

اندازه‌گیری فلزات کادمیوم، سرب، روی، آهن، آلومینیوم و مس در نمونه‌های چای وارداتی و داخلی موجود در بازار ایران با استفاده از روش‌های ICP-OES و CP-MS

شیمیا کاظمی^a، محمدجواد اسدالله زاده^{b*}، خسرو عبدی^c

^a دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

^b استادیار واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

^c استادیار دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲

چکیده

مقدمه: میزان عناصر فلزی موجود در چای می‌تواند تاثیر مهمی بر سلامت افراد داشته باشد. تحقیق حاضر به منظور بررسی میزان فلزاتی شامل کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، روی (Zn)، آهن (Fe)، آلومینیوم (Al) و مس (Cu) در نمونه‌های چای وارداتی و چند چای ایرانی صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: ابتدا با استفاده از سه روش، هضم اسیدی (Digestion)، دم کردن با حرارت تا دمای جوش (Brew) و روش دمکردگی (Infusion) آماده‌سازی نمونه‌های چای انجام گرفت و با استفاده از تکنیک‌های طیف بینی نشر اتمی با پلاسما جفت شده القایی (ICP-OES) و طیف‌سنجی جرمی پلاسما جفت شده القایی (ICP-MS) میزان فلزات نمونه‌ها بررسی و نتایج به دست آمده مورد تحلیل آماری قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که در میان عناصر مختلف، عنصر Al با غلظت ۶۵۹ µg/g و عنصر Cd با غلظت ۰/۹۷ µg/g به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را در میان عناصر مختلف در نمونه‌های مورد بررسی داشته‌اند. در بین روش‌های استخراج، روش Digestion میزان غلظت عناصر به صورت معنی‌داری بالاتر از دو روش دیگر بود. آنالیز آماری نتایج میانگین غلظت عناصر توسط دستگاه‌های ICP-OES و ICP-MS نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت عناصر Zn، Fe، Cu، Cd و Al بین نمونه‌های چای‌های وارداتی و بومی در هر یک از روش‌های استخراجی Brew، Infusion و Digestion وجود ندارد. نتایج تحلیل آماری نشان داد که در بین عناصر مختلف، میزان غلظت Pb به دست آمده با روش ICP-MS به صورت معنی‌داری بالاتر از میزان به دست آمده با ICP-OES برای چای‌های بومی یا وارداتی است.

نتیجه‌گیری: با وجود بالاتر بودن غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در کار حاضر نسبت به مرجع استاندارد فلزات در گیاه چای، محاسبه میزان دریافت روزانه نشان داد که میزان دریافت عناصر برای هر فرد بالغ همچنان در گستره مقدار مجاز سازمان بهداشت جهانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسپکتروسکوپی نشری پلاسما جفت شده القایی، اسپکترومتری جرمی با پلاسما جفت شده القایی، استخراج، چای، فلزات

مقدمه

بعد از آب، مصرف چای به‌عنوان یک آشامیدنی دلپذیر و عادت غذایی و همچنین خواص سلامتی در دنیا و به خصوص بین ایرانیان رواج دارد. تولید جهانی چای طی دهه گذشته با رشدی معادل ۱/۸۱ درصد در سال روبه‌رو بوده و میزان مصرف جهانی چای نیز نرخ معادل ۲/۰۵ درصد رشد داشته است (Qin et al., 2007). به طور متوسط هر ایرانی سالانه حدود ۱/۵ کیلوگرم چای مصرف می‌کند. مطالعات اخیر که در نشریات پیشگام پزشکی به چاپ رسیده‌اند مؤید آن است که نوشیدن چای باعث تقویت قلب و عروق، جلوگیری از سرطان، جلوگیری از پارکینسون، چربی سوزی و تسکین آرتروز می‌باشد (Subramanian et al., 2011; Sharma et al., 2005; Szymczycha-Madeja, 2012).

گیاه چای قادر است مقادیر نسبتاً زیادی از عناصر ضروری برای بدن نظیر کروم، کبالت و نیز عناصر غیر ضروری و حتی مضر نظیر آرسنیک قلع و آلومینیوم، سرب، کادمیوم را از خاک بخصوص خاک‌های اسیدی و آلوده جذب و در برگ‌های خود ذخیره نماید (Feng et al., 2003). خاک که محیط رشد گیاه چای است، منبع اصلی فلزات سنگین این گیاه به شمار می‌رود. احتمال آلودگی با آلومینیوم، کروم، مس، سرب و روی در طول مراحل تولید چای مانند آب‌زدایی، خشک کردن، پیچ خوردن، آسیاب کردن و بسته‌بندی هم وجود دارد. آلودگی به فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست‌محیطی و یکی از نگرانی‌های مهم بهداشت مواد غذایی به شمار می‌آید. وجود این فلزات در چای می‌تواند یکی از منابع آلودگی در مواد غذایی به شمار آید. بررسی ترکیب تغذیه‌ای چای بخصوص عناصر ضروری، غیرضروری و سمی از نظر کیفی، استانداردها، ویژگی‌های تغذیه‌ای، سلامتی و آلودگی از اهمیت بالایی برخوردار است (Soetan et al., 2010). اگرچه غلظت فلزات در دم‌کرده چای معمولاً اندک است اما می‌تواند بخش مهمی از کل عناصر ورودی به بدن را تشکیل دهد زیرا به مقدار زیادی نوشیده می‌شود. بنابراین اندازه‌گیری میزان فلزات موجود در چای می‌تواند در تعیین مقدار ورود این مواد از طریق نوشیدن چای موثر باشد. مواد معدنی اصلی شامل کلسیم، فسفر، سدیم و کلر می‌باشد، درحالی‌که عناصر کمیاب شامل آهن، مس، کبالت، پتاسیم، منیزیم، ید، روی، منگنز، مولیبدن، فلئور و کروم است که برگ‌های چای منبع مناسبی برای این عناصر

است (Soetan et al., 2010). مواد معدنی اصلی در مقادیر بیش از ۱۰۰ mg/dl (و مواد معدنی کمیاب در مقادیر کمتر از ۱۰۰ mg/dl مورد نیاز بدن هستند (Soetan et al., 2010; Soyak et al., 2011).

با توجه به مصرف فراوان چای، ضروری است که حجم فلزات سمی آن تعیین شود. فلزات سنگین به دلیل تمایل به تجمع در بافت‌های زنده موجودات، آسیب‌زا هستند. فلزات و عناصر سنگین در اندازه‌های کوچک از طریق غذا، نوشیدنی‌ها، آب و هوا وارد بدن افراد می‌شوند. انسان و حیوانات همیشه در معرض آلودگی با فلزات سنگین هستند این‌گونه فلزات با ترکیبات ضروری بدن از قبیل اکسیژن، گوگرد و زنت و گروه‌هایی از قبیل S-S، SH، OH، COO و پروتئین‌ها هستند برهمکنش می‌کنند و باعث وقفه فعالیت آنزیم‌ها و اختلال در سنتز ترکیبات ضروری بدن می‌شوند (Dufresne et al., 2010).

