ارزیابی خطرپذیری ناشی از ورود کادمیم به بدن در اثر مصرف پسته در مقایسه با استانداردهای جهانی در باغات پسته رفسنجان

حکیمه هاشمی‌پور [۱]، حسین شیرانی [۲]، سید جواد حسینی‌فرد [۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ۲- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ۳- استادیار، موسسه تحقیقات پسته کشور

چکیده
کادمیم یکی از سمی‌ترین عناصر سنگین برای موجودات زنده است که نقش زیستی ندارد. این فلز عمدتاً از طریق فرآیندهای صنعتی و کودهای فسفاته به محیط زیست راه می‌یابد. در این تحقیق ۷۰ نمونه خوشه از میوه درخت در اراضی پسته‌کاری شش منطقه از حومه‌ی رفسنجان تهیه شد. سپس غلظت کادمیم با استفاده از روش اکسیداسیون خشک اندازه‌گیری گردید. به‌منظور ارزیابی خطر کادمیم برای سلامتی انسان از طریق خوردن پسته در خاک‌های کشاورزی شهرستان رفسنجان از تابعی به نام نسبت خطر [۱۵۶](HQ) استفاده شود. نتایج نشان داد ارزیابی خطر ناشی از عنصر کادمیم با درنظر گرفتن مسیر ورود از طریق خوردن پسته، حاکی از آن است که خطر کل غیرسرطانی کادمیم کمتر از یک (حد بحرانی برای خطر) بود. این امر بدین معناست که مصرف این محصولات، سلامت مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌کند.

واژههای کلیدی: کادمیم، ارزیابی خطر، نسبت خطر، اراضی پسته‌کاری، رفسنجان

مقدمه
فلز سنگین به فلزی گفته می‌شود که وزن مخصوص آن بیشتر از ۵/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد. فلزات سنگین پایدار، غیر قابل تجزیه و در غلظت بالا سمی می‌باشند(et al. Ijagbemi, ۲۰۰۹). در بین فلزات سنگین کادمیم به علت نیمه‌عمر طولانی در بدن انسان و حیوان و سمی بودن زیاد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. این عنصر در نارسایی کبد، ریه، استخوان، جریان خون، قلب و اندام‌های حیاتی مانند مغز و کلیه نقش دارد و بر هوش افراد نیز تأثیر سوء می‌گذارد(Gupt and Bhattacharyya, ۲۰۰۸).

فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و توسعه‌ی شهرنشینی، امکان انباشت فلزات سنگین در گیاهان زراعی و درنتیجه ورود آن‌ها به زنجیره‌ی غذایی انسان را افزایش داده است(et al. Jauslin, ۲۰۰۴). انباشتگی عناصر سمی، نه تنها رشد گیاهان را محدود می‌کند، بلکه کیفیت و امنیت غذایی آن‌ها را نیز متأثر می‌سازد. به‌علاوه، حتی ورود مقادیر کم این عناصر نیز در طولانی‌مدت، می‌تواند آثار زیان‌آوری را بر سلامت انسان داشته باشد (et al. Kirchner, ۲۰۰۶).

ارزیابی خطر، فرآیندی است که در طی آن، احتمال و بزرگی خسارت، هدررفت یا آسیب ناشی از یک خطر و تهدید بالقوه سلامتی تخمین زده می‌شود. مدیریت خطر [۱۵۷]، فرآیندی است که در آن نتایج ارزیابی خطر از جنبه‌های مختلف اقتصادی، سیاسی، قانونی و اخلاقی مورد توجه قرار می‌گیرد. تصمیم‌گیری‌های مدیریتی زیست محیطی براساس ارزیابی خطر و مدیریت خطر انجام می‌شوند. به‌طور کلی، ارزیابی خطر، فراهم کننده اصول علمی برای قانون گذاری‌های زیست محیطی می‌باشد. (et al., Pierzynski ۲۰۰۰) ارزیابی خطر فرآیند پیچیده‌ای است که دربرگیرنده بسیاری از تخصص‌ها و مهارت‌هاست و طی آن ناگزیر به استفاده از برخی فرضیات هستیم که همین امر منشأ ایجاد خطا در این فرآیند است. ارزیابی خطر ممکن است برای سلامت انسان، سلامت اکوسیستم یا ترکیبی از هر دو انجام شود. ارزیابی خطر معمولاً در مناطق مختلف دارای آلودگی و در مقیاس منطقه‌ای انجام می‌گیرد (et al. Pierzynski, ۲۰۰۰). در بررسی ارزیابی خطر برای سلامت انسان، خطرات ناشی از آلاینده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند (USEPA, ۱۹۸۹):

