فصلنامه علوم محیطی،دوره هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

۱۷۷-۱۸۸

مدل سازی ارتباط کادمیم با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ‌های پسته با استفاده از رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی

سید جواد حسینی‌فرد[۱*]، حسین شیرانی[۲]، سمیه صدر[۳] و حکیمه هاشمی‌پور[۲]

[۱] پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران
[۲] گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران
[۳] گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷

حسینی فرد، س.ج.، ح. شیرانی، س. صدر و ح.هاشمی پور. ۱۳۹۸. مدل سازی ارتباط کادمیم با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ‌های پسته با استفاده از رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۳): ۱۸۸-۱۷۷.

سابقه و هدف: افزایش روز افزون غلظت فلزهای سنگین در محیط زیست، سبب ایجاد نگرانی‌های جدی محیط زیستی شده است. کادمیم یکی از سمی‌ترین عنصرهای سنگین برای موجودهای زنده است که نقش زیستی ندارد. تاکنون در مورد وضعیت عنصرهای سنگین در خاک باغ‌های پسته و شناسایی عامل‌های خاکی مؤثر بر آن‌ها، پژوهش‌های چندانی انجام نشده است. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، تعیین رابطه کادمیم عصاره‌گیری شده با دی تی پی اِ در خاک با دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، در خاک‌های کشاورزی شهرستان رفسنجان به کمک مدل‌سازی مبتنی بر روش رگرسیون گام‌به‌گام و شبکه عصبی مصنوعی بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۱۴۰ نمونه خاک از دو عمق صفر تا ۴۰ و ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متری از باغ‌های پسته‌ی شش منطقه از حومه‌ی رفسنجان تهیه شد. ویژگی‌های خاک شامل غلظت کادمیم و روی قابل‌جذب در خاک با استفاده از روشدی تی پی اِ، غلظت فسفر به روش اولسن، درصد شن، رس و سیلت خاک به روش هیدرومتر، pH و رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک بترتیب توسط دستگاه‌های pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند. بمنظور بررسی رابطه‌ی بین کادمیم قابل جذب و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از روش رگرسیون گام‌به‌گام و شبکه‌ی عصبی مصنوعی (پیش‌خور چندلایه) استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که بین فسفر و درصد رس با کادمیم خاک، همبستگی مثبت و معنی‌دار، بین Cd-DTPA با pH و درصد رس خاک، همبستگی منفی و معنی‌دار و بین کادمیم قابل جذب با روی قابل جذب، روی کل و کادمیم کل خاک همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که هر دو روش مدل‌سازی از دقت مناسبی برای تخمین غلظت کادمیم در خاک برخوردارند اگرچه مدل شبکه عصبی دقت خیلی بیشتری داشت. ضریب تبیین و ریشه میانگین خطا برای مدل شبکه عصبی برای داده‌های آزمون بترتیب ۸۴/۳ درصد و ۰/۰۱ و برای مدل رگرسیون گام به گام ۲۷/۲ درصد و ۱/۴۳ بود. همچنین غلظت کادمیم، بیشترین حساسیت را به غلظت روی در خاک نشان داد و دیگر پارامترهای رس، pH، فسفر، EC و شن بترتیب، در درجه بعدی از اهمیت قرار داشتند. این نتایج تایید می‌کند که در باغ‌های پسته بدلیل مصرف کودهای حاوی روی و افزایش مصرف کودهای فسفاته که دارای ناخالصی زیادی از نظر مقدار کادمیم هستند، افزایش غلظت کادمیم در خاک باغ‌های پسته مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری: کودهای شیمیایی روی و فسفر مورد استفاده در باغ‌های پسته دارای ناخالصی قابل‌توجهی از کادمیم هستند که در اثر

*Corresponding Author: *Email Address.*hosseinifard@pri.ir

استفاده بی‌رویه و درازمدت می‌توانند سبب آلودگی خاک نسبت به کادمیم و جذب این عنصر سمی در گیاه و میوه پسته شوند. بنابراین باید ضمن رعایت استانداردهای ملی و بین المللی در تولید و واردات کودها، استفاده از این کودها نیز براساس نیاز و با تحلیل و تفسیر نتایج تجزیه خاک و برگ، بهینه باشد تا خطر آلودگی میوه پسته به کادمیم کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: مدل سازی، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون گام به گام، روی، فسفر.

مقدمه

فلز سنگین به فلزی گفته می‌شود که وزن ویژه آن بیشتر از ۵/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد. فلزهای سنگین پایدار، غیر قابل تجزیه و در غلظت بالا سمی می‌باشند (Ijagbemi *et al*., 2009). در بین فلزهای سنگین کادمیم بدلیل نیمه‌عمر طولانی در بدن انسان و حیوان و سمی بودن زیاد (۲ تا ۲۰ برابر دیگر فلزهای سنگین (Wasiol *et al*., 1998) 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 (Gupta and Bhattacharyya, 2008). افزایش روز افزون غلظت فلزهای سنگین در محیط زیست، موجب ایجاد نگرانی‌های جدی محیط زیستی شده است. فلزهای سنگین موجود در خاک و دیگر اجزای محیط زیست، ممکن است منبع طبیعی داشته باشند و یا ناشی از فعالیت‌های انسانی باشند. برخی از فعالیت‌های انسانی از قبیل رهاسازی زباله‌ها در محیط، استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و نیز استفاده از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی، موجب افزایش غلظت فلزهای سنگین در خاک می‌شود (Yeganeh *et al*., 2010). همچنین، گسترش صنایع مختلف از طریق فرونشست‌های اتمسفری، غلظت فلزهای سنگین را در خاک افزایش می‌دهد (Zheng *et al* ., 2007). فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و گسترش شهرنشینی، امکان انباشت فلزهای سنگین در گیاهان زراعی و درنتیجه ورود آن‌ها به زنجیره‌ی غذایی انسان را افزایش داده است. انباشتگی عنصرهای سمی، نه تنها رشد گیاهان را محدود می‌کند، بلکه کیفیت و امنیت غذایی آن‌ها را نیز متأثر می‌سازد. به‌علاوه، حتی ورود میزان کم این عنصرها نیز در طولانی‌مدت، می‌تواند آثار زیان‌آوری را بر سلامت انسان داشته باشد (Kirchne *et al*., 2006).