بدن انسان به عناصر فلزی و غیرفلزی در حد مجاز برای رشد و سلامتی نیاز دارد؛ بنابراین تعیین ترکیب عناصر در غذا و محصولات وابسته برای درک اهمیت تغذیه‌ای آن‌ها ضروری است (Dufresne et al., 2010; Sharma et al., 2005). تلاش‌های زیادی برای تعیین عناصر در بوته گیاهان، گیاهان دارویی و معطر و برگ‌های چای در اقصی نقاط دنیا با استفاده از روش‌های مختلفی نظیر طیف‌بینی جذب اتمی شعله، طیف‌بینی جذب اتمی الکتروگرمایی، طیف بینی نشر اتمی با پلاسما جفت شده القایی و طیف‌سنجی جرمی با پلاسما جفت شده القایی انجام شده است. هدف اصلی تجزیه‌ای توسعه و ارزیابی روش‌های نسبتاً سریع، قابل‌اعتماد و حساس برای تعیین خلوص بعضی فلزات در برگ‌های چای یا نمونه‌های گیاهی با قالب مشابه است. تلاش‌های زیادی توسط محققان در طول چندین سال گذشته برای تعیین مقدار عناصر انجام شده است که در ادامه به بررسی تحقیقات اخیر انجام شده در این زمینه، می‌پردازیم.

Soylak و همکاران در سال ۲۰۰۷ فلزات نیکل، مس و روی را در ده نمونه چای با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی شعله اندازه‌گیری کردند. محدوده غلظت‌های به‌دست‌آمده برای مس، روی و نیکل به ترتیب ۶/۴-۱۳/۱، ۷/۰-۱۶/۵ و ۳/۱-۵/۷ (μg^{-1}) به دست آمد. Ansari و

از طیف بینی جرمی است که برای تعیین فلزات و تعدادی از نافلزات در غلظت‌های پایین کاربرد دارد. در مقایسه با روش‌های دیگر ICP-MS دارای سرعت و حساسیت بالاتری است. همچنین ICP-MS حساسیت فوق‌العاده بالا (حد تشخیص بسیار پایین) برای تعداد زیادی از عناصر را فراهم می‌کند. حد تشخیص برای بیشتر از ۶۰ عنصر از جمله تشکیل‌دهنده کاربرد و لاتنانیدها در بین ۰/۳-۰/۳۰ $\mu\text{g l}^{-1}$ یا (ppb) قرار می‌گیرد و حد تشخیص برای هالوژن‌ها، فسفر و گوگرد در محدوده 1 mg l^{-1} یا ۰/۰۰۱ یا (ppm) قرار می‌گیرد (Achudume et al, 2010).

بنابراین در مطالعه حاضر نمونه‌های مختلف از چای‌های وارداتی و همچنین چای‌های تولید شده در مزارع داخل کشور با استفاده از سه روش متفاوت Brew, Digestion و Infusion آماده‌سازی و سپس با استفاده از تکنیک‌های ICP-OES و ICP-MS میزان فلزات موجود در آنها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده از روش‌های متفاوت استخراج و همچنین نتایج به دست آمده با روش‌های اندازه‌گیری متفاوت مورد تحلیل و ارزیابی آماری قرار گرفت. در نهایت میزان عناصر فلزی به دست آمده در بین نمونه‌های چای‌های وارداتی و داخلی مورد بررسی آماری قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

چای سیاه محلی هم از مزارع استان گیلان و هم از سوپرمارکت‌های شهر و چای وارداتی از سوپرمارکت‌های سطح شهر جمع‌آوری شد. اسید هیدروکلریک 37% مورد استفاده از شرکت شیمیایی Merck و اسید نیتریک 69% مورد استفاده از شرکت شیمیایی Panreact تهیه شدند. نمونه‌های چای استفاده شده در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

- دستگاه‌ها و تجهیزات مورد استفاده

به‌منظور همگن کردن نمونه‌ها، همگن‌ساز شرکت Bandelin Sonorex استفاده شد. همچنین برای خرد کردن نمونه‌ها از آسیاب Spice and Herb Grinder مدل IC-06B استفاده شد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها جهت شناسایی و تعیین مقدار فلزات سنگین موجود از دستگاه ICP-OES مدل ULTIMA شرکت HORIBA

همکاران در سال ۲۰۰۷ غلظت کادمیوم، سرب، نیکل، آلومینیوم، آهن، روی، مس و منگنز را در ۳۰ نمونه چای پرورش یافته در ایران در مقایسه با ۳۰ نمونه چای وارداتی با طیف‌بینی جذب اتمی بررسی کردند. نتایج تجزیه نشان داد که سطح متوسط آلومینیوم برای نمونه ایرانی $699/2 \pm 172/7 \text{ mg/kg}$ و برای چای سیاه وارداتی $383/3 \pm 98/3 \text{ mg/kg}$ بود که این نشان‌دهنده توانایی گیاهان در تجمع آلومینیوم می‌باشد. مقادیر کادمیوم، سرب و نیکل قابل تشخیص نبود. مقدار منگنز در چای ایرانی و وارداتی به ترتیب $214/2 - 155/2$ و $96/7 - 332/9 \text{ mg/kg}$ بود که منگنز فراوان‌ترین فلز در نمونه‌های چای مورد بررسی بود. نتایج نشان داد که ارزش تغذیه‌ای چای پرورش یافته در ایران از چای وارداتی بهتر بود. Seenivasan و همکاران در سال ۲۰۰۸ صد نمونه چای سیاه از مناطق رویش چای در جنوب هند را مورد بررسی قرار دادند. این اندازه‌گیری با استفاده از روش طیف بینی جذب اتمی شعله و کوره گرافیتی انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد که سطح متوسط مس $24/7 \pm 2/25$ ، کروم $4/76 \pm 1/27$ ، نیکل $2/53 \pm 1/07$ ، کادمیوم $0/14 \pm 0/06$ و سرب ۳۲ mg kg^{-1} $0/81 \pm 0/01$ می‌باشد. همچنین Zhong و همکاران در سال ۲۰۱۴ مقدار مس، کادمیوم، سرب، نیکل و کروم را در ۲۵ گونه چای در چین شامل چای سیاه، سبز، زرد، سفید، اولونگ، پوئر و جاسمین با طیف‌سنجی جذب اتمی کوره گرافیتی پیوسته با تفکیک بالا اندازه‌گیری کردند. روش‌های استفاده شده برای تهیه نمونه، هیدرولیز و تجزیه عنصری بودند. علاوه بر موارد ذکر شده تحقیقات متعدد دیگری نیز در رابطه با چای و میزان عناصر موجود در آن در سطح جهان انجام شده است که گویای اهمیت و نقش تغذیه‌ای چای به عنوان نوشیدنی رایج و روزمره در سراسر جهان و عامل ورود عناصر ضروری و غیرضروری و تجمع فلزات سنگین در بدن می‌باشد.

در بین روش‌ها و دستگاه‌های مختلف در این پژوهش از دو روش طیف بینی نشر اتمی با پلاسمای جفت شده القایی و طیف‌سنجی جرمی توسط پلاسمای جفت شده القایی استفاده می‌شود. طیف‌بینی نشر اتمی با پلاسمای جفت شده القایی که یک روش چند عنصری است، برای تعیین تعدادی از عناصر تحت شرایط یکسان مناسب می‌باشد. طیف‌سنجی جرمی توسط پلاسمای جفت شده القایی نوعی

جدول ۱- مشخصات و کد اختصاری نمونه های چای استفاده شده.

اسم نمونه	منبع	کد اختصاری
چای فومنتا	ایرانی	L1
چای مرادی سبز لاهیجان	ایرانی	L2
چای محسن	ایرانی	L3
چای شاهسون	ایرانی	L4
چای دیش	خارجی	Im ₁
چای گلستان	خارجی	Im ₂
چای گوزل	خارجی	Im ₃
چای ارل گری فامیلا	خارجی	Im ₄

چای انجام شد (Saud, 2003). (AL-Oud)

Jobin Yvon و دستگاه ICP-MS مدل Hewlett-Packard - HP 4500 شرکت Yokogawa Analytical Systems استفاده شد.

