



## مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: [www.fsct.modares.ac.ir](http://www.fsct.modares.ac.ir)

### مقاله علمی-پژوهشی

#### بررسی رهایش فلزات سنگین از سیخ‌های کبابی و ظروف یک‌بارمصرف آلومینیومی به مواد غذایی

حجت‌اله مریدیان پیردوستی<sup>۱</sup>، سپیده عباس‌زاده<sup>۲</sup>، مهشید بهرامی‌نژاد<sup>۳</sup>، میلاد روحی لنگرودی<sup>۴</sup>، محمد نجاتیان<sup>۵\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت و ایمنی مواد غذایی، کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه تغذیه و بهداشت مواد غذایی، دانشکده بهداشت،

دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌اله، تهران، ایران

۲- دکتری تخصصی (Ph.D) بهداشت مواد غذایی، دانشیار گروه تغذیه و بهداشت مواد غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌اله،

تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری تخصصی (Ph.D) بهداشت و ایمنی مواد غذایی، کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و

صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۴- دکتری تخصصی (Ph.D) علوم و صنایع غذایی، دانشیار علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات روغن‌ها و چربی‌ها، پژوهشکده فناوری سلامت،

دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۵- (نویسنده مسئول) دکتری تخصصی (Ph.D) علوم و صنایع غذایی، استادیار گروه تغذیه و بهداشت مواد غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم

پزشکی بقیه‌اله، تهران، ایران

#### اطلاعات مقاله

#### چکیده

#### تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

#### کلمات کلیدی:

رهایش فلزات،

ظروف آشپزی،

ایمنی مواد غذایی،

زوج پلاسمای القائی

DOI: 10.48311/fsct.2025.83935.0.

\* مسئول مکاتبات:

mnejaatian@gmail.com

دریافت فلزات سمی از طریق ظروف پخت و پز غذا باعث نگرانی روزافزون متخصصان سلامت و بهداشت شده است. چنین مصرفی خطر جدی برای سلامت انسان دارد. در مطالعه حاضر، مهاجرت فلزات کادمیوم، سرب، قلع، آهن، آلومینیوم و کروم از سیخ‌های کبابی استیل و آلومینیومی و همچنین ظرف یکبار مصرف آلومینیومی به مواد غذایی شامل گوجه، کباب کوبیده، کباب جوجه و برنج بررسی شد. بر اساس نتایج، در مورد گوجه‌فرنگی طی فرآیند کباب کردن هم مهاجرت و هم خروج فلزات به همراه آب صورت گرفت. طوریکه مهاجرت به فلزاتی مرتبط بود که به طور طبیعی در گوجه خام وجود نداشتند (به عنوان مثال قلع که غلظت آن به ۱۸ ppm رسید). به طور کلی، مهاجرت آلومینیوم از سیخ آلومینیومی و آهن از سیخ استیل به مواد غذایی در مقایسه با سایر عناصر بارزتر بود که به دلیل ایجاد شیب غلظتی بیشتر این یون‌های فلزی در دو نوع سیخ می‌باشد. کمترین سطح مهاجرت به کباب جوجه اتفاق افتاد. در همین راستا، هیچ مسطح مهاجرتی از فلزات سرب، کادمیوم و قلع به جوجه از هر دو نوع سیخ مشاهده نشد. به نظر می‌رسد pH بالاتر گوشت مرغ با این نتیجه در ارتباط باشد. در مورد ظرف پوش‌برگ آلومینیومی مهاجرت تنها دو فلز Al و Fe از پوش‌برگ به برنج به طور معنی‌داری انجام گرفت. طوریکه مقدار این فلزات به ترتیب ۲ و ۲/۸ برابر افزایش یافت. در همه مواد غذایی بررسی شده مقدار THQ و HI کمتر از ۱ بودند (به جز قلع در گوجه کبابی) که نشان می‌دهد مهاجرت فلزات سنگین به مواد غذایی از ظروف مورد بررسی نگران‌کننده نیست. با این وجود، مطالعه حاضر بر ضرورت ایجاد سیاست‌های مربوط به مواد و نوع ظروف طبخ مواد غذایی مورد استفاده در آشپزخانه‌ها برای محافظت از مصرف‌کنندگان از طریق به حداقل رساندن خطرات بهداشتی مرتبط با مهاجرت عناصر تأکید می‌کند.

## ۱- مقدمه

افزایش تصاعدی استفاده از فلزات سنگین در فرآیندهای مختلف صنعتی به منظور تولید وسایل خانگی که به طور منظم مورد استفاده قرار می گیرند، نگرانی بزرگی در ارتباط با مواجهه احتمالی انسان با فلزات بالقوه سمی ایجاد کرده است. مشاهده شده است که مواجهه انسان با فلزات سنگین به طور مداوم از طریق مصرف رژیم غذایی و آب آلوده و در نتیجه آلودگی ناشی از منابع پیش بینی نشده مانند ظروف نگهداری مواد غذایی و ظروف غذاخوری افزایش می یابد (۱). انواع مختلف وسایل خانگی (مانند ظروف و سیخ های کبابی) از جنس استیل، روی، مسی و آلومینیومی به طور گسترده برای پختن و یا نگهداری غذاها استفاده می - شوند. همچنین استفاده از ظروف یک بار مصرف به ظاهر آلومینیومی در جوامع امروزی رو به افزایش است. استفاده از چنین ظروفی با آغاز شیوع بیماری ناشی از کووید ۱۹ در رستوران ها و مراکز تهیه و ارائه غذای مؤسسات و اداره - های مختلف به طور چشمگیری افزایش یافته است (۲). علاوه بر این، فلزات سنگین به عنوان ناخالصی های هر یک از این وسایل پخت و پز مواد غذایی ممکن است به غذاها مهاجرت کنند. مطالعات نشان داده است که ماهیت ظروف پخت و پز، خواص مواد غذایی (مانند pH)، شرایط پخت (مانند زمان و دما) و نگهداری می تواند بر سطح فلزات سنگین در غذاها اثر گذاشته و با افزایش رهائش فلزات به مواد غذایی، مسمومیت حاد یا مزمن در انسان بروز کند. اثرات سمی فلزات سنگین شامل استفراغ، اسهال، سردرد، تحریک پذیری، فشارخون بالا، اثرات نامطلوب بر قلب، ریه، کلیه و کبد و مشکلات ذهنی، عصبی و سرطان است. بر همین اساس اکثر سازمان های ملی و بین المللی در زمینه کیفیت مواد غذایی، حداکثر سطوح مجاز فلزات را کاهش داده اند (۳).

آلومینیوم به طور فزاینده ای برای تعدادی از کاربردهای مختلف و مهم شامل ظروف پخت و پز، بسته بندی غذا و محصولات مصرفی (مانند پوش برگ یا فویل) استفاده

می شود. اگرچه به نظر می رسد کلیه قادر به دفع آلومینیوم در افراد سالم است، اما حد دفع آلومینیوم از این طریق مشخص نیست و مسلم است که افراد مبتلا به نارسایی مزمن کلیه توانایی دفع آن را ندارند طوری که انسفالوپاتی مغزی کشنده در بیماران دیالیزی گزارش شده است (۴). از طرف دیگر، ظروف آلومینیومی ساخته شده از ضایعات فلزات به عنوان منبع بالقوه مسمومیت سرب، مس، کادمیوم به ویژه در کشورهای در حال توسعه شناسایی شده است. رهائش فلزاتی مانند Al, Pb, Cd, As, Cu و Ni به مواد غذایی از ظروف آلیاژ آلومینیوم در طول پخت و پز بسیار وابسته به pH، دما و حضور عوامل کمپلکس کننده از آلیاژهای مورد استفاده طی ساخت است (۵). بسیاری از این فلزات سنگین در غلظت های بالا اثرات نامطلوبی دارند. رهائش فلزات سنگین از ظروف و بسته بندی های تجاری در چند مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. با این وجود، علیرغم استفاده متداول از ظروف یک بار مصرف آلومینیومی و سیخ های کبابی، این ظروف غذایی از نظر رهائش فلزات از آن ها به مواد غذایی حقیقی مورد بررسی قرار نگرفته اند.

