



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

۱۷۷-۱۸۸

## مدل سازی ارتباط کادمیم با برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ های پسته با استفاده از رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی

سید جواد حسینی فرد<sup>۱\*</sup>، حسین شیرانی<sup>۲</sup>، سمیه صدر<sup>۳</sup> و حکیمه هاشمی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

<sup>۲</sup> گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران

<sup>۳</sup> 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 ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ های پسته با استفاده از رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۳): ۱۷۷-۱۸۸.

**سابقه و هدف:** افزایش روز افزون غلظت فلز های سنگین در محیط زیست، سبب ایجاد نگرانی های جدی محیط زیستی شده است. کادمیم یکی از سمی ترین عنصر های سنگین برای موجود های زنده است که نقش زیستی ندارد. تاکنون در مورد وضعیت عنصر های سنگین در خاک باغ های پسته و شناسایی عامل های حاکی مؤثر بر آن ها، پژوهش های چندانی انجام نشده است. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، تعیین رابطه کادمیم عصاره گیری شده با دی تی پی ادر خاک با دیگر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، در خاک های کشاورزی شهرستان رفسنجان به کمک مدل سازی مبتنی بر روش رگرسیون گام به گام و شبکه عصبی مصنوعی بود.

**مواد و روش ها:** در این تحقیق ۱۴۰ نمونه خاک از دو عمق صفر تا ۴۰ و ۴۰ تا ۸۰ سانتی متری از باغ های پسته ی شش منطقه از حومه ی رفسنجان تهیه شد. ویژگی های خاک شامل غلظت کادمیم و روی قابل جذب در خاک با استفاده از روش دی تی پی ا، غلظت فسفر به روش اولسن، درصد شن، رس و سیلت خاک به روش هیدرومتر، pH و رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک بترتیب توسط دستگاه های pH متر و EC متر اندازه گیری شدند. بمنظور بررسی رابطه ی بین کادمیم قابل جذب و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، از روش رگرسیون گام به گام و شبکه ی عصبی مصنوعی (پیش خور چند لایه) استفاده شد.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد که بین فسفر و درصد رس با کادمیم خاک، همبستگی مثبت و معنی دار، بین Cd-DTPA با pH و درصد رس خاک، همبستگی منفی و معنی دار و بین کادمیم قابل جذب با روی قابل جذب، روی کل و کادمیم کل خاک همبستگی مثبت معنی داری وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که هر دو روش مدل سازی از دقت مناسبی برای تخمین غلظت کادمیم در خاک برخوردارند اگر چه مدل شبکه عصبی دقت خیلی بیشتری داشت. ضریب تبیین و ریشه میانگین خطا برای مدل شبکه عصبی برای داده های 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 می کند که در باغ های 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 باغ های پسته مشاهده می شود.

**نتیجه گیری:** کودهای شیمیایی روی و فسفر مورد استفاده در باغ های پسته دارای ناخالصی قابل توجهی از کادمیم هستند که در اثر

\* Corresponding Author: [Email.Address.hosseinfard@pri.ir](mailto:Email.Address.hosseinfard@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 بین‌المللی 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:** مدل‌سازی، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون گام به گام، روی، فسفر.

## مقدمه

فلز سنگین به فلزی گفته می‌شود که وزن مخصوص 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 (1998 Wasiol *et al.*) 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 (2010 Yeganeh *et al.*). 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 در نتیجه 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 , 2000).

(Pendias). 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 (1995 Cariny).

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 مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی کارایی زیادی دارند. روابط بین پدیده‌ها و ویژگی‌های مختلف محیط‌های طبیعی، بصورت غیرخطی و پیچیده می‌باشند، بطوری که شبیه‌سازی این پدیده‌های طبیعی بوسیله مدل‌های خطی و ساده و هم‌چنین آنالیزهای آماری معمول و کلاسیک امکان‌پذیر نبوده و با خطای زیادی همراه است. در چنین مواقعی روش‌های قدرتمند هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی، می‌توانند بسیار مفید واقع شوند. این روش‌ها توانایی شبیه‌سازی 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).

پی<sup>۱</sup> (Lindsay and Norvell, 1978) ۳۰، میلی لیتر از محلول عصاره گیر دی تی پی ا را به ۱۵ گرم خاک هواخشک اضافه کرده و در یک تیوپ ۱۲۵ میلی متری 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<sup>۴</sup> ۱۰<sup>-۴</sup> میلی گرم بر لیتر و طول موج ۲۲۸/۸، اندازه گیری گردید. همچنین اندازه گیری روی و کادمیم کل در خاک با استفاده از عصاره گیر آکوآرژیا (Ryan et al., 2007)، انجام شد.