متوسط جهانی غلظت کادمیم کل در خاک ۰/۰۶ تا ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Kabata-Pendias and Pendias, 2000). متوسط مقدار گزارش شده این عنصر در خاک‌های ایران، قابل مقایسه با متوسط جهانی است. متوسط غلظت کادمیم کل در خاک‌های منطقه‌های مرکزی ایران، ۱/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده (Amini *et al*., 2005). غلظت مجاز کادمیم کل از ۱ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است (Cariny, 1995).

کودهای شیمیایی، کودهای حیوانی، لجن فاضلاب، ضایعه‌های صنعتی و آفت‌کش‌ها، منبع‌های مهم ورود عنصرهای کمیاب به زمین‌های کشاورزی هستند. برخی از عنصرهای سنگین، بیشتر به‌صورت ناخالصی و با مقادیر متفاوت در کودهای شیمیایی از جمله کودهای فسفاته یافت می‌شوند. غلظت کادمیم در کودهای عنصرهای پرمصرف از ۱/۷۸ تا ۱۵/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و در کودهای عنصرهای کم‌مصرف از ۱/۱۱ تا ۱۲۶/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است (Afyuni *et al*., 2007). هم‌چنین غلظت کادمیم در کودهای فسفاته بین ۲۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (Roberts, 2014) و مقدار روی در کودهای فسفاته بین ۵۰ تا ۱۴۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متفاوت می‌باشد (Kabata-Pendias, 2001).

شبکه‌های عصبی مصنوعی بمنظور کشف و مدل سازی روابط پیچیده و غیرخطی کارایی زیادی دارند. روابط بین پدیده‌ها و ویژگی‌های مختلف محیط‌های طبیعی، بصورت غیرخطی و پیچیده می باشند، بطوری که شبیه سازی این پدیده‌های طبیعی بوسیله مدل‌های خطی و ساده و هم چنین آنالیزهای آماری معمول و کلاسیک امکان پذیر نبوده و با خطای زیادی همراه است. در چنین مواقعی روش‌های قدرتمند هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی، می توانند بسیار مفید واقع شوند. این روش‌ها توانایی شبیه سازی روابط بسیار پیچیده در پدیده‌های طبیعی را دارند و تنها نقطه ضعف مهم آن‌ها، جعبه سیاه بودنشان است. ولی در صورتی که کشف عامل‌های موثر بر یک فرآیند مد نظر باشد، این نقطه ضعف چندان اهمیت ندارد (Shirani, 2017).

امروزه بدلیل افزایش مصرف کودهای فسفاته در باغ‌های پسته،

احتمال بالا بودن غلظت کادمیم در خاک و گیاه وجود دارد. تا کنون در مورد وضعیت عنصرهای سنگین در خاک باغ‌های پسته و شناسایی عامل‌های خاکی مؤثر بر آن‌ها، بویژه با استفاده از مدل‌سازی هوشمند مانند شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با روش رگرسیون چندمتغیره پژوهش‌های چندانی انجام نشده است. بنابراین، هدف انجام این پژوهش، تعیین رابطه کادمیم عصاره‌گیری شده با دی تی پی اِ در خاک با دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، در خاکِ باغ‌های پسته شهرستان رفسنجان به کمک مدل‌سازی مبتنی بر روش رگرسیون گام‌به‌گام و شبکه عصبی مصنوعی 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 منطقه‌ها بین طول‌های جغرافیایی "۳۸ '۲۳ °۳۰ تا " ۳۷ '۲۷ °۳۰ قراردارند. ارتفاع این منطقه‌ها از سطح دریا ۱۴۵۳ تا ۱۴۶۹ متر متغیر است. کاربری فعلی زمین‌ها 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 (Madaheyan, 1991).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

برای نمونه‌گیری خاک از هر منطقه، هفت الی هشت باغ بطور تصادفی انتخاب گردید و نمونه‌های خاک در زمان برداشت محصول (اواخر تابستان تا اوایل پاییز) برداشت شدند. نمونه‌های خاک در سایه‌انداز درخت پسته از دو عمق صفر تا ۴۰ و ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متری تهیه شد. خاک‌ها پس از هواخشک شدن در گلخانه، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. ۱۴۰ نمونه یک کیلوگرمی از هر دو عمق خاک به‌دست آمد.

بمنظور تعیین غلظت کادمیم و روی قابل جذب در خاک با استفاده از روش دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (دی تی پی اِ)[1] (Lindsay and Norvell, 1978)، ۳۰ میلی‌لیتر از محلول عصاره‌گیر دی تی پی اِ را به ۱۵ گرم خاک هواخشک اضافه کرده و در یک تیوپ ۱۲۵ میلی‌متری ریخته سپس دو ساعت مخلوط را تکان داده (با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه) و در عصاره‌ی حاصل، غلظت روی و کادمیم توسط دستگاه ICP با حد تشخیص 10^{-9} میلی‌گرم بر لیتر و طول موج ۲۲۸/۸، اندازه‌گیری گردید. همچنین اندازه‌گیری روی و کادمیم کل در خاک با استفاده از عصاره‌گیر آکوآرژیا (Ryan *et al*., 2007)، انجام شد.