بنابراین در این مطالعه، اثرات فرآیندهای پخت و پز حرارتی و نگهداری بر مهاجرت فلزات از این ظروف به غذای حقیقی (در مورد ظروف یک بار مصرف) یا غذای کبابی (در مورد سیخ) مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۲- مواد و روش ها

## ۲-۱- طراحی و روش اجرا

تجهیزات و ظروف مورد ارزیابی در این مطالعه شامل سیخ آلومینیومی، سیخ استیل و پوش برگ (فویل) آلومینیومی، از رستوران منتخب در شهر کرمانشاه تهیه شدند. این ظروف دارای شکل و ظرفیت یکسان بودند. ظروف قبل از استفاده برای از بین بردن آلودگی های اولیه و سطحی با آب مقطر شسته شدند.

به منظور تعیین کیفی ترکیب عنصری ظروف (تجزیه و تحلیل ۶۸ عنصری)، ابتدا برشی از سیخ

که در آن، مقدار توصیه شده روزانه یک ماده مغذی بر طبق FDA اعمال می‌شود. RAC بالاتر یک عنصر نشان دهنده خطر بالای مصرف بیش از حد است، که می‌تواند سمی باشد.

### ۲-۳- تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های غذایی

نمونه‌های کباب کوبیده، جوجه‌کباب و گوجه‌فرنگی مطابق دستورالعمل یک رستوران مورد نظر تهیه شدند. برای کباب کوبیده، پیازها رنده و فشرده شده و با گوشت چرخ‌شده، زعفران دم‌کرده، نمک و فلفل سیاه مخلوط و ورز داده شدند. سپس مایه کباب به سیخ‌های آلومینیومی و استیل کشیده شد و به مدت ۱۵ دقیقه روی منقل گازی با آجر نسوز پخته شد. از خمیر کوبیده خام و پخته‌شده نمونه‌گیری انجام شد. برای جوجه‌کباب، ۱ کیلوگرم سینه مرغ تازه با فلفل قرمز، آب‌لیمو، پیاز خردشده، زعفران و روغن مایع ذرت مخلوط و پس از سیخ‌کشی، روی منقل گازی به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه پخته شد. از جوجه‌کباب خام و پخته‌شده نیز نمونه‌گیری شد. گوجه‌فرنگی‌ها نیز به سیخ کشیده شد و به مدت ۱۰ دقیقه روی منقل کباب شدند. برنج به صورت آبکش تهیه شد. تمام نمونه‌ها به صورت جداگانه بسته‌بندی و برای آنالیز آماده شدند.

آلومینیومی به مقدار ۲/۱ گرم، سیخ استیل به مقدار ۴/۳ گرم و فویل آلومینیومی به مقدار ۲/۱ گرم با اره آهن‌رُ داده شد و توسط ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی وزن گردید. قبل از وزن کردن نمونه برای جلوگیری از آلودگی نمونه‌ها با وسیله برش‌دهنده کاملاً شستشو داده شد و پاک گردید. این نمونه‌ها مورد آنالیز ۶۸ عنصری قرار گرفتند و ۵ عنصر مهم‌تر به لحاظ سمیت توسط تیم تحقیق انتخاب و در ادامه مهاجرت آن‌ها به مواد غذایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۲-۲- انتخاب عناصر برای بررسی تیمارها

معیار انتخاب عناصر برای بررسی در تیمارها عبارت بود از: (۱) در مرحله اول عناصر انتخابی به عنوان فلز سنگین و سمی شناسایی شده باشند و (۲) در مرحله بعد عناصر به عنوان مواد مغذی ضروری به وسیله محتوای در دسترس بودن نسبی بالاتر (RAC) شناسایی شده باشند (۳).

<sup>1</sup>RAC هر عنصر به شرح زیر محاسبه شد:

$$RAC = \frac{(ppm) \text{ غلظت اندازه‌گیری شده}}{\left( \frac{\text{میکروگرم}}{\text{روز} \times \text{شخص}} \right) \text{ مقدار توصیه‌شده رزوانه}} \times \left( \frac{\text{روز} \times \text{شخص}}{\text{گرم}} \right)$$



Figure 1. Food samples prepared with steel and aluminum skewers

Lu, Mg, Na, Nd, P, Pb, Pr, Rb, Se, Sm, Sr, Tb, Tl, Tm, U, Y, Yb ۱۰ گرم در ۴۰ میلی‌لیتر محلول آبی و محلول Mix B شامل استانداردهای عناصر Au, Be, B, Co, Cr, Cu, Fe, Ge, Hf, Ir, K, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Os, Pd, Pt, Re, Ru, Si, Sn, Ta, Te, Ti, V, W, Zn, Zr ۱۰ گرم در ۴۰ میلی‌لیتر محلول آبی می‌باشد.

#### ۶-۲- ارزیابی خطر

خطر به صورت شاخص نسبت خطر هدف (THQ) بیان می‌شود که نسبت بین میزان مواجهه با فلز سنگین از طریق مصرف ماده غذایی مورد نظر و دوز مرجع<sup>۳</sup> (دوز مجاز دریافت فلز سنگین از کلیه مسیرها که برای مصرف‌کننده خطر قابل ملاحظه‌ای در طول عمر ندارد) می‌باشد:

$$THQ_{(\text{certain heavy metal})} = \frac{EDI}{RfD_{(\text{certain heavy metal})}}$$

دریافت روزانه تخمینی<sup>۴</sup> (EDI) فلز سنگین از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$EDI (\text{mg/kg day}) = \frac{FIR \times MC}{BW}$$

که در آن FIR میزان هضم غذا (کیلوگرم ماده غذایی مصرفی برای هر فرد در روز)، MC غلظت فلز در ماده غذایی مورد نظر (mg/kg ماده خشک)، BW متوسط وزن بدن مصرف‌کنندگان (متوسط وزن مصرف‌کنندگان بالغ ۷۰ کیلوگرم است) می‌باشند (۷). مقدار FIR بر اساس مصرف مواد غذایی مورد بررسی در برنامه غذایی کارکنان به صورت زیر در نظر گرفته شد: گوجه کبابی: ۱۷ گرم در روز، کوبیده: ۱۱/۵ گرم در روز، کباب جوجه: ۴۳ گرم در روز و برنج مصرفی در پوش‌برگ آلومینیومی ۴۷ گرم در روز. مقدار دوز مرجع (RfD) بر اساس منابع علمی برای سرب، قلع، آهن، آلومینیوم و کروم به ترتیب

#### ۴-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها پیش از تزریق به دستگاه

به منظور هضم اسیدی، ۲ گرم از نمونه‌های از پیش آماده شده وزن شده و طبق روش انجمن آمریکایی آزمایش و مواد (ASTM) در محلول‌های اسیدی قرار داده شد. محلول اسیدی حاوی ۳۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک (۷۰٪)، ۱۰ میلی‌لیتر اسید پرکلریک (۷۰٪) و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک بود. سپس مخلوط حاوی محلول اسیدی و نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه تکان داده شد تا کاملاً مخلوط شود و سپس حرارت داده شد تا به نقطه جوش برسد طوریکه تا تبخیر نمونه و به دست آوردن عصاره شفاف ۳ میلی‌لیتری ادامه یافت. سپس عصاره با استفاده از کاغذ صافی واتمن (۴۱ میکرومتر) در بالن‌های ۲۵ میلی‌لیتری فیلتر شد. حجم نهایی با استفاده از آب دیونیزه شده به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و برای تجزیه و تحلیل بیشتر در بطری‌های پلی‌اتیلن ذخیره شد (۶).

