بررسی میزان مهاجرت آلومینیوم به مواد غذایی از طریق ظروف پخت و پز

محسن رادی[۱*]، صدیقه امیری[۲]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یاسوج، دانشکده کشاورزی، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، یاسوج، ایران.
۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یاسوج، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، باشگاه پژوهشگران جوان، یاسوج، ایران.
* نویسنده مسئول مکاتبات: msnradi@gmail.com
(دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۱۱ پذیرش نهایی: ۹۳/۴/۷)

چکیده

امروزه وجود آلومینیوم در رژیم غذایی انسان به‌عنوان یک آلاینده نگرانی بسیاری از محققین را برانگیخته است. به‌نظر می‌رسد که ظروف پخت و پز یکی از منابع رایج دریافت آلومینیوم مردم ایران از طریق رژیم غذایی است. به همین دلیل در این پژوهش میزان مهاجرت آلومینیوم از طریق ظروف آلومینیومی به محیط‌های غذایی بررسی گردید. برای این منظور، محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف اسید سیتریک، سدیم کلراید، چربی، پروتئین و شکر تهیه گردید و میزان مهاجرت آلومینیوم به این محلول‌ها با استفاده از دستگاه اسپکترومتریجذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، افزودن نمک و اسید سیتریک باعث افزایش میزان مهاجرت آلومینیوم می‌گردد. اما اثر اسید به دلیل قدرت خورندگی آن بر سطح ظرف بسیار بیشتر از نمک ارزیابی گردید. با افزایش شدت فرایند حرارتی و مدت زمان اعمال حرارت میزان مهاجرت آلومینیوم نیز افزایش یافت. هم‌چنین میزان آلومینیوم نمونه‌های مختلف غذاهای ایرانی طبخ شده در ظروف آلومینیومی پایین، اما به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های کنترل بود.

واژه‌های کلیدی: **ظرف آلومینیومی، مهاجرت، آلاینده**

مقدمه

انسان در معرض آلاینده‌های زیادی قرار دارد که طیف وسیعی از آن‌ها توسط هوای آلوده و گروه وسیعی دیگر از طریق مواد غذایی وارد بدن می‌شوند و باعث آلودگی انسان در طول زمان می‌گردند. یکی از این آلاینده‌های مهم آلومینیوم است که مهم‌ترین راه آلودگی انسان به آن از طریق مصرف مواد غذایی است. میزان دریافت مجاز روزانه آلومینیوم اعلام شده توسط کمیته تخصصی افزودنی‌های غذایی (FAO/WHO)، ۱ میلی‌گرم آلومینیوم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن

می‌باشد (Ranau *et al*., 2001). قسمت عمده‌ای از آلومینیوم خوراکی از طریق مهاجرت آن از بسته‌بندی‌های مواد غذایی (Ranau *et al*., 2001)، آب خوراکی، مواد افزودنی (Muller *et al*., 1998) و ظروف استفاده شده برای پخت و پز مواد غذایی (Verissimo *et al*., 2006) است.

تحقیقات کمی روی مهاجرت آلومینیوم از طریق ظروف بسته‌بندی یا وسایل پخت و پز انجام شده است. برای مثال تحقیقاتی روی مهاجرت آلومینیوم از بسته‌های اسپتیک چند لایه به آب پرتقال (Rodushkin and Magnusson, 2005)، از قوطی‌های آلومینیومی به نوشیدنی‌های الکلی و چای (Verissimo and Gomes, 2008) و از فویل آلومینیومی مورد استفاده برای پخت به انواع گوشت (Turhan *et al*., 2006) انجام شده است.

میزان آلومینیوم خوراکی در زنجیره غذایی انسان هر روزه در حال افزایش است که گفته می‌شود نقش مهمی در بروز عوارضی نظیر آلزایمر، کم‌خونی و آسیب به نورون‌ها و سلول‌های عصبی دارد (Pharm, 2010). باید توجه داشت که منشاء دریافت آلومینیوم مردم یک جامعه بستگی به سبک زندگی و تکنولوژی تولید مواد غذایی در آن جامعه دارد و قطعاً از منطقه‌ای به منطقه دیگر فرق می‌کند. به این ترتیب ضروری است که محققین، سازمان‌های مسئول و موسسات دانشگاهی بررسی‌های دقیق و جامعی در این حوزه انجام دهند و میزان دریافت آلومینیوم را محاسبه کنند تا در صورت بالا بودن میزان دریافت راه‌کارهای موثری را جهت کاهش آن اتخاذ نمایند. در آمریکا استفاده از افزودنی‌های پرمصرفی چون فسفات سدیم آلومینیوم، سولفات آلومینیوم و سیلیکات‌های آلومینیوم قسمت عمده‌ای از سهم دریافت آلومینیوم مردم آمریکا را تشکیل می‌دهد. در اروپا نیز بیشترین دریافت از منابع دیگر و از طریق بسته‌بندی مواد غذایی است، هر چند در اروپا این موضوع کاملاً تحت کنترل در آمده است و میزان دریافت روزانه مردم بسیار پایین است (Muller *et al*., 1998). این در حالی است که در ۱۵ سال اخیر استفاده از ظروف آلومینیومی در بین مردم ایران بسیار رایج شده است که علت عمده آن ناآگاهی مردم و ارائه ظروف آلومینیومی به آن‌ها به جای ظروف رویی است. به نظر می‌رسد در ایران انتقال آلومینیوم از ظروف پخت و پز آلومینیومی همراه با مهاجرت از ظروف بسته‌بندی بیشترین سهم دریافت مردم ایران را تشکیل دهد. هدف از این تحقیق، بررسی میزان مهاجرت آلومینیوم به مواد غذایی در شرایط پخت و پز خانگی از طریق ظروف آلومینیومی از این طریق است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام فرایند