غلظت فسفر به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، روی به روش دی تی پی اِ و هضم، درصد شن، رس و سیلت خاک به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986) و میزان pH و CE به‌ترتیب توسط دستگاه‌های pH متر و CE متر اندازه‌گیری شدند.

آنالیز داده‌ها

در این تحقیق برای مدل‌سازی رابطه‌ی کادمیم قابل جذب در خاک با دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از روش رگرسیون گام‌به‌گام و شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شده است. برای انجام رگرسیون گام‌به‌گام از نرم‌افزار آماری Minitab استفاده شد. برای مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز از نرم‌افزار نروسولوشن[2] نسخه‌ی ۶ استفاده شده است. این نرم‌افزار امکان طراحی، ساخت، یادگیری و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی را در اختیار می‌دهد و در برگیرنده‌ی شبکه‌های متفاوت با قوانین یادگیری مختلف می‌باشد. از ضریب تبیین و سنجه‌های خطا برای بررسی دقت مدل رگرسیون گام‌به‌گام و همچنین شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شد.

رگرسیون گام‌به‌گام

در ابتدا آنالیز رگرسیون انجام شد که پس از معنی‌دار شدن و نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها، مدل رگرسیون گام‌به‌گام به‌دست آمد. برای برآورد بهترین مدل با مؤثرترین ورودی‌ها، از آماره‌ی عامل تورم واریانس[3] استفاده شد (Montgomery *et al*., 2015). در نهایت متغیرهایی وارد مدل شدند که میزان VIF آن‌ها کمتر از پنج بود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این تحقیق برای مدل‌سازی رابطه‌ی کادمیم عصاره‌گیری شده با دی تی پی اِ و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیش‌خور[4] استفاده شده که جزء

شبکه‌های عصبی پس‌انتشار محسوب می‌شود. اساس روش پس‌انتشار خطا بر پایه قانون یادگیری اصلاح خطا می‌باشد که از دو مسیر اصلی رفت و برگشت تشکیل می‌شود. در مسیر رفت، بردار ورودی به شبکه اعمال شده و تأثیراتش از طریق لایه‌های میانی به لایه‌ی خروجی انتشار می‌یابد و بردار خروجی پاسخ واقعی شبکه را تولید می‌نماید. سپس خطا اندازه‌گیری شده و در هر برگشت به شبکه اعمال می‌شود و وزن‌ها بهینه می‌گردند. بهترین الگوریتم آموزشی این شبکه‌ها برای تخمین، الگوریتم لونبرگ-مارکوات است که در این پژوهش نیز از همین الگوریتم استفاده شد.

شبکه‌ی طراحی شده با استفاده از ۷۰ درصد داده‌ها بعنوان داده‌های آموزشی، مورد ارزیابی قرار گرفت. ۱۵ درصد از داده‌ها نیز برای اعتبارسازی و ۱۵ درصد آن‌ها برای آزمون استفاده شد. بهترین توپولوژی با آزمون و خطا و ارزیابی دقت برآورد داده‌های آزمونی به‌دست آمد. پس از سعی و خطاهای پی‌درپی، بهترین شبکه با توپولوژی زیر به‌دست آمد:

۱- شبکه با یک لایه‌ی پنهان، ۲- تعداد ده نرون در لایه مخفی، ۳-تابع فعالیت تانژانت سیگموئید در لایه‌ی مخفی، ۴- تابع خطی در لایه‌ی خروجی ۵- الگوریتم آموزشی لونبرگ-مارکوات

مدل‌سازی توسط شبکه‌ی عصبی با در نظرگرفتن تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بعنوان ورودی (روی، فسفر، رس، شن، قابلیت هدایت الکتریکی و pH) انجام گرفت.

سنجه‌های خطا

در این تحقیق برای تعیین دقت مدل‌ها و مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های مختلف در هر مرحله از مدل‌سازی، از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین استاندارد مربعات خطا (RMSSE) استفاده گردید.

$$RMSE = [\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2]^{1/2} \quad (۱)$$

$$RMSSE = [\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_{si} - O_{si})^2]^{1/2} \quad (۲)$$

در این معادله‌ها :O_i مقدار ویژگی اندازه‌گیری شده، :P_i مقدار ویژگی برآورده شده توسط مدل، :O_{si} مقدار استاندارد ویژگی اندازه‌گیری شده و P_{si}: مقدار استاندارد ویژگی برآورده شده توسط مدل می‌باشند.

هرچه میزان RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، دقت مدل‌سازی بیشتر است. میزان ایده‌آل برای سنجه RMSSE برابر یک می‌باشد. درصورتی که میزان این آماره بیش از یک باشد، مدل دارای کم‌برآورد و اگر کمتر از یک باشد، مدل دارای تخمین بیش‌برآوردمی‌باشد.