الف- غیرسرطان‌زا [۱۵۸]
موادشیمیایی و عناصر سنگین ممکن است باعث ایجاد بیماری‌های غیرسرطانی در انسان شوند.

ب- سرطان‌زا [۱۵۹]

---

[۱۵۶] Hazard Quotient
[۱۵۷] risk management
[۱۵۸] carcinogenic-non
[۱۵۹] carcinogenic

هدف انجام این پژوهش، تعیین رابطه ارزیابی خطر کادمیم برای سلامتی انسان از طریق خوردن پسته در خاک‌های کشاورزی شهرستان رفسنجان به کمک تابعی به نام نسبت خطر (HQ)[۱۶۰] بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

برای انجام این تحقیق، شش منطقه واقع در شهرستان رفسنجان، شامل بخش‌های کشکوئیه، نوق، کبوترخان، داوران، حومه‌ی غربی و حومه‌ی شرقی انتخاب شدند. این مناطق بین طول‌های جغرافیایی ''۳۸ '۲۳ °۳۰ تا ''۳۷ '۲۷ °۳۰ قراردارند. ارتفاع این مناطق از سطح دریا ۱۴۵۳ تا ۱۴۶۹ متر متغیر است. کاربری فعلی اراضی به کشت آبی باغ‌های پسته اختصاص یافته است که بر روی واحدهای فیزیوگرافی دشت‌های دامنه‌ای و واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار واقع شده‌اند. منابع آب کشاورزی از چاه‌های عمیق موجود در منطقه تأمین می‌شوند (مداحیان، ۱۳۷۰).

جدول ۱- غلظت کادمیم بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در نمونه‌های مورد آزمایش

خصوصیت	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
کادمیم در میوه	۸۰/۰	۴۹/۰	۱۲/۰	۲۳/۲

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

برای نمونه‌گیری خاک از هر منطقه، هفت الی هشت مزرعه به‌طور تصادفی انتخاب گردید و نمونه‌ها در زمان برداشت محصول (اواخر تابستان تا اوایل پاییز) برداشت شدند. به‌طوری که در هر باغ از پنج الی شش درخت، دو تا سه خوشه از میوه درخت جدا شده و پس از کندن پوست سبز و استخوانی آن‌ها، مغزها هواخشک شدند. برای اندازه‌گیری کادمیم، نمونه‌های میوه به‌مدت ۴۸ ساعت در داخل آون در دمای ۶۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند تا به وزن ثابت برسند. پس از خشک شدن نمونه‌ها در هاون پودر گردیدند. سپس با استفاده از روش هضم خشک، اندازه‌گیری انجام شد. غلظت روی و کادمیم در عصاره با استفاده از دستگاه ICP با حد تشخیص 10^{-9} میلی‌گرم بر لیتر و طول موج ۸/۲۲۸، اندازه‌گیری گردید.

آنالیز داده‌ها

ارزیابی قرار گرفتن در معرض آلاینده‌ها (Exposure Assessment)

ورود کادمیم به بدن انسان از طریق مصرف پسته

ورود کادمیم به بدن انسان از طریق خوردن پسته، به‌عنوان محصول عمده‌ی باغی شهرستان رفسنجان، از طریق فرمول معرفی شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (USEPA) محاسبه گردید (USEPA, ۱۹۸۹):

$$\text{Intake (mg kg}^{-1}\text{d}^{-1}) = (CF \times IR \times FI \times EF \times ED)/(BW \times AT) \quad [1]$$