- روش Infusion

برای انجام روش Infusion از هر کدام از ۱۰ نمونه ی آسیاب شده به میزان ۲gr توزین شد. سپس نمونه ها به بشر منتقل شده و به آن ۱۰۰ ml از آب مقطر در دمای جوش اضافه گردید. سپس درب آن‌ها جهت انجام فرایند دم کردن بسته و بعد از گذشت ۵ دقیقه محلول‌ها با فیلتر شیشه ای صاف شدند. این عملیات برای هر ۱۰ نمونه انجام شد (Saud, 2003). (AL-Oud)

- روش Brew

روش Brew مانند دو روش قبل از هر ۱۰ نمونه ی آسیاب شده به میزان ۲gr توسط ترازو توزین و هر نمونه را داخل یک بشر ریخته و به میزان ۱۰۰ml به هر نمونه آب مقطر اضافه شد. دمای مخلوط حاصل تا نقطه جوش آب افزایش یافت و بعد از گذشت دقیقه ۵ محلول به دست آمده با فیلتر شیشه‌ای صاف شد (Saud, 2003). (AL-Oud). جهت شناسایی و تعیین مقدار فلزات نمونه ها با استفاده از دو روش ICP-OES و ICP-MASS مورد بررسی قرار گرفتند.

- تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به دست آمده از دو روش اندازه گیری به صورت میانگین \pm انحراف معیار (SD) در بخش نتایج نمایش داده شده‌اند و محدوده اطمینان برای $\alpha=0.05$ محاسبه شده است. مقایسه آماری بر اساس آزمون‌های

- روش های آماده سازی نمونه‌های تهیه شده

در ابتدا به کمک آسیاب ذکرشده در قسمت پیشین مقداری از هر نمونه آسیاب و سپس هر کدام از نمونه‌های بومی و وارداتی به میزان ۲ gr به صورت جداگانه توزین و به ظرفی که قبلا با محلول اسید نیتریک رقیق و سپس آب دیونیزه شستشو داده شده و خشک گردیده اضافه شد. آماده‌سازی نهایی نمونه‌ها به سه روش مختلف که در زیر آورده شده است، انجام شد.

- روش Digestion

در این روش جهت آماده سازی نمونه‌ها برای انجام آنالیز به ترتیب از دو اسید HNO_3 و HCl با غلظت‌های ۶۳ و ۳۷ درصد استفاده شد که از آن‌ها محلول HNO_3/HCl 2:1 V/V تهیه شد. سپس نمونه های توزین شده به یک بشر منتقل شده و به آن ۱۰ml از مخلوط دو اسید اضافه گردید. مخلوط حاصل در دمای اتاق با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت یک دقیقه تحت همزدن قرار گرفت. بعد از گذشت یک دقیقه دمای واکنش تا 150°C افزایش یافت. در صورت کدر شدن، دوباره مقداری کمی اسید اضافه شد. در ادامه محلول داخل بشر توسط سینتر گلاس صاف شد و محلول هضم شده از تفاله‌ها جدا گردید و به بالن‌های حجمی ۵۰ml منتقل و توسط اسیدکلریدریک ۵ درصد به حجم رسید. این عملیات برای تمامی ۱۰ نمونه

و آسیب‌های جدی این عناصر بر DNA و بافت‌های مختلف در تحقیقات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج این تحقیقات نشان داده که دریافت میزبان‌های مشخصی از این فلزات سنگین می‌تواند منشا بیماری‌های متفاوت باشند (Sharma *et al.*, 2005; Szymczycha-Madeja, 2012). با توجه به اهمیت موضوع در پروژه حاضر اندازه‌گیری دقیق میزان فلزات Cd، Pb، Zn، Fe، Al و Cu با استفاده از دو تکنیک ICP-MS و ICP-OES با استفاده از روش‌های استخراجی مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

- نتایج حاصل از اندازه‌گیری عناصر فلزی مورد مطالعه با سه روش استخراج توسط دستگاه ICP-OES نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌های چای مختلف با سه روش استخراج Brew، Infusion و Digestion توسط دستگاه ICP-OES در جدول‌های ۲-۴ آورده شده است.

آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) برای شیوه‌های استخراج صورت گرفت و جهت مقایسه گروه‌های مختلف چای داخلی و خارجی از روش T-test استفاده شد. نتایج آماری با $P \text{ value} < 0.05$ به عنوان یک مقدار معنی‌دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

آلودگی به فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست‌محیطی و یکی از نگرانی‌های مهم بهداشت مواد غذایی به شمار می‌آید. مصرف چای به‌عنوان یک آشامیدنی دلپذیر و عادت غذایی در بین ایرانیان رواج دارد. وجود این فلزات در چای می‌تواند یکی از منابع مهم آلودگی و سمیت در مواد غذایی به شمار آید (Soetan *et al.*, 2010). برگ‌های چای با وجود دارا بودن مواد مفید و آنتی‌اکسیدان‌ها منبع غنی از عناصر معدنی هستند که برخی از آن‌ها مانند کادمیوم، سرب، نیکل و آلومینیوم جزء فلزات سنگین سمی محسوب می‌شوند. اثرات مخرب فلزات سنگین بر پروتئین‌ها، آنزیم‌ها

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز چای‌های بومی و وارداتی با روش استخراج Brew توسط دستگاه ICP-OES

نمونه	Zn (µg/g) ± SD%	Cu (µg/g) ± SD%	Fe (µg/g) ± SD%	Al (µg/g) ± SD%	Cd (µg/g) ± SD%	Pb (µg/g) ± SD%
L-1	۸/۱±۰/۵۴	۸/۰۵±۰/۰۳	۳/۵۵±۰/۱۰	۴۳/۹۹±۱/۹	ND	ND
L-2	۱۱/۰۵±۰/۸۵	۱/۵±۰/۰۵	۱/۲±۰/۰۴	۱۰/۲۲±۰/۰۶	ND	ND
L-3	۷/۱۲±۰/۰۶	۱/۹±۰/۰۸	۳/۶۶±۰/۰۶	۱۱/۱۳±۰/۶۱	۰/۳۵±۰/۰۲	ND
L-4	۷/۷±۰/۴۶	۱/۳۱±۰/۰۵	۲/۰۵±۰/۰۴	۲۱/۲۲±۱/۲	۰/۳±۰/۰۱	ND
Im-1	۶/۲±۰/۳۱	۴/۲۱±۰/۱۳	۲/۵۸±۰/۱۰	۱۳/۴۹±۰/۰۹	ND	ND
Im-2	۳/۵±۰/۲۲	۱۹/۳±۱/۰۱	۳/۸±۰/۲۰	۷/۱۱±۰/۰۳	۰/۶۵±۰/۰۰۵	ND
Im-3	۹/۰۱±۰/۸۴	۱/۵۹±۰/۰۶	۰/۹۷±۰/۰۲	۵۹/۵±۲/۷	ND	ND
Im-4	۴/۲±۰/۲۳	۴/۵±۰/۰۲	۲/۰۱±۰/۰۵	۷/۴۵±۰/۰۳	ND	ND

* ND: Not detected

جدول ۳- نتایج حاصل از آنالیز چای‌های بومی و وارداتی با روش استخراج Infusion توسط دستگاه ICP-OES

