DOI: 10.22092/irn.2021.343153

دیدگاه

آلودگی گیاهان دارویی به فلزات سنگین و حد مجاز آنها

فرحزا کاظمی سعید [۱*]، بهلول عباس‌زاده[۲]، معصومه لایق حقیقی[۳]، راضیه عظیمی[۲] و زهره امامی[۴]

چکیده

آلودگی خاک‌ها و آب‌ها با فلزات سنگین، یکی از مسائل مهم محیط‌زیستی است. این فلزات، جذب گیاهان می‌شوند و درصورت استفاده به‌عنوان مواد غذایی یا محصولات دارویی، وارد زنجیره غذایی انسان‌ها و حیوانات می‌شوند. گزارش‌های متعددی از آلودگی گیاهان دارویی و معطر و پتانسیل بالای این گیاهان در جذب فلزات سنگین، انتقال آن به بخش‌های خوراکی و حتی ورود آن به داروهای گیاهی وجود دارد. آلودگی گیاهان دارویی و محصولات فرعی به فلزات سنگین در طول دوره کشت (آب، خاک و هوای آلوده)، فراوری محصولات مانند خشک کردن، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، نگهداری، یا افزودن عمدی به فراورده‌های گیاهی (در طب سنتی هند و چین با ادعای خواص درمانی آنها) روی می‌دهد. ازآنجایی‌که استفاده از گیاهان دارویی در درمان بسیاری از بیماری‌ها مورد توجه بوده و به‌طور عمده اعتقاد بر این است که گیاهان دارویی به‌دلیل منشأ طبیعی، عوارض جانبی ندارند، بنابراین باید عاری از فلزات سنگین سمی باشند. ازاین‌رو، سازمان بهداشت جهانی (WHO) تأکید کرده است که گیاهانی با عملکرد دارویی و درمانی باید برای تأیید وجود فلزات سنگین آزمایش شوند. ازآنجایی‌که امکان حذف کامل فلزات سنگین در فراورده‌های گیاهی وجود ندارد، بنابراین لازم است یک حد مجاز از فلزات سنگین و سمی تعریف شود. اولین پیشنهاد برای چنین حدی در سال ۱۹۸۷مطرح شد. در حال حاضر، در سراسر جهان چندین دارونامه در رابطه با گیاهان دارویی و محصولات گیاهی مرتبط با آنها مانند دارونامه آمریکا، اروپا، انگلستان و ایتالیا وجود دارد. همچنین، چهارچوب‌های قانونی در سطح ملی و منطقه‌ای در کشورهای مختلف تهیه و تنظیم شده است. البته، ایران هیچ دستورالعمل ملی برای فلزات سنگین در گیاهان دارویی ندارد. برخی از گیاهان دارویی دارای پتانسیل بالایی در جذب فلزات سنگین هستند. گونه‌های گیاهی با تمایل به انباشت فلزات سنگین، به‌عنوان سوپرانباشته‌گر (Hyperaccumulator) شناخته می‌شوند. مطالعات جامع نشان می‌دهند، دامنه وسیعی از گیاهان دارویی در این گروه قرار دارند. انباشتگی فلزات بر اندام‌های گیاهان تأثیرات مختلفی می‌گذارد. در این میان ورود فلزات سنگین به برگ‌های آن دسته از گیاهان دارویی، که از برگ‌های آنها استفاده می‌شود، یک تهدید جدی به شمار می‌رود. به‌عنوان‌مثال، در اراضی کشاورزی جنوب تهران، سبزی‌های برگی کشت می‌شوند که بیشتر از گیاهان دارویی هستند. در برخی از این مناطق، میزان آلودگی دو برابر حد مجاز استانداردهای جهانی گزارش شده است. اما خبر خوب این است که فلزات سنگین در محصولات نهایی و اسانس گیاهان دارویی وارد نمی‌شوند. بنابراین، ازآنجایی‌که این گیاهان مقادیر متوسطی از فلزات سنگین را از خاک حذف می‌کنند، می‌توانند برای پالایش طولانی‌مدت خاک‌های آلوده مناسب باشند. سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان خواروبار و کشاورزی (FAO) به‌طور مشترک، سطوح مجاز از فلزات سمی را که می‌توانند در یک هفته مصرف شوند، به‌عنوان مصرف قابل تحمل هفتگی (PTWI: provisional tolerable weekly intake) ارائه داده‌اند. طبق گزارش این سازمان‌ها، لفظ هفتگی برای تأکید بر اهمیت محدود کردن مصرف بیش از یک دوره برای چنین موادی استفاده می‌شود. با این‌وجود، کنترل سیستماتیک فلزات سمی در داروهای گیاهی و محصولات گیاهی مرتبط با آن، توصیه می‌شود.

آلودگی خاک‌ها و آب‌ها با فلزات سنگین، یکی از مسائل مهم محیط‌زیستی است. این فلزات، جذب گیاهان می‌شوند و درصورت استفاده به‌عنوان مواد غذایی یا محصولات دارویی، وارد زنجیره غذایی انسان‌ها و حیوانات می‌شوند.

۱*- نویسنده مسئول، پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

پست الکترونیک: kzemi@rifr-ac.ir farahzakazemisaeed@gmail.com,

۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۴-استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

در این مقاله سعی بر این است تا حد مجاز برخی فلزات سنگین در گیاهان دارویی براساس تحقیقات انجام شده در دنیا، ارائه شود.

مقدمه

آلودگی خاک‌ها و آب‌ها با فلزات سنگین یکی از مسائل مهم محیط‌زیستی است. واژه فلزات سنگین، به گروهی از فلزات و شبه‌فلزات اطلاق می‌شود که عدد اتمی بالای ۲۰ و جرم اتمی بالای ۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب دارند (Alloway, 2011). خاستگاه این واژه، از خطرناکی و آسیب‌زایی فلزات سنگین در محیط‌زیست برآمده است و امروزه همه فلزات و شبه‌فلزات آسیب‌رسان و سمی را فارغ از مقدار چگالی (نظیر آرسنیک) دربرمی‌گیرد. فلزات سنگین از طریق ریشه و برگ، جذب گیاهان و سبب اختلال در متابولیسم گیاه می‌شوند (Shahid *et al*., 2017؛ Li *et al*., 2010). هنگامی که این گیاهان به‌عنوان مواد غذایی یا محصولات دارویی استفاده شوند، مقادیر اضافی یون‌های فلزی در زنجیره غذایی به اکوسیستم‌ها آسیب می‌رسانند و سلامت انسان را تهدید می‌کنند (Dwivedi and Dey, 2002). گزارش‌های متعددی از آلودگی گیاهان دارویی و معطر و پتانسیل بالای این گیاهان در جذب فلزات سنگین، انتقال آن به بخش‌های خوراکی و حتی ورود آن به داروهای گیاهی وجود دارد (Zheljazkov *et al*., 2006, 2008a, 2008b; Baye and Hymete, 2010؛ Chaiyarat *et al*., 2011؛ Carrubba and Scalenghe, 2012؛ Ebrahim *et al*., 2012). مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۹ در ترکیه روی ۱۷ گیاه دارویی جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف انجام شد، نتایج این مطالعه نشان داد در گیاهان جمع‌آوری‌شده از نزدیک مناطق صنعتی، کشاورزی و معدن‌کاوی، سطح فلزات سنگین کمی بیشتر از گیاهان مناطق دیگر است (Karahan *et al*., 2019). در پاکستان نیز ۸ گونه گیاه دارویی در سال ۲۰۱۹ ازنظر وجود فلزات سنگین مانند کادمیوم، آرسنیک، جیوه، سرب و روی ارزیابی شدند. نتایج آنها نشان داد این فلزات در گونه‌های مختلف، موجود و میزان آن متفاوت است (Rehman *et al*., 2019). در اتریش در برخی از داروهای گیاهی وارداتی به‌ویژه با منشأ آسیایی، سطوح بحرانی از فلزات سنگین و آرسنیک مشاهده شد (Chan, 2003; Guedon *et al*., 2007; Han *et al*., 2008) . در هلند نیز مقادیر بالای فلزات سمی در داروهای گیاهی چینی، نگران‌کننده بوده است (Martena *et al*., 2010). در سال ۲۰۲۰ در برزیل روی سه گونه گیاه دارویی کاهنده اشتها آزمایش و مشخص شد، میزان ۷ فلز کادمیوم، کبالت، کروم، مس، آهن، سدیم و روی در نمونه‌های خشک، زیر مقادیر تعیین‌شده توسط کنوانسیون فارماکوپه ایالات متحده امریکا (USP) است، اگرچه در این کنوانسیون هیچ محدودیتی برای آهن، سدیم و روی در محصولات دارویی در نظر گرفته نشده بود. در گیاهان خشک‌شده، همچنین عصاره آنها میزان سرب از مقادیر توصیه‌شده بیشتر بود و کمترین مقدار، مربوط به کادمیوم، کبالت، کروم و مس بود. در عصاره استخراج شده از این گیاهان، عناصری از قبیل کادمیوم، کبالت، کروم، مس، آهن، سدیم، روی و سرب یافت شد. ضریب خطر (HI) عصاره‌های تهیه‌شده از این گیاهان از آستانه عبور کرد (Tschinkel *et al*., 2020). مطالعه دیگری نیز روی ۳۳۴ نمونه از ۱۲۶ گونه گیاهی مورداستفاده در داروهای گیاهی چینی انجام شد، این گیاهان از سراسر چین گردآوری شده بودند، نتایج نشان داد، در ۲۰/۴ درصد نمونه‌ها، مقدار

