) gıda da tespit edilen çinko seviyelerinin çalışmamızdan yüksek (ortalama 7.40 ppm) düzeylerde olduğunu bildirmişlerdir. Çinko seviyesi, etin orijini, işlenmesi ve pişirme metotları gibi kriterlerden etkilenmektedir.

Çalışmamızın sonuçlarına benzer şekilde, Menezes ve ark. (32) da çinko migrasyonu ile ısıtma işlemi arasında anlamlı bir ilişki bulamamıştır. Buna karşın, Demont ve ark. (20) sıcaklık arttıkça element salınımının da arttığını belirtmiş, Rathore ve

Khargarot (33) ise ağır metallerin (kadmium, krom, kobalt, bakır, demir, kurşun, manganez, cıva, nikel ve çinko) akut toksisitesinin sıcaklık artışıyla yükseldiğini bildirmiştir. Bu durum, farklı çalışmalarda sıcaklığın metal geçişi üzerindeki etkisine dair değişik sonuçlar olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda ambalaj materyallerinin, alüminyum geçişi üzerinde etkili olduğu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Ambalaj materyalleri arasına yapılan karşılaştırmaya göre, alüminyum geçişi en yüksek alüminyum folyo kaplarda pişirilen et yemeklerine ait olup, porselen ve cam kapların etki düzeyleri arasında bir fark yoktur.

Dordevic ve ark. (34), 11 farklı gıda ürünüde yaptıkları çalışmada, en yüksek alüminyum seviyelerini marine edilmiş *Salmo salar* (41.86 ± 0.56 mg/kg), *Scomber scombrus* (49.34 ± 0.44 mg/kg) ve ördek göğsü (117.26 ± 1.37 mg/kg) örneklerinde tespit etmiştir. Bu değerler, çalışmamızda elde edilen bulgulardan oldukça yüksek olup, alüminyum folyoda pişirmenin gıdalara alüminyum geçişine neden olduğunu göstermektedir. Gıdaların alüminyum folyoya sarılarak pişirilmesi sırasında, gıdaya alüminyum geçişinin göz ardı edilemeyecek düzeyde olması ve bu gıdaların pişirme sırasında ambalajlanmasında farklı materyallerin kullanılması gerektiği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, krom geçişi en yüksek cam kaplarda pişirilen et yemeklerine ait olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, demir ve çinko geçişi ise alüminyum folyo kaplarda pişirilen et yemeklerinde belirlenmiştir. Ancak ambalaj materyalinin, bakır migrasyonuna olan etkisi istatistiksel olarak anlamsız olduğu gözlemlenmiştir (p>0.05). Kamerud ve ark. (35), paslanmaz çelik tencerede, 2-20 saatlik pişirme süreleri, 10 ardışık pişirme döngüsü ile domates sosunda nikel ve krom metallerinin paslanmaz çeliğin derecesine bağlı olarak sırasıyla 26 ve 7 kat arttığını, pişirme süresinin uzamasıyla bu katsayının sırasıyla 34 ve 35 kat arttığını rapor etmişlerdir. Çalışmamızda, krom geçişinin en çok cam kaplarda gözlenmesinin sebebi, krom bileşiklerinin seramik ve cam ürünlerinin imalatında kullanılmasından ötürü olabileceği düşünülmektedir. Buna ilaveten, Mania ve ark. (36)'ları da seramik ve cam kapların üretim sürecinde çinko ve bakırda kullanılan bileşikler arasında olabileceğini belirtmiştir. Ajmal ve ark. (37), Hindistan'da üretilen seramik içme kaplarından nikel ve krom salınımını inceleyerek, krom konsantrasyonlarını çayda 62-119 µg/L, portakal suyunda ise 66-945 µg/L olarak tespit etmiştir.