نتایج و بحث

همبستگی بین Cd-DTPA و ویژگی‌های خاک

در این پژوهش، بمنظور مدل‌سازی رابطه‌ی کادمیم خاک با دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از دو عمق صفر تا ۴۰ و ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متری استفاده شد. در ابتدا برای هر دو عمق بطور مجزا مدل‌سازی انجام شد و در ادامه بدلیل بالا بردن تعداد داده‌ها در مدل‌سازی، از مجموع داده‌های موجود در دو عمق استفاده شد. بدلیل این‌که دقت و اعتبار مدل‌سازی با استفاده از همه داده‌ها (۱۴۰ نمونه) در دو عمق بهتر بود، نتایج با استفاده از همه اطلاعات در ادامه بیان می‌شود.

در تحقیق حاضر، نتایج همبستگی بین Cd-DTPA در خاک و دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول۱) نشان داد که بین شوری در دو عمق خاک با Cd-DTPA ، همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. بین فسفر و کادمیم در خاک، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. با توجه به این‌که کودهای فسفره آلوده به عنصرهای سنگین از جمله کادمیم می‌باشند، اضافه کردن این کودها به خاک، موجب افزایش غلظت کادمیم در خاک و در نهایت در گیاه می‌شود (Malakuti and Ghaybi, 2000) فسفر بالا در خاک بدلیل استفاده‌ی بی‌رویه از کودهای فسفره بدون توجه به نیاز درختان و راندمان پایین این کودها می‌باشد. همچنین کیفیت نامناسب این کودها از نظر وجود ناخالصی قابل توجه کادمیم، سبب بالا رفتن میزان آن در خاک‌ها شده است.

بنابر جدول ۱، بین Cd-DTPA با pH خاک، همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد. بطوری که با افزایش pH در خاک، رسوب کادمیم در خاک افزایش پیدا کرده است و در نتیجه از غلظت آن در فاز محلول خاک کاسته می‌شود. خاک‌های منطقه‌های خشک (مانند منطقه‌ی رفسنجان) از نوع آهکی می‌باشند. خاک‌های آهکی نسبت به خاک‌های غیرآهکی توانایی بالاتری

جدول۱- همبستگی بین Cd-DTPA خاک و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1. Correlation between soil Cd-DTPA and some of soil physical and chemical properties

Zn (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	P (mg/Kg)	Zn-DTPA (mg/Kg)	Sand (%)	Clay (%)	EC (dS/m)	pH	
							0.461**	EC (dS/m)
						0.255**	-0.213*	Clay (%)
					-0.772**	-0.373**	0.249**	(%) Sand
				-0.080 ns	0.065 ns	0.194*	-0.405**	Zn-DTPA (mg/Kg)
			*0.187	-0.115 ns	0.140 ns	-0.025 ns	0.028 ns	P (mg/Kg)
		0.261**	0.124 ns	-0.346**	0.375**	-0.083 ns	0.126 ns	Cd (mg/Kg)
	0.175*	0.186*	0.447**	-0.188*	0.243**	-0.094 ns	0.278**	Zn (mg/Kg)
0.441**	0.338**	0.386**	0.410**	-0.337**	0.391**	0.160 ns	-0.456**	Cd-DTPA (mg/Kg)

** معنی‌دار بودن در سطح ۹۹ درصد، * معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد و ns معنی‌دار نبودن

در جذب عنصرهای سنگین دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاکی با کربنات کلسیم و pH بیشتر، توانایی بالاتری را برای جذب عنصرهای سنگین دارا می‌باشد (Covelo *et al*., 2004). همچنین بین Cd-DTPA در خاک با درصد رس، همبستگی مثبت و معنی‌دار و با درصد شن همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت. با افزایش رس در خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش یافته و می‌تواند کادمیم بیشتری را در فاز تبادلی جذب نماید. بنابراین با عصاره‌گیری کادمیم توسط دی تی پی اِ، میزان کادمیم تبادلی بیشتری استخراج شده و درنتیجه، مقدار Cd-DTPA افزایش یافته است. همچنین کادمیم قابل جذب با غلظت روی قابل جذب، روی کل و کادمیم کل خاک همبستگی مثبت معنی‌داری را نشان داد. از دلایل این همبستگی مثبت، می‌توان به استفاده از کودهای شیمیایی در زمین‌های پسته‌کاری اشاره کرد. در بین کودهای میکرو، کودهای روی بیشترین میزان کادمیم را دارند. میزان کادمیم در کود سولفات روی از ۲/۲۱ تا ۲۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد (McLoughlin *et al*., 2000). همچنین کودهای فسفره افزون بر ناخالصی کادمیم، دارای مقادیر ناخالصی زیادی از نظر عنصرهایی مانند روی می‌باشند. بنابراین با کاربرد کودهای فسفره، انتظار می‌رود مقادیر کادمیم و روی قابل جذب، هر دو در خاک افزایش یابند.

رگرسیون گام‌به‌گام

با انجام رگرسیون گام‌به‌گام و درنظر گرفتن ویژگی Cd-DTPA بعنوان متغیر وابسته، چهار صفت (بعنوان متغیر مستقل) وارد مدل شده و در مجموع ۶۸/۴۶ درصد از تغییرها، کادمیم قابل جذب را توجیه نمودند. آزمون کولموگروف-اسمیرنف، نشان داد که در آنالیز واریانس رگرسیون، باقی‌مانده‌ها دارای توزیع نرمال بوده و نیازی به تبدیل داده‌ها وجود ندارد. همچنین بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، می‌توان به معنی‌دار بودن رابطه‌ی Cd-DTPA با دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در سطح ۰/۰۱ در دو عمق خاک پی برد. VIF یا عامل تورم واریانس برای متغیرهای روی، رس، فسفر و pH بترتیب برابر است با ۱/۳، ۲/۵، ۱/۱و ۱/۵ بود. از آنجایی که میزان VIF برای تمام متغیرهای مستقل مقداری کمتر از پنج دارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هم راستایی کمی بین متغیرهای مستقل وجود دارد. معادله‌ی زیر، مدل رگرسیونی رابطه‌ی Cd-DTPA با ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد:

$$\text{Cd-DTPA}=0.3609-0.0437\text{pH}+0.0054\text{P}+0.00152\text{Clay}+0.00121\text{Zn} \quad (۳)$$