شکل ۱- جریان‌های آبی برای آبیاری سبزی‌های کشت شده در مناطق کشاورزی جنوب تهران

کادمیوم از ۰/۳ میلی‌گرم/کیلوگرم و در ۱۹/۲ درصد آنها، مقدار کروم از ۲ میلی‌گرم/کیلوگرم تجاوز کرده بود. جیوه تنها در ۰/۹ درصد نمونه‌ها بیشتر از ۰/۲ میلی‌گرم/کیلوگرم و آرسنیک در ۰/۶ درصد از آنها بالاتر از ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم بود، درحالی‌که سرب در تمام این نمونه‌ها زیر ۱۰ میلی‌گرم/کیلوگرم بود (Harris *et al*., 2011). البته همواره میزان فلزات سنگین در گیاهان دارویی بالاتر از حد مجاز نیست. به‌عنوان‌مثال، نتایج تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ در چین روی آلودگی ۶۰ نوع گیاه دارویی به مس، کادمیوم، سرب، آرسنیک، جیوه و روی انجام شد، نشان داد، کادمیوم، جیوه و مس در ۶۰ گیاه دارویی از محدوده مقدار استانداردهای سبز برای واردات و صادرات گیاهان دارویی و فراورده‌های آنها (WM2-2001)، به‌ترتیب با ۳۸/۸، ۸/۳ و ۱/۷ درصد بیشتر بود. علاوه‌برآن در این آزمایش، ۸ گیاه دارویی با میزان کادمیوم بالا انتخاب شدند تا نوع شیمیایی کادمیوم آنها بررسی شود. قسمت اعظم کادمیوم با پکتات‌ها و پروتئین ادغام شده بود و شکل ۵ نوع دیگر به‌ترتیب زیر بود: محلول در آب> فلزات سنگین فسفاته غیرمحلول> اکسالات> باقی‌مانده> شکل غیرآلی که نشان‌دهنده این است که کادمیوم سمیت و فعالیت زیستی به‌نسبت کمی دارد. همچنین، میزان انحلال ۶ فلز سنگین در عصاره ۴ گیاه دارویی و ریسک سلامتی فلزات سنگین در گیاهان دارویی ارزیابی شد. متوسط انحلال روی، مس، کادمیوم، جیوه، آرسنیک و سرب در عصاره ۴ گیاه دارویی به‌ترتیب ۴۷/۴، ۳۳/۸، ۲۰/۵، ۶/۱، ۵/۴ و ۴/۸ درصد بود. جمع‌بندی نتایج ضریب خطر (HQs) درمورد کادمیوم و جیوه نشان داد، گیاهان دارویی چینی خطری برای سلامتی ندارند (Wang *et al*., 2019). در تحقیق انجام شده توسط Abdullahi و همکاران در سال ۲۰۱۹ درمورد وجود فلزات سنگین کروم، آرسنیک و سرب در سه گونه گیاهی در کشور نیجریه، مقادیر یافت شده در حد اندک و زیر حد مجاز گزارش شد. در ایران، اصغری و همکاران (۱۳۸۶) با تحقیق روی ۱۰ نوع قطره گیاهی خوراکی موجود در بازار دارویی ایران، نتیجه گرفتند، کادمیوم و سرب در اکثر نمونه‌ها و جیوه در سه نمونه از ۱۰ نمونه حضور داشتند و میزان این عناصر در فراورده‌ها در مقایسه با استانداردهای جهانی قابل‌قبول بود. در کرمانشاه ۱۰ نوع گیاه دارویی شامل نعنا (*Mentha spicata*)، شوید (*Anethum graveolens*)، شیرین‌بیان (*Glycyr-rhiza glabra*)، کاسنی (*Cichorium intybus*)، ختمی (*Althaea officinalis*)، چای کوهی (*Stachys lavandulifolia*)، شاتره (*Fumaria officinalis*)، تشنه‌داری (*Scrophularia striata*) و پونه (*Mentha pulegium*) ازنظر میزان کادمیوم و سرب بررسی شدند. نتایج نشان داد، کمینه و بیشینه میانگین غلظت کادمیوم در شیرین‌بیان و چای کوهی به‌ترتیب ۰/۰۱۳۷ و ۰/۰۹۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمینه و بیشینه میانگین غلظت سرب در شوید و بابونه به‌ترتیب ۰/۰۰۹۹ و ۰/۰۲۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. انباشت بیشتر کادمیوم پس از چای کوهی به‌ترتیب در گیاهان شوید (۰/۰۷۳۹)، تشنه‌داری (۰/۰۷۱۹) و ختمی (۰/۰۴۴۹) مشاهده شد (عبدی و همکاران، ۱۳۹۵). در خرم‌آباد نیز ۱۰ نوع گیاه دارویی شامل کاسنی (*Cichorium intybus*)، پونه (*Mentha pulegium*)، چای کوهی (*Stachys lavandulifolia*)، شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*)، آویشن (*Thymus*)، مرزه (*Sat-ureja hortensis*)، گل گاوزبان (*Echium*)، سنا (*Senna*)، ختمی