نمونه	Zn (µg/g) ± SD%	Cu (µg/g) ± SD%	Fe (µg/g) ± SD%	Al (µg/g) ± SD%	Cd (µg/g) ± SD%	Pb (µg/g) ± SD%
L-1	۶/۵±۰/۵۰	۷/۱±۰/۰۵	۲/۵۵±۰/۰۲	۱۹/۲±۱/۷	ND	ND
L-2	۷/۴۵±۰/۰۶۰	۱/۴±۰/۰۱۲	۰/۷±۰/۰۳	۶/۱۱±۰/۰۳۴	ND	ND
L-3	۶/۵۱±۰/۰۵۰	۲/۴۴±۰/۰۰۴	۷/۳±۰/۰۰۹	۷/۱±۰/۰۰۴	ND	ND
L-4	۲/۲۲±۰/۰۰۱	۱/۲±۰/۰۰۹	۰/۳۱±۰/۰۰۱	۸/۱۱±۰/۰۵۷	۰/۷۳±۰/۰۰۵	ND
Im-1	۶/۹±۰/۰۳۰	۲/۵±۰/۰۰۸	۱/۵۴±۰/۰۱۴	۶/۰۵±۰/۰۰۴	ND	ND
Im-2	۰/۳۶±۰/۰۰۵	۰/۹۹±۰/۰۰۵	۰/۵۸±۰/۰۰۲	۴۵/۹۶±۲/۴	ND	ND
Im-3	۲/۶۱±۰/۰۰۲	۲/۸±۰/۰۰۳	۰/۶±۰/۰۰۵	۱۶/۱۹±۰/۰۰۹	۰/۸±۰/۰۰۲	ND
Im-4	۱/۰۹±۰/۰۰۵	۴/۴±۰/۰۲۲	۱/۳۵±۰/۰۰۸	۲/۴±۰/۰۰۲	۰/۲۷±۰/۰۰۱	ND

* ND: Not detected

جدول ۴- نتایج حاصل از آنالیز چای های بومی و وارداتی با روش استخراج Digestion توسط دستگاه ICP-OES

نمونه	Zn (µg/g) ±SD%	Cu (µg/g) ±SD%	Fe (µg/g) ±SD%	Al (µg/g) ±SD%	Cd(µg/g)±SD%	Pb (µg/g) ±SD%
L-1	۲/۶±۱/۶	۲۱/۵±۰/۵	۱۵۸±۱۱	۳۹۹±۱۹	۰/۲۰±۰/۰۱	ND
L-2	۲۱/۲±۲/۱	۱۰/۲±۰/۴	۷۹±۵	۴۰۴±۱۹	۰/۸۴±/۰۵	۲/۹±۰/۰۶
L-3	۳۳/۴±۱/۵	۱۴±۰/۶	۱۷۰±۱۳	۵۸۸±۲۵	۰/۵۲±/۰۳	ND
L-4	۱۹/۵±۱/۳	۳۸/۵±۰/۸	۹۶±۷	۶۷۷±۳۰	۱/۹۰±۰/۱۰	۲/۶۹±۰/۰۴
Im-1	۲۲/۳±۱/۱	۹/۵±۰/۶	۱۸۳±۱۱	۸۴۴±۷۰	۰/۹۰±۰/۰۷	ND
Im-2	۳۰±۲/۱	۲۱/۴±۱/۲	۱۱۲±۱۰	۹۲۴±۷۶	۰/۶۷±۰/۰۳	ND
Im-3	۲۲/۳±۲/۲	۲۱±۱/۵	۲۰۹±۱۸	۴۴۱±۲۲	۱/۴۰±۰/۰۹	۰/۰۲±۳/۰۵
Im-4	۳۴±۲/۹	۵۵/۵±۰/۳	۱۷۳±۹	۸۵۳±۶۳	۱/۰۵±۰/۰۷	ND

* ND: Not detected

نتایج حاصل از اندازه‌گیری عناصر فلزی مورد مطالعه با سه روش استخراج توسط دستگاه ICP-MS

نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌های مختلف با سه روش استخراج Brew, Infusion و Digestion توسط دستگاه ICP-MS در جدول‌های ۷-۵ آورده شده است. طبق نتایج آزمون T-test برای مقایسه میانگین عناصر استخراج شده توسط هر کدام از روش‌های Brew, infusion و Digestion به وسیله دستگاه ICP-MS برای نمونه‌های چای داخلی بین میانگین عناصر استخراج شده توسط روش استخراج brew با روش استخراج infusion تفاوت معناداری وجود ندارد ولی در مقایسه میانگین عناصر استخراج شده در هر کدام از روش‌های brew و infusion با روش digestion تنها عنصر کادمیوم Cd دارای اختلاف معناداری نمی‌باشد و مابقی عناصر دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

برای نمونه‌های چای خارجی، مقایسه میانگین عناصر استخراج شده توسط دستگاه ICP-MS تا حدودی متفاوت‌تر بود زیرا در مقایسه میانگین عناصر استخراج شده بین روش infusion با روش brew تنها عنصر Pb دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد و در مورد مقایسه میانگین عناصر به دست آمده در روش استخراج brew با روش استخراج digestion سه عنصر سرب Pb، Cd و Cu دارای اختلاف معنی‌دار نبوده ولی میران سه عنصر Zn، Fe و Al دارای اختلاف معنادار می‌باشند. در مورد مقایسه میانگین عناصر استخراج شده در روش استخراج infusion با digestion دو عنصر کادمیوم (Cd) و مس (Cu) تفاوت معناداری نداشته و بقیه عناصر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

طبق نتایج T-test برای مقایسه میانگین عناصر استخراج شده توسط هر کدام از روش‌های Brew, infusion و Digestion به وسیله دستگاه ICP-OES در مورد نمونه‌های چای داخلی و چای خارجی، بین میانگین عناصر استخراج شده با روش استخراج brew با روش استخراج infusion تفاوت معناداری وجود ندارد. در مقایسه میانگین عناصر استخراج شده در مورد نمونه‌های چای داخلی در هر کدام از روش‌های brew و infusion با روش digestion تمامی عناصر به استثناء دو عنصر Pb و Cd دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

در مورد نمونه‌های چای خارجی، مقایسه میانگین عناصر استخراج شده در روش infusion با روش digestion نشان داد که در مورد دو عنصر Pb و Cu اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی برای بقیه عناصر اختلاف معنی‌دار وجود دارد. مقایسه میزان میانگین عناصر به دست آمده در روش استخراج brew با روش digestion نشان می‌دهد که میزان عناصر Zn، Fe و Al دارای اختلاف معنی‌داری بوده در حالیکه میزان Pb، Cd و Cu دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد. نتایج آزمون (ANOVA) بر روی نتایج به دست آمده از دستگاه ICP-OES نشان داد که تفاوتی بین میانگین عناصر استخراج شده بین دو روش infusion و brew از بین روش‌های استخراج عناصر برای نمونه‌های چای بومی یا غیر بومی نمی‌باشد. اما میانگین تمامی عناصر استخراج شده به جز عنصر pb دارای اختلاف معنی‌دار در روش استخراج digestion در مقایسه با روش‌های استخراج brew و infusion می‌باشد.

روش infusion و brew دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. اما در مقایسه هر کدام از روش‌های استخراج brew و infusion با روش digestion میانگین تمامی عناصر استخراج شده دارای اختلاف معنی‌دار است.