Yiyeceklerin hazırlanmasında ve pişirilmesinde seramik ve cam kaplar, yiyecek saklamanın yanı sıra kullanılabilir. Gerçek migrasyonu ölçmek için bu, seramik ve cam eşyaların mutfakta kullanımını yansıtan uygun koşulların seçilmesini gerektirmektedir. Bu koşullar, değişken sıcaklık ve temas süresi ve belirli bir gıda maddesiyle teması simüle edebilen uygun sıvıların

kullanılması yoluyla mümkün olup üzerine daha çok çalışılması gerekmektedir.

Kodeks Alimentarius Komisyonu, gıdalarda izin verilen demir seviyesini 30-150 mg/kg olarak belirlemiştir. Çalışmamızda incelenen tüm fırın et yemeği örneklerinde, demir geçiş seviyesi (3.985 ppm) bu limitlerin altında bulunmuştur.

WHO ve CAC gıdalarda bakır için izin verdiği sınır değer, 40 mg/kg olarak belirlenmişken, insanlar için öldürücü dozun 100 (mg/kg vücut ağırlığı) olduğunu bildirmişlerdir. CAC, Gıdalarda izin verilen maksimum Cu seviyesini 40 mg/kg olarak belirtmiştir (13). Bu tez çalışmasında, fırın et yemeklerine ait tüm örneklerde bakır geçiş seviyeleri (0.455 ppm) yukarıda belirtilen limitlerinin altında olduğu saptanmıştır.

EFSA, çinko için tolere edilebilir üst alım seviyesini 40 mg/dL olarak belirlerken (38), CAC gıdalarda izin verilen maksimum seviyeyi 60 mg/kg olarak belirtmiştir (13). Çalışmamızda analiz edilen fırın et yemeği örneklerinde belirlenen çinko seviyeleri (0.382 ppm) bu limitlerin oldukça altında bulunmuştur. Alüminyum düzeyleri (5.97 ppm) ise JECFA'nın belirlediği alınabilir seviyelerin (PTWI: 2,0 mg/kg vücut ağırlığı; 20 mg/kg günlük, 70 kg birey) altında bulunmuştur. Bu sonuçlar, fırın et yemeklerinin alüminyum açısından güvenli seviyelerde olduğunu göstermektedir

Alüminyum tepsilerde pişirilen et yemeklerindeki alüminyum geçiş seviyeleri, JECFA'nın belirlediği alınabilir limitlerin (9) altında olsa da, alüminyumun yerkabuğunda en bol bulunan elementlerden biri olduğu ve nüfusun birçok kaynaktan alüminyuma maruz kaldığı göz önünde bulundurulmalıdır. Alüminyum bileşikleri oral alımdan sonra genellikle düşük oranda emilir (maksimum yaklaşık %1). Emilen alüminyum, ilk aşamada yaklaşık 1 günlük yarılanma ömrüyle esas olarak idrar yoluyla atılır (9). Ancak uzun süreli alımlarda yarılanma ömrü 50 yıla kadar çıkabilir, bu da vücutta alüminyum birikiminin mümkün olduğunu göstermektedir (9, 39).

Sonuç olarak, laboratuvar ortamında hazırlanan alüminyum folyoda 200 °C'de pişirilen et yemeğinin; 2.924 mg/kg düzeyinde alüminyum içeriğine sahip olduğu, ortalama bir porsiyonun 250 g olduğunda hareketle, ortalama 70 kg ağırlığındaki bir kişinin 0.731 mg besin kaynaklı alüminyuma maruz kalması söz konusu olacaktır. Alüminyum için besin kaynaklı kabul üst limitin 140 mg olduğu göz önüne alınırsa, düzenli olarak tüketilmesi ile sınır değerinde üzerinde alüminyum alınması söz konusu olurken, halk sağlığı açısından bir tehdit söz konusu olacaktır. Bu bulgular, alüminyum içerikli mutfak gereçlerinin pişirme sırasında ısıya maruz kalmasının, alüminyum migrasyonuna neden olacağını açık bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu sebepten dolayı, alüminyum içeren ambalaj malzemelerinin ısıl işlem gerektirmeyen uygulamalarda kullanılmasını öneriyoruz.