شکل ۲-جریان‌های آبی در مناطق کشاورزی جنوب تهران

(*Althaea officinalis*) و بنفشه(*Viola*) بررسی و آزمایش شدند. در تمام نمونه‌ها، غلظت سرب کمتر از حد مجاز بود. اما میزان کادمیوم، در همه نمونه‌های شیرین‌بیان، در دو نمونه مرزه (تهران) و یک نمونه سنا (تهران)، از حد توصیه‌شده سازمان بهداشت جهانی (۰/۳ میلی‌گرم/ کیلوگرم) فراتر بود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۱۹ روی ۸ نوع گیاه دارویی و ۸ نوع عرق گیاهی موجود در بازار سنندج انجام شد، غلظت برخی از این فلزات (کادمیوم، مس، منگنز، آهن، روی، آلومینیوم، کبالت، نیکل، کروم، سرب و منیزیوم) توسط ICP-MS اندازه‌گیری و احتمال خطر مربوط به سلامتی بزرگسالان و کودکان تخمین زده شد. نتایج نشان داد، میانگین غلظت همه فلزات در دامنه مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی بود. گیاهان دارویی، حاوی آلومینیوم، آرسنیک، کادمیوم، کروم، آهن، منگنز، نیکل و سرب بیشتری نسبت به عرقیات بودند، البته، غلظت مس و جیوه در عرقیات زیادتر بود. در پژوهشی دیگر، ریسک سرطان‌زا بودن مصرف داروهای سنتی در بزرگسالان و کودکان بر مبنای ضریب خطر هدف (THQs) ارزیابی شد. این مقدار در گیاهان برای فلزات (به‌جز آلومینیوم و کروم) کمتر از یک بود که به‌عنوان سالم برای مصرف در نظر گرفته می‌شود (Kohzadi *et al*., 2019). آلودگی گیاهان دارویی و محصولات فرعی به فلزات سنگین در طول دوره کشت (آب، خاک و هوای آلوده)، فراوری محصولات مانند خشک کردن، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، نگهداری، یا افزودن عمدی به فراورده‌های گیاهی (در طب سنتی هند و چین با ادعای خواص درمانی آنها) روی می‌دهد (Denholm, 2010). ازآنجایی‌که گیاهان دارویی در درمان بسیاری از بیماری‌ها مورد توجه هستند و به‌طور عمده اعتقاد بر این است که گیاهان دارویی به‌دلیل منشأ طبیعی، عوارض جانبی ندارند، بنابراین گیاهان دارویی و فراورده‌های آنها باید عاری از فلزات سنگین سمی باشند. اما، شرایط نامناسب می‌تواند بر تولید متابولیت‌های ثانویه در این گیاهان اثر داشته باشد، به‌طوری‌که موارد سمیت پس از استفاده از گیاهان دارویی به‌دلیل وجود فلزات سنگین گزارش شده است (Steenkamp *et al*., 2002). ازاین‌رو، سازمان بهداشت جهانی (WHO) تأکید کرده است، گیاهانی با عملکرد دارویی و درمانی باید برای تأیید وجود فلزات سنگین آزمایش شوند (WHO, 2007). ازآنجایی‌که امکان حذف کامل فلزات سنگین در فراورده‌های گیاهی وجود ندارد، بنابراین لازم است یک حد مجاز از فلزات سنگین و سمی تعریف شود. اولین پیشنهاد برای چنین حدی در سال ۱۹۸۷مطرح شد (Schilcher *et al*., 1987). در حال حاضر در سراسر جهان چندین دارونامه در رابطه با گیاهان دارویی و محصولات گیاهی مرتبط با آنها مانند دارونامه آمریکا، اروپا، انگلستان و ایتالیا وجود دارد. همچنین، چهارچوب‌های قانونی در سطح ملی و منطقه‌ای در کشورهای مختلف تهیه و تنظیم شده است (Sarma *et al*.,2012). بااین‌حال، به‌دلیل نبود استاندارد جهانی و وجود چهارچوب‌های قانونی ملی، اختلاف بسیار زیادی بین کشورها ازنظر تعهد به رعایت ایمنی و کیفیت محصولات گیاهان دارویی وجود دارد. (Diederichs *et al*., 2006) پیش از سال ۱۹۹۸ تنها ۱۴ کشور عضو سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقررات مربوط به محصولات گیاهان دارویی داشتند، ولی این تعداد در سال ۲۰۰۳ به ۵۳ کشور عضو افزایش یافت و ۴۹ درصد کشورهای بدون مقررات در این زمینه اعلام کردند که در حال تدوین و نگارش مقررات هستند (WHO, 2005). کشورهای مختلف ازجمله کانادا، چین، مالزی، سنگاپور و تایلند دستورالعمل‌هایی را برای اطمینان از سطوح کم فلزات سنگین در مواد گیاهان دارویی (Herb-al material) و محصولات گیاهی تکمیل شده (Finished herbal products) تدوین کرده‌اند که در جدول ۱ ارائه شده است (WHO, 1998; 2005 ; Kosalec *et al*., 2009). ذکر این نکته لازم است که منظور از مواد گیاهی، درمورد گیاهان دارویی، علاوه‌بر مواد گیاهی خام (Herbs)، عصاره‌های تازه گیاهی، روغن‌ها، اسانس‌ها، رزین‌ها، صمغ‌ها و پودرهای خشک این گیاهان و منظور از محصولات گیاهی تکمیل شده، فراورده‌های ساخته‌شده از یک یا چند گیاه است (WHO, 2000). در حال حاضر، ایران هیچ دستورالعمل ملی برای فلزات سنگین در گیاهان دارویی ندارد (WHO, 2005). با این توضیحات، تنظیم مقررات مربوط به کیفیت بالای گیاهان دارویی و محصولات مرتبط با آنها در سطح جهانی مورد نیاز است تا در دارونامه‌ها به اشتراک گذاشته شود (Kosalec *et al*., 2009).

در دارونامه ایتالیا، حد مجاز برای سرب، کادمیوم و جیوه به‌ترتیب ۰/۵،۳ و ۰/۳ میلی‌گرم/کیلوگرم در نظر گرفته شده است (Kosalec *et al*., 2009). طبق دارونامه اروپا (چاپ ششم) حد مجاز برای فلزات سنگین در مونوگراف Kelp (6.0/1426) (*Fucus* sp.) و (*Ascophyllum* sp.) به قرار زیر است: جیوه ۰/۱ میلی‌گرم/ کیلوگرم، کادمیوم ۴ میلی‌گرم/ کیلوگرم، سرب ۵ میلی‌گرم/ کیلوگرم و آرسنیک ۹۰ میلی‌گرم/ کیلوگرم. این مقدار به‌نسبت بالای حد مجاز در آرسنیک به‌دلیل این است که ترکیبات آلی حاوی آرسنیک تنها مقدار کمی سمیت نشان می‌دهند. مونوگراف بذر کتان (۶،۰/۰۰۹۵) دارونامه اروپا، مقدار حد مجاز کادمیوم را ۰/۵ میلی‌گرم/ کیلوگرم تعیین کرده است. علاوه‌براین و در اصلاح آیین‌نامه یادشده، حدود زیر تعیین شده‌اند: سرب ۳ میلی‌گرم/ کیلوگرم، کادمیوم ۱ میلی‌گرم/ کیلوگرم، جیوه ۰/۱ میلی‌گرم/ کیلوگرم و برای جلبک‌های دریایی کادمیوم ۳ میلی‌گرم/ کیلوگرم (EC629/2008). این آیین‌نامه از اول جولای ۲۰۰۹ قابل اجرا است و نسبت به قوانین سازمان بهداشت جهانی برای سرب محدودیت کمتری دارد، ولی درمورد کادمیوم سختگیرانه‌تر عمل می‌کند (WHO, 2007). دارونامه اروپا حدود زیر را نیز تعیین کرده است: سرب ۵ میلی‌گرم/ کیلوگرم، کادمیوم ۰/۵ میلی‌گرم/ کیلوگرم و جیوه ۰/۱ میلی‌گرم/ کیلوگرم. پیشنهادها و محدودیت‌های اصلی درمورد فلزات سمی و سنگین در جدول ۲ خلاصه شده است. در سایر کشورها نیز، محدودیت‌های قابل‌مقایسه‌ای تعریف شده‌اند. در کشورهای مختلف آسیا، حد مجاز آرسنیک در محصولات گیاهی ۲ میلی‌گرم/ کیلوگرم، در چین تا ۵ میلی‌گرم/ کیلوگرم و در مالزی و سنگاپور متغیر است (WHO, 2007; Kosalec *et al*., 2009). البته برخی عناصر مانند مس، روی، منگنز، مولیبدن و نیکل در سطوح بالا می‌توانند سمی باشند، ولی سازمان بهداشت جهانی تا به امروز محدودیت خاصی را برای این عناصر در گیاهان دارویی اعمال نکرده است.

جدول ۱- نمونه‌هایی از محدودیت‌های ملی و سازمان بهداشت جهانی برای فلزات سنگین در تولیدات گیاهان دارویی

نام کشور	مواد گیاهی (خام یا فراوری)	آرسنیک	سرب	کادمیوم	کروم	جیوه	مس
کانادا	مواد گیاهی	۵	۱۰	۰/۳	۲	۰/۲	
	محصولات گیاهی تکمیل شده	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	
آلمان	مواد گیاهی		۵	۰/۲		۰/۱	
چین	مواد گیاهی	۲	۱۰	۱		۰/۵	
مالزی	محصولات گیاهی تکمیل شده	۵	۱۰			۰/۵	
سنگاپور	محصولات گیاهی تکمیل شده	۵	۲۰			۰/۵	۱۵۰
تایلند	محصولات گیاهی تکمیل شده	۴	۱۰	۰/۳			
دارونامه ایتالیا	مواد گیاهی		۵	۰/۵		۰/۳	
دارونامه اروپا	مواد گیاهی		۵	۰/۵		۰/۱	
سازمان بهداشت جهانی	مواد گیاهی	۱	۱۰	۰/۳			

تمام اعداد برحسب میلی‌گرم/کیلوگرم است به استثنا محصولات گیاهی تکمیل شده کانادا که بر حسب میلی‌گرم/روز می‌باشد.

جدول۲- پیشنهادات و محدودیت‌های سرب، کادمیوم و جیوه در نشریات علمی و چارچوبهای قانونی(mg/kg).