در حالت کلی و با توجه به نتایج آزمون (ANOVA) برای دستگاه ICP-MS و مقایسه بین روش‌های استخراج عناصر بدون در نظر گرفتن بومی یا غیر بومی بودن نمونه‌های چای، تنها عنصر سرب (pb) در مقایسه بین دو

جدول ۵- نتایج حاصل از آنالیز نمونه های چای بومی و وارداتی با روش استخراج Brew توسط دستگاه ICP-MS

نمونه	Zn (µg/g) ± SD%	Cu (µg/g) ± SD%	Fe (µg/g) ± SD%	Al (µg/g) ± SD%	Cd (µg/g) ± SD%	Pb (µg/g) ± SD%
L-1	۹/۷۷±۰/۶۰	۸/۲۳±۰/۰۴	۳/۱۲±۰/۰۲	۴۴/۵۴±۱/۱	۰/۱۷±۰/۰۱	۰/۰۲±۰/۰۰۱
L-2	۱۲/۷۳±۱/۰۷	۱/۴۴±۰/۰۶	۱/۵±۰/۰۵	۱۲/۱۱±۰/۰۸	ND	۱/۱۳±۰/۰۱۱
L-3	۷/۸۴±۰/۰۵	۱/۸۳±۰/۰۵	۲/۳۲±۰/۰۸	۱۱/۲۳±۰/۰۷۸	۰/۳۱±۰/۰۰۲	۰/۰۴±۰/۰۰۱
L-4	۸/۶۲±۰/۰۶۸	۱/۵۵±۰/۰۱	۱/۹۲±۰/۰۴	۲۴/۳۴±۰/۰۹۱	۰/۲±۰/۰۰۱	۰/۹۲±۰/۰۱۸
Im-1	۷/۲±۰/۰۴۳	۴/۱۲±۰/۰۶	۲/۵۲±۰/۰۱	۱۴/۶۵±۰/۰۸۷	ND	۰/۹±۰/۰۰۲۷
Im-2	۸/۲۴±۰/۰۶۵	۱/۸۳±۰/۰۶	۰/۹۱±۰/۰۰۳	۵۸/۳۴±۲/۶۱	ND	۱/۱۵±۰/۰۱۵
Im-3	۱/۴۵±۰/۰۱۳	۲/۹۲±۰/۰۶	۰/۹۶±۰/۰۰۷	۲۹/۵۴±۲/۲	۱/۵±۰/۰۰۷	۱/۰۵±۰/۰۰۴۲
Im-4	۴/۷۷±۰/۰۲	۴/۲۳±۰/۰۴	۱/۹۱±۰/۰۰۲	۱۴/۵۴±۱/۱	۰/۱۷±۰/۰۰۱	۰/۰۵±۰/۰۰۱

*ND: Not detected

جدول ۶- نتایج حاصل از آنالیز نمون های چای بومی و وارداتی با روش استخراج Infusion توسط دستگاه ICP-MS

نمونه	Zn (µg/g) ± SD%	Cu (µg/g) ± SD%	Fe (µg/g) ± SD%	Al (µg/g) ± SD%	Cd (µg/g) ± SD%	Pb (µg/g) ± SD%
L-1	۰/۱۴±۰/۰۳۲	۸/۴۵±۰/۰۷۶	۲/۲۳±۰/۰۰۲	۲۰/۶۷±۰/۰۵	۰/۱۵±۰/۰۰۱	ND
L-2	۸/۴۴±۰/۰۸۱	۱/۱۱±۰/۰۰۴	۰/۵۹±۰/۰۰۴	۵/۸۶±۰/۰۰۴	ND	ND
L-3	۵/۴۵±۰/۰۱۸	۲/۵۴±۰/۰۰۲	۱/۲۸±۰/۰۰۹	۶/۸۹±۰/۰۳۲	۰/۱۹±۰/۰۰۱	ND
L-4	۴/۲۳±۰/۰۰۱	۱/۲۳±۰/۰۰۱	۱/۳۷±۰/۰۰۱	۱۹/۵۴±۱	۰/۱۴±۰/۰۰۱	ND
Im-1	۶/۸۵±۰/۰۰۶	۸/۹۸±۰/۰۴۱	۱/۷۸±۰/۰۰۴	۶/۹۳±۰/۰۲۹	ND	ND
Im-2	۱/۲۲±۰/۰۰۸	۲۰/۱±۰/۰۰۱	۳/۹۵±۰/۰۰۹	۲/۹۴±۰/۰۰۴	۰/۵۵±۰/۰۰۲	ND
Im-3	۲/۵۵±۰/۰۰۲	۳/۸۳±۰/۰۰۴	۰/۶۲±۰/۰۰۶	۱۵/۳۴±۱	۰/۸۸±۰/۰۰۴	ND
Im-4	۱/۸۹±۰/۰۰۵	۴/۳۱±۰/۰۰۱	۱/۲۸±۰/۰۰۶	۲/۵۶±۰/۰۰۶	۰/۲۲±۰/۰۰۲	ND

*ND: Not detected

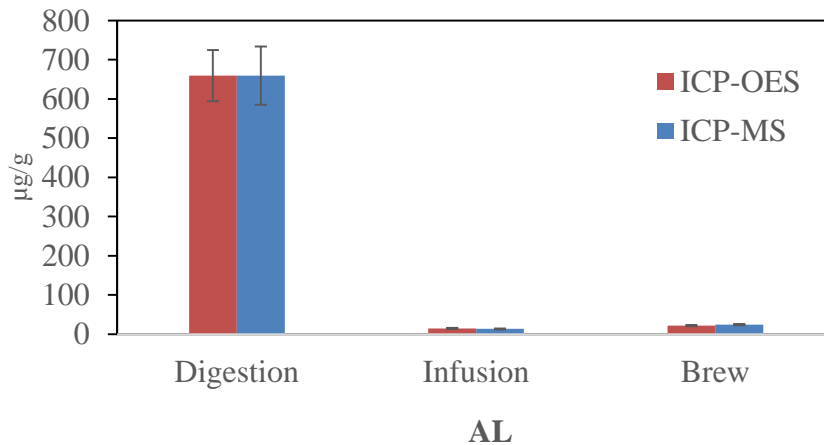
جدول ۷- نتایج حاصل از آنالیز نمونه های چای بومی و وارداتی با روش استخراج Digestion توسط دستگاه ICP-MS

نمونه	Zn (µg/g) ± SD%	Cu (µg/g) ± SD%	Fe (µg/g) ± SD%	Al (µg/g) ± SD%	Cd (µg/g) ± SD%	Pb (µg/g) ± SD%
L-1	۲۰/۵±۱/۸	۹/۶±۰/۰۰۴	۸۴/۲±۷/۵	۴۲۰/۳±۲۹/۳	۰/۹۲±۰/۰۰۷	۳/۱±۰/۰۰۲
L-2	۳۲/۶±۲/۳	۱۴/۷±۰/۰۰۸	۱۷۷/۴±۱۴/۳	۵۸۰/۳±۳۱	۰/۶۹±۰/۰۰۵	۲/۱۲±۰/۰۰۵
L-3	۱۸/۵±۱/۷	۳۷/۹۸±۰/۰۰۴	۹۸/۵±۹/۴	۶۷۰/۲±۳۸/۸	۲/۲۰±۰/۰۰۹	۲/۹۲±۰/۰۰۶
L-4	۱۳/۳±۱/۱	۱۴/۳±۰/۰۰۸	۹۳/۲±۸/۶	۷۱۵/۸±۴۵	۰/۸۸±۰/۰۰۴	۱/۳۱±۰/۰۰۱
Im-1	۱۸/۴±۱/۲	۹/۱±۰/۰۰۶	۱۶۷/۸±۱۲/۷	۸۳۴/۲±۶۹/۵	۱/۱۰±۰/۰۰۸	۱/۴±۰/۰۰۴
Im-2	۲۹/۵±۲/۱	۲۰/۲±۱/۹	۱۰۲/۸±۹/۵	۹۲۸/۱±۸۵	۰/۶۹±۰/۰۰۱	ND
Im-3	۲۳/۶±۱/۷	۱۶/۸±۱/۳	۲۱۱/۳±۲۰	۴۵۰/۳±۳۴/۶	۱/۵۰±۰/۰۱۱	۳/۲۲±۰/۰۰۱
Im-4	۳۵/۱±۲/۶	۵۸/۱±۱/۱	۱۶۸/۴±۱۴/۷	۸۴۸/۱±۵۹	۱/۱۹±۰/۰۰۶	۱/۵۵±۰/۰۰۶