محیط‌های مدل: تأثیر فاکتورهای مختلف نظیر غلظت نمک، قند، چربی و اسید بر میزان مهاجرت آلومینیوم به‌طور مجزا بررسی گردید. به‌این ترتیب با استفاده از آب یک‌بار تقطیر محلول NaCl با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد (وزنی-وزنی)، محلول‌های ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۶۰ درصد (وزنی- وزنی) ساکارز به عنوان قند معمول غذایی و محلول‌های ۱،۰/۱، ۲ و ۳ درصد (وزنی-وزنی) اسید سیتریک برای بررسی تأثیر اسید تهیه گردیدند. به همین ترتیب غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۱۰۰ درصد چربی انتخاب گردید. از خامه ۳۰ درصد

به‌عنوان نمونه ۳۰ درصد چربی استفاده گردید و از طریق رقیق‌سازی آن با آب مقطر نمونه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵درصد چربی تهیه گردیدند. برای مدل‌سازی غلظت ۱۰۰ درصد چربی (شرایط سرخ کردن) از روغن آفتابگردان استفاده شد. هم‌چنین یک نمونه آب یک بار تقطیر به‌عنوان نمونه شاهد انتخاب گردید. هم‌زمان یک نمونه از آب لوله شهری نیز برداشته شد. برای تمام نمونه‌های مذکور یک نمونه شاهد در ظروف شیشه‌ای پیرکس تهیه گردید.

میزان ۲۰۰ گرم از هر یک از محلول‌های فوق به ظروف آلومینیومی تهیه شده با ابعاد یکسان انتقال یافت و برای مدت زمان یک ساعت بر شعله کوچک گازهای خانگی قرار گرفت. شدت حرارت‌دهی برای همه نمونه‌ها یکسان اعمال گردید. سپس نمونه‌ها روی اجاق برقی آزمایشگاهی قرار گرفتند و تغلیظ گردیدند. بعد از تغلیظ از نمونه‌ها خاکستر تهیه گردید.

برای بررسی تأثیر استفاده مجدد از ظروف آلومینیومی، میزان ۲۰۰ گرم از آب یک‌بار تقطیر در ظروف آلومینیومی ریخته و به میزان یک ساعت حرارت داده شد. سپس همان ظرف‌ها به میزان ۵ بار دیگر برای جوشاندن آب به مدت یک‌ساعت استفاده شدند. هم‌چنین برای بررسی اثر شدت حرارت بر مهاجرت آلومینیوم، میزان انتقال آلومینیوم به آب یک‌بار تقطیر وقتی ظروف آلومینیومی بر شعله کوچک و شعله متوسط گازهای خانگی قرار می‌گرفتند، اندازه‌گیری شد. یک نمونه به‌صورت غیرمستقیم (از طریق قرارگیری ظرف در حمام آبگرم بر شعله کوچک) حرارت داده شد.

محیط‌های غذایی: برای آگاهی از میزان انتقال آلومینیوم به مواد غذایی تحت شرایط پخت خانگی، انواع مختلفی از مواد غذایی چون برنج، خورشت سبزی، خورشت قیمه بادمجان، سوپ، ماکارونی، آش رشته، آش گندم، عدسی، سس ماکارونی و شله‌زرد در ظروف آلومینیومی به مدت یک ساعت بر شعله کوچک گازهای خانگی تهیه گردیدند. یک نمونه شیر نیز که به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده شده بود همراه با یک نمونه دیگر شیر که تنها تا مرحله جوش حرارت داده شده بود، در ظروف آلومینیومی قرار گرفتند.یک نمونه ماست در ظروف آلومینیومی تهیه گردید و در زمان ۰، ۲٤، ٤۸، ۷۲ و ۹٦ ساعت نمونه‌بردای شد. برای تمام نمونه‌های غذایی مذکور یک نمونه شاهد نیز در ظروف پیرکس تهیه گردید. از تمامی نمونه‌های غذایی به میزان ۱۰ گرم برای آزمایش نمونه‌گیری شد و پس از تهیه خاکستر، میزان آلومینیوم آن‌ها تعیین شد.