منبع	سرب	کادمیوم	جیوه
Schilcher *et al*. (1987, 1990)	۱۰	۰/۵	–
German Ministry of Health 1991 (Schicher, 1994)	۵	۰/۲	۰/۱
Kabelitz (1998)	۱۰	۰/۵	–
WHO (1999)	۱۰	۰/۳	–
WHO (2007)	۱۰	۰/۳	–
Pharmacopoea Europea Monograph Kelp (2007)	۵	۴	۰/۱
EC 1881/2006 and EC 629/2008	۳	۰/۳	۰/۱
Herbal drugs monograph 1433 (2008)	۵	۰/۵	۰/۱

کادمیوم و سرب

تمرکز بیشتر مطالعات درمورد فلزات سنگین سمی، روی کادمیوم و سرب بوده است. در این مورد، این مسئله مهم است که بدانیم در نمونه‌های غیرآلوده چه میزان فلزات سنگین وجود دارد و چه میزانی غیرقابل‌اجتناب است. در جدول ۳، نمونه‌هایی از مقدار کادمیوم و سرب در برخی از گونه‌های گیاهان دارویی در اتریش ارائه شده است: همان گونه که ملاحظه می‌شود اغلب نمونه‌های آزمایش‌شده، کمتر از ۰/۲ تا ۰/۳ میلی‌گرم/ کیلوگرم کادمیوم دارند. کادمیوم یک عنصر بسیار متحرک در خاک است، در دسترس بودن کادمیوم برای گیاهان به‌وسیله چندین عامل خاکی که بر اتصال این فلز به اجزای خاک تأثیر می‌گذارد، اداره می‌شود. pH خاک یک عامل مهم تعیین انتقال کادمیوم از خاک به گیاه است (Radanovic *et al.*, 2002). به‌عنوان‌مثال، گونه‌های جمع‌آوری‌شده *Hypericum* از مناطق مختلف شرق اتریش با خاک‌های اسیدی، دارای مقادیر کادمیوم بیشتری نسبت به خاک‌های آهکی بودند (Chizzola and Lukas, 2005). یکی دیگر از عوامل مهم خاک، محتوای هوموس یا کربن آلی است. بااین‌حال، همیشه همبستگی خوبی بین کربن آلی در خاک و مقدار کادمیوم در گیاه به دست نیامده است. به نظر می‌رسد این ارتباط پیچیده باشد، چراکه آزمایش‌های انجام‌شده روی سورگوم کشت‌شده در محلول‌های مواد مغذی نشان می‌دهد، حضور ماده آلی ممکن است تا حدودی کادمیوم را در محلول حفظ کند، اما درعین‌حال، انتقال کادمیوم را از ریشه به اندام هوایی تسریع می‌کند (Pinto *et al.*, 2004). همچنین، مطالعات انجام‌شده در شرق اسلواکی نشان می‌دهد، به‌ظاهر، تجمع کادمیوم در سرشاخه‌های گل‌دار بابونه به برخی از عوامل اقلیمی بستگی دارد (Salamon *et al.*, 2007a). گونه‌های گیاهی با تمایل به انباشت کادمیوم، به‌عنوان انباشته‌گر کادمیوم شناخته می‌شوند. مطالعات جامع Kabelitz (۱۹۹۸) و Gasser و همکاران (۲۰۰۹) نشان می‌دهد که دامنه وسیعی از گیاهان دارویی در این گروه قرار می‌گیرند (جدول ۴). در بین آنها گونه‌هایی مانند بومادران (*Achillea millefolium*)، گل راعی (*Hypericum perforatum*)، گونه‌های بید (*Salix* sp.)، بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*)، بزرک (*Linum usitatissimum*) و برخی از گونه‌های خانواده سیب‌زمینی شامل تنباکو (*Nicotiana* sp.) وجود دارند (Dorosewska and Berbec, 2004). تنوع در انباشت کادمیوم در برخی از گونه‌های انباشته‌گر به‌طور گسترده مطالعه شده است، تنوع شدید انباشت کادمیوم در گیاه گل راعی (*Hypericum perforatum*) نشان داده شده است، به‌نحوی‌که میزان کادمیوم در ۵۶ اکسشن، از ۰/۰۴ تا ۷/۸ میلی‌گرم/ کیلوگرم متغیر بود (Schneider and Marquard, 1996؛ Schneider *et al.*, 2002). مشاهدات مشابه در بزرک (*Linum usitatissimum*) و خشخاش (*Papaver somniferum*) نیز دیده شده است (Schneider and Marquard, 1996). بااین‌حال، واریته‌های مختلف خشخاش که تفاوت‌های زیادی در مقدار کادمیوم دانه‌ها در هنگام رشد در خاک‌های آلوده داشتند، وقتی که در خاک‌های غیرآلوده کاشته شدند، مقدار کادمیوم کمتری نشان دادند (Chizzola, 2001). بنابراین به نظر می‌رسد، انتخاب اکسشن‌های دارای کادمیوم کم ممکن است راهی برای محدود کردن حضور این فلز سمی در محصولات گیاهی باشد. انتخاب هوشمندانه محل رویش و مدیریت شرایط خاک به‌منظور جلوگیری از افزایش ورود کادمیوم در زنجیره غذایی در هنگام رشد این گونه گیاهی توصیه می‌شود. میانگین مقدار کادمیوم در برگ‌های گیاه تنباکو در مناطق مختلف از ۰/۳ تا ۲/۲ میلی‌گرم/ کیلوگرم متفاوت است (Lugon-Moulin *et al.*, 2006). داروواش (*Viscum album*) گیاه دیگری است که در آن سطوح بالایی از کادمیوم یافت شده است. این گیاه یک همی‌پارازیت روی درختان است و مقدار کادمیوم آن به شدت به درخت میزبان وابسته است. مقدار کادمیوم داروواش با رشد روی سیب، زالزالک، درخت لیمو و بلوط کم می‌شود، درحالی‌که مقدار آن با رشد روی گونه‌های کاج، صنوبر و بید بالا می‌رود (Gasser *et al.*, 2009). به نظر می‌رسد کادمیوم جلبک دریایی نیز به شدت بالا باشد (Gasser *et al.*, 2009). گیاهان در خاک‌هایی با درجه آلودگی متوسط، حتی ممکن است، کادمیوم بالایی داشته باشند. بااین‌وجود، با اضافه کردن کادمیوم به‌صورت محلول در ابتدای آزمایش، کادمیوم بالایی در گیاه جمع می‌شود، زیرا زمان کافی برای ثابت شدن فلز با ذرات خاک وجود ندارد (Pluquet *et al.*, 1990). مطالعات مختلف نشان داده است بسته به خاک و شرایط آلودگی، ممکن است کاهش رشد در گیاه دیده شود، یا دیده نشود. معمولاً، پیش از اینکه کاهش رشد روی دهد، غلظت‌های بحرانی از فلزات در گیاهان دیده می‌شود. انباشتگی فلزات بر اندام‌های گیاهان تأثیرات مختلفی می‌گذارد. در مریم گلی کبیر (*Salvia sclarea*) فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی به ترتیب زیر کاهش می‌یابند: کادمیوم و سرب: برگ‌ها > ریشه‌ها> گل‌آذین> ساقه‌ها؛ مس و منگنز: ریشه‌ها> برگ‌ها> گل‌آذین> ساقه‌ها و روی: برگ‌ها> گل آذین> ریشه‌ها> ساقه‌ها (Zheljazkov and Nielscn, 1996).

روی و مس

مطالعات نشان می‌دهند اضافه کردن مس به خاک (حداکثر تا ۳۰۰ میلی‌گرم/ کیلوگرم) باعث انباشته شدن مس حداکثر تا ۲۷۱ میلی‌گرم/ کیلوگرم در اندام هوایی گیاه بابونه می‌شود، درحالی‌که گیاهان هیچگونه علامت ظاهری بیش‌بود مس را نشان نمی‌دهند (Gregorjtovsky *et al.*, 2006). همچنین کاربرد کمپوست حاوی مس زیاد، که منجر به انباشت ۷۶۰ میلی‌گرم/ کیلوگرم در محیط کاشت می‌شود، هیچ اثر معکوسی بر رشد نعنا (*Mentha* x *piperita*) و شوید (*Anethum graveolens*) ندارد و هر دو گونه تنها ۱۲ میلی‌گرم/ کیلوگرم مس در بافت‌های خود انباشته می‌کنند (Zheljazkov and Warman, 2004). نتایج آزمایش‌های انجام‌شده روی بذر خار مریم (*Silybum marianum*)، که در خاک‌های بسیار آلوده کاشته شده بود، نشان داد، عملکرد بذر کاهش یافته است، درواقع، گیاهان حاوی غلظت‌های بحرانی از فلزات سنگین بودند، بااین‌حال، میزان چربی و سیلیمارین تحت تأثیر قرار نگرفت. این محصولات نهایی، آلوده به فلزات سنگین نبودند (Zheljazkov and Nikolov, 1996). نمونه‌های گیاه مریم گلی کبیر، کاشته‌شده در خاک آلوده نیز، حاوی سطوح بالایی از کادمیوم، سرب و روی بودند، اما اسانس آنها آلوده نبود (Zheljazkov and Nielscn,