معادله ۵، مدل استاندارد رگرسیونی رابطه‌ی Cd-DTPA با ویژگی‌های را خاک نشان می‌دهد. بنابر مدل استاندارد، می‌توان نتیجه گرفت که هر متغیری دارای ضریب بیشتری در مدل

استاندارد باشد، اهمیت و تأثیر آن بر متغیر وابسته بیشتر خواهد بود.

$$Cd\text{-}DTPA=-0.373pH+0.317P+0.278Clay+0.202Zn \quad (۴)$$

بنابر مدل ۴، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش pH در خاک، میزان کادمیم عصاره‌گیری شده کاهش می‌یابد. از آنجا که pH از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تعادل یون‌های فلزی با خاک است (Alloway, 2013)، افزایش pH خاک، موجب کاهش حلالیت عنصرهای سنگین می‌شود. افزایش pH خاک، سبب افزایش بار منفی و درنتیجه تشکیل گونه‌های هیدروکسی و تشکیل رسوب هیدروکسید عنصرهای سنگین می‌شود (Malandrino *et al*., 2011) با توجه به مدل به‌دست آمده در خاک، رابطه‌ی فسفر خاک با کادمیم عصاره‌گیری شده، مثبت می‌باشد. روی با Cd-DTPA، در خاک نیز رابطه مثبت داشتند (معادله۴) که ناشی از منابع یکسان ورود آن‌ها به خاک است (کودهای کم‌مصرف و فسفره). همچنین قدرت جذب روی در سایت‌های تبادلی خیلی بیشتر از کادمیم است و می‌تواند به‌راحتی وارد سایت تبادلی شود، بنابراین مانع از ورود کادمیم به سایت تبادلی می‌شود و کادمیم وارد فاز محلول خواهد شد و در نتیجه غلظت آن در خاک افزایش خواهد یافت. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که میزان کادمیم عصاره‌گیری شده توسط Cd-DTPA با میزان رس خاک، رابطه‌ی مثبت دارد. بعبارت دیگر، عنصرهای سنگین در خاک‌های رسی، بدلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر نسبت به خاک‌های شنی، با شدت بیشتری توسط ذرات خاک جذب شده و بنابراین میزان آن در خاک افزایش می‌یابد.

بنابر مدل استاندارد به‌دست آمده، pH با ضریب برابر ۰/۳۷۳، بیشترین تأثیر را بر تخمین Cd-DTPA در خاک دارد. بعد از آن، بترتیب فسفر، رس و روی با ضریب‌هایی برابر با ۰/۳۱۷، ۰/۲۷۸ و ۰/۲۰۲ بیشترین اثر را بر مقدار برآورد Cd-DTPA داشته‌اند.

شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN)[۵]

نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، مدل ANN از دقت مناسبی برای تخمین Cd-DTPA برخوردار است. مقایسه روش شبکه عصبی و رگرسیون با استفاده از سنجه‌های خطا در ادامه بیان شده است.

مقایسه‌ی مدل شبکه عصبی با مدل رگرسیون گام‌به‌گام

بنابر با جدول ۴، مدل شبکه عصبی (ANN) دقت بالاتری نسبت به مدل رگرسیون گام‌به‌گام برای داده‌های آموزشی و آزمون داشت. بنابر مقدار RMSSE، هردو مدل دارای تخمین بیش برآورد می‌باشند (Hu *et al*., 2004).

جدول۲- تجزیه واریانس رگرسیون Cd-DTPA خاک با برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 2. Regression variance analysis of soil Cd-DTPA with some of soil physical and chemical properties

متغیر Variable	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F
رگرسیون Regression	6	0.0555	0.0092	19.46 **
خطا (باقی‌مانده) Error (Residual)	133	0.632	0.0004	
کل Total	139	0.118		

** بیانگر معنی‌دار بودن در سطح ۹۹ درصد

جدول۳- مدل شبکه عصبی برگزیده با تعداد ورودی مختلف
Table 3. Selected models with different input numbers

مدل Model	ترکیب پارامترهای ورودی Composition of input parameters	R^2	
		داده‌های آموزشی Training data	داده‌های آزمون Test data
شبکه عصبی مصنوعی ANN	EC، pH، روی، فسفر، شن، رس	89	84.3

در این پژوهش، شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیونی کارایی بسیار بهتری داشت. نتایج به دست آمده با برخی از گزارش‌های مطرح شده هم‌خوانی دارد. بطوری که در پژوهشی با استفاده از آماره‌های ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا به بررسی شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی برآورد بهتر و با خطای کمتری، بر اساس داده‌های زودیافت خاک دارد(Pachepsky *et al*., 1996; Anagu *et al*., 2009; Bazubandi *et al*., 2017; Shirani *et al*., 2018). همچنین میزان RMSE Tamari *et al*. (1996) کمتری از برآورد ویژگی‌های خاک با شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی چندگانه به‌دست آوردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که اگر ناپایداری داده‌ها بالا باشد، دقت شبکه‌ی عصبی از مدل‌های رگرسیون خطی بهتر نخواهد بود، ولی زمانی که داده‌هایی با دقت بالا بکار برده شوند، شبکه عصبی، کارایی بالاتری را نشان می‌دهد که این مسئله مؤید دقت بالای داده‌های مورد آزمایش و انتخاب صحیح داده‌های تست و آزمون می‌باشد.