اندازه‌گیری میزان آلومینیوم

برای تهیه خاکستر، هر نمونه به مدت ۸-٦ ساعت در کوره در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس کل خاکستر بدست آمده از هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ مولار حل گردید و با استفاده از بافر استات ۰/۵ مولار با pH= ٦ در یک فلاسک حجمی به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. تعیین غلظت آلومینیوم با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی (Perkin Elmer AAS 4100ZL, THGA, AS 70) در طول موج ۳۰۹/٦ نانومتر انجام گردید (Verissimo *et al*., 2006). حد تشخیص دستگاه ۱ میکروگرم در لیتر بود و اندازه‌گیری بر اساس منحنی کالیبراسیون به‌دست آمده از ٦ غلظت متوالی محلول‌های استاندارد آلومینیوم (نیترات

آلومینیوم در آب مقطر دوبار تقطیر) از ۵۰- ۵ میلی‌گرم در لیتر انجام شد. با توجه به جذب خوانده شده توسط دستگاه و منحنی کالیبراسیون، محلول خاکستر بسته به نیاز رقیق‌سازی شد تا جذب در محدوده منحنی کالیبراسیون قرار گیرد. مقدار آلومینیوم در ماده غذایی با تعیین غلظت آلومینیوم در محلول‌های خاکستر و در نظر گرفتن ضرایب رقت و مراحل آماده‌سازی نمونه، بر حسب نانوگرم در گرم ماده غذایی گزارش شد.

تجزیه آماری داده‌ها

کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شد و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آنالیز واریانس و به روش دانکن با نرم‌افزار SPSS (Version 10.5 software, New Jersey, USA) صورت گرفت.

یافته‌ها

بررسی تأثیر غلظت‌های نمک و اسید سیتریک بر میزان مهاجرت آلومینیوم

نتایج حاصل از بررسی اثر نمک بر مهاجرت آلومینیوم (جدول ۱) نشان داد که میزان انتقال آلومینیوم به محلول‌های حاوی نمک بیشتر از نمونه کنترل بود ($p< ۰/۰۵$)، اما افزایش در غلظت نمک تأثیری بر میزان مهاجرت نداشت ($p> ۰/۰۵$).

جدول ۱- تأثیر غلظت‌های نمک بر میزان مهاجرت آلومینیوم

نوع تیمار	میزان آلومینیوم (ng/g)
محلول نمک ۲٪ (کنترل)	۱۶±۱/۸۰ [a]
محلول نمک ۰/۵٪	۳۰۰±۲/۶۶ [b]
محلول نمک ۱٪	۳۰۲±۱/۷۴ [b]
محلول نمک ۲٪	۳۰۳±۱/۵۲ [b]

نمونه‌های کنترل نمونه‌های تهیه شده در ظرف پیرکس هستند.
(a و b): حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری معنی‌داری بین نمونه‌ها است ($p<۰/۰۵$).

میزان مهاجرت آلومینیوم به‌شدت تحت تاثیر میزان اسید قرار داشت. وجود اسید سیتریک در غلظت‌های پایین ۰/۱ درصد باعث افزایش قابل توجهی در میزان مهاجرت آلومینیوم گردید و میزان مهاجرت با افزایش غلظت اسید سیتریک تا ۳ درصد، نیز افزایش یافت (جدول ۲).

جدول ۲- تأثیر غلظت‌های اسید سیتریک بر میزان مهاجرت آلومینیوم

نوع تیمار	میزان آلومینیوم (ng/g)
محلول اسید سیتریک ۳٪ (کنترل)	۲۰±۱/۱۰ [a]
محلول اسید سیتریک ۰/۱٪	۱۱۷۹±۲/۱۱ [b]
محلول اسید سیتریک ۱٪	۲۸۴۵±۳/۲۵ [c]
محلول اسید سیتریک ۲٪	۵۹۹۵±۲/۳۴ [d]
محلول اسید سیتریک ۳٪	۶۰۰۱±۱/۴۴ [e]

نمونه‌های کنترل نمونه‌های تهیه شده در ظرف پیرکس هستند.
(a, b, c, d و e): حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری معنی‌داری بین نمونه‌ها است ($p<۰/۰۵$).

بررسی اثر غلظت‌های شکر و چربی بر میزان مهاجرت آلومینیوم

بر اساس نتایج جدول ۳، غلظت شکر تاثیر معنی‌داری بر میزان مهاجرت آلومینیوم ندارد. به‌طوریکه محلول‌های ٦٠ درصد شکر حرارت دیده در ظروف شیشه‌ای و آلومینیومی تفاوت آماری معنی‌داری را در میزان مهاجرت آلومینیوم نشان ندادند ($p>0/05$).

جدول ۳- تأثیر غلظت شکر بر میزان مهاجرت آلومینیوم

نوع تیمار	میزان آلومینیوم (ng/g)
محلول شکر ٦٠٪ (کنترل)*	٤٧٥±٥/٧٧
محلول شکر ٢/٥٪	٤٧٠±٦/٠٦
محلول شکر ٥٪	٤٧٢±٤/٠٨
محلول شکر ١٠٪	٤٦٩±٧/٦٣
محلول شکر ٦٠٪	٤٧٦±٥/٧٧

*نمونه‌های کنترل نمونه‌های تهیه شده در ظرف پیرکس هستند.