جدول ۳- مقدار کادمیوم و سرب در برخی از گونه‌های گیاهان دارویی در اتریش

ردیف	اسم علمی	اسم فارسی	اندام مورد استفاده	کادمیوم	سرب	منبع	ردیف	اسم علمی	اسم فارسی	اندام مورد استفاده	کادمیوم	سرب	منبع
1	*Achillen millefolium*	بومادران	Herb	0.24	11.6	Ra08	26	*Linum usitatissimum*	بزرک	Seeds	0.42	0.016	Jo93
2	*Achillea millefolium*	بومادران	Herb	0.21	1.0	Ch03	27	*Matricaria recutita*	بابونه دارویی	Flowers	0.44	0.72	Ba06
3	*Agrimonia eupatoria*	غافث	Herb	0.08	0.28	SaOl	28	*Matricaria recutita*	بابونه دارویی	Flowers	0.19	0.55	SaOl
4	*Allium sativum*	سیر	Bulbs	0.13-0.25	0.9-14.8	BalO	29	*Matricaria recutita*	بابونه دارویی	Flowers	0.22	0.75	Sa07
5	*Artemisia absinthium*	درمنه	Herb	0.5	2.25	Ra08	30	*Matricaria recutita*	بابونه دارویی	Flowers	0.35	3.48	Ra08
6	*Atropa belladonna*	شابیزک	Leaves	0.34	-	Un96	31	*Melissa officinalis*	فرنجمشک	Herb	0.02	0.8	Ch03
7	*Betula* sp.	توس	Leaves	0.68	0.9	Ka07	32	*Mentha piperita*	نعناع	Herb	0.06-0.09	0.33-2.48	Fi03
8	*Capsicum annuum*	فلفل زینتی	Fruits	0.05	0.31	Kr07	33	*Mentha piperita*	نعناع	Herb	0.05	0.8	Ch03
9	*Capsicum frutescens*	فلفل قرمز	Fruits	0.05	0.39	Kr07	34	*Ocimum basilicum*	ریحان	Herb	0.07	0.55	Kr07
10	*Capsicum frulescens*	فلفل قرمز	Fruits	0.07	-	Un96	35	*Papaver somniferum*	خشخاش	Blue seeds	0.84	0.08	Jo93
11	*Carum carvi*	زیره سیاه اروپایی	Fruits	0.05	0.2	Ch03	36	*Papaver somniferum*	خشخاش	Seeds	0.25	0.1	Ch03
12	*Centella asiatica*	آب‌بشقابی	Leaves	0.32-1.62	13.3-50.2	OnII	37	*Papaver somniferum*	خشخاش	White seeds	0.04	0.14	Jo93
13	*Centella asiatica*	آب‌بشقابی	Roots	0.42-2.44	18.6-63.0	OnII	38	*Rosa canina*	نسترن وحشی	Fruits	0.07	0.34	Ba06
14	*Centella asiatica*	آب‌بشقابی	Stems	0.09-0.91	7.6-41.2	OnII	39	*Ruta chalepensis*	سداب سوری	Leaves	0.58-0.71	0.2-1.4	BalO
15	*Crataegus* sp.	زالزالک	Flowers	0.16	1.51	Ka07	40	*Salvia officinalis*	مریم‌گلی دارویی	Leaves	0.01	0.8	Ch03
16	*Cynara scolymus*	آرتیشو	Leaves	0.77	4.59	Ra08	41	*Sambucus nigra*	آقطی سیاه	Flowers	0.01	0.24	SaOl
17	*Datura stramonium*	تاتوره	Leaves	0.20-1.92	-	Un96	42	*Satureja hortensis*	مرزه	Herb	0.07	0.79	Kr07
18	*Equisetum arvense*	دم‌اسب صحرایی	Herb	0.02	0.07	SaOl	43	*Taraxacum officinale*	قاصدک	Leaves	0.33	0.73	Ka07
19	*Foeniculum vulgare*	رازیانه	Fruits	0.004	0.48	Ba06	44	*Taraxacum officinale*	قاصدک	Roots	0.07	0.37	SaOl
20	*Foeniculum vulgare*	رازیانه		0.03	0.4	ChOl	45	*Thymus serrulatus*	آویشن	Leaves	0.46-0.58	1.1-98.2	BalO
21	*Foeniculum vulgare*	رازیانه	Fruits	Not delectable	0.93 2.65 -	Ga 1 0	46	*Urtica dioica*	گزنه دو پایه	Herb	0.06-0.10	1.10-1.75	Fi03
22	*Hyoscyamus niger*	بنگ دانه	Leaves	0.14	-	Un96	47	*Urtica dioica*	گزنه دو پایه	Herb	0.06	4.8	Ba()6
23	*Hypericum perforatum*	گل راعی	Herb	0.59	0.4	Ch03	48	*Urtica dioica*	گزنه دو پایه	Leaves	0.6	0.09	SaOl
24	*Inula helenium*	مصفا	Roots	0.12	3.65	Ra()8	49	*Viscum album*	درواش	Herb	0.16	0.32	SaOl
25	*Levisticum officinale*	انجدان	Leaves	0.6	0.6	Ch03	50	*Zingiber officinale*	زنجبیل	Rhizomes	0.17-0.25	0.3-0.4	BalO

جدول۴- نمونه های پیشنهادی برای کادمیوم و سرب در داروهای گیاهی (Gasser *et al*,. 2009)

ردیف	اسم علمی گیاه	اسم فارسی	اندام مورد استفاده	مقدار کادمیوم	مقدار سرب	ردیف	اسم علمی گیاه	اسم فارسی	اندام مورد استفاده	مقدار کادمیوم	مقدار سرب
1	*Achillea millefolium*	بومادران	Herb	0.6	-	15	*Nasturtium officinale*	آب‌تره	Herb	-	7
2	*Althaea officinalis*	ختمی	Root	0.6	-	16	*Piper inethysticum*	فلفل سیاه	Rhizome	0.6	-
3	*Angelica archangelica*	سنبل ختایی	Roots	0.8	-	17	*Potentilla erecla*	پنجه‌برگ معمولی	Rhizome	2.1	
4	*Arnica montana*	تنباکوی کوهی	Flowers	0.8	-	18	*Pulmonaria officinalis*	سینه‌دارو	Herb	0.8	
5	*Artemisia absinthium*	درمنه	Herb	0.9	-	19	*Salix* sp.	بید	Bark	1.7	
6	*Bellis perennis*	مینای چمنی	Flowers	0.6		20	*Solidago* sp.	علف طلایی	Herb	0.8	
7	*Betula pendula*	توس	Leaves	0.7	-	21	*Spinacia oleracea*	اسفناج	Leaves	1.6	-
8	*Carthamus linctorius*	گلرنگ	Flowers	-	10	22	*Taraxacum officinale*	قاصدک	Herb	0.6	
9	*Drosera rotundifolia*	دروزرا (حشره‌خوار)	Herb	-	7	23	*Thymus vulgaris*	آویشن زراعی	Herb	0.6	
10	*Euphrasia officinalis*	گل عینک	Herb	1.1	-	24	*Urtica dioica*	گزنه دو پایه	Roots	.	7
11	*Fumaria officinalis*	شاهتره	Herb	1.5	-	25	*Viola tricolor*	بنفشه سه‌رنگ	Herb	1.0	-
12	*Helichrysum* sp.	گل بی‌مرگ	Flowers	0.7	-	26	*Viscum album*	دارواش	Herb	0.8	-
13	*Hypericum perforatum*	گل راعی	Herb	1.0	-	27	*Cetraria islandica*	گلسنگ ایسلندی		-	11
14	*Nasturtium officinale*	آب‌تره	Herb	1.0	-	28	Seaweed	جلبک دریایی		5.7	-

1996). به‌طور مشابه، اسانس به دست آمده از نعنای به‌شدت آلوده (*Mentha* x *piperita* and *M. arvensis*) نیز، آلوده نبود، ازآنجایی‌که این گیاهان، مقادیر متوسطی از فلزات سنگین را از خاک حذف کردند، می‌توانند برای پالایش طولانی‌مدت خاک‌های آلوده مناسب باشند (Zheljazkov *et al*., 1999). همچنین انباشت زیاد فلزات در برخی از اکسشن‌های بعضی از گونه‌های *Chenopodium* نشان می‌دهد که آنها گیاه‌پالایی را در برخی از خاک‌های آلوده تسهیل می‌کنند (Barghava *et al*., 2008). برخی از گونه‌های بید نیز نتایج امیدوارکننده‌ای را در استخراج کادمیوم و روی از خاک‌های با آلودگی متوسط نشان دادند (Tlustos *et al*., 2007). برخی از گونه‌ها، همچنین ممکن است برای بیومونیتورینگ مناسب باشند. گیاهان خاصی که می‌توانند مقادیر بالایی از فلزات سنگین را در خود انباشت و آنها را تحمل کنند، به‌عنوان سوپرانباشته‌گر اطلاق می‌شوند. به‌عنوان‌مثال، گیاه *Thlaspi caerulescens* می‌تواند بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم/ کیلوگرم فلز روی را در ماده خشک اندام هوایی خود انباشت کند (Walker and Bernal, 2004). همچنین درمورد این گونه تنوع بالایی در انباشت کادمیوم، روی و نیکل اثبات شده است (Roosens *et al*., 2003).