#### ۵-۲- اندازه‌گیری فلزات سنگین

اندازه‌گیری فلزات با استفاده از دستگاه پلاسما جفت شده القایی (ICP) مدل 730-ES، ساخت USA، شرکت Varian، سال ساخت ۲۰۱۰، گستره طول موج ۱۶۷-۷۸۵ نانومتر، منبع RF، 40 MHz و منبع پلاسما محوری انجام شد. حد تشخیص دستگاه برای بیشتر عناصر در محدوده ۱ تا ۱۰۰ میکروگرم در لیتر (ppb) است. کالیبراسیون دستگاه ICP-OES با محلول‌های استاندارد خالص انجام شد.

محلول‌های استاندارد که جهت کالیبراسیون دستگاه استفاده شد عبارتند از: Mix AVHG-SM80C-100 و Mix B VHG-SM90C-100 که محلول استاندارد Mix A شامل استانداردهای عناصر Ba, As, Al, Ag, Cd, Ca, Ce, Dy, Eu, Ga, Gd, Ho, La, Bi

4-Estimated daily intake

2-Target hazard quotients

3-Oral Reference Dose (RFD)

۰/۰۰۳۵، ۰/۰۰۰۳، ۰/۷، ۱ و ۰/۰۰۳ mg/kg BW/day در نظر گرفته شد (۸-۱۰).

## ۲-۷- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

مقایسه بین یک گروه قبل و بعد از طبخ با استفاده از آزمون‌های آماری t-Test انجام شد. برای تعیین معنی‌داری تفاوت بین چند گروه نمونه، آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد و در صورت وجود معنی‌داری، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار SPSS ۱۹ انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تجزیه و تحلیل ۶۸ عنصری ظروف مورد بررسی

نتایج تجزیه و تحلیل ترکیب عنصری سیخ‌های استیل و آلومینیومی نشان داد (جدول ۱) که در سیخ استیل، دو فلز آهن (۸۳ درصد) و کروم (۱۱ درصد) بخش عمده‌ای از ترکیب را تشکیل می‌دهند، به طوری که ۹۴ درصد کل عناصر سیخ را شامل می‌شوند. دیگر عناصر مهم شامل منگنز، نیکل، مس و وانادیوم بودند، و کمترین مقدار عنصر فلزی مربوط به کلسیم با ۰/۰۰۰۸۶ درصد بود. در مقابل، در سیخ آلومینیومی، آلومینیوم (۹۸/۵ درصد) و آهن (۰/۸۶ درصد) اصلی‌ترین فلزات تشکیل‌دهنده بودند که مجموعاً ۹۹/۳۶ درصد ساختار سیخ را شامل می‌شدند. دیگر فلزات مهم به ترتیب شامل مس (۰/۱۹۰۰ درصد)، منیزیم (۰/۱۶۳۴ درصد)، روی (۰/۱۶۰۰ درصد) و مقادیر کمتری از کروم، گالیوم و تیتانیوم بودند. وجود دو فلز سرب (۰/۰۲۸ درصد) و کادمیوم (۰/۰۰۰۳ درصد) در

سیخ آلومینیومی نیز از نظر ایمنی مواد غذایی قابل توجه است. استرانسیوم کمترین مقدار (۰/۰۰۰۰۱۵ درصد) را در این سیخ‌ها داشت.

در ترکیب عنصری پوش‌برگ آلومینیومی (جدول ۱)، بیشترین مقدار متعلق به آلومینیوم (۹۷/۳ درصد) و آهن (۰/۴۲ درصد) بود که ۹۷/۷۲ درصد ساختار را تشکیل دادند. سایر فلزات مهم شامل منگنز (۰/۰۴ درصد)، گالیوم (۰/۰۱۱ درصد)، تیتانیوم (۰/۰۱۶ درصد) و وانادیوم (۰/۰۱۵ درصد) بودند و زیرکونیوم با ۰/۰۰۰۱ درصد کمترین مقدار را داشت.

با توجه به داده‌های جدول ۱، فلزات سنگین مانند آلومینیوم، کروم، نیکل و قلع در سیخ استیل، آلومینیوم، کادمیوم، سرب، کروم، نیکل و قلع در سیخ آلومینیومی و آلومینیوم، کروم و نیکل در پوش‌برگ آلومینیومی شناسایی شدند. این نتایج نشان می‌دهند که در صورت استفاده مکرر از این ظروف، احتمال مهاجرت فلزات سنگین به مواد غذایی و ایجاد مسمومیت مزمن وجود دارد. هیچ‌کدام از ظروف مورد بررسی حاوی فلزات سنگین آرسنیک، سلنیوم و جیوه نبودند. مطالعات پیشین نیز ترکیب عنصری ظروف آشپزی آلومینیومی، فولاد ضد زنگ و مسی را بررسی کرده و نشان دادند که این ظروف از مواد ناخالص تشکیل شده‌اند. در این مطالعات، ظروف آلومینیومی آنودایز نشده حاوی عناصری مانند آلومینیوم، آهن، سرب، کروم و نیکل بودند. نتایج مشابهی برای ظروف فولاد ضد زنگ و مسی به دست آمد که ترکیب فلزات مختلفی را در غلظت‌های متفاوت نشان دادند (۱۱).

Table 1. 68-element analysis (in percentage) of aluminum skewer and disposable aluminum containers

|                      | Wavelength | Element | Wavelength | Element | Wavelength | Element | Wavelength | Element |
|----------------------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
|                      | 242.794    | Au      | 188.980    | As      | 396.152    | Al      | 328.068    | Ag      |
| Steel skewer         | ND         |         | ND         |         | 0.0025     |         | ND         |         |
| Aluminum skewer      | ND         |         | ND         |         | 97.3       |         | ND         |         |
| Disposable container | ND         |         | ND         |         | 98.5       |         | ND         |         |

|                      |         |    |         |    |         |    |         |   |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|---|
|                      | 222.821 | Bi | 313.107 | Be | 455.403 | Ba | 249.772 | B |
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |   |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |    | ND      |    | 0.0016  |   |
| Disposable container | ND      |    | ND      |    | ND      |    | 0.0011  |   |

|                      |         |    |         |    |         |    |         |    |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
|                      | 228.615 | Co | 418.659 | Ce | 228.802 | Cd | 318.127 | Ca |
| Steel skewer         | 0.01    |    | ND      |    | ND      |    | 0.00086 |    |
| Aluminum skewer      | 0.00012 |    | ND      |    | ND      |    | 0.00064 |    |
| Disposable container | 0.00025 |    | ND      |    | 0.0003  |    | 0.003   |    |