جدول ۴- تأثیر غلظت چربی بر میزان مهاجرت آلومینیوم

نوع تیمار	میزان آلومینیوم (ng/g)
خامه ٣٠٪ چربی-کنترل	١٢٥±٣/٢٦ [a]
خامه ٥٪ چربی	١٢٣±٤/٩٩ [a]
خامه ١٠٪ چربی	١٢٤±٥/١٩ [a]
خامه ١٥٪ چربی	١٢٦±٣/٨٣ [a]
خامه (٣٠٪ چربی)	١٢٤±٢/٢٥ [a]
روغن آفتابگردان-کنترل	٩٨٦١±٦/٣٣ [b]
روغن آفتابگردان (١٠٠ ٪ چربی)	١٢٠٧١±٧/٤٤ [c]

*نمونه‌های کنترل نمونه‌های تهیه شده در ظرف پیرکس هستند.

نتایج حاصل از بررسی اثر چربی بر مهاجرت آلومینیوم نشان داد چربی اثر معنی‌داری بر مهاجرت آلومینیوم ندارد (جدول ٤) و میزان مهاجرت آلومینیوم کاملاً قابل مقایسه با نمونه کنترل بود. این در حالی است که اندازه‌گیری میزان آلومینیوم در روغن آفتابگردان نشان از بالا بودن میزان آلومینیوم حتی در نمونه کنترل داشت (٩٨٦١ ng/g). وقتی روغن در دمای سرخ کردن قرار گرفت، میزان آلومینیوم مهاجرت یافته به روغن به‌شدت افزایش یافت و به ١٢٠٧١ ng/gرسید.

بررسی اثر تکرار استفاده از ظروف آلومینیومی و شدت حرارت اعمال شده بر میزان مهاجرت آلومینیوم

جدول ۵ تاثیر تکرار استفاده از ظروف آلومینیومی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که استفاده مجدد از ظروف آلومینیومی در کاهش میزان انتقال آلومینیوم موثر است، به‌طوریکه میزان مهاجرت از ٩٣ ng/g به ١٦ ng/gبعد از ۵ بار استفاده کاهش یافت.

جدول ۵- میزان مهاجرت آلومینیوم به آب در تکرارهای مختلف

نوع تیمار	میزان آلومینیوم (ng/g)
آب تصفیه	۱۷۸±۲/۳۳ [a]
آب مقطر- بار اول	۹٤±۳/۲۲ [b]
آب مقطر- بار دوم	۷۲±۵/٤۱ [c]
آب مقطر- بار سوم	۲۰±۲/۹۲ [d]
آب مقطر- بار چهارم	۱۸±۱/۲۱ [d]
آب مقطر- بار پنجم	۱۱±۰/۹۳ [e]
آب مقطر- کنترل	۱۵±۱/۱۲ [f]
آب لوله-کنترل*	۱٤۷±٤/۳۲ [g]
آب تصفیه-کنترل**	۱٤±۱/۲۲ [f]

* آب لوله است که به‌طور مستقیم آلومینیوم آن اندازه‌گیری شده است.

** آب حرارت‌دیده در ظرف پیرکس است.

(a، b، c، d، e، f و g): حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

جدول ۶- میزان مهاجرت آلومینیوم به آب در شدت و نوع حرارتی‌دهی مختلف

نوع تیمار	میزان آلومینیوم (ng/g)
شعله کوچک	۹۳±٤/۹٦ [a]
شعله متوسط	۷٦٤±۵/٤۷ [b]
حرارت‌دهی غیرمستقیم	۹٤±۲/۸۰ [a]

(a و b): حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری معنی‌دار بین نمونه‌ها است (p<۰/۰۵).

همانطوری‌که در جدول ۵ نشان داده شده است، میزان آلومینیوم آب تصفیه‌ای که در ظرف شیشه‌ای به مدت ۱ ساعت حرارت دیده بود (۱٤ ng/g) به‌طور معنی‌داری کمتر از آب تصفیه‌ای (۱۷۸ ng/g) بود که در ظرف آلومینیومی حرارت دیده است.

نتایج حاصل از شدت فرایند حرارتی بر میزان مهاجرت آلومینیوم نشان داد که شدت اعمال حرارت تحت سایر شرایط یکسان، به‌طور قابل توجهی بر انتقال آلومینیوم اثر مثبت می‌گذارد. به‌طوریکه استفاده از شعله بزرگ‌تر که فرایند حرارتی شدیدتری را اعمال می‌کرد، مهاجرت بیشتری را نشان داد (جدول ٦)، البته این امر در صورتی صحت دارد که شعله به‌خوبی زیر ظرف قرار گیرد. به‌علاوه، میزان مهاجرت در حالت حرارت‌دهی غیرمستقیم کاملاً قابل مقایسه (p>۰/۰۵) با نمونه‌ای بود که به‌طور مستقیم حرارت دیده بود (جدول ٦).