آرسنیک

در مطالعات انجام‌شده در لهستان، مقدار آرسنیک در *Mentha x piperita*، ۰/۰۵-۰/۱۳ و در *Urtica dioica*، ۰/۰۹-۰/۲۴ بود (Fijalek *et al*., 2003). در اتریش، کلن‌های مختلف بیدهایی که در Cherno-zem (نوعی خاک سیاه حاوی مقادیر زیاد هوموس) با ۱۸ میلی‌گرم/ کیلوگرم آرسنیک کاشته شده بودند، در برگ‌ها و شاخه‌های خود بین ۱/۲-۰/۲ میلی‌گرم/ کیلوگرم آرسنیک داشتند (Tlustos *et al*., 2007). مقدار آرسنیک در نعنا با منشأ هندی (*Mentha spicala*)، به‌طور متوسط ۰/۲ میلی‌گرم/ کیلوگرم بود (Choudhury *et al*., 2006). نمونه‌های بذر رازیانه از هند، بین ۰/۵۹-۰/۵۱ میلی‌گرم/ کیلوگرم آرسنیک داشتند (Garg *et al*., 2010). همچنین، گزارش شده است که چای‌های کیسه‌ای که به‌طورگسترده در بلغارستان مصرف می‌شوند، حاوی ۰/۲۵-۰/۰۲ میلی‌گرم/ کیلوگرم آرسنیک بوده است (Arpadjan *et al*., 2008). در بعضی از جلبک‌های بزرگ و خزه‌های دریایی، سطوح بالایی از آرسنیک در حدود ۱۰۰-۲۰ میلی‌گرم/ کیلوگرم مشاهده شده است (Guedon *et al*., 2007).

جیوه

جیوه یک فلز سمی سنگین با اهمیت محیط‌زیستی است. مطالعات نشان داده است که قابلیت دسترسی گیاهان به این فلز بسیار پایین است. بنابراین، معمولاً میزان جیوه در گیاهان دارویی کم است. به‌عنوان‌مثال، در گل‌های بابونه وحشی که بین سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۵ در مقیاس

شکل۳- جریان‌های آبی برای آبیاری سبزی‌های کشت شده در مناطق کشاورزی جنوب تهران

زیاد از مناطق مختلف کشور اسلواکی جمع‌آوری شده بود، مقدار جیوه به‌طور متوسط ۰/۰۴ میلی‌گرم/ کیلوگرم ثبت شده است (Salamon and Plackova, 2007). نمونه‌های گیاهی گونه‌های *Vaccinium*، غان و بید از فنلاند و شمال شرقی روسیه کمتر از ۰/۰۴ میلی‌گرم/ کیلوگرم جیوه داشت (Reimann *et al*., 2001). در مطالعه جامعی که Gasser درمورد داروهای گیاهی در سال ۲۰۰۹ در آلمان انجام داد، مشخص شد میزان جیوه در نزدیک به ۱۲۰ داروی گیاهی کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم/کیلوگرم بوده است. جیوه در جلبک‌ها نیز انباشته می‌شود، در مطالعات انجام‌شده در سواحل شمالی کشور پرتغال، غلظت جیوه در جنس *Fucus* بالاتر از رسوبات بود (Cairrao *et al*., 2007).

تالیم

تالیم یک فلز بسیار سمی سنگین است که توسط کارخانه‌های سیمان در محیط‌زیست پراکنده می‌شود. این عنصر، در داروهای گیاهی، به‌عنوان یک موضوع با اهمیت مورد توجه قرار نگرفته است (Guedon *et al*., 2007). همان طور که از ایالات متحده گزارش شده است، مکمل‌های گیاهی به مصرف‌کنندگان کمتر از ۰/۰۰۰۳ میلی‌گرم تالیم در روز عرضه می‌کنند (Raman *et al*., 2004).

برهم‌کنش بین عناصر انتخابی

محلول خاک، که در آن مواد معدنی توسط گیاهان جذب می‌شوند، ترکیب پیچیده‌ای از عناصر است. بنابراین، برهم‌کنش بین عناصر در گیاهان معمول است. ازآنجایی‌که ساختمان شیمیایی کادمیوم و روی به هم شبیه هستند، برهم‌کنش بین این دو عنصر در گیاهان مختلف گزارش شده است. در نمونه‌برداری از گیاهان مختلفی که در خاک‌های مختلف کشت شده بودند، مشخص شد غلظت کادمیوم با افزایش غلظت روی در بذر کتان (*Linum usitatissimum*) کاهش یافته است (Grant and Bailey, 1997). محققان در آزمایش گلدانی در ایالت داکوتای شمالی در آمریکا نشان دادند، غلظت کادمیوم بذر کتان را می‌توان با افزودن روی به خاک کاهش داد، اما افزودن هم‌زمان کادمیوم و روی به خاک، در مقایسه با زمانی که کادمیوم به تنهایی به خاک اضافه می‌شود، غلظت کادمیوم را در بذر افزایش می‌دهد (Moraghan, 1993). همچنین، استفاده از فسفات مونوآمونیوم در بذرهای کتان می‌تواند میزان کادمیوم را افزایش و مقدار روی را کاهش دهد (Grant and Bailey, 1997). در سال ۲۰۰۵، Chizzola و Mitteregger برهم‌کنش بین کادمیوم و روی را در بابونه نشان دادند. در آزمایش آنها، افزودن روی به خاک آزمایش، به‌طور چشمگیری، انباشت کادمیوم را در اندام هوایی گیاه کاهش داد. بااین‌حال، این کاهش در جذب کادمیوم، به اندازه‌ای که مواد گیاهی با کمترین مقدار کادمیوم در محل‌های غیرآلوده تولید می‌شوند، کافی نبود. در بومادران چند ساله (*Achillea millefolium*) افزودن هم‌زمان کادمیوم و روی تأثیر کمی روی انباشت کادمیوم داشت (Chizzola, 2005). برهم‌کنش، در خصوص کادمیوم و منگنز در کاهو، زمانی که غلظت

شکل ۴- سبزی‌های کاشته شده در مناطق کشاورزی جنوب تهران

کادمیوم در محلول مواد مغذی افزایش یافت، منجر به جذب قابل‌توجهی از منگنز و انتقال آن به اندام هوایی شد (Ramos *et al*., 2002). در آزمایش محلول مواد مغذی، افزودن مقدار کمی کادمیوم، جذب آهن در گیاه سورگوم را افزایش داد (Pinto *et al*., 2004). در کاج نوئل (*Picea abies*)، افزایش کلسیم سبب کاهش انباشت کادمیوم و روی در گیاهان شد، درحالی‌که افزودن کادمیوم یا مس به گیاه باعث کاهش جذب کلسیم شد (Österhas and Greger, 2003). همچنین برهم‌کنش بین فسفر و روی در سطوح مختلف در گیاه و خاک گزارش شده است (Marschner, 1995).

ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان‌ها از طریق گیاهان دارویی

به نظر می‌رسد با توجه به دسترسی نسبتاً کم به گیاهان دارویی، فلزات سنگین در مقادیر کم مصرف می‌شوند. ازاین‌رو، تصور می‌شود جذب فلزات سنگین سمی از طریق مصرف محصولات گیاهان دارویی کم باشد. سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان خواروبار و کشاورزی (FAO) به‌طور مشترک سطوح مجاز از فلزات سمی را که می‌تواند در یک هفته مصرف شود، به‌عنوان مصرف قابل تحمل هفتگی (PTWI) ارائه داده‌اند. طبق گزارش این سازمان‌ها، لفظ هفتگی برای تأکید بر اهمیت محدودکردن مصرف بیش از یک دوره برای چنین موادی استفاده می‌شود. مصرف موقت قابل تحمل هفتگی برای جیوه، آرسنیک، سرب و کادمیوم به‌ترتیب برابر با ۰/۰۰۵، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن است. همچنین به گزارش این سازمان، حداقل و حداکثر مقدار موردنیاز در رژیم غذایی روزانه برای مس ۰/۵ تا ۰/۰۵ و روی یک تا ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن است (Kosalec *et al*., 2009). در مطالعه‌ای در لهستان، حداکثر مصرف روزانه آرسنیک، کادمیوم، جیوه و سرب از طریق داروهای گیاهی کمتر از ۴ درصد از ارزش PTWI محاسبه شد (Falcó *et al*., 2005). در مطالعه دیگری از کاتالونیا در اسپانیا، تخمین زده شده است که سهم گیاهان دارویی در جذب روزانه آرسنیک، کادمیوم و سرب توسط انسان‌ها به‌ترتیب به میزان ۰/۲، ۱ و ۵ درصد از کل مصرف رژیم غذایی آنها باشد (Falcó *et al*., 2003). بااین‌وجود، کنترل سیستماتیک فلزات سمی در داروهای گیاهی و محصولات گیاهی مرتبط با آن، توصیه می‌شود.