|                      |         |    |         |    |         |    |         |    |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
|                      | 369.265 | Er | 364.540 | Dy | 324.754 | Cu | 267.716 | Cr |
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | 0.050   |    | 11      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |    | 0.006   |    | 0.001   |    |
| Disposable container | ND      |    | ND      |    | 0.190   |    | 0.010   |    |

|                      |         |    |         |    |         |    |         |    |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
|                      | 342.246 | Gd | 294.363 | Ga | 259.940 | Fe | 420.504 | Eu |
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | 83      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | 0.01    |    | 0.42    |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | 0.01    |    | 0.86    |    | ND      |    |

|                      |         |    |         |    |         |    |         |    |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
|                      | 389.094 | Ho | 435.834 | Hg | 264.730 | Hf | 219.871 | Ge |
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |

|                      |         |    |         |   |         |    |         |    |
|----------------------|---------|----|---------|---|---------|----|---------|----|
|                      | 408.671 | La | 766.491 | K | 236.804 | Ir | 410.176 | In |
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |   | ND      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | 0.00076 |   | ND      |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | 0.00050 |   | ND      |    | ND      |    |

|                      |         |    |         |    |         |    |         |    |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
|                      | 260.568 | Mn | 280.270 | Mg | 547.668 | Lu | 670.783 | Li |
| Steel skewer         | 0.36    |    | 0.0002  |    | ND      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | 0.04    |    | 0.0005  |    | ND      |    | ND      |    |
| Disposable container | 0.05    |    | 0.1634  |    | ND      |    | ND      |    |

|                      | 406.108 | Nd | 295.088 | Nb | 568.821 | Na | 202.032 | Mo |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| Steel skewer         | ND      |    | 0.001   |    | 0.003   |    | 0.008   |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |    | 0.007   |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | ND      |    | 0.007   |    | ND      |    |

|                      | 220.353 | Pb | 213.618 | P | 228.228 | Os | 231.604 | Ni |
|----------------------|---------|----|---------|---|---------|----|---------|----|
| Steel skewer         | ND      |    | 0.013   |   | ND      |    | 0.0520  |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |   | ND      |    | 0.0023  |    |
| Disposable container | 0.028   |    | ND      |   | ND      |    | 0.0066  |    |

|                      | 420.179 | Rb | 306.471 | Pt | 410.072 | Pr | 324.270 | Pd |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |

|                      | 181.972 | S | 349.894 | Ru | 343.488 | Rh | 227.525 | Re |
|----------------------|---------|---|---------|----|---------|----|---------|----|
| Steel skewer         | 0.003   |   | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |   | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |   | ND      |    | ND      |    | ND      |    |

|                      | 359.259 | Sm | 196.026 | Se | 335.372 | Sc | 206.834 | Sb |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |

|                      | 350.914 | Tb | 263.558 | Ta | 460.733  | Sr | 235.485 | Sn |
|----------------------|---------|----|---------|----|----------|----|---------|----|
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | ND       |    | 0.003   |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | ND      |    | ND       |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | ND      |    | 0.000015 |    | 0.003   |    |

|                      | 276.789 | Tl | 334.188 | Ti | 283.730 | Th | 182.153 | Te |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| Steel skewer         | ND      |    | ND      |    | ND      |    | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |    | 0.016   |    | ND      |    | ND      |    |
| Disposable container | ND      |    | 0.010   |    | ND      |    | ND      |    |

|                      |         |   |         |   |         |   |         |    |
|----------------------|---------|---|---------|---|---------|---|---------|----|
|                      | 222.590 | W | 292.401 | V | 367.007 | U | 376.133 | Tm |
| Steel skewer         | ND      |   | 0.041   |   | ND      |   | ND      |    |
| Aluminum skewer      | ND      |   | 0.015   |   | ND      |   | ND      |    |
| Disposable container | ND      |   | 0.003   |   | ND      |   | ND      |    |

|                      |         |    |         |    |         |    |         |   |
|----------------------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|---|
|                      | 349.619 | Zr | 334.502 | Zn | 328.937 | Yb | 360.074 | Y |
| Steel skewer         | ND      |    | 0.003   |    | ND      |    | ND      |   |
| Aluminum skewer      | 0.0001  |    | 0.007   |    | ND      |    | ND      |   |
| Disposable container | 0.0003  |    | 0.160   |    | ND      |    | ND      |   |

غذایی کروم، دو عنصر آهن و کروم به همراه ۴ عنصر سمی آلومینیوم، کادمیوم، سرب و قلع به منظور بررسی میزان مهاجرت به مواد غذایی انتخاب شدند. لازم به یادآوری است فلزات غیر ضروری و فلزات ضروری بسته به مقدارشان می‌توانند سمی باشند. تفاوت بین این دو گروه این است که برای فلزات ضروری و همچنین عناصر ضروری دیگری که می‌توانند موجب مسمومیت در مقادیر بالا شوند، بدن انسان یک محدوده حیاتی دارد که محدوده‌ی بین کمترین میزان مصرف برای جلوگیری از سندروم‌های کمبود و بیشترین میزان قابل پذیرش برای جلوگیری از مسمومیت می‌باشد (۱۲).

از بین فلزاتی که در تجزیه و تحلیل ۶۸ عنصری ظروف غذای بررسی شده شناسایی شدند (۱۷) عنصر برای سیخ استیل، ۲۱ عنصر برای سیخ آلومینیومی و ۱۷ عنصر برای ظرف آلومینیومی، فلزات سنگین قطعاً سمی با هر مقداری (هر چند کم) برای بررسی بیشتر انتخاب شدند؛ این عناصر عبارتند از آلومینیوم، کادمیوم، سرب و قلع. در مورد فلزات ضروری، مؤلفه RAC محاسبه شد و نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که از داده‌های این جدول مشخص است مقدار RAC سه عنصر کروم، آهن و منگنز به طور قابل توجهی بیشتر از عناصر ضروری دیگر است. با این وجود، به دلیل اهمیت سم‌شناسی و ایمنی مواد

Table 2. RAC values for essential metals identified in the examined cookware

| Row | Essential element | Steel skewer | Aluminum skewer | Disposable container |
|-----|-------------------|--------------|-----------------|----------------------|
|     |                   | RAC          |                 |                      |
| 1   | Ca                | 0.0000086    | 0.00003         | 0.0000064            |
| 2   | CU                | 0.25         | 0.95            | 0.03                 |
| 3   | Cr                | 0.92         | 0.00083         | 0.0000833            |
| 4   | Fe                | 46.1         | 0.48            | 0.233                |
| 5   | Mn                | 1.8          | 0.25            | 0.20                 |
| 6   | Mg                | 0.000005     | 0.0041          | 0.0000125            |
| 7   | Na                | 0.0000125    | 0.0000291       | 0.0000292            |
| 8   | P                 | 0.00013      | -               | -                    |
| 9   | Zn                | 0.002        | 0.107           | 0.005                |
| 10  | K                 | -            | 0.00000143      | 0.00000217           |

امکان مقایسه مستقیم با این تحقیق را محدود می‌سازد.