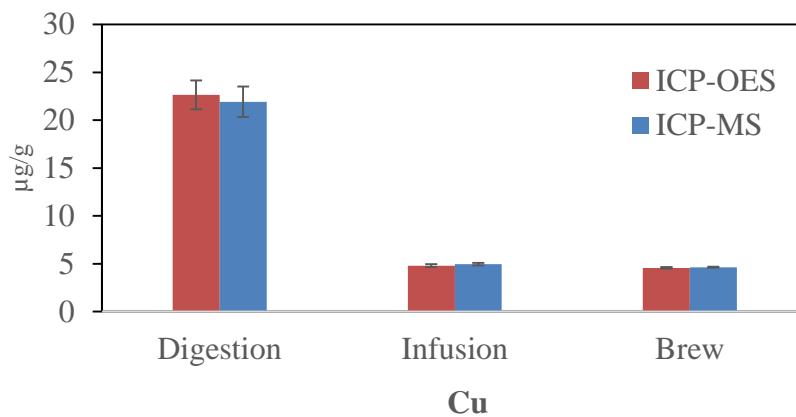
*ND: Not detected

متفاوت با هم مقایسه و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های هر عنصر در هر روش استخراج با دستگاه ICP-OES و ICP-MS در شکل‌های ۱ تا ۶ آمده است.

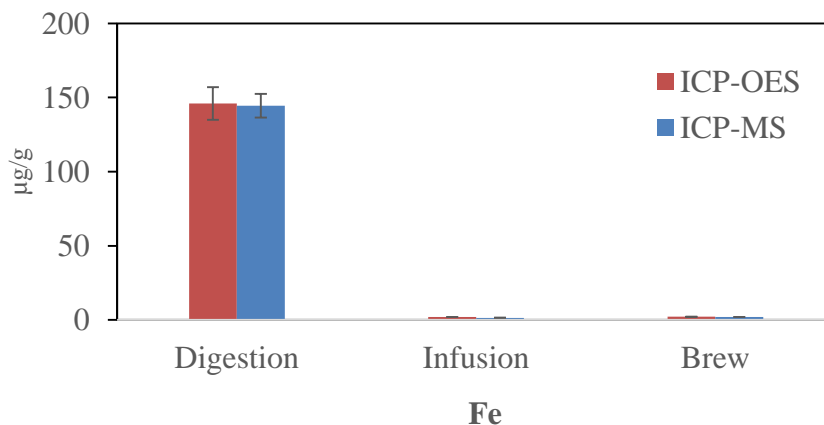
با توجه به حد تشخیص متفاوت میزان عناصر توسط تکنیک‌های اندازه‌گیری ICP-OES و ICP-MS، در ابتدا میزان عناصر فلزی به دست آمده برای نمونه چای‌های



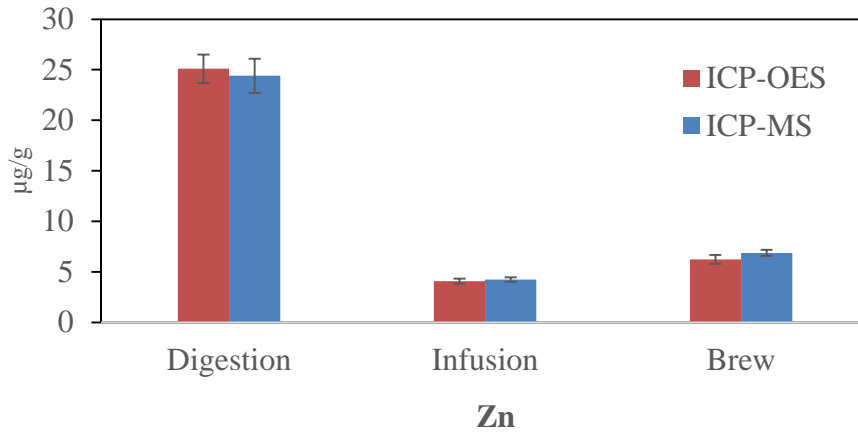
شکل ۱- مقایسه میانگین آلومینیوم اندازه‌گیری شده به سه روش استخراج Digestion و Brew، Infusion توسط دو دستگاه ICP-MS و ICP-OES



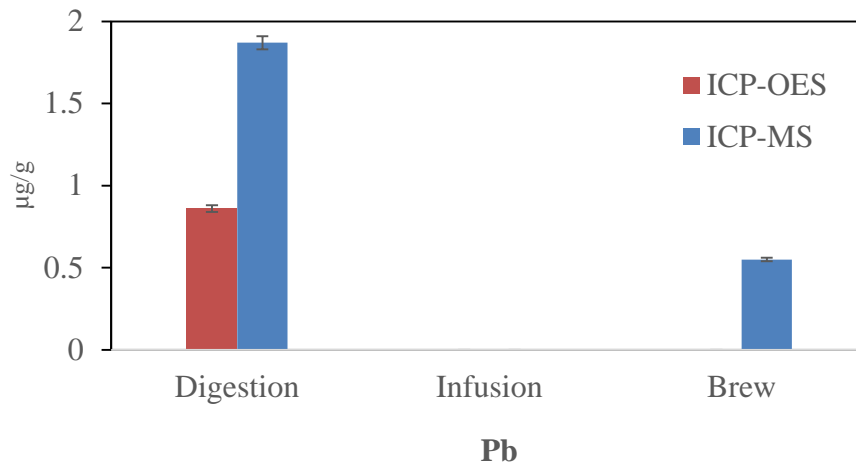
شکل ۲- مقایسه میانگین مس اندازه‌گیری شده به سه روش استخراج Digestion و Infusion Brew توسط دو دستگاه ICP-OES و ICP-MS.



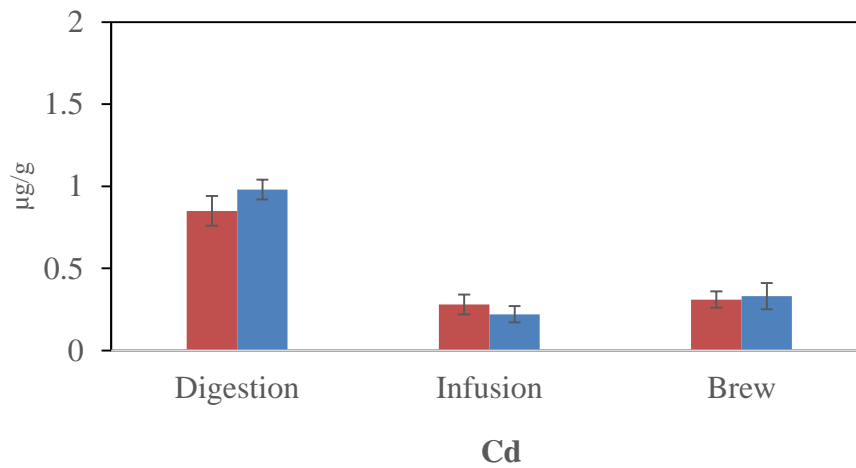
شکل ۳- مقایسه میانگین آهن اندازه‌گیری شده به سه روش استخراج Digestion و Infusion Brew توسط دو دستگاه ICP-OES و ICP-MS



شکل ۴- مقایسه میانگین روی اندازه‌گیری شده به سه روش استخراج Digestion و Brew, Infusion توسط دو دستگاه ICP-MS و OES