بررسی میزان مهاجرت آلومینیوم به فرمولاسیون‌های مختلف غذایی

میزان آلومینیوم در انواع مواد غذایی با محتوای چربی بالا (مثل سس ماکارونی و یا قیمه بادمجان)، حبوبات و یا سبزی بالا و یا هردو (چون انواع آش، عدسی، خورشت سبزی)، غذاهای شیرین چون شله زرد و یا میزان پروتئین زیاد چون سویا و سس ماکارونی در مقایسه با نمونه کنترل آن‌ها در جدول ۷ نشان داده شده

است. برای تهیه غذاها از آب تصفیه خانگی استفاده گردید تا شرایط پخت هرچه بیشتر به شرایط خانگی نزدیک باشد. در بیشتر موارد میزان آلومینیوم در نمونه‌های حرارت داده شده در ظروف آلومینیومی به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های کنترل در هر گروه از مواد غذایی بود ($p<۰/۰۵$)، اما این میزان افزایش در تمام شرایط بسیار پایین و زیر حد تعیین شده توسط استاندارد FAO/WHO بود. میزان مهاجرت در نمونه‌های جامدی نظیر برنج بسیار ناچیز بود.

میزان آلومینیوم در نمونه شیری که به مدت ۳۰ دقیقه حرارت دیده بود (۳/۵٦ ng/g ± ۵۸) به‌طور معنی‌دار بیشتر از نمونه شیری بود که تنها تا مرحله جوشیدن در معرض ظرف آلومینیومی (۱/۱۲ ng/g ± ۵) قرار داشت. این در حالی است که تفاوت معنی‌داری بین شیر کنترل (شیر حرارت‌دیده در ظرف شیشه‌ای) ۲/۲ ng/g ± ٦ و نمونه شیر حرارت‌دیده در ظرف آلومینیومی تنها تا مرحله جوشیدن وجود نداشت ($p > ۰/۰۵$). به‌نظر می‌رسد که مدت زمان حرارت‌دهی در معرض ظرف آلومینیومی فاکتوری مهم در مهاجرت آلومینیوم محسوب می‌شود.

اندازه‌گیری میزان مهاجرت آلومینیوم از ظروف آلومینیومی بعد از یک، دو، سه، چهار و پنج روز نگه‌داری ماست در یخچال، تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های نگه‌داری شده در ظروف آلومینیومی حتی بعد از پنج روز نگه‌داری در مقایسه با نمونه تازه (نمونه روز اول که تماسی با ظرف آلومینیومی نداشته است) نشان نداد (جدول ۸). به این ترتیب نگه‌داری ماست در این ظروف خطری را برای مصرف‌کننده نخواهد داشت (البته اسیدیته ماست‌ها در این مدت تغییری نکرد).

جدول ۷- میزان آلومینیوم (ng/g) در نمونه‌های مختلف غذایی تهیه شده در ظروف آلومینیومی و پیرکس

نوع ماده غذایی	ظرف	
	آلومینیوم	پیرکس
آش‌رشته	۲۳±۰/۱۷ b	۱۷± ۰/۵۱ a
خورشت سبزی	۳۳±۱/۳۰ b	۲±۰/۱۲ a
قیمه‌بادمجان	٦۸±۵/۲٦ b	۲۲±۲/۷۱ a
شله‌زرد	٤۳±٦/۵۳ b	۲±۰/۱۲ a
آش‌جو	۳±۲/۳٦ a	۵±۰/٦۸ a
سوپ	۳۹±۳/۲۱ b	۱۰± ۱/۱۰ a
سویا	۷٦±٤/٤۲ b	۲۳±۰/۲۰ a
عدسی	۵٦±۵/۵۵ b	٤±۱/۷۸ a
برنج	۲±۲/۱۳ a	۱±۰/۱۲ a
سس ماکارونی	۸۵±۰/٤۸ b	۲۷±۰/٦۳ a

(a و b): حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<۰/۰۵$).

جدول ۸- اثر زمان نگه‌داری بر میزان مهاجرت آلومینیوم در ماست

نوع ماده غذایی	میزان آلومینیوم (ng/g)
ماست کنترل*	۴۸±۱/۰۲
ماست- روز اول	۴۹±۱/۱۲
ماست- روز دوم	۴۹±۱/۲۴
ماست- روز سوم	۵۱±۲/۲۳
ماست- روز چهارم	۵۱±۲/۳۰

* نمونه کنترل نمونه تهیه شده در ظرف پیرکس است.