CF: غلظت آلاینده در ماده خورده شده برحسب میلی‌گرم بر گرم ($g\ mg^{-1}$)، IR: نرخ خورده شدن برحسب گرم بر روز یا گرم بر لیتر ($d\ g^{-1}$) یا ($L\ g^{-1}$)، FI: ضریبی که بیانگر مقداری از آلاینده است که از طریق ماده خورده شده جذب بدن می‌شود (بدون واحد). میانگین این ضریب ۲۵/۰ است و مقدار آن در بدترین و محافظه کارانه‌ترین حالت ۴/۰ می‌باشد (USEPA, ۱۹۸۹) در این مطالعه مقدار ۴/۰ که می‌تواند بیانگر ۹۵ درصد بالای احتمال خطر باشد، استفاده شد. EF: تناوب مصرف در سال برحسب روز بر سال ($y\ d^{-1}$)، ED: تعداد سال‌هایی که از این ماده خوراکی استفاده می‌شود. این عامل در محاسبه احتمال خطرپذیری بیماری‌های سرطانی ۷۰ سال و در بیماری‌های غیرسرطانی ۳۰ سال در نظر گرفته می‌شود (y). BW: وزن بدن برحسب کیلوگرم (kg)، AT: میانگین دوره زمانی که فرد در طول حیات در معرض آلاینده قرار می‌گیرد.

در محاسبه خطرپذیری غیرسرطانی:

$$AT = ۳۶۵\ (dy^{-1}) \times ۳۰\ (y) \quad [2]$$

و در محاسبه خطرپذیری سرطانی:

[۱۶۰] Hazard Quotient

$$AT = ۳۶۵\ (dy^{-۱}) \times ۷۰\ (y) \qquad [۳]$$

تعیین خطر

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA, ۱۹۸۹) دو فرمول مجزا برای محاسبه میزان خطر ابتلا به بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی، به شرح زیر معرفی کرده است که در این مطالعه از این فرمول‌ها استفاده گردید:

$$HQ = Intake/RfD \qquad [۴]$$

در این معادله، HQ[۱۶۱] بیانگر میزان خطر غیرسرطانی و سرطانی و RfD غلظت مرجع یا مبنا می‌باشد($mg^{-۱}\ kg\ d^{-۱}$) و Intake مقدار ورود آلاینده به بدن انسان برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم بر روز است.