شکل ۵- مقایسه میانگین سرب اندازه‌گیری شده به سه روش استخراج Digestion و Brew Infusion توسط دو دستگاه ICP-MS و OES



شکل ۶- مقایسه میانگین کادمیوم اندازه‌گیری شده به سه روش استخراج Digestion و Brew, Infusion توسط دو دستگاه ICP-MS و ICP-OES

میانگین مقدار آهن موجود در چای‌های موردبررسی توسط هر دو دستگاه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از مقدار استاندارد مرجع بیشتر است که این نتایج در تطابق بالایی با گزارش ارایه شده توسط Ansari و همکاران (۲۰۱۰) و همچنین Salahinejad و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد. میانگین غلظت سرب اندازه‌گیری شده توسط دستگاه ICP-OES تقریباً مساوی با مرجع استاندارد می‌باشد اما در میانگین غلظت سرب اندازه‌گیری شده با دستگاه ICP-MS بسیار بالاتر از حد استاندارد مرجع است. در مقایسه بین گستره غلظت‌های فلز سرب، در مطالعه Nookabkaew و همکاران (۲۰۰۶) حد بالای غلظت سرب با حد بالای این مطالعه دارای اختلاف قابل‌توجهی است اما حد بالای غلظت سرب و همچنین میانگین سرب اندازه‌گیری شده توسط دستگاه ICP-MS در این مطالعه در راستای پژوهش صلاح نژاد و افکاری است (Salahinejad et al., 2010).

نکته مهم دیگر در این رابطه میانگین غلظت کادمیوم اندازه‌گیری شده توسط هر دو دستگاه بود که هرچند برای مصرف کننده خطری را طبق جدول حد مجاز روزانه (جدول ۹-۱۰) ایجاد نمی‌کند اما میانگین غلظت کادمیوم این پژوهش از بسیاری از مطالعات مشابه (Nookabkaew et al., 2010; Salahinejad et al., 2006) بیشتر است و میانگین غلظت کادمیوم با توجه به مرجع استاندارد نیز بسیار بالاتر می‌باشد (حدوداً ۳۶ برابر) که این مسئله به علت آسیب‌های جبران ناپذیر کادمیوم باید به عنوان زنگ خطری قرار گیرد. در پایان نیز با توجه به نتیجه آنالیز، اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های بومی و غیر بومی در فلزات سنگین مشاهده نشد. برای بررسی دقیق تر نتایج به دست آمده و احتمال ایجاد مشکل در مصرف این چای‌ها، میزان دریافت روزانه عناصر فلزی مورد مطالعه با توجه به میزان مصرف استاندارد روزانه چای مورد بررسی قرا گرفت.

- مقدار دریافت روزانه^۱ (EDI)

میزان دریافت روزانه فلزات سنگین به غلظت عناصر و مقدار مصرف غذا و وزن بدن مصرف‌کننده بستگی دارد (Salahinejad et al., 2010). در جداول ۸ و ۹ مقادیر EDI برحسب میکروگرم به کیلوگرم وزن بدن ($\mu\text{g}/\text{kg bw}$) به

در بین روش‌های استخراجی Infusion, Brew, Digestion و Digestion، روش Digestion به علت استفاده از اسید برای شکست کامل ماتریکس چای و حل کردن و استخراج فلزات آن در محیط شاهد بیشترین میزان غلظت فلزات و عناصر فلزی را نشان داده است. با توجه به آزمون T-Test برای مقایسه میانگین عناصر اندازه‌گیری شده توسط هر دو دستگاه، تمام عناصر به‌جز سرب Pb تفاوت معناداری نداشتند ($P\text{value} > 0.05$). میانگین اندازه‌گیری شده برای عنصر سرب Pb در روش استخراجی Digestion و Brew دارای تفاوت معنادار است ($P\text{value} \leq 0.05$) و در مورد روش‌های Infusion میزان سرب در حد مقادیر قابل اندازه‌گیری توسط هر کدام از دستگاه‌ها نبوده و تفاوت معناداری در دو روش اندازه‌گیری نداشت.

همانطور که در بخش مقدمه نیز بیان شد مسمومیت با فلزات سنگین می‌تواند به کاهش عملکرد سیستم عصبی مرکزی و یا آسیب روانی خستگی، آسیب به خون، ریه‌ها، کلیه‌ها، کبد و سایر اندام حیاتی منجر شود. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض این فلزات ممکن است باعث پیشرفت بیماری‌هایی نظیر بیماری آلزایمر، پارکینسون دیستروفی عضلانی و ام اس شود. موجودات زنده به مقادیر مختلفی از فلزات نیاز دارند آهن، کبالت، مس، منگنز و روی مورد نیاز انسان است. سطوح بیش از حد این فلزات نیز می‌تواند موجب آسیب رساندن به ارگان‌های آنها شود.

مطابق با جدول ۸ میانگین غلظت عناصر اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های چای مورد استفاده در این پژوهش به ترتیب عناصر زیر است: $\text{Al} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$. به این صورت که فلز Al دارای بیشترین غلظت و فلز سرب کمترین غلظت را دارا است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میانگین مقدار آلومینیوم و سرب موجود در چای‌های مورد بررسی توسط هر دو دستگاه تا حدودی بالاتر از مقدار استاندارد مرجع (NIES No. 7) (Mori et al., 2012). همچنین مقدار میانگین غلظت مس اندازه‌گیری شده توسط هر دو دستگاه ICP-MS و ICP-OES بسیار بالاتر از حد استاندارد مرجع بوده و این مورد در هنگام مقایسه میانگین عنصر کادمیوم اندازه‌گیری شده در این پژوهش با مرجع استاندارد نیز صادق است.

¹ Estimated Daily Intake

است (American Herbal Products Association) 2009). بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده میزان فلزات اندازه‌گیری شده برای مصرف روزانه پایین‌تر از حد مجاز است و بنابراین مصرف هیچ کدام از نمونه‌های تحت بررسی در این پژوهش خطری را برای مصرف‌کننده ایجاد نمی‌کند.

تفکیک برای هر نمونه از چای با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده عناصر توسط دستگاه‌های ICP-OES و ICP-MS آورده شده است.

در مقایسه جداول ۹ و ۱۰ با جدول ۱۱ استاندارد حد مجاز دریافت روزانه محاسبه شده برای افراد بالغ برای تمام عناصر در تمامی نمونه‌های چای از میزان توصیه‌شده و مجاز پایین‌تر

جدول ۸- میانگین عناصر اندازه‌گیری شده در هشت نمونه چای توسط دستگاه‌های ICP-OES و ICP-MS و مقایسه با مقدار ماده مرجع استاندارد

Metals	میانگین به دست آمده از Digestion (µg /g) ICP-OES	میانگین به دست آمده از Digestion (µg /g) ICP-MS	Tea leaves standard reference material (NIES No. 7) mg/kg
Al	۶۵۹	۶۵۹	۵۴۰
Cu	۲۲/۶	۲۲/۱	۹/۴۸
Fe	۱۴۵/۲	۱۴۴/۵	۸۸/۲۰
Zn	۲۵/۱	۲۵/۵	۳۱/۹۰
Pb	۰/۸۶	۱/۸۴	۰/۷۸
Cd	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۰۲

جدول ۹- میانگین عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه های چای مورد مطالعه توسط دستگاه ICP-OES در ۲ روش استخراج و EDI محاسبه‌شده آن‌ها