بحث و نتیجه‌گیری

طبق نتایج مطالعه غلظت اسید سیتریک بر میزان مهاجرت آلومینیوم موثر بود و میزان مهاجرت با افزایش غلظت اسید افزایش یافت. علت افزایش در سطح مهاجرت را می‌توان به خوردگی سطح ظروف آلومینیومی تحت تاثیر شرایط اسیدی نسبت داد. چنین خوردگی سطحی را به‌سادگی می‌توان از صیقلی شدن سطح داخلی ظروف در طول حرارت‌دهی متوجه شد. زوبیدی و همکاران (۲۰۱۱) نیز مهاجرت آلومینیوم در محیط اسیدی (در حضور اسید سیتریک) را به خوردگی سطح آلومینیوم توسط اسید مربوط دانستند. وریسیمو و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که در نمونه‌های کلم قرمز که pH پایین‌تری (با استفاده از آب‌لیمو) داشتند، مهاجرت بیشتری رخ داد. این محققین در همین بررسی اظهار داشتند که در سرکه سیب (که pH پایین‌تری را نسبت به سرکه شراب ایجاد می‌کند) میزان مهاجرت آلومینیوم کم‌تراست. همچنین بررسی این محققین نشان داد که نشت آلومینیوم در نمونه‌هایی که حاوی اسید سیتریک بودند بیشتر از نمونه‌هایی بود که اسید نیتریک داشتند. کمپلکس‌های سیترات آلومینیوم بسیار پایدار هستند و سیترات به‌راحتی حتی مقادیر بسیار پایین آلومینیوم در رژیم غذایی را باند می‌کند. نشان داده شده است که غلظت آلومینیوم در خون بیمارانی که داروهای ضداسید بر پایه هیدروکسید آلومینیوم مصرف می‌کنند به‌شدت با مصرف سیترات افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، سیتریک اسید آلومینیوم را حل می‌کند و به‌همین دلیل بخش قابل توجهی از آلومینیوم به‌شکل کمپلکسی خنثی که می‌تواند از غشا عبور کند درمی‌آید، به‌این وسیله حاملی برای جذب آلومینیوم به بدن ایجاد می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که مردم نباید داروهای ضد اسید حاوی آلومینیوم را با آب پرتقال مصرف کنند (Verissimo *et al.*, 2006). این محققین در نهایت نتیجه گرفتند که فاکتورهای دیگری هم در کنار pH در نشت آلومینیوم موثر است.

نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت شکر اثری بر میزان مهاجرت آلومینیوم نداشت. به نظر می‌رسد که میزان آلومینیوم اندازه‌گیری شده در محلول‌های حاوی شکر، مربوط به خود پودر شکر است و با کاهش غلظت شکر در محلول‌ها، غلظت آلومینیوم آن‌ها نیز کاهش یافت ($p<0/05$). وریسیمو و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که حضور شکر باعث کاهش مهاجرت آلومینیوم می‌شود. نتیجه مشابهی نیز توسط فیمریت و

همکاران (۱۹۹۷) در آب کشمش گزارش شده است. این محققین دلیل این امر را به‌این شکل توضیح دادند که از آن‌جا که شکر خصوصیات خنثی‌سازی محلول‌های اسیدی و یا قلیایی را ندارد، ممکن است باعث نوعی پوشش شود که تماس بین اسید در آب میوه و سطح آلومینیومی را کاهش می‌دهد (Verissimo *et al.*, 2006).

اندازه‌گیری میزان آلومینیوم در روغن آفتابگردان نشان داد که میزان آلومینیوم این نمونه‌ها بسیار بالاست (ng/g ۹۸۶۱). شاید بتوان بالا بودن میزان آلومینیوم موجود در نمونه‌های کنترل را به انتقال آلومینیوم در جریان تصفیه روغن خصوصاً در طول فرایند رنگبری از طریق خاک رنگبر نسبت داد. وقتی روغن در دمای سرخ کردن قرار گرفت، میزان آلومینیوم مهاجرت یافته به روغن به‌شدت افزایش یافت. از آن‌جا که فرایند سرخ کردن در دماهای بالاتر از ۱۲۰ درجه سلسیوس صورت می‌گیرد، به نظر می‌رسد که دمای بالای سرخ کردن در افزایش مهاجرت آلومینیوم موثر باشد.

نتایج حاصل از بررسی تأثیر تکرار استفاده از ظروف آلومینیومی نشان داد که استفاده مجدد از ظروف آلومینیومی در کاهش میزان انتقال آلومینیوم موثر است. نتایج این تحقیق با نتایج وریسیمو و همکاران (۲۰۰۶) و نیلام و همکاران (۲۰۰۰) کاملا مطابقت داشت. این محققین اظهار داشتند که ظروف تازه آلومینیومی راحت‌تر از ظروف قدیمی‌تر تحت تأثیر مواد غذایی قرار می‌گیرند (Verissimo *et al.*, 2006).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که انتقال آلومینیوم به محیط‌های آبی راحت صورت می‌گیرد. به نظر می‌رسد که حرارت‌دهی محیط آبی یک فاکتور کلیدی در انتقال آلومینیوم محسوب می‌شود بطوری‌که انتقال آلومینیوم را تسهیل و یا ممکن می‌کند. در عین حال میزان آلومینیوم در آب لوله بسیار بیشتر از آب تصفیه بود، به‌این ترتیب استفاده از دستگاه‌های تصفیه خانگی می‌تواند در کاهش میزان آلومینیوم مصرفی خانواده از طریق آب شهری موثر باشد.