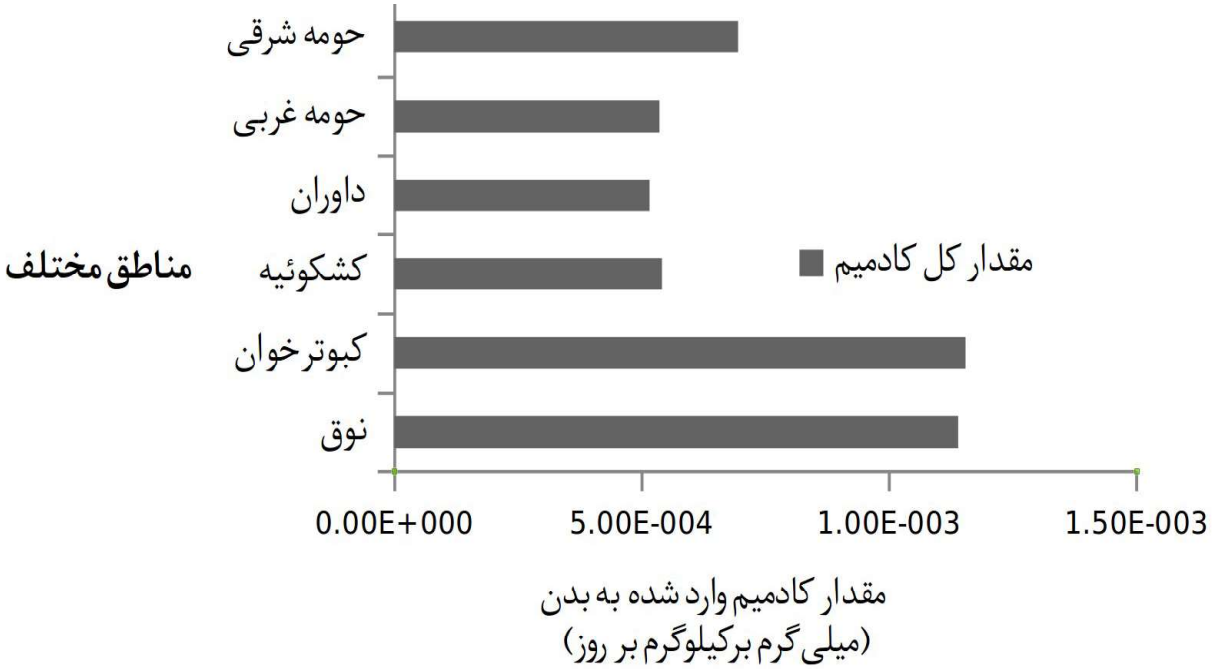
نتایج و بحث

ارزیابی خطر[۱۶۲] ناشی از ورود کادمیم به بدن در اثر مصرف پسته

مقدار کادمیم وارد شده به بدن انسان

مقدار کادمیم وارد شده به بدن با در نظر گرفتن مسیر ورود از طریق مصرف پسته در شکل ۱ نمایش داده شده است.

این نتایج براساس فرمول‌های ۲ و ۳ به‌دست آمده‌اند. مقدار ورودی کادمیم به بدن انسان از طریق مصرف پسته در همه مناطق کمتر از حدود بحرانی مربوطه می‌باشد. به‌عنوان مثال میانگین مقدار کادمیم وارد شده به بدن دختران کمتر از شش سال در کل شهرستان رفسنجان برابر $۵۵۸/۵\times۱۰^{-۴}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن انسان بر روز ($d^{-۱}kgbw\ gm^{-۱}$)، زنان میانسال $۸۶/۱\times۱۰^{-۴}$ $d^{-۱}kgbw\ gm$ و هم‌چنین در گروه سنی زنان مسن $۸۸/۱\times۱۰^{-۴}$ $d^{-۱}kgbw\ gm$ است که کمتر از حدود بحرانی پیشنهاد شده توسط FAO/WHO در سال (۱۹۹۱) $۰۱۷۳/۰$ $d^{-۱}kgbw\ gm$ می‌باشد. بر اساس شکل ۱ بالاترین غلظت کادمیم در پسته‌ی تولید شده در مناطق، کبوترخان با مقدار $۱۵۵/۱\times۱۰^{-۳}$ $d^{-۱}kg\ gm$ و نوق با مقدار برابر $۱۴/۱\times۱۰^{-۳}$ $d^{-۱}kgbw\ gm$ می‌باشد. در این مناطق میزان کودهای شیمیایی، به‌ویژه کودهای فسفات مورد استفاده از سایر نقاط بالاتر می‌باشد. این کودها معمولاً حاوی مقادیر زیادی کادمیم به‌صورت ناخالصی هستند (Kabata-Pendias, ۲۰۰۱). به ترتیب مناطق حومه شرقی، کشکوئیه، حومه غربی و داوران در درجات بعدی از نظر غلظت کادمیم وارد شده به بدن قرار دارند.



[۱۶۱] Hazard Quotient

[۱۶۲] Risk Assessment

در تمام رده‌های سنی از طریق مصرف پسته در مناطق مختلف (mg kgbw^{-1} d^{-1}) شکل ۱- مقدار کادمیم وارد شده به بدن مورد بررسی

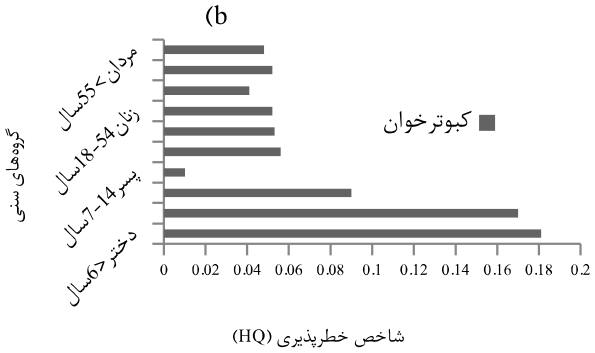
تعیین و توصیف خطر ناشی از کادمیم موجود در پسته