Bazubandi *et al*. (2017) از دو روش هوشمند مصنوعی شامل مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی (ANN) و شبکهٔ عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) برای تخمین میزان کادمیم خاک مربوط به استان گیلان استفاده نمودند. برای برآورد میزان غلظت کادمیم خاک از ویژگی‌های زود یافت خاک مانند درصد سیلت، شن، کربن آلی، EC ،pH، درصد مواد خنثی شونده و فسفر بعنوان پارامترهای ورودی به مدل استفاده شد و از طریق دو مدل ANN و ANFIS ارتباط میان پارامترهای بیان شده و میزان غلظت کادمیم برقرار گردید. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی روش مناسب‌تری نسبت به شبکهٔ عصبی فازی تطبیقی است.

تحلیل حساسیت مدل

شکل ۱ تحلیل حساسیت مدل را نسبت به پارامترهای ورودی، نشان می‌دهد. تحلیل حساسیت مدل بیانگر این است که برآورد غلظت کادمیم، بیشترین حساسیت را به غلظت روی در خاک دارد. بعد از غلظت روی در خاک، غلظت Cd-DTPA بیشترین

جدول ۴- مقایسه مدل ANN و رگرسیون گام‌به‌گام با معیارهای آماری سنجش خطا برای داده‌های آزمون

Table 4. Comparison of ANN model and stepwise regression with error measurement statistical criteria for test data

مدل Model	R^2	RMSE	RMSSE
ANN	84.3	0.01	0.395
Stepwise	27.2	1.43	0.530

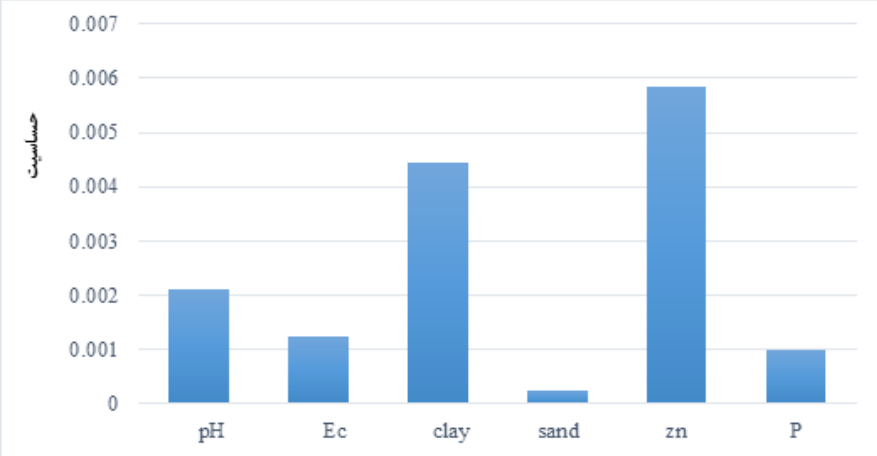
حساسیت را به درصد رس در خاک و کمترین حساسیت را به درصد شن در خاک دارد. در مطالعه Bazubandi *et al*. (2017) بر روی نمونه خاک‌هایی از گیلان، نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی به مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نشان داد درصد کربن آلی و EC خاک بترتیب بیشترین و کمترین تأثیرگذاری را بر میزان کادمیم دارند که با نتایج این تحقیق متفاوت است که بنظر می رسد نوع خاک و شرایط حاکم بر آن تاثیر زیادی بر فاکتورهای موثر بر غلظت کادمیم در خاک دارد. شاید مهمترین تفاوت این دو تحقیق اقلیم حاکم بر شرایط خاک باشد که بررسی خاک‌های منطقه‌های مرطوب گیلان با خاک‌های منطقه‌های خشک رفسنجان نتایج متفاوتی را رقم زده است.

در باغ‌های پسته بدلیل مصرف کودهای حاوی روی که دارای ناخالصی زیادی از نظر میزان کادمیم هستند، افزایش غلظت کادمیم در خاک مشاهده می‌شود. بطوری که در بین کودهای میکرو، کودهای روی بیشترین میزان کادمیم را دارند. مقدار کادمیم در کود سولفات روی از ۲/۲۱ تا ۲۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Kamali , 2011). یک رابطه برهمکنش (آنتاگونیسمی) بین روی و مقدار کادمیم وجود دارد که احتمالاً بدلیل منشأ ژئوشیمیایی مشابه این دو عنصر می‌باشد (McLaughlin *et al*., 2000). Bohay (1997) یک بررسی بر روی میزان آلودگی کادمیم در کودهای میکرو (آهن، منگنز و روی) انجام داد و گزارش کرد، سولفات آهن، منگنز و روی که

از محصول‌های صنعتی ساخته شده بودند، میانگین کادمیم در آن‌ها ۴۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و دامنه‌ی کادمیم در این کودها از صفر تا ۵۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. هم‌چنین سولفات منگنز کمترین میزان کادمیم و روی گرانول، بالاترین میزان کادمیم را داشت.

از آن‌جایی که سنجه‌های خطای به‌دست آمده، مزید بر مناسب بودن مدل شبکه عصبی نسبت به مدل رگرسیون گام‌به‌گام می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای شیمیایی بویژه کودهای حاوی روی و فسفر از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر افزایش غلظت کادمیم در خاک می‌باشند.