### ۳-۳ مهاجرت فلزات سنگین به گوجه کبابی

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین مهاجرت فلزات از سیخ‌ها به گوجه‌فرنگی در مورد فلز آلومینیوم رخ داده است. مقدار آلومینیوم در گوجه کبابی در مقایسه با گوجه خام تقریباً ۶ برابر افزایش یافت، به‌طوری‌که گوجه‌فرنگی کباب شده با سیخ آلومینیومی حاوی به طور متوسط  $0.165 \text{ ppm}$  از آلومینیوم بود. این یافته مطابق با نتایج تجزیه و تحلیل ۶۸ عنصری سیخ‌هاست که وجود سرب را در سیخ‌های آلومینیومی و عدم وجود آن را در سیخ‌های استیل تأیید کرد. در مقابل، کادمیوم و سرب در هیچ‌کدام از گوجه‌فرنگی‌های کباب شده با سیخ استیل مشاهده نشدند، و مهاجرت سرب از سیخ آلومینیومی به گوجه نیز ناچیز بود. علاوه بر آلومینیوم، مهاجرت قلع از سیخ استیل به گوجه کبابی نیز مشاهده شد و مقدار آن به طور متوسط  $17 \text{ ppm}$  بود. در حالی که، این فلز در گوجه خام و همچنین در گوجه‌فرنگی کباب شده با سیخ آلومینیومی یافت نشد. وجود قلع در هر دو نوع سیخ با مقدار یکسانی ( $0.003$  درصد) به ثبت رسیده است. اما، تفاوت در مهاجرت این فلز می‌تولندناشی از ساختار فیزیکی منسجم‌تر سیخ آلومینیومی باشد. بانوی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در مطالعه‌ای مشابه نشان دادند که ریزساختار ظروف مسی تأثیر بسزایی بر رهائش فلزات به مواد غذایی دارد (۳). همچنین، نتایج نشان داد که مهاجرت فلز آهن به گوجه‌فرنگی در هیچ‌کدام از نمونه‌ها مشاهده نشد. کاهش مقدار فلز کروم در گوجه‌فرنگی‌های کباب شده با هر دو نوع سیخ می‌تواند به از دست رفتن فلز همراه با آب گوجه‌فرنگی در حین کباب کردن نسبت داده شود.

### ۳-۲- مقایسه مقادیر فلزات مورد بررسی در مواد

#### غذایی خام

مقادیر فلزات سنگین شامل سرب، کادمیوم و قلع در گوجه‌فرنگی، گوشت جوجه، خمیر کوبیده و برنج طبخ‌شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج (جدول ۳، ۴، ۵ و ۶) نشان داد که هیچ‌یک از این مواد غذایی حاوی این فلزات سنگین نبودند. آلومینیوم در گوشت جوجه وجود نداشت و مقادیر آن در گوجه‌فرنگی، خمیر کوبیده و برنج طبخ‌شده به ترتیب  $6.1 \text{ ppm}$ ،  $1/8$  و  $1/3$  بود. خمیر کوبیده بیشترین مقدار آهن ( $40 \text{ ppm}$ ) را در بین نمونه‌ها داشت و گوجه‌فرنگی بیشترین مقدار کروم ( $3/3 \text{ ppm}$ ) را نشان داد. بر اساس استانداردهای ملی ایران و کدکس، این مقادیر در محدوده‌های مجاز قرار دارند (۱۳).

در مقایسه با مطالعات گذشته، نمونه‌های بررسی‌شده در این مطالعه دارای مقادیر کمتری از فلزات سنگین بوده و وضعیت بهتری داشتند. برای مثال، مطالعات پیشین در ایران و مصر نشان‌دهنده آلودگی بیشتر گوجه‌فرنگی‌ها به فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم بودند (۱۴). در حالی که، نمونه‌های این مطالعه مقادیر کمتری داشتند. همچنین، در مطالعات انجام‌شده بر روی گوشت جوجه در کشورهای دیگر، مقادیر بیشتری از فلزات سنگین گزارش شده است که در مقایسه با نتایج این تحقیق، نشان‌دهنده وضعیت بهتری در نمونه‌های مورد بررسی است (۱۵-۲۱).

هیچ مطالعه‌ای به بررسی میزان فلزات سنگین در کباب کوبیده نپرداخته است و در مورد برنج، مطالعات معمولاً به بررسی فلزات سنگین در شکل خام آن پرداخته‌اند که

Table 3. Concentration of selected heavy metals in the raw and grilled tomatoes using two methods: steel (SS) and aluminum (AS) skewers

| Selected metal | Metal content in tomato (ppm) |                   |                    |
|----------------|-------------------------------|-------------------|--------------------|
|                | Raw                           | Grilled by SS     | Grilled by AS      |
| Al             | $6.60 \pm 1.65^a$             | $5.40 \pm 0.78^a$ | $54.50 \pm 3.73^b$ |

|    |                           |                           |                          |
|----|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Cd | ND                        | ND                        | ND                       |
| Pb | ND                        | ND                        | 0.65 ± 0.13              |
| Sn | ND                        | 17.00 ± 5.04              | ND                       |
| Fe | 21.00 ± 9.58 <sup>a</sup> | 29.00 ± 4.02 <sup>a</sup> | ND                       |
| Cr | 3.10 ± 0.96 <sup>a</sup>  | 1.30 ± 0.87 <sup>ab</sup> | 1.10 ± 0.65 <sup>b</sup> |

ND: Not detected

Different lowercase letters indicate significant differences in a row of the table ( $p < 0.05$ ).

تفاوت در ساختار فیزیکی و شیب غلظتی یون‌های فلزی در این دو نوع سیخ بازمی‌گردد.

### ۳-۴ مهاجرت فلزات سنگین به کباب جوجه

عنصر آلومینیوم در گوشت خام جوجه وجود نداشت (جدول ۴). با این وجود مقادیر قابل توجهی از مهاجرت این فلز از هر دو نوع سیخ انجام گرفت طوریکه سطح مهاجرت از سیخ آلومینیومی تقریباً دو برابر سیخ استیل بود. این امر با توجه به مقدار بیشتر فلز آلومینیوم در تجربه و تحلیل ۶۸ عنصری سیخ آلومینیومی منطقی به نظر می‌رسد.

کامرود و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای گزارش کردند که ظروف استیل می‌توانند مقادیر قابل توجهی کروم را به مواد غذایی منتقل کنند. آن‌ها نشان دادند که پس از شش ساعت پخت، غلظت کروم در سس گوجه‌فرنگی به میزان ۲۸ برابر افزایش یافت، که نشان‌دهنده تأثیر طول مدت پخت و دفعات استفاده از ظروف استیل است (۲۲).

به‌طور کلی، مهاجرت آلومینیوم از سیخ آلومینیومی به گوجه‌فرنگی در مقایسه با سایر عناصر بارزتر بود. سیخ‌های آلومینیومی به دلیل درصد بالای آلومینیوم (۹۸/۵ درصد وزنی) نیروی محرکه بیشتری برای مهاجرت یون‌های فلزی به گوجه داشتند. این در حالی است که سیخ‌های استیل بیشتر مهاجرت قلع داشتند که احتمالاً به

Table 4. Concentration of selected heavy metals in the raw and grilled chicken using two methods: steel (SS) and aluminum (AS) skewers

| Selected metal | Metal content in chicken (ppm) |                           |                          |
|----------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                | Raw                            | Grilled by SS             | Grilled by AS            |
| Al             | ND                             | 2.80 ± 0.44 <sup>a</sup>  | 4.80 ± 1.20 <sup>b</sup> |
| Cd             | ND                             | ND                        | ND                       |
| Pb             | ND                             | ND                        | ND                       |
| Sn             | ND                             | ND                        | ND                       |
| Fe             | 7.60 ± 2.35 <sup>a</sup>       | 18.00 ± 5.70 <sup>b</sup> | 5.40 ± 1.64 <sup>a</sup> |
| Cr             | 0.30 ± 0.00 <sup>a</sup>       | 0.70 ± 0.15 <sup>c</sup>  | 0.50 ± 0.07 <sup>b</sup> |

ND: Not detected

Different lowercase letters indicate significant differences in a row of the table ( $p < 0.05$ ).