خطرات غیرسرطانی مربوط به فلز سنگین کادمیم با درنظر گرفتن مسیر مصرف پسته و برای همه گروه‌های سنی و جنسی افراد در شکل‌های ۲ نشان داده شده است. در بین همه‌ی گروه‌های سنی و جنسی مورد بررسی در این پژوهش و در خلال مسیر خوردن پسته، بالاترین پتانسیل خطر برای کودکان دختر زیر شش سال برای مصرف کنندگان می‌باشد.

وارد شدن کادمیم در طول سالیان متمادی[۱۶۳] از طریق مصرف پسته، کوچک‌تر از RFD دهانی مربوط به کادمیم می‌باشد. تهدید سلامتی انسان از طریق خطر وارد شدن کادمیم موجود در پسته کم است. هم‌چنین پتانسیل تهدید سلامتی انسان به‌دلیل خطر ناشی از کادمیم از مسیر مصرف پسته کمتر از یک می‌باشد (شکل‌های ۲) و این بدان معناست که خطر ناشی از این مسیر و این فلز در محدوده‌ی قابل قبول قرار دارد. زیرا چنان‌چه شاخص خطرپذیری (HQ) کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که خطر در محدوده قابل قبول قرار دارد. اگر HQ کمی بالاتر از یک باشد (در محدوده‌ی ۱ تا ۳) نشان‌دهنده‌ی این است که خطر در محدوده کمینه قرار دارد، به‌ویژه اگر در محاسبات مربوط به ارزیابی قرارگیری در معرض آلاینده‌ها از فرضیات محافظه‌کارانه استفاده شده باشد. چنان‌چه HQ بالاتر از سه باشد، بدین معناست که افراد ساکن در منطقه‌ی مورد بررسی، در معرض خطر جدی ناشی از آن آلاینده هستند. پتانسیل پایین خطر کادمیم برای سلامت انسان، ممکن است به‌دلیل غلظت مبنای به نسبت بالای آن باشد (Robson, ۲۰۰۳).

بیشترین خطرات مرتبط با مصرف پسته، در میان مصرف‌کنندگان پسته‌ی کبوترخان یافته شد. بالا بودن میزان HQ کبوترخان، نوق و حومه شرقی، برای همه گروه‌های دریافت‌کننده، در مقایسه با سایر مناطق مورد نظر، این نکته را به ذهن متبادر می‌کند که کودکان و بزرگسالان مصرف‌کننده‌ی پسته‌ی این مناطق، خطرات غیرسرطانی بیشتری را تجربه می‌کنند، اگرچه این خطر در کل در مقایسه با مقادیر بحرانی بسیار کمتر است. بالاتر بودن غلظت Cd مغز در گیاه پسته رشد یافته در این مناطق، در مقایسه با سایر نقاط، علت عمده‌ی آن است. مقادیر بالاتر HQ در کبوترخان و نوق، نشان می‌دهد که کودکان و بزرگسالان مصرف‌کننده‌ی پسته در این مناطق، بیشتر در معرض خطرات ناشی از Cd در اثر مصرف پسته می‌باشند.