با مدیریت کودهای شیمیایی فسفره و هم‌چنین کودهای حاوی روی و کاربرد بهینه هر یک از این نهاده‌ها، می‌توان غلظت کادمیم قابل جذب در خاک را تا حد مناسبی کاهش داد. در این باره تأمین میزان مناسب نیاز کودی محصول با توجه به



شکل ۱- تحلیل حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی
Fig. 1- Sensitivity analysis of the ANN model

دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی به روش‌های مختلف نشان داد که کادمیم قابل‌جذب خاک بیشترین ارتباط را با روی و فسفر قابل‌جذب خاک دارد. این مهم بیان‌گر این است که کودهای شیمیایی روی و فسفر مورد استفاده در باغ‌های پسته دارای ناخالصی قابل‌توجهی از کادمیم هستند. بنابراین باید مدیریت مناسبی در استفاده از این کودها رعایت نمود تا خطر آلودگی میوه پسته به کادمیم کاهش یابد. منظور از مدیریت مناسب، استفاده از مقدار بهینه کودها براساس آزمایش‌های خاک و برگ و نظر کارشناسی و رعایت استانداردهای ملی و بین المللی در تولید و واردات کودها می باشد. اگرچه مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی نتایج بسیار مناسبتر و دقیق‌تر نسبت به رگرسیون داشت، ولی مدل رگرسیونی نیز با دقت به نسبت خوبی ویژگی‌های موثر بر کادمیم قابل‌جذب خاک را نشان داد. بنابراین با توجه به اینکه شبکه‌های عصبی حالت جعبه سیاه داشته و معادله مشخصی را مطرح نمی‌کند احتمالاً کاربرد رگرسیون گام به گام برای برآورد کادمیم قابل‌جذب خاک مناسب‌تر است زیرا معادله ساده و روشنی برای برآورد بیان می‌کند.

سپاسگزاری

از کارکنان آزمایشگاه بویژه آقای مهندس رضا عسکری و مدیریت محترم پژوهشکده پسته، برای همکاری در مراحل صحرایی پژوهش و انجام دادن آزمایش‌ها سپاسگزاریم.

پی نوشت‌ها

[1] Diethylene Triamine Pentaacetic Acid (DTPA)
[2] NeuroSolution
[3] Variance inflection factor (VIF)
[4] Feed forward
[5] Artificial Neural Network (ANN)

منابع

Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Dorostkar, V. and Moshiri, R., 2007. Zinc and cadmium content in fertilizers commonly used in Iran. Proceeding of the International Conference Zinc Crops, Istanbul, Turkey.

Alloway B.J., 2013. Heavy Metals in soils. Springer, John Wiley and Sons, INC, New York, USA.

Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C. and Schulin, R., 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soil of central Iran. Science of the Total Environment. 347, 64-77.

Anagu, I., Ingwersen, J., Utermann, U., Streck, T., 2009. Estimation of heavy metal sorption in German soils using artificial neural networks. Geoderma. 152, 104–112.

Bazubandi, A., Emamgholizade, S., Ghorbani, H. and Afshari Badrlu, T., 2017. Estimation of the concentration of cadmium in soil by using ANN and ANFIS models. Journal of National Environment. 70(3), 509-523.

Bohay, D., 1997. Screening Survey for Metals In Fertilizers And Industrial By-Product Fertilizers In Washington State. Washington state department of ecology publication, Olympia, WA, USA.

Cariny, T., 1995. The re-use of contaminated land: a handbook of risk assessment. John Wiley and Sons, New York, USA.

Covelo, E.F., Andrade, M.L. and Vega, F.A., 2004. Heavy metal adsorption by humic umbrisols: selectivity sequences and competitive sorption kinetics. Journal Colloid and Interface Sciences. 280(1), 1-8.

Gee, G.W. and Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis. In: Klute A. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph No. 9, 2nd Edition, American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 383-411.

Gupta, S.S. and Bhattacharyya, K.G., 2008. Immobilization of Pb (II), Cd (II) and Ni (II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. Environmental Management. 87, 46-58.

Hu, M.J., Wei, Y.L., Yang, Y.W. and Lee, J.F., 2004. X-ray absorption spectroscopy study of chromium recovered from Cr (VI)-containing water with rice husk. Journal of Physics. 16, 3473-3478.

Ijagbemi, C.O., Tbeak, M. and Kim, D., 2009. Montmorillonite surface properties and sorption characteristics for heavy metal removal from aqueous solution. Hazardous Materials. 166, 538-548.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 2000. Trace Element in Soils and Plants, third ed, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Kabata-Pendias, A., 2001. Trace elements in soils and plants, third ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Kamali, M., 2011, Assessment the amount of cadmium in a number of phosphate fertilizers and the transfer ability it to the plant. MSc. thesis. Vali- e- Asr University, Rafsanjan, Kerman, Iran.

Kirchner, J.W., Clifford, S., Riebe, L., Kenneth Ferrier, L. and Robert Finkel, C., 2006. Cosmogenic nuclide methods for measuring long-term rates of physical erosion and chemical weathering. Journal of Geochemical Exploration. 88, 296-299.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal. 42, 421-428.

Liu, M.L., Liu, X.N., Li, M., Fang, M.H., Chi, W.X., 2010. Neural-network model for estimating leaf chlorophyll concentration in rice under stress from heavy metals using four spectral indices. Biosystems Engineering. 106, 223–233.

Maddahian, H., 1991. Assessment of underground water resources status, especially Rafsanjan and Kerman, Ministry of agriculture, soil and water research in Kerman province.