Ayrıca pişirme kaplarından migrasyona sebep olan korozyonu azaltmak ve direnç kazandırmak için malzemelerin kaplama işlemleriyle geliştirilmesi, güçlendirilmesi, aile tipi işletmeler tarafından kullanılan malzeme girdilerinin düzenlenmesi ve alternatif stratejiler geliştirilerek bu malzemelerin ekonomik fizibilitesinin belirlenmesi, kültürel kabulü ve pratik erişiminin daha iyi değerlendirilmesi sağlanarak farklı pazarlarda çeşitli yaklaşımların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Ungureanu EL, Mustatea G. Toxicity of heavy metals. Saleh HM, Hassan AI eds. In: Environmental Impact and Remediation of Heavy Metals. Rijeka, IntechOpen, 2022.
2. Şahin B. Çiğ Süt Örneklerinde Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Erzurum 2021.
3. Yadav M, George N, Dwibedi V. Emergence of toxic trace elements in plant environments: Insights into potential of silica nanoparticles for mitigation of metal toxicity in plants. Environmental Pollution, 2023; 122112.
4. Alasfar RH, Isaifan RJ. Aluminum environmental pollution: the silent killer. Environmental Science and Pollution Research, 2021; 28(33): 44587-44597.
5. Eroğlu Eİ, Güleç A, Ayaz A. Farklı Alüminyum Folyolarda Fırınlanan Et Türlerinin Tüketimi: Alüminyum Maruziyet Riskinin Değerlendirilmesi. Beslenme ve Diyet Dergisi, 2017; 45(2): 137-144.
6. Üçüncü M. Gıda Ambalajlama Teknolojisi. İzmir: Ambalaj Sanayicileri Derneği İktisadi İşletmesi, 2007; p. 895.
7. Martinez CS, Escobar AG, Uranga-Ocio JA, Peçanha FM, Vassallo DV, Exley C, Wiggers GA. Aluminum exposure for 60 days at human dietary levels impairs spermatogenesis and sperm quality in rats. Reproductive Toxicology, 2017; 73: 128-141.
8. FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: thirty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva, WHO technical report series, 1989.
9. FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Rome, WHO technical report series, 2011.
10. Rana MN, Tangpong J, Rahman MM. Toxicodynamics of lead, cadmium, mercury and arsenic-induced kidney toxicity and treatment strategy: a mini review. Toxicology reports 2018; 5: 704-713.
11. Gümüş NE, Gökbel F, Aydın Z. Karaman İlinde Tüketilen Balıklarda Ağır Metal Birikimi ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri. Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries 2024; 7(2): 127-137.
12. SCF (Scientific Committee on Food). Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Trivalent Chromium. European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General, 2003.
13. Codex Alimentarius Commission (CAC). Doc. no. CX/FAC 96/17 Codex general standard for contaminants and toxins in foods, Joint FAO/WHO food standards programme, Technical Report Series 776, 1995.
14. ATSDR, Draft Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2020