وجود سطح معنی‌داری از مهاجرت این فلز از سیخ آلومینیومی به کباب جوجه مشاهده نشد. چنین تفاوتی در سطح مهاجرت آهن از دو نوع سیخ با توجه به مقدار آن در ریزساختار سیخ (به ترتیب ۸۳ و ۰/۸۶ درصد) و همچنین عدم رهائش آب از گوشت حین کباب کردن (برخلاف گوجه‌فرنگی) توجیه‌پذیر می‌باشد.

در مطالعه انجام شده توسط علی و همکاران (۲۰۲۲)، غلظت فلزات ضروری (از جمله آهن) و فلزات سنگین

فلزات سنگین کادمیوم، سرب و قلع در گوشت جوجه وجود نداشته و هیچ سطحی از مهاجرت آن‌ها از هر دو نوع سیخ به کباب جوجه مشاهده نشد. این نتیجه، با توجه به وجود عناصر کادمیوم و سرب در ریزساختار سیخ آلومینیومی و وجود قلع در هر دو نوع سیخ، قبال توجه است. مقدار قابل توجهی از مهاجرت فلز آهن از سیخ استیل به کباب جوجه مشاهده شد طوریکه مقدار آن در مقایسه با جوجه خام تقریباً ۲/۵ برابر افزایش یافت. با این

بسیار سمی (سرب و کادمیوم) در کباب‌های جوجه نمونه‌گیری شده در رستوران‌های کشور پاکستان به ترتیب بین ۱۸۰-۶۷، ۰/۹-۰/۱ و ۳/۷۰-۱/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (۲۳) که در همه موارد بیشتر از نتایج به دست آمده برای کباب‌های جوجه تهیه شده با هر دو نوع سیخ در مطالعه حاضر بود.

مقدار فلز کروم در کباب جوجه تهیه شده با هر دو نوع سیخ در مقایسه با گوشت مرغ افزایش را نشان داد (تقریباً ۲/۵ و ۱/۵ برابر به ترتیب برای سیخ استیل و آلومینیومی) که بیانگر مهاجرت فلز کروم از ریزساختار سیخ به ماده غذایی است. این تفاوت در میزان مهاجرت از دو نوع سیخ، ممکن است به تفاوت قابل توجه مقدار کروم در ریزساختار دو نوع سیخ (به ترتیب ۱۱ و ۰/۰۱ درصد برای سیخ استیل و آلومینیومی) و در نتیجه شیب غلظتی بیشتری یون‌های فلزی در سیخ استیل مرتبط باشد که به عنوان نیروی محرکه مهاجرت عمل می‌کند.

به طور کلی، مهاجرت آلومینیوم از سیخ آلومینیومی و آهن از سیخ استیل به کباب جوجه در مقایسه با سایر عناصر بارزتر بود که به دلیل ایجاد شیب غلظتی بیشتر این یون‌های فلزی در دو نوع سیخ می‌باشد.

### ۳-۵ مهاجرت فلزات سنگین به کباب کوبیده

بر اساس نتایج جدول ۵، مهاجرت قابل توجهی از فلز

آلومینیوم (Al) از سیخ‌های آلومینیومی به کباب کوبیده مشاهده شد، به طوری که غلظت این فلز تا ۴/۵ برابر افزایش یافت. در مقابل، هیچ مهاجرت قابل توجهی از آلومینیوم از سیخ استیل به ماده غذایی مشاهده نشد. این تفاوت به دلیل ترکیب ریزساختاری متفاوت دو نوع سیخ است. فلزات کادمیوم و قلع در خمیر کباب کوبیده وجود نداشتند و مهاجرت این فلزات از هیچ یک از سیخ‌ها اندازه‌گیری نشد. علاوه بر این، مهاجرت قابل توجهی از سرب به کباب کوبیده تهیه شده با سیخ‌های آلومینیومی ثبت شد که غلظت این فلز به ۲/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. این مقدار به دلیل وجود فلز سرب در ترکیب ریزساختاری سیخ آلومینیومی است. همچنین، روند مهاجرت فلزات آهن و کروم به کباب کوبیده مشابه با نتایج کباب جوجه بود، اما مهاجرت کروم در کباب کوبیده تهیه شده با سیخ استیل بیشتر از کباب جوجه بود. در مقایسه بین سه نوع ماده غذایی مورد بررسی، کمترین سطح مهاجرت فلزات به کباب جوجه مشاهده شد. هیچ‌گونه مهاجرت فلزات سرب، کادمیوم و قلع به کباب جوجه از سیخ‌های آلومینیومی و استیل رخ نداد. این موضوع می‌تواند با pH بالاتر گوشت مرغ مرتبط باشد، زیرا طبق مطالعات قبلی، افزایش pH معمولاً با کاهش مهاجرت فلزات از ظروف مرتبط است (۱).

Table 5. Concentration of selected heavy metals in the Koobideh kebab paste and grilled Koobideh using two methods: steel (SS) and aluminum (AS) skewers

| Selected metal | Metal content in koobideh kebab (ppm) |                           |                           |
|----------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                | Koobideh Paste                        | Grilled by SS             | Grilled by AS             |
| Al             | 1.80 ± 0.96 <sup>a</sup>              | 2.70 ± 1.10 <sup>a</sup>  | 8.70 ± 3.65 <sup>b</sup>  |
| Cd             | ND                                    | ND                        | ND                        |
| Pb             | ND                                    | ND                        | 2.57 ± 1.30               |
| Sn             | ND                                    | ND                        | ND                        |
| Fe             | 32.00 ± 4.15 <sup>a</sup>             | 48.00 ± 5.70 <sup>b</sup> | 27.00 ± 1.86 <sup>a</sup> |
| Cr             | 0.40 ± 0.06 <sup>a</sup>              | 2.00 ± 0.45 <sup>cb</sup> | 1.70 ± 0.55 <sup>b</sup>  |

ND: Not detected

Different lowercase letters indicate significant differences in a row of the table ( $p < 0.05$ ).

بر اساس نتایج جدول ۶، هیچ سطحی از مهاجرت فلزات

کادمیوم، سرب و قلع از پوش‌برگ آلومینیومی به ماده

غذایی مشاهده نشد. کروم نیز سطح معنی‌داری از

### ۳-۶ مهاجرت فلزات سنگین به برنج طبخ شده

یافت. چنین تفاوتی در میزان مهاجرت فلزات از پوشش برگ با غلظت آن‌ها در ترکیب ریزساختار این ظرف مطابقت دارد.

مهاجرت را به ماده غذایی نشان نداد. برعکس، مهاجرت دو فلز Al و Fe از پوشش برگ به برنج انجام گرفت. طوریکه مقدار این فلزات به ترتیب ۲ و ۲/۸ برابر افزایش

Table 6. Concentration of selected heavy metals in the cooked rice stored in plastic packaging (SPP) and aluminum disposable container (SADC)

| Selected metal | Metal content in the rice (ppm) |                    |
|----------------|---------------------------------|--------------------|
|                | SPP                             | SADC               |
| Al             | $1.30 \pm 0.37^a$               | $2.60 \pm 0.50^b$  |
| Cd             | ND                              | ND                 |
| Pb             | ND                              | ND                 |
| Sn             | ND                              | ND                 |
| Fe             | $5.00 \pm 1.46^a$               | $14.00 \pm 4.40^b$ |
| Cr             | $0.50 \pm 0.26^a$               | $0.70 \pm 0.44^a$  |

ND: Not detected

Different lowercase letters indicate significant differences in a row of the table ( $p < 0.05$ ).