Malakuti, L.J. and Ghaybi, M.N., 2000. Determine the critical point of elements in the soil, plant and fruit. The Organization of the research, education and agricultural, training and equipping human resources, agricultural education Publisher, Tehran, Iran.

Malandrino, M., Abollin, O., Buoso, S., Giacomino, A., Gioia, C.L. and Mentasti, E., 2011. Accumulation of heavy metals from contaminated soil to plants and evaluation of soil remediation by vermiculite. Chemospher. 82, 169-178.

McLaughlin, J.J., Hamon, R.E., McLaren, R.G., Speir, T.W. and Rogers, S.L., 2000. Review Abioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. Australian Journal of Soil Research. 34, 1-54.

Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vining, G.G., 2012. Introduction to linear regression analysis (Vol. 821). John Wiley & Sons, USA.

Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 403-429.

Pachepsky, Y.A., Timlin, D. and Varallyay, G., 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. Soil Science Society of America Journal. 60, 727–733.

Roberts, T.L., 2014. Cadmium and phosphorous fertilizers: the issues and the science. Procedia Engineering. 83, 52-59.

Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A., 2007. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. International center for agriculture research in the dry areas and national agriculture research center, USA.

Shirani, H., 2017. Artificial neural network with application approach in agricultural sciences and natural resources. MSc. thesis. Vali- e- Asr University, Rafsanjan, Kerman, Iran.

Shirani, H., Hosseinifard, S.J. and Hashemipour, H., 2018. Factors affecting cadmium absorbed by pistachio kernel in calcareous soils, southeast of Iran. Science of The Total Environment. 616, 881-888.

Tamari, S., Wosten, J.H.M. and Ruz-suarez, J.C., 1996. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. Soil Science Society of America Journal. 60, 1732-1741.

Wasiol, C.S., Motavalli, P., Kitchen, N.R. and Otter, D.K., 1998. Soil Phosphorous Spatial Distribution in Pastures Receiving Poultry Litter Application. Agronomy Abstracts. American society of agronomy. Madison, USA.

Yeganeh, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Rezaeinejad, Y. and Schulin, R., 2010. Transport of zinc, copper, and lead in a sewage sludge amended calcareous soil. Soil Use and Management. 26, 176-182.

Zheng, N., Wang, Q.C. and Zhang, X.W., 2007. Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao City, China. Science. Total Environments. 387, 96-104.

Environmental Sciences Vol.17/ No.3/ Autumn 2019

177-188

Modeling the relationship between cadmium and some soil physical and chemical properties in pistachio orchards using regression and artificial neural network

Seyed Javad Hosseinifard[1*], Hossein Shirani[2], Somayeh Sadr[3] and Hakimeh Hashemipour[2]

[1]Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran

[2]Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

[3]Agriculture Group, Payame Noor University, Kerman, Iran

Received: 2018.08.18 Accepted: 2018.10.09

Hosseinifard, S.J., Shirani, H., Sadr, S. and Hashemipour, H., 2019. Modeling the relationship between cadmium and some soil physical and chemical properties in pistachio orchards using regression and artificial neural network. Environmental Sciences.17(3): 177-188.

Introduction: Increasing concentrations of heavy metals in the environment have raised serious environmental concerns. Cadmium is one of the most toxic heavy elements in organisms and it has no biological role. So far, little research has been done on the status of heavy metals in pistachio orchards and factors affecting them. Therefore, the purpose of this study was to determine the relationship between cadmium extracted with DTPA in soil and other soil physical and chemical properties in agricultural soils of Rafsanjan using stepwise regression and artificial neural network modeling.

Material and methods: In this study, 140 soil samples from two depths of 0 to 40 and 40 to 80 cm were collected from pistachio orchards in six regions of Rafsanjan suburb. Soil characteristics including available Cd and Zn concentration measured using DTPA, P concentration by Olsen method, percent of sand, clay and silt by hydrometer method, and pH and electrical conductivity of soil saturated extract by pH meter and EC meter, respectively, were measured. In order to investigate the relationship between available Cd and physical and chemical properties of the soil, stepwise regression and artificial neural network (multi-layer feed forward) were used.

Results and discussion: The results showed a significant and positive correlation between phosphorus and clay content and soil cadmium, a negative and significant correlation between Cd-DTPA and pH and clay percentage, and a positive correlation between available Cd and available Zn, total Zn, and total Cd. The results also showed that both modeling methods are

*Corresponding Author: *Email Address.*hosseinifard@pri.ir

accurate in estimating soil cadmium concentration, although the neural network model was more accurate. The R^2 and root of mean square error for the neural network model were 84.3% and 0.01% for the test data, and 27.2% and 1.43% for the stepwise regression model, respectively. Also, cadmium concentration showed the highest sensitivity to zinc concentration and other parameters such as clay, pH, phosphorus, EC, and sand were in the next order of importance, respectively. These results confirm that due to the consumption of zinc containing fertilizers and the increased consumption of phosphate fertilizers which have high impurity in the amount of cadmium, an increase in soil cadmium concentration is observed in the pistachio orchards.

Conclusion: Zinc and phosphorus fertilizers used in pistachio orchards have a significant impurity of cadmium that can cause soil contamination by cadmium due to its long-term use and absorption of this toxic element in pistachio plant and fruit. Therefore, while complying with national and international standards in the production and import of fertilizers, the use of these fertilizers should be optimized by analyzing and interpreting the results of soil and leaf analysis to reduce the risk of pistachio fruit contamination to cadmium.

Keywords: Modeling, Artificial Neural Network, Stepwise regression, Zinc, Phosphorus.