منابع

اصغری، غ.ل.، پالیزبان، ع.ع.، طلوع قمری، ز. و عادلی، ف.، ۱۳۸۷. آلودگی سرب، جیوه و کادمیوم در داروهای گیاهی ایران. علوم دارویی، ۱۴(۱): ۸-۱.

عبدی، س.، شمس، ک. وکبرایی، س.، ۱۳۹۵. بررسی غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در ده گیاه دارویی پرمصرف در شهرستان کرمانشاه. بیولوژی کاربردی، ۶(۴): ۵۰-۴۳.

هاشمی، س.پ.، رشیدی‌پور، م.، رحیمی، الف.، غیاثوند، ع.ر. و حسینی، ف.، ۱۳۹۳. بررسی آلودگی فلزات سنگین در ده گیاه دارویی پرمصرف در شهرستان خرم‌آباد. مجله علوم پزشکی زانکو، ۴۵: ۲۵-۱۷.

Abdullahi, M.S., Abubakar, U.S., Safiyanu, I., Hadiza, R.J., Sa'adatu, A.U. and Jamila G.A., 2019. Phytochemical analysis and accumulation of heavy metals in some common medicinal plants. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(3): 2692-2696.

Alloway, B.J., 2011. Heavy Metals in Soil, Third edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.

Arpadjan, S., Celik, G., Taskesen, S. and Giicer, S., 2008. Arsenic, cadmium and lead in medicinal herbs and their fractionation. Food and Chemical Toxicology, 46: 2871-2875.

Baye, H. and Hymete, A., 2010. Lead and cadmium accumulation in medicinal plants collected from environmentally different sites. B Environ. Contam. Tox., 84(2): 197–201.

Bhargava, A., Shukla, S., Srivastava, J., Singh, N. and Ohri, D., 2008. ChcnupuJiunr A prospective plant for phytoextraclion Ada Pliysinlogim, I'luntiinini, 10: 111-120.

Cairrao, E., Pereira, M.J., Pastorinho, M.R., Morgado, F., Scares, A.M.V.M. and Gui-Ihermino, L., 2007. *Fucus* spp. as a mercury contamination bioindicator in coastal areas (Northwestern Portugal). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 79: 388-395.

Carrubba, A. and Scalenghe, R., 2012. The scent of mare Nostrum: medicinal and aromatic plants in Mediterranean soils. J. Sci. Food Agric., 92: 1150–1170.

Chaiyarat, R., Suebsima, R., Putwattana, N., Kruatrachue, M. and Pokethitiyook, P., 2011. Effects of soil amendments on growth and metal uptake by Ocimum gratissimum. Water, Air, & Soil Pollution, 214: 383-392.

Chan, K., 2003. Some aspects of toxic contaminants in herbal medicines. Oic-mosphereSI, 1361-1371.

Chizzola, R. and Lukas, B., 2005. Variability of the cadmium content in *Hypericum* species collected in Eastern Austria. Water, Air, and Soil Pollution, 170: 331-343.

Chizzola, R. and Mitteregger, U.S., 2005. Cadmium and

Product Communications 3: 2107-2122.
Han, XL., Zhang, XB., Guo, LP., Huang, LQ., Li, MJ., Liu, XH., Sun, YZ. and I.v, JR., 2008. Statistical analysis of residues of heavy metals in Chinese crude drugs. Zhongguo Zhongyao Zazhi, 33: 2041 -2048.
Harris, E.S.J., Cao, S., Littlefield, B.A., Craycroft, J,A., Scholten, R., Kaptchuk, T., Fu, Y., Wang, W., Liu, Y., Chen, H., Zhao, Z., Clardy, J., Woolf, A.D. and Eisenberg, D.M., 2011. Heavy metal and pesticide content in commonly prescribed individual raw Chinese herbal medicines. The Science of the Total Environment, 409: 4297-4305.
Herbal Drugs Monograph 1433. Pharmeuropea, 2008, 20, 302-303.
Kabelitz, L., 1998. Heavy metals in herbal drugs. European Journal of Herbal Medicine, 4: 25-33.
Karahan, F., Ozyigit, I.I., Saracoglu, I.A., Yalcin, I.E., Hocaoglu Ozyigit, A. and Ahmet Ilcim, A., 2020. Heavy Metal Levels and Mineral Nutrient Status in Region Different Parts of Various Medicinal Plants Collected from Eastern Mediterranean of Turkey, Biological Trace Element Research, 197: 316–329.
Kohzadi, S., Shahmoradi, B., Ghaderi, E., Loqmani, H. and Maleki, A., 2019. Concentration, Source, and Potential Human Health Risk of Heavy Metals in the Commonly Consumed Medicinal Plants, Biological Trace Element Research, 187(1):41-50.
Kosalec, I., Cvek J., Tomić, S., 2009. Contaminants of medicinal plants herbs and herbal products. Archives of Industrial and Hygiene Toxicology, 60, 485-501..
Li, Q., Cai, S., Mo, C., Chu, B., Peng, L. and Yang, F., 2010. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. Ecotoxicol. Environ. Saf., 73(1): 84–88.
Lugon-Moulin, N., Martin, F., Krauss, MR., Ramey, PB. and Rossi, L., 2006. Cadmium concentration in tobacco (*Nicotiana labacum* L.) from different countries and its relationship with other elements. Chemosphere, 63: 1074-1086.
Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition ol Higher Plants (2nd Edition). Academic Press, Harcoun Press and Co., London, 889p.
Martena, M.J., Widen, J.C.A., Rictjcns, I.M.C.M., Klcrx Y.V.M.M., Croot H.N. and Konings, E.J.M., 2010. Monitoring of mercury, arsenic, and lead in tra ditionat Asian herbal preparations on the Dutch market and estimation of associated risks. Food Additives and Contamination, 27: 190-205.
Moraghan, J.T., 1993. Accumulation of cadmium and selected elements in flax seed grown on a calcareous soil. Plant and Soil, 150: 61-68.
Österhas, A.H. and Greger, M., 2003. Accumulation of, and interactions between, calcium and heavy metals in wood and bark of *Picea abies*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166: 246-253.
Pinto, A.P., Mota, A.M., de Varennes, A. and Pinto, F.C., 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. The Science of the Total Environment, 326: 239-247.
Pluquct, E., Filipinski, M. and Gruppc, M., 1990. Zur Cadmiumauthahnic von Kulturpflanzcn aus gcogcn und anthropogcn mil Cadmium angcrcichcncn Boden. Zeitschrifl fiir Kiilinriethnik tmtJ Landcntv. Ickliing, 31:105-111.
Radanovic, D., Antic-Mladenovic, S. and Jakovlevic, M., 2002. Influence of some soil characteristics on heavy zinc interactions in trace element accumulation in chamomile. Journal of Plant Nutrition, 28: 1383-1396.
Chizzola, R., 2005. Cadmium and micronutrient accumulationin yarrow. Phyton, 45: 159-171.
Chizzola, R., 2001. Micronutrient composition of Pa/ iuver somnilemni I., grown under low cadmium stress condition. Journal of Plant Nutrition, 24: 1663-1677.
Choudhury, R.P., Kumar, A. and Garg, A.N., 2006. Analysis of Indian mint (*Mentha xpicata*) for essential, trace and toxic elements and its antioxidant behavior. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 41: 825-832.
Denholm, J., 2010. Complementary medicine and heavy metal toxicity in Australia. Webmed Central 1: 1–6.
Dietrich's, N., Feiter, U. and Wynberg, R., 2006. Production of traditional medicines: technologies, standards and regulatory issues. Commercializing Medicinal Plants: A southern African Guide. Sun Press, Stellenbosch, pp. 155–166.
Doroszewska, T. and Berbe£, A., 2004. Variation for cadmium uptake among Nicoti-ana species. Genetic Resources and Crop Evolution, 51: 323-333.
Dwivedi SK. and Dey S., 2002. Medicinal herbs: A potential source of toxic metal exposure for man and animals in India. Arch Environ Health, 57(3): 229-231.
Ebrahim, A.M., Eltayeb, M.H., Khalid, H., Mohamed, H., Abdalla, W., Grill, P. and Michalke, B., 2012. Study on selected trace elements and heavy metals in some popular medicinal plants from Sudan. J. Nat. Med., 66(4): 671–679.
EC (629/2008), Commission Regulation 629/2008 (2 July 2008) amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contami-nants in foodstuffs. Official Journal of the -European Union 2008. (LI73). 6-4.
Falcó, G., Gdmez-Catalan, J., Llobet, J.M. and Domingo, J.L., 2003. Contribution of medicinal plants to the dietary' intake of various toxic elements in Catalonia. Spam. Trace Elements Electrolytes, 20: 120-124.
Falcó, G., Llobet, J.M., Zareba, S., Krzysiak, K. and Domingo, J.L., 2005. Risk assessment of trace elements intake through natural remedies in Poland. Trace Elements Electrolytes, 22: 222-226.
Fijalek, Z., Soltyk, K., Lozak, A., Kominek, A. and Ostapczuk, P., 2003. Determination of some micro- and macroelements in preparations made from peppermint and nettle leaves. Phurmuzie, 58:480-482.
Garg, C., Khan, S.A., Ansari, S.H. and Garg, M., 2010. Efficacy and safety studies of *Foeniculum vulgare* through evaluation of toxicological and standardisation parameters. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2: 43-45.
Gasser, U., Klier, B., Kuhn, A.V. and Steinhoff, B., 2009. Current findings on the heavy metal content in herbal drugs. Pharmeuropa Scientific Notes, 1: 37-50.
Grant, C.A. and Bailey, L.D., 1997. Effects of phosphorous and zinc fertilizer management on cadmium accumulation in flaxseed. Journal of Science and Food Agriculture, 73: 307-314.
Grejtovsky, A., Markusova, K. and Eliasova, A., 2006. The response of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) plants to soil zinc supply. Plant, Soil and Envi-ronment, 52: 1-7.
Guedon, D., Brum, M., Bizet, D., Bizo, S, Bourny, E., Compagnon, P.A., Kergosien, H., Quintelas, L.G., Respau, J., Saperas, O., Seigneuret, J.M., Taoubi, K. and Urizzi, P., 2007. Impurities in herbal substances, herbal preparations and herbal medicinal products. IV. Heavy (toxic) metals. Pharma Pratiques 18. 231 -268 and Natural