آگاهی جوامع محلی در این خصوص ضرورت دارد. در سطح ملی، نتایج این تحقیق می‌تواند منجر به توسعه یا بازبینی سیاست‌های بهداشت عمومی مرتبط با مواد مورد استفاده در ظروف پخت‌وپز شود. سازمان ملی استاندارد ممکن است مقررات جدیدی را برای کاهش خطرات بهداشتی ناشی از مهاجرت عناصر فلزی به مواد غذایی وضع کند. از منظر بین‌المللی، این مطالعه می‌تواند در استانداردهای جهانی مربوط به مقررات تجارت بین‌المللی و مواد ظروف پخت‌وپز تأثیرگذار باشد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به اطمینان از کیفیت و ایمنی محصولات آشپزی در سراسر جهان و همچنین افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان از طریق کمپین‌های آموزشی محلی، ملی و بین‌المللی کمک کند. این اقدامات می‌توانند نقش مهمی در کاهش خطرات بالقوه مرتبط با استفاده نادرست از ظروف آلومینیومی و استیل ایفا کنند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، میزان فلزات سنگین در چندین ماده غذایی شامل گوجه‌فرنگی، گوشت جوجه، خمیر خام کوبیده، برنج پخته و کباب کوبیده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از نمونه‌ها به فلزات سنگین سرب،

#### ۷-۳- ارزیابی ریسک مواد غذایی که تحت مهاجرت قرار گرفته‌اند

مطالعه حاضر با تحلیل شاخص‌های THQ و HI نشان داد که مقدار این شاخص‌ها در تمام مواد غذایی بررسی‌شده زیر ۱ بوده و بیانگر آن است که مواجهه روزانه با فلزات سنگین در این مواد غذایی احتمالاً هیچ اثر مضر بر سلامتی نخواهد داشت (جدول ۷). در مورد فلزات سمی نظیر سرب، مقدار THQ و HI به سطح خطرناک نرسیده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مهاجرت فلزات سنگین از ظروف آشپزی به مواد غذایی نگران‌کننده نیست. با این حال، مهاجرت قابل توجه قلع از سیخ استیل به گوجه کبابی سبب افزایش چشمگیر مقدار THQ و HI شده است که ممکن است نیازمند بررسی‌های بیشتر باشد. از منظر تأثیرات محلی، این پژوهش بر اهمیت آگاهی از مهاجرت فلزات از ظروف پخت‌وپز در جوامع محلی تأکید دارد. استفاده گسترده از سیخ‌های کباب و پوشش‌های آلومینیومی می‌تواند خطرات سلامتی مرتبط با افزایش غلظت فلزات سنگین در غذاهای مصرفی را به همراه داشته باشد. لذا افزایش

وسیع‌تر در مناطق مختلف کشور انجام شود تا به درک بهتری از وضعیت فلزات سنگین در مواد غذایی حاصل شود. همچنین بررسی اثر تعداد دفعات استفاده از سیخ‌های کبابی بر میزان مهاجرت فلزات و روش‌های مختلف کباب کردن می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیند پخت کمک کند. علاوه بر این، ارزیابی ریزساختار سیخ‌های مختلف در حین حرارت‌دهی می‌تواند سازوکارهای مهاجرت فلزات را شناسایی و در راستای تعیین استانداردهای ایمنی غذایی مؤثر باشد. این اقدام‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت مواد غذایی و حفاظت از سلامت عمومی کمک کند.

کادمیوم و قلع آلوده نبودند و مقادیر آلومینیوم، آهن و کروم در محدوده مجاز قرار داشت. گوجه‌فرنگی حاوی مقدار قابل‌توجهی آهن و کروم بود. در حالی‌که، خمیر خام کوبیده بیشترین میزان آهن را داشت. همچنین کباب کوبیده تهیه شده با سیخ آلومینیومی، باعث افزایش میزان مهاجرت آلومینیوم و سرب به این کباب شد. در حالی‌که، سیخ استیل هیچ‌گونه آلودگی فلزی قابل‌توجهی به ماده غذایی منتقل نکرد. این نتایج بر اهمیت انتخاب مناسب نوع سیخ کبابی و توجه به کیفیت مواد غذایی تأکید دارد. بنابراین با توجه به یافته‌های این تحقیق، پیشنهاد می‌شود که مطالعات مشابه با تعداد نمونه‌های بیشتر و پراکندگی

Table 7. Target hazard quotients index (THQ) of heavy metals for adults through consumption of grilled tomatoes, chicken and meat and cooked rice stored in aluminum disposable container

| Metal<br>s | Tomato            |                   |                   | Chicken kebab     |                   |                   | Koobideh kebab    |                   |                   | Rice              |              |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
|            | Raw               | SS                | AS                | Raw               | SS                | AS                | Raw               | SS                | AS                | SPP               | SAD<br>C     |
| Pb         | -                 | -                 | 0.04<br>6         | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | 0.12<br>0         | -                 | -            |
| Sn         | -                 | 13.7<br>3         | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | -            |
| Fe         | 0.00<br>7         | 0.01<br>0         | -                 | 0.00<br>3         | 0.01<br>6         | 0.00<br>5         | 0.00<br>7         | 0.01<br>1         | 0.00<br>6         | 0.00<br>5         | 0.013        |
| Al         | 0.00<br>2         | 0.00<br>1         | 0.01<br>3         | -                 | 0.00<br>2         | 0.00<br>3         | 0<br>0            | 0<br>0            | 0.00<br>1         | 0.00<br>1         | 0.002        |
| Cr         | 0.25<br>0         | 0.10<br>0         | 0.09<br>0         | 0.06<br>0         | 0.14<br>3         | 0.10<br>0         | 0.02<br>0         | 0.11<br>0         | 0.09<br>3         | 0.11<br>3         | 0.157        |
| <b>HI</b>  | <b>0.25<br/>9</b> | <b>13.8<br/>4</b> | <b>0.10<br/>3</b> | <b>0.06<br/>3</b> | <b>0.16<br/>1</b> | <b>0.10<br/>8</b> | <b>0.02<br/>7</b> | <b>0.12<br/>1</b> | <b>0.22<br/>0</b> | <b>0.11<br/>9</b> | <b>0.172</b> |

Note: The raw values are calculated only to provide an overview of the increase in THQ index, obviously raw chicken and batter are not consumed. HI = Sum of THQs of different metals in a particular food

SS: : Grilled by steel skewers, AS: Grilled by aluminum skewers, SPP: Cooked rice stored in plastic packaging, SADC: Cooked rice stored in aluminum disposable container