بر اساس یافته‌های این مطالعه، میزان مهاجرت آلومینیوم به محیط پیچیده غذایی کم بود و به نظر می‌رسد که متأثر عوامل مختلف و پیچیده‌ای است. البته باید بر این نکته تاکید داشت که در غالب موارد میزان مهاجرت آلومینیوم به مواد غذایی از ظروف آلومینیوم بسیار بیشتر از نمونه‌های کنترل که در ظروف پیرکس تهیه شده بودند، بود، که این امر می‌تواند در جای خود نگران کننده باشد. به‌هر حال نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که محتوای آلومینیوم بیشتر غذاهای پخت شده در این ظروف بین ng/g ۸۵–۱ قرار می‌گیرد. در بررسی‌های انجام شده تاکنون تحقیقی که به این شکل بر روی غذاهای پخت و پز شده در ظروف آلومینیومی انجام گرفته باشد، صورت نگرفته است، لذا امکان مقایسه نتایج این تحقیق با سایر تحقیقات وجود نداشت.

در طی بررسی که توسط مولر و همکاران (۱۹۹۷) بر روی برخی غذاهایی آماده که به‌طور معمول در رژیم غذایی مردم آلمان قرار دارد صورت گرفت محتوای آلومینیوم ترکیبات غذایی به شکل زیر مرتب شد: نوشابه‌ها، غذاهای با منبع حیوانی، غذاهای با منبع گیاهی. البته محققین اظهار داشتند که مقایسه نتایج آن‌ها با آنچه که توسط دیگران انجام گرفته است بسیار مشکل است چرا که تفاوت‌های زیادی در نتایج به‌دست

آمده وجود دارد، اما میزان آلومینیوم بیشتر مواد غذایی را در محدوده ۰/۱ تا ۱/۰ میکروگرم بر گرم ماده غذایی (و تعداد کمی هم بیشتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم) بنا بر بسیاری از تحقیقات گزارش کردند. وریسیمو و گومز (۲۰۰۸) نشان دادند که محتوای آلومینیوم در چای‌های کیسه‌ای بسیار بالاست و غلظت‌های بین ۱ الی ٦ میلی‌گرم در لیتر برای آن‌ها گزارش شده است. گیاه چای نه‌تنها می‌تواند مقادیر بالای آلومینیوم در خاک را تحمل کند، بلکه رشد آن‌ها شدیداً تحت تاثیر آلومینیوم قرار می‌گیرد. گیاه چای آلومینیوم را در خود جمع می‌کند و به همین دلیل برگ‌های مسن می‌توانند تا ۳۲ میلی‌گرم آلومینیوم به ازای هر گرم وزن خشک داشته باشند. علاوه بر آن چای‌های تجاری فوری غالباً دارای سیتریک اسید هستند، عاملی که جذب آلومینیوم را افزایش می‌دهد و باعث کاهش pH می‌شود. تحقیقات ایشان نشان داد که محتوای آلومینیوم در چای بسیار بیشتر از شراب در شرایطی که هر دو در ظروف آلومینیومی نگه‌داری می‌شوند است. البته ذکر این نکته نیز لازم است که آلومینیوم موجود در چای با دیگر ملکول‌های آلی کمپلکس تشکیل می‌دهد و به همین دلیل دسترسی زیستی به آلومینیوم موجود در چای بیشتر از دیگر منابع تغذیه‌ای نمی‌باشد (Verissimo and Gomes, 2008).

بسیاری از محققین بر این باورند که با توجه به سطوح پایین آلومینیوم مواد غذایی نگرانی از بابت در معرض قرارگیری افراد وجود ندارد. اگرچه افرادی که بیماری مزمن کلیوی دارند گروه پرخطر برای در معرض قرارگیری آلومینیوم محسوب می‌شوند و یا آن که مسمومیت سیستماتیک به‌دلیل تجمع مداوم آلومینیوم در بدن به دلیل ناتوانی در دفع آن از طریق ادرار می‌تواند رخ دهد. حدود ۵ درصد مردم جامعه ممکن است دچار چنین مشکلاتی شوند (Muller *et al.*, 1997). بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید، با توجه به استفاده مداوم ظروف آلومینیومی در برخی از خانواده‌های ایرانی، می‌تواند در دراز مدت نگران‌کننده باشد. از نظر مولر و همکاران (۱۹۹۷) پایش مداوم این مسئله با توجه به نقش احتمالی آلومینیوم در برخی از بیماری‌های مربوط به از بین رفتن رشته‌ها و شبکه‌های عصبی ضروری است. به‌هر حال مهم است که هرجامعه میزان آلومینیوم موجود در مواد غذایی، دسترسی زیستی و میزان مصرف مردم خود را به‌طور پیوسته زیر نظر داشته باشد و در صورت وجود نگرانی، اقدامات موثری را جهت کاهش در معرض‌قرارگیری مردم جامعه صورت گیرد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد در بین فاکتورهای مختلف مورد بررسی، غلظت اسید مهم‌ترین نقش را در افزایش مهاجرت آلومینیوم بازی می‌کند. حرارت‌دهی محیط‌های آبی، مدت زمان اعمال حرارت و شدت فرایند حرارتی نیز از دیگر فاکتورهای مهمی بودند که در افزایش مهاجرت آلومینیوم نقشی مثبت را ایفا کردند. در مجموع پخت و پز در ظروف آلومینیومی باعث انتقال آلومینیوم به مواد غذایی طبخ شده در این ظروف می‌گردد. هرچند مقدار آلومینیوم مهاجرت یافته قابل توجه نبود، اما استفاده طولانی مدت از این ظروف ممکن است خطراتی را برای استفاده‌کنندگان از این ظروف به‌همراه داشته باشد.