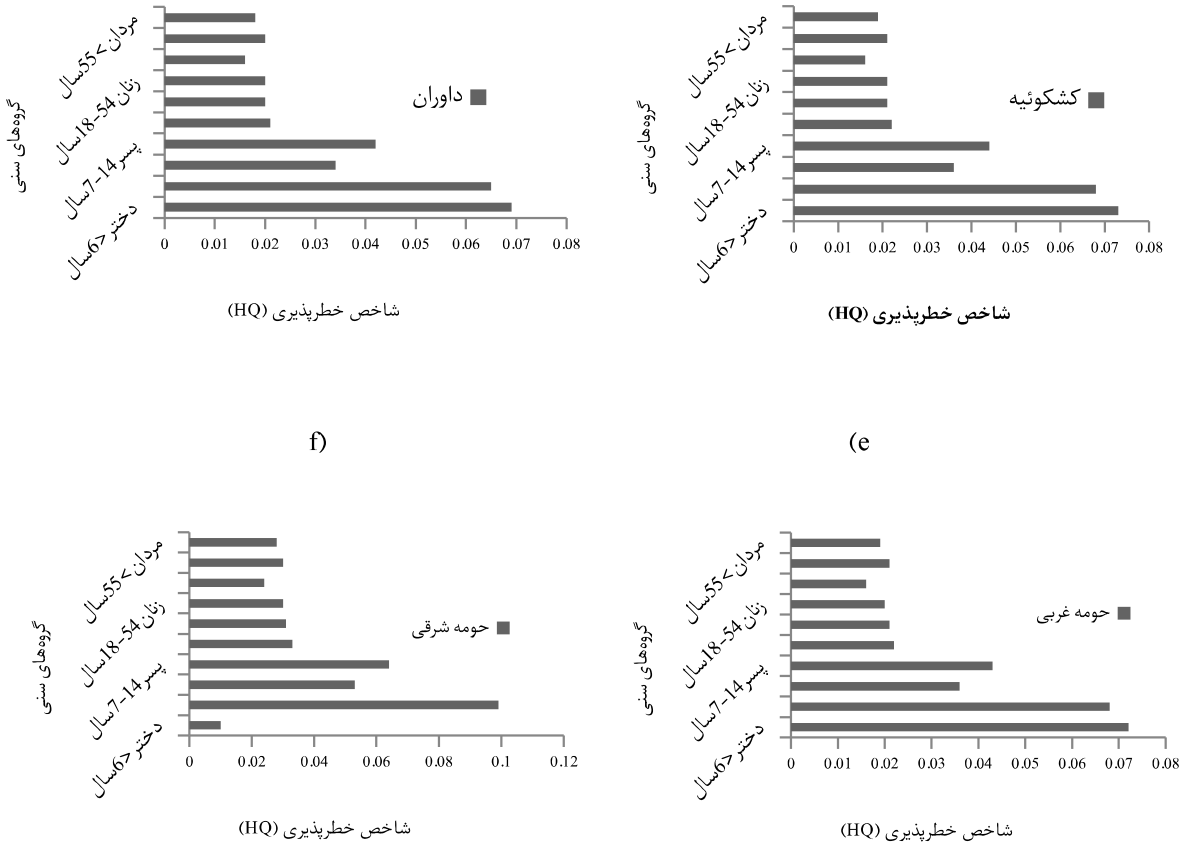
نتایج این شکل‌ها براساس فرمول شاخص خطرپذیری (فرمول ۱) به‌دست آمده اند.



(d

c)

[۱۶۳] Chronic intake



شکل ۲- خطر غیرسرطانی ناشی از قرار گرفتن در معرض کادمیم در مناطق a) نوق b) کبوترخان c) کشکوئیه d) داوران e) حومه غربی f) حومه شرقی با درنظر گرفتن گروه‌های سنی و جنسی مختلف

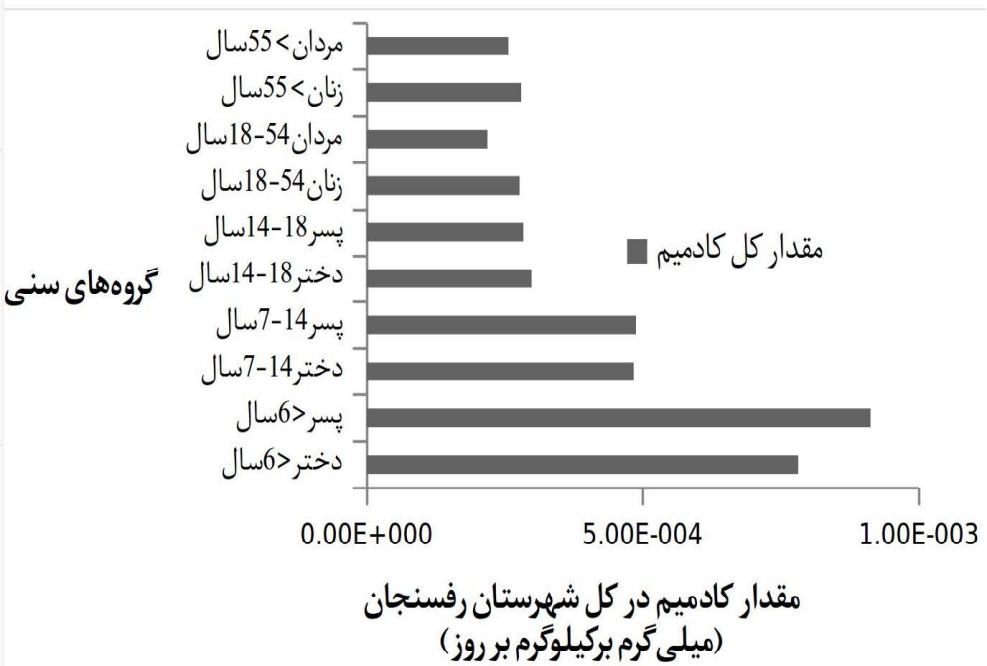
ارزیابی خطر تجمعی ناشی از کادمیم موجود در پسته