15. ATSDR, Draft toxicological profile for cadmium. Atlanta, GA, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008.
16. King SW, Savory J, Wills MR, Gitelman HJ. The clinical biochemistry of aluminum. CRC Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 1981; 14(1): 1-20.
17. WHO (World Health Organization). Safety evaluation of certain food additives and contaminants, WHO Food additives Series 46. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2001.
18. Verissimo MI, Oliveira JA, Gomes MTS. Leaching of aluminium from cooking pans and food containers. Sens Actuators B Chem, 2006; 118(1-2): 192-197.
19. Pennington JA, Aluminium content of foods and diets, Food Additives & Contaminants, 1988; 5(2): 161-232.
24. Busari YO, Akpambang VOE. Assessment of the levels of Aluminium in Fish and Beef Cooked in Aluminium Foil. Journal of ChemResearch Volume 2019; 1(2).
25. Abdel Razeka TM, Kishk YFM, Khalil NSA, Shehtaa AM. Migration Of Iron And Aluminum From Different Cookwares To Faba Bean After Cooking Cycles And Storage Refrigerated. Journal Of Environmental Science 2018; 42(1): 45-58.
26. Filippini T, Tancredi S, Malagoli C, Cilloni S, Malavolti M, Violi F, Vinceti M. Aluminum and tin: Food contamination and dietary intake in an Italian population. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 2019; 52: 293-301.
27. Osman NA, Zaki A, Agamy NF, Shehata GM. Aluminum in food: Dietary exposure among adolescent residents in the food catering establishments in Alexandria, Egypt. Global Journal of Pharmaceutical Education and Research 2017; 6(1-2).
28. Purchas RW, Simcock DC, Knight TW, Wilkinson BHP. Variation in the form of iron in beef and lamb meat and losses of iron during cooking and storage. International journal of food science & technology 2003; 38(7): 827-837.
29. Bamuwanye M, Ogwok P, Tumuhairwe V. Cancer and non-cancer risks associated with heavy metal exposures from street foods: evaluation of roasted meats in an urban setting. Journal of Environment Pollution and Human Health 2015; 3(2): 24-30.
30. DjinoVIC-Stojanovic JM, Nikolic DM, Vranic DV, Babic JA, Milijasevic MP, Pezo LL, Jankovic SD. Zinc and magnesium in different types of meat and meat products from the Serbian market. Journal of Food Composition and Analysis 2017; 59: 50-54.
31. Joyce K, Emikpe BO, Asare DA, Asenso TN, Yeboah R, Jarikre TA, Jagun JA. Effects of different cooking methods on heavy metals level in fresh and smoked game meat. Journal of Food Processing & Technology 2016; 7(9): 9-11.
20. Demont M, Boutakhrit K, Fekete V, Bolle F, Van Loco J. Migration of 18 trace elements from ceramic food contact material: Influence of pigment, pH, nature of acid and temperature. Food and Chemical Toxicology, 2012; 50(3-4): 734-743.
21. Ataro A, McCrindle RI, Botha BM, McCrindle CME, Ndirbewu PP. Quantification of trace elements in raw cow's milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Food chemistry 2008; 111(1): 243-248.
22. Bassioni G, Mohammed FS, Al Zubaidy E, Kobrsi I. Risk assessment of using aluminum foil in food preparation. Int. J. Electrochem. Sci, 2012; 7(5): 4498-4509.
23. Inan-Eroglu E, Gulec A, Ayaz A. Effects of different pH, temperature and foils on aluminum leaching from baked fish by ICP-MS. Czech Journal of Food Sciences 2019; 37(3): 165-172.
32. Menezes EA, Oliveira AF, França CJ, Souza GB, Nogueira ARA. Bioaccessibility of Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, and crude protein in beef, pork and chicken after thermal processing. Food Chemistry 2018; 240: 75-83.
33. Rathore RS, Khangarot BS. Effects of temperature on the sensitivity of sludge worm Tubifex tubifex Müller to selected heavy metals. Ecotoxicology and environmental safety 2002; 53(1): 27-36.
34. Dordevic D, Buchtova H, Jancikova S, Macharackova B, Jarosova M, Vitez T, Kushkevych I. Aluminum contamination of food during culinary preparation: Case study with aluminum foil and consumers' preferences. Food science & nutrition 2019; 7(10): 3349-3360.
35. Kamerud KL, Hobbie KA, Anderson KA. Stainless steel leaches nickel and chromium into foods during cooking. Journal of agricultural and food chemistry 2013; 61(39): 9495-9501.
36. Mania M, Szynal T, Rebeniak M, Postupolski J. Exposure assessment to lead, cadmium, zinc and copper released from ceramic and glass wares intended to come into contact with food. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny 2018; 69(4).
37. Ajmal M, Khan A, Nomani AA, Ahmed S. Heavy metals: leaching from glazed surfaces of tea mugs. Sci. Total Environ 1997; 207: 49-54.
38. EFSA. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. European Food Safety Authority. EFSA J, 2006; 10, 1-45.
39. EFSA. Safety of aluminium from dietary intake. Scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and food contact materials. 2008. In: EFSA J 754:1-4.
<http://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/754.pdf>. Accessed 23 Jan 2018).