## ۵-منابع

- [1] Aderemi TA, Adenuga AA, Oyekunle JAO, Ogunfowokan AO. High level leaching of heavy metals from colorful ceramic foodwares: a potential risk to human. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24:17116-26.
- [2] Han Y, Ryu K, Song N, Seo J, Kang I, Chung H-J, et al. Potential Migration and Health Risks of Heavy Metals and Metalloids in Take-Out Food Containers in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2024;21(2):139.
- [3] Banavi P, Sadeghi E, Garavand F, Heydari M, Rouhi M. Release behavior of metals from tin-lined copper cookware into food simulants during cooking and cold storage. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27:38591-601.
- [4] Verissimo MI, Oliveira JA, Gomes MTS. Leaching of aluminium from cooking pans and food containers. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2006;118(1-2):192-7.
- [5] Alabi OA, Unuigboje MA, Olagoke DO, Adeoluwa YM. Toxicity associated with long term use of aluminum cookware in mice: A systemic, genetic and reproductive perspective. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2021;861:503296.
- [6] (ASTM) ASoTaM. Standard guide for preparation of biological samples for inorganic chemical analysis. Annual book of ASTM. USA: Pennsylvania1999.
- [7] Sharafi K, Yunesian M, Nodehi RN, Mahvi AH, Pirsaeheb M. A systematic literature review for some toxic metals in widely consumed rice types (domestic and imported) in Iran: Human health risk assessment, uncertainty and sensitivity analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;176:64-75.
- [8] Hussein MA, Morgan SE, Mahmoud AF, El-Ghareeb WR. Risk assessment of some toxic metals in canned fish products retailed in Mansoura, Egypt. *Open Veterinary Journal*. 2024;14(1):266.
- [9] Kia SA, Aslani R, Khaniki GJ, Shariatifar N, Molaei-Aghaei E. Determination and health risk assessment of heavy metals in chicken meat and edible giblets in Tehran, Iran. *Journal of Trace Elements and Minerals*. 2024;7:100117.
- [10] Naseri K, Salmani F, Zeinali M, Zeinali T. Health risk assessment of Cd, Cr, Cu, Ni and Pb in the muscle, liver and gizzard of hen's marketed in East of Iran. *Toxicology reports*. 2021;8:53-9.
- [11] Ali Sultan SA, Ahmed Khan F, Wahab A, Fatima B, Khalid H, Bahader A, et al. Assessing Leaching of Potentially Hazardous Elements from Cookware during Cooking: A Serious Public Health Concern. *Toxics*. 2023;11(7):640.
- [12] Hosseini H, Nejatian M, Saberian H, Darabzadeh N. Food chemical safety and toxicology (In persian). Tehran: Shahid Beheshti University of Medical Sciences publication and Agricultural Research and Education (TAK) publication; 1399.
- [13] Alimentarius C. Codex general standard for contaminants and toxins in foods. *Codex Stan*. 1995;193:30-3.
- [14] Ahmed DAE-A, Slima DF, Al-Yasi HM, Hassan LM, Galal TM. Risk assessment of trace metals in *Solanum lycopersicum* L.(tomato) grown under wastewater irrigation conditions. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(14):42255-66.
- [15] Zafarzadeh A, Rahimzadeh H. Concentration of cadmium, lead, zinc and copper in the cucumber and tomatoe in Northern Iran. *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*. 2015;17(1):77-83.
- [16] Zolfaghari G, Delsouz M, Sazgar A, Akhgari Z. Study of Some of Heavy Metals in Poaceae Triticum, Zea Maize, and Hordeum

- Vulgare and Non Carcinogenic Quantitative Risk Assessment: Kashafroud River, Mashhad. 2020.
- [17] TAHSINI H, GAVILIAN H. Assessment risk food of heavy metals (cadmium, lead, zinc and copper) from the consumed crops have been distributed in Santandaj. 2016.
- [18] Romero-Estévez D ,Yáñez-Jácome GS, Simbaña-Farinango K, Vélez-Terreros PY, Navarrete H. Determination of cadmium and lead in tomato (*Solanum lycopersicum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) consumed in Quito, Ecuador. *Toxicology Reports*. 2020;7:893-9.
- [19] Tabande L, Taheri M .Evaluation of exposure to heavy metals Cu, Zn, Cd and Pb in vegetables grown in the olericultures of Zanzan Province's fields. 2016.
- [20] Hossain A, Ahmed MW, Rabin MH, Kaium A, Razzaque MA, Zamil SS. Heavy metal quantification in chicken meat and egg: An emerging food safety concern. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2024;126:105876.
- [21] Kamaly HF, Sharkawy AA. Health risk assessment of metals in chicken meat and liver in Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023;195(7):802.
- [22] 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):9495-501.
- [23] Ali A, Ahmad N, Liaqat A, Farooq MA, Ahsan S, Chughtai MFJ, et al. Safety and quality assessment of street-vended barbecue chicken samples from Faisalabad, Pakistan. *Food Science & Nutrition*. 2023;11(2):930-9.



## Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: [www.fsct.modares.ir](http://www.fsct.modares.ir)

### Scientific Research

### Investigation of Heavy Metals Release from Grilled Skewers and Disposable Aluminum Containers into Food

Hojat Moridian Pirdoosti<sup>1</sup>, Sepideh Abbaszadeh<sup>2</sup>, Mahshid Bahraminejad<sup>3</sup>, Milad Rouhi Langeroodi<sup>4</sup>, Mohammad Nejatian<sup>5\*</sup>

- 1- Master's student in Food Hygiene and Safety, Student Research Committee, Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Public Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
- 2- Associate Professor of Food Hygiene, Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Public Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
- 3- PhD student in Food Hygiene and Safety, Student Research Committee, Department of Food Science and Technology, School of Nutrition Sciences and Food Technology, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
- 4- Associate Professor of Food Science and Technology, Research Center of Oils and Fats, Health Technology Institute, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
- 5- Assistant Professor of Food Science and Technology, Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Public Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran (corresponding author)

| ARTICLE INFO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article History:</b></p> <p>Received: 2024/12/04</p> <p>Accepted: 2025/05/14</p> <hr/> <p><b>Keywords:</b></p> <p>Metal release,</p> <p>Cookware,</p> <p>food safety,</p> <p>inductivity coupled plasma (ICP)</p> <hr/> <p><b>DOI:</b> 10.48311/fsct.2025.83935.0.</p> <p>*Corresponding Author E-<br/>mnejaatian@gmail.com</p> | <p>The intake of toxic metals from cooking utensils through food is of growing concern to the health community. This intake poses serious risk to human health. In the present study, the migration of some metals including cadmium, lead, tin, iron, aluminum and chromium from steel and aluminum grill skewers as well as aluminum disposable containers to various foods including tomatoes, Koobideh, chicken kebab and rice investigated. According to the results, in the case of tomatoes, during the grilling process, both migration and leaching of metals along with water took place, so that the migration was related to metals that were not naturally present in raw tomatoes (for example, tin concentration was increased upto 18 ppm). In general, the migration of aluminum and iron were observed to be higher than the remaining minor elements in the aluminum and steel skewers, respectively, which is due to the higher concentration gradient of these metal ions in two types of skewers. The lowest level of migration occurs in grilled chicken. In this regard, no migration level of lead, cadmium and tin metals was observed in chickens from both types of skewers. It seems that the higher pH of chicken meat is related to this result. In the case of the aluminum foil cookware, the migration of only two metals, Al and Fe, to rice was significantly done, so that the amount of these metals increased by 2 and 2.8 times, respectively. THQ and HI values were less than 1 in all examined foods (except for tin in grilled tomatoes), which shows that the migration of heavy metals to food from the examined cookwares is not a concern. Nevertheless, the present study emphasizes the necessity of establishing policies related to the materials and types of food cookware used in kitchens to protect consumers by minimizing the health risks associated with the migration of elements.</p> |