ارزیابی تجمعی خطر، مجموع همه محیط‌ها را در طول زمان درنظر می‌گیرد. به‌علاوه می‌توان ارزیابی تجمعی خطر را با ترکیب کردن مسیرهای مختلف و آلاینده‌های مختلف از منابع گوناگون محاسبه کرد (USEPA, ۲۰۰۷). در این مطالعه ارزیابی تجمعی خطر در مورد فلز کادمیم و با درنظر گرفتن همه‌ی مناطق انجام شد (شکل ۳).

خطرات مربوط به مصرف کادمیم در مورد همه‌ی گروه‌های سنی به جز کودکان بسیار کوچک بودند. خطر تجمعی کادمیم برای کودکان $۶۶۷/۲\times۱۰^{-۳}$ و برای بزرگسالان $۰۷۹/۱\times۱۰^{-۳}$ و برای افراد مسن $۵۳۷/۰\times۱۰^{-۳}$ بوده است.

مطالعات انجام شده در مورد خطرپذیری فلزات سنگین از طریق تماس پوستی با خاک و آب نشان دادند که در مورد همه‌ی فلزات سنگین و همه‌ی گروه‌های افراد، نسبت خطر کوچک‌تر از یک است (محدوده‌ی قابل‌قبول) (یگانه، ۱۳۹۱). به‌طور کلی جذب فلزات از راه پوست کم است (Paustenbach, ۲۰۰۰; Tiktak et al., ۱۹۹۸). طبیعت نامحلول بودن بسیاری از فلزات در خاک، قابلیت جذب پوستی آن‌ها را محدود می‌کند (Marlburg-Graf, ۲۰۰۶; Seixas et al., ۲۰۰۵).

خطرات غیرسرطانی ناشی از خوردن تصادفی خاک و تنفس ذرات گرد و غبار بسیار کمتر از یک است و به نظر می‌رسد که این مسیرها به‌طور جدی سلامت انسان را تهدید نمی‌کنند. بنابراین می‌توان گفت مسیر ورود فلزات سنگین از طریق مصرف مواد غذایی بسیار مهم می‌باشد، که پسته یکی از تنقلات پرمصرف در ایران و جهان به‌شمار می‌رود. لازم به ذکر است که در این پژوهش خطر کادمیم ناشی از مصرف پسته بررسی شد، در صورتی که کادمیم از طریق مختلف و مواد غذایی گوناگون می‌تواند وارد بدن شود. بنابراین اگر تمامی مسیرهای ورود مواد غذایی مختلف را در نظر بگیریم، ممکن است این خطر در حد بحرانی قرار گیرد.



شکل۳- خطر غیرسرطانی ناشی از قرار گرفتن در معرض کادمیم از طریق مصرف پسته در شهرستان رفسنجان

منابع

مداحیان، ح. ۱۳۷۰. بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی کرمان به‌ویژه رفسنجان، وزارت کشاورزی، تحقیقات آب و خاک استان کرمان.