سپاسگزاری

این اثر علمی از طرح پژوهشی اجرا شده از محل بودجه دانشگاه آزاد اسلامی- واحد یاسوج استخراج گردیده است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از دانشگاه آزاد اسلامی- واحد یاسوج به دلیل تأمین هزینه‌های مالی این تحقیق کمال تشکر را دارند.

منابع

- Abdel-Aal, R.A., Assi, A.A.A. and Kostandy, B.B. (2011). Rivastigmine reverses aluminum-induced behavioral changes in rats. European Journal of Pharmacology, 659: 169–176.
- Appendini, A. and Hotchkiss, J.H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 3: 113–126.
- Fimreite, N., Hansen, O.O. and Pettersen, H.C. (1997). Aluminum concentrations in selected foods prepared in aluminum cookware, and its implications for human health. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 58: 1–7.
- Mitkus, R.J., King, D.B., Hess, M.A., Forshee, R.A. and Walderhaug, M.O. (2011). Updated aluminum pharmacokinetics following infant exposures through diet and vaccination. Vaccine, 29: 9538– 9543.
- Muller, M., Anke, M. and Illing-Gunther, H. (1998). Aluminium in foodstuffs. Food Chemistry, 61: 419–428.
- Neelam, B.M. and Kaladhar, M. (2000). Risk of increased aluminum burden in the Indian population: contribution from aluminum cookware. Food Chemistry, 70: 57–61.
- Ranau, R., Oehlenschlager, J. and Steinhart, H. (2001). Aluminium levels of fish fillets baked and grilled in aluminium foil. Food Chemistry, 73: 1–6.
- Rodushkin, I. and Magnusson, A. (2005). Aluminium migration to orange juice in laminated paperboard packages. Journal of Food Composition and Analysis, 18: 365–374.
- Pharm, K.M.G.D. (2010). Aluminum contamination in products used in parenteral nutrition: Has anything changed? Nutrition, 26: 585–594.
- Zubaidy, E.A.H., Mohammad, F.S. and Bassioni, Gh. (2011). Effect of pH, salinity and temperature on aluminum cookware leaching during food preparation. International Journal of Electrochemical Science, 6: 6424–6441.
- Verissimo, M.I.S. and Gomes, T.S.R. (2008). Aluminium migration into beverages: Are dented cans safe? Science of the Total Environment, 405: 385–388.
- Verissimo, M.I.S., Oliveira, J.A.B.P. and Gomes, M.T.S.R. (2006). Leaching of aluminium from cooking pans and food containers. Sensors and Actuators, 118: 192–197.
- Turhan, S. (2006). Aluminium contents in baked meats wrapped in aluminium foil. Meat Science, 74: 644–647.

Evaluation of aluminum migration into foodstuffs from aluminium cookware

Radi, M.[*1], Amiri, S.[2]

1-Assistant Professor of Food Science and Technology, College of Agriculture, Yasouj Branch, Islamic Azad University, Yasouj, Iran.
2-Assistant Professor of Food Science and Technology, Young Researchers Club, Yasouj Branch, Islamic Azad University, Yasouj, Iran.
[*]Corresponding author email: msnradi@gmail.com
(Received: 2014/3/1 Accepted: 2014/6/28)

Abstract

Nowadays, the existence of aluminum in human diet as a food contaminant has attracted the concerns of many researchers. It seems that the cooking pans are common sources of aluminum exposure through foodstuffs in Iran. The aim of this study was to evaluate the migration of aluminum from cooking containers into foodstuffs. For this purpose, solutions with different concentrations of citric acid, sodium chloride, fat, protein and sugar were prepared and migration of aluminum into these solutions was measured using atomic absorption spectrometry. Results showed that salt and citric acid concentrations could enhance aluminum migration; whereas, acid concentration was more effective than salt due to its corrosive effect. The intensity of heat processing and the duration of heat treatment had direct relation with aluminum migration. The aluminum content of cooked foods in aluminum cooking pans was also significantly more than control samples.

Key words: Aluminum cooking pans, Aluminum migration, Contaminant