Elements	Al	Cu	Fe	Zn	Pb	Cd
Mean in Brew (µg /kg)	۲۰/۵۸	۴/۵۷	۲/۱۳	۶/۲۳	0	۰/۳۰
Mean in Infusion (µg /g)	۱۳/۱۹	۴/۸۱	۱/۹۴	۴/۰۸	0	۰/۲۲
EDI in Brew (µg/kg)	۱/۲۷	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۳۸	0	۰/۰۱۸
EDI in Infusion (µg/kg)	۰/۸۵	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۲۵	0	۰/۰۱۵

*مقدار مصرف چای برای هر ایرانی به‌طور متوسط ۴/۳ gr روزانه می‌باشد (Ghoochani et al, 2015).
** مقدار وزن بدن طبق فرمول محاسبه EDI میزان ۷۰ Kg برای بزرگسالان در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۰- میانگین عناصر اندازه‌گیری شده در ۱۰ نمونه چای توسط دستگاه ICP-MS در ۲ روش استخراج و EDI محاسبه‌شده آن‌ها

Elements	Al	Cu	Fe	Zn	Pb	Cd
Mean in Brew (µg /g)	۲۳/۵۴	۴/۶۴	۱/۹۲	۶/۸۸	۰/۵۲	۰/۳۳
Mean in Infusion (µg /g)	۱۳/۲۹	۴/۹۷	۱/۳۸	۴/۲۴	0	۰/۲۸
EDI in Brew (µg/kg)	۱/۳۴	۰/۲۶	۰/۱۰	۰/۳۹	۰/۰۲	۰/۰۱
EDI in Infusion (µg/kg)	۰/۷۵	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۲۴	0	۰/۰۱

جدول ۱۱- استاندارد حد مجاز دریافت روزانه محاسبه شده برای افراد بالغ برای عناصر فلزی مورد مطالعه

	EPA ^a *	FDA ^b *	WHO/FAO ^d *	USDA ^e *
Cadmium (µg/kg)	۷۰	۵۵	۷۰	-
Lead (µg/kg)	۲۵۰	۷۵	۲۵۰	-
Iron (µg/kg)	-	-	۵۶۰۰	-
Aluminum (µg/kg)	-	-	۴۲۸۶	۷۰۰۰-۸۴۰۰
Copper (µg/kg)	-	-	۳۵۰۰	-
Zinc (µg/kg)	-	-	۴۵۰۰	-

^a Environmental Protection Agency World Health Organization

^b Food and Drug Administration
^e United States Department of Agriculture

^d Food and Agriculture Organization/
* Limit for total daily consum

Ghoochani, M., Shekkoohiyani, S., Yunesian, M., Nazmara, Sh. & Mahvi, M. (2015). Determination of aluminum and zinc in infusion tea cultivated in north of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13, 49.

Mori, I., Ukachi, M., Nagano, K., Ito, H. & Yoshinaga, J. (2010). Characterization of Tea Leaves II for the determination of multi elements. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 23, 397-463.

Nookabkaew, S., Rangkadilok, N. & Satayavivad, J. (2006). Determination of trace elements in herbal tea products and their infusions consumed in Thailand. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 54(18), 6939-6944.

Qin, F. & Chen, W. (2007). Lead and Copper Levels in Tea Samples Marketed in Beijing, China. *E Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 78, 128-131.

Salahinejad, M. & Aflaki, F. (2010). Toxic and essential mineral elements content of black tea leaves and their tea infusions consumed in Iran. *Biological Trace Element Research*, 134, 109-117.

Seenivasan, S., Manikandan, N., Muraleedharan, N. & Selvasundaram, R. (2008). Heavy metal content of black teas from south India. *Food Control*, 19 (8), 746-749.

Sharma, R. K. & Agrawal, M. (2005). Biological effects of heavy metals: an overview. *Journal of Environmental Biology*, 26 (2), 301-13.

Srividhya, B., Subramanian, R. & Raj, V. (2011). Determination of lead, manganese, copper, zinc, cadmium, nickel and chromium in tea leaves. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 13, 257-258.

Soetan, K. O., Olaiya, C. O. & Oyewole, O. E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science*, 4(5), 200-222.

Soylak, M. & Aydin, A. (2011). Determination of some heavy metals in food and environmental samples by flame atomic absorption spectrometry after coprecipitation. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 49 (6), 1242-8.

Soylak, M., Tuzen, M., Souza, A. S., Das, G. A. K. M. & Ferreira, S. L. (2007). Optimization of microwave assisted digestion procedure for the determination of zinc, copper and nickel in tea samples employing flame atomic absorption spectrometry. *Journal of Hazardous Materials*, 149 (2), 264-8.

Szymczycha-Madeja, A., Welna, M. C. & Pohl, P. (2012). Elemental analysis of teas and their infusions by spectrometric methods. *Trends in Analytical Chemistry*, 35, 165-181.

Zhong, W. S., Ren, T. & Zhao, L. J. (2016). Determination of Pb (lead), Cd (cadmium), Cr (chromium), Cu (copper), and Ni (nickel) in Chinese tea with high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Journal of Food Drug Analytical*, 24, 46-55.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری شش فلز Cu, Cd, Pb, Zn, Fe, Al به دو روش ICP-MS و ICP-OES و در یک راستا بودن نتایج توسط هر دو دستگاه به نظر می‌رسد هرچند روش ICP-OES روش ساده‌تر و ارزان‌تری در مقایسه با روش ICP-MS است ولی به دلیل عدم تفاوت معنی‌دار بین نتایج به دست آمده برای ۵ عنصر Cu, Cd, Zn, Fe, Al می‌تواند برای تعیین مقدار این عناصر به‌طور گسترده در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و کارخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اما نتایج به دست آمده نشان داد که ICP-MS در تعیین فلزات سنگین همچون سرب دارای دقت بیشتری می‌باشد و کارایی بالاتری در این زمینه دارد. در مقایسه انواع روش‌های استخراجی Digestion, Infusion, Brew و Digestion روش Digestion به علت استفاده از اسید برای شکست کامل ماتریکس چای و حل کردن و استخراج فلزات آن در محیط شاهد بیشترین میزان غلظت فلزات و عناصر فلزی را نشان داد. طبق نتایج آنالیز آماری در روش استخراج Brew شاهد استخراج بیشتر عنصر سرب نسبت به روش استخراج Infusion هستیم و این مساله به علت استخراج بیشتر فلز سرب در هنگام حرارت دادن و شکسته شدن بیشتر پیوندهای این فلز و نمک‌های آن با ماتریکس تحت تاثیر دما می‌باشد. با وجود بالاتر بودن میزان فلزات مورد مطالعه در کار حاضر نسبت به مرجع استاندارد فلزات در گیاه چای، اما با توجه به محاسبات انجام شده در رابطه با میزان دریافت روزانه، حد مجاز مصرف تمامی عناصر برای هر فرد بالغ همچنان در گستره مقدار مجاز سازمان بهداشت جهانی می‌باشد.

منابع

- Achudume, A. C. & Owoeye, D. (2010). Quantitative assessment of heavy metals in some tea marketed in Nigeria-Bioaccumulation of heavy metals in tea. *Health*, 2, 9, 1097-1100.
- AL-Oud Saud, S. (2003). Heavy Metal Contents in Tea and Herb Leaves. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6, 208-212.
- Ansari, F., Norbaksh, R. & Daneshmandirani, K. (2007). Determination of heavy metals in Iranian and imported black tea. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 4(4), 243-248.
- Dufresne, C. J. & Farnworth, E. R. (2001). A review of latest research findings on the health promotion properties of tea. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 12, 404-421.
- Feng, H., Wang, T. & Yau Li, SF. (2003). Sensitive determination of trace-metal elements in tea with capillary electrophoresis by using chelating agent 4-(2-pyridylazo) resorcinol (PAR). *Food Chemistry*, 81(4), 607-611.