FAO/WHO. ۱۹۹۱. Food Standards Programme. Codex Alimentarius Commission, XII, supplement ۴. FAO/WHO, Rome, Italy

Gupta, S. S. and Bhattacharyya, K. G. ۲۰۰۸. Immobilization of Pb( ), Cd( ) and Ni( ) ions on Kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. Journal of Environmental Management, ۸۷: ۴۶-۵۸.

Ijagbemi, C. O., Tbeak, M. and Kim, D. ۲۰۰۹. Montmorillonite surface properties and sorption characteristics for heavy metal removal from aqueous solutions. Journal of hazardous materials, ۱۶۶: ۵۳۸-۵۴۶.

Jauslin, M., Keller, A. and Schulin, R. ۲۰۰۴. Schwermetallbelastete Boden: Quantitative modelle zur abschatzung der gefahrdung von mensch und umvelt. Evaluationsbericht, Bundesamt fur umwelt, Wald and Landschaft (BUWAL), Bern, ۶۰ S.+ Anh.

Kabata-Pendias, A. ۲۰۰۱. *Trace Element in Soils and Plants*: *a primer* (۳ rd *ed.*). Boca Raton/CRC Press, Florida, USA.

Kirchner, J. W., Clifford, S., Riebe, L., Kennrth Ferrier, L. and Robert Finkel, C. ۲۰۰۶. Cosmogenic nuclide method for measuring long-term rates of physical erosion and chemical weathering. Journal of Geochemical Exploration, ۸۸: ۲۹۶-۲۹۹.

Marlburg-Graf, B. ۲۰۰۶. Berechnung von regional Schvermetalleintragen in der Landwirtschaft. Bodenschutz, ۱(۶۰): ۱۵-۲۰.

Paustenbach, D. J. ۲۰۰۰. The practice of exposure assessment: A state-of-the-art review. Journal of Toxicology Environmental Health, *Part B*, ۳: ۱۷۹-۲۱۹.

Pierzynski, G. M., Sims, J. T. and Vance, G. F. ۲۰۰۰. *Soils and environmental quality*, CRC press, Washington.

Robson, M. ۲۰۰۳. Methodologies for assessing exposures to metals: Human host factors. Ecotoxicology Environmental Safety, ۵۶: ۱۰۴-۱۰۹.

Seixas, J., Nunes, J. P., Lourenco, P., Lobo, F. and Condado, P. ۲۰۰۵. Geneticland: modling land use chang using evolutionary algorithms. ۴۵th *Congress of the European Regional Science Association, Land Use and Water Management in a Sustainable Network Society*, Vrije Universiteit Amsterdam, ۲۳-۲۷.

Tiktak, A., Alkemade, R., Van Grinsven, H. and Makaske, K. ۱۹۹۸. Modeling cadmium accumulation on regional sale in the Netherland. Nutreant Cycling in Agroecosystem, ۵۰: ۲۰۹-۲۲۲.

USEPA (US Environmental Protection Agency). ۱۹۸۹. Risk Assessment Guidance for Superfund. Human Health Evaluation Manual Part A. EPA/۵۴۰/۱-۸۹/۰۰۲. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, USA.

USEPA. ۲۰۰۷. Concept, Methods and Data Sources for Cumulative Health Risk Assessment of Multiple Chemical, Exposures and Effects: A Resource Document, EPA/۶۰۰/R-۰۶/۰۱۳F. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Cincinnati, OH, USA.

Abstract

Cadmium is a heavy metal Smytryn for organisms that no biological role. The metal, mostly through industrial processes and the environment is phosphate fertilizers. In this study ۷۰ clusters of fruit trees on land Rafsanjan Pistachio orchards six regions of the countryside were prepared.

The cadmium concentrations were measured using dry oxidation. In order to assess the risk to human health from eating pistachios cadmium in agricultural soils Rafsanjan city function called risk ratio (HQ) should be used.

The results showed that the risk assessment of cadmium element with respect to the direction of entry by eating nuts, suggests that the risk of non-cancerous cadmium less than one (too critical to risk), respectively. This means that the consumption of these products, threatens the health of consumers.