Tschinkel, P.F.S., Melo, E.S.P., Pereira, H.S., Silva, K.R.N., Arakaki, D.G., Lima, N.V., Fernandes, M.R., Leite, L.C.S., Melo, E.S.P., Melnikov, P., Espindola, P.R., de Souza, I.D., Nascimento, V.A., Júnior, J.L.R., Geronimo, A.C.R., dos Reis, F.J.M. and Nascimento, V.A., 2020. The Hazardous Level of Heavy Metals in Different Medicinal Plants and Their Decoctions in Water: A Public Health Problem in Brazil, BioMed Research International, Volume 2020, Article ID 1465051, 11 pages.

Tlustoš, P., Szakova, J., Vyslouzilova, M., Pavlikova, D., Weger, J. and Jarovska, H., 2007. Variation in the uptake of arsenic, cadmium, lead, and zinc by different species of willows *Salix* spp. grown in contaminated soils. Central European Journal of Biology, 2: 254-275.

Walker, D.J. and Bernal, M.P., 2004. The effects of copper and lead on growth and zinc accumulation of Thlatpi caerulescens J. and C. Presl. Implications t'oi phytoremediation of contaminated soils. Water, Air and Soil Pollution, 151: 361-372.

Wang, Zh., Wang, Ho., Wang, Ha., Li, Q. and Li, Y., 2019. Heavy metal pollution and potential health risks of commercially available Chinese herbal medicines. Science of the Total Environment, 653: 748–757.

WHO (World Health Organization), 1999. Monographs on Selected Medicinal Plants (Vol. 1), Geneva, Switzerland.

WHO, 1998. Quality control methods for medicinal plant materials, Geneva, 115p.

WHO, 2000. General guidelines for methodologies on research and evaluation of traditional medicine, Geneva, 71p.

WHO, 2005. National policy on traditional medicine and regulations of herbal medicines, Geneva, 156p.

WHO, 2007. WHO Guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. WHO Publishers, Geneva, 105p.

Zheljazkov, V.D. and Warman, P.R., 2004. Application of high-Cu compost to dill and peppermint. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52: 2615-2622.

Zheljazkov, V.D., Jeliazkova, E.A. and Craker, L.E., 1999. Heavy metal uptake by mint. Acta Horlicullurae, 500: 111-117.

Zheljazkov, V.D., Craker, L.E. and Xing, B., 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. Environ. Exp. Bot., 58(1): 9–16.

Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., Xing, B., Nielsen, N.E. and Wilcox, A., 2008a. Aromatic plant production on metal contaminated soils. Sci. Total Environ., 395(2): 51–62.

Zheljazkov, V.D., Jeliazkova, E.A., Kovacheva, N. and Dzhurmanski, A., 2008b. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter. Environ. Exp. Bot., 64: 207–216.

Zheljazkov, V.D. and Nikolov, S., 1996. Accumulation of Cd, Pb. Cu, Mn. and Zn by Silybum murianum L. Ada Horlicultiirae, 426: 297-308.

Zheljazkov, V.D. and Nielsen, N.E., 1996. Growing clary sage (Stihia sckin'u L.) in heavy metal-polluted areas. Acta Horliculturtie, 426: 309-328.

metal content in *Hypericum perforatum* L. and Achillea millefolium L. Ada Horticulture, 576: 295-301

Raman, P., Patino, L. and Nair, M.G., 2004. Evaluation of metal and microbial contamination in botanical supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52: 7822-7827.

Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J. and Garate, A., 2002. Cadmium uptake and sub-cellular distribution in plants oiLactuca sp. Cd-Mn interaction. Plant Science, 162: 761-767.

Rehman, Kh., Hamayun, M., Afzal Khan, S., Amjad Iqbal, A. and Hussain, A., 2019. Heavy Metal Analysis of Locally Available Anticancer Medicinal Plants. Biosciences Biotechnology Research Asia, 16(1): 105-111.

Reimann, C., Roller, F., Frengstad, B., Kashulina, G., Niskavaara, H. and Englmaier, P., 2001. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1 500 000-km2 area in Northern Europe. The Science of the Total Environment, 278: 87-112.

Roosens, N., Verbruggen, N., Meerts, P., Ximénez-Embum, P. and Smith, J.A.C., 2003. Natural variation in cadmium tolerance and its relationship to metal hyperaccumulation for seven populations of Thlaspi caerulescens from Western Europe. Plant, Cell and Environment, 26: 1657-1672.

Salamon, I. and Plackova, A., 2007. Environmental risks associated with the production and collection of chamomile flowers. Ada Horticulture, 749: 211-215.

Salamon, I., Králóvá, K. and Masarovićová, E., 2007a. Accumulation of cadmium in chamomile plants cultivated in Eastern Slovakia regions. Acta Horlicullurae, 749: 217-222.

Sarma, H., Deka, S., Deka, H. and Saikia, R.R., 2011. Accumulation of heavy metals in selected medicinal plants. Reviews of environmental contamination and toxicology. Springer, pp. 63-86.

Schilcher, H., 1994. Zur Frage der SchadstofTe in Arznei- und GewQrzpflanzen sowie dcren Zubcrcitungen. Ubersicht und aktuelle rechtliche Bewertung von Rucksta'nden. Herba Germanica, 2: 1-18.

Schilcher, H. and Peters, H., 1990. Empfehlungen von Richt- und Grenzwerten fur den maximalen Blei- und Cadmiumgehalt von Arzneidrogen und daraus her-gestellter phannazeutischer Zubereitungen. Pharamzeutische Industrie, 52: 916-921

Schilcher, H., Peters, H. and Wong, H., 1987. Oestizide und Schwermetalle in Arzneipflanzen und Arzneipflanzenzubereitungen. Pharamzeutische Industrie, 49: 203-211.

Schneider, E., Pank, F., Koball, G., Pollys, de Garcia, E., Dehe, M. and Bliithner, W.D., 2002. Einfluss von Genotyp und Umwelt auf die Cadmiumaufhahme des Johanniskrautes (*Hypericum perforatuin* L.). Zeitschrift fur Arznei und Gewiirzpflanzen, 7: 329-335.

Schneider, M. and Marquard, R., 1996. Aufhahme und Akkumulation von Cadmium und weiterer Schwermetalle bei *Hypericum perforatum* L. und *Linum usitatissimum* L. Zeitschrift fur Arznei und GewurzpfJanzen, 1: 111-116.

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T. and Niazi, N.K., 2017. foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. J. Hazard Mater., 325: 36–58.

Steenkamp, V, Stewart, M.J., Curowska, E. and Zuckerman, M., 2002. A severe case of multiple metals poisoning in a child treated with a traditional medicine. Forensic Sci Int, 128(3): 123-126.

Street, R.A., 2012. Heavy metals in medicinal plant products–an African perspective. S Afr. J. Bot., 82: 67–74.