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

### آنالیز داده‌ها

در این تحقیق برای مدل سازی رابطه‌ی کادمیم قابل جذب در خاک با دیگر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، از روش رگرسیون گام به گام و شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شده است. برای انجام رگرسیون گام به گام از نرم افزار آماری Minitab استفاده شد. برای مدل سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز از نرم افزار نروسولوشن<sup>۲</sup> نسخه‌ی ۶ استفاده شده است. این نرم افزار امکان طراحی، ساخت، یادگیری و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی را در اختیار می دهد و در برگیرنده‌ی شبکه‌های متفاوت با قوانین یادگیری مختلف می باشد. از ضریب تبیین و سنجه‌های خطا برای بررسی دقت مدل رگرسیون گام به گام و همچنین شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شد.

### رگرسیون گام به گام

در ابتدا آنالیز رگرسیون انجام شد که پس از معنی دار شدن و نرمال بودن توزیع باقی مانده‌ها، مدل رگرسیون گام به گام به دست آمد. برای برآورد بهترین مدل با مؤثرترین ورودی‌ها، از آماره‌ی عامل تورم واریانس<sup>۳</sup> 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 مدل سازی رابطه‌ی کادمیم عصاره‌گیری

امروزه بدلیل افزایش مصرف کودهای فسفاته در باغ های پسته، احتمال بالا بودن غلظت کادمیم در خاک و گیاه وجود دارد. تا کنون در مورد وضعیت عنصر های سنگین در خاک باغ‌های پسته و شناسایی عامل های 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 ا در خاک با دیگر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، در خاک باغ های پسته شهرستان رفسنجان به کمک مدل سازی مبتنی بر روش رگرسیون گام به گام 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 منطقه ها بین طول‌های جغرافیایی "۳۸° ۲۳' ۳۰" تا "۳۷° ۲۷' ۳۰" قرار دارند. ارتفاع این منطقه ها از سطح دریا ۱۴۵۳ تا ۱۴۶۹ متر متغیر است. کاربری فعلی زمین ها به کشت آبی باغ‌های پسته اختصاص یافته است که بر روی واحدهای فیزیوگرافی دشت‌های دامنه‌ای و واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار واقع شده‌اند. منابع آب کشاورزی از چاه‌های عمیق موجود در منطقه تأمین می‌شوند (Ma- 1991, daheyan).

### نمونه برداری و آماده سازی 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 سانتی متری تهیه شد. خاک‌ها پس از هواخشک شدن در گلخانه، از الک دو میلی متری عبور داده شدند. ۱۴۰ نمونه یک کیلوگرمی از هر دو عمق خاک به دست آمد.

بمنظور تعیین غلظت کادمیم و روی قابل جذب در خاک با استفاده از روش دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (دی تی

اندازه گیری شده و  $P_{si}$ : مقدار استاندارد ویژگی برآورده شده توسط مدل می باشند.

هرچه میزان RMSE به صفر نزدیک تر باشد، دقت مدل سازی بیشتر است. میزان ایده آل برای سنجه RMSSE برابر یک می باشد. در صورتی که میزان این آماره بیش از یک باشد، مدل دارای کم برآورد و اگر کمتر از یک باشد، مدل دارای تخمین بیش برآورد می باشد.

### نتایج و بحث

#### همبستگی بین Cd-DTPA و ویژگی های خاک

در این پژوهش، بمنظور مدل سازی رابطه ی کادمیم خاک با دیگر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، از دو عمق صفر تا ۴۰ و ۴۰ تا ۸۰ سانتی متری استفاده شد. در ابتدا برای هر دو عمق بطور مجزا مدل سازی انجام شد و در ادامه بدلیل بالا بردن تعداد داده ها در مدل سازی، از مجموع داده های موجود در دو عمق استفاده شد. بدلیل این که دقت و اعتبار مدل سازی با استفاده از همه داده ها (۱۴۰ نمونه) در دو عمق بهتر بود، نتایج با استفاده از همه اطلاعات در ادامه بیان می شود.

در تحقیق حاضر، نتایج همبستگی بین Cd-DTPA در خاک و دیگر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) نشان داد که بین شوری در دو عمق خاک با Cd-DTPA، همبستگی معنی داری وجود ندارد. بین فسفر و کادمیم در خاک، همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد وجود داشت. با توجه به این که کودهای فسفره آلوده به عنصر های سنگین از جمله کادمیم می باشند، اضافه کردن این کودها به خاک، موجب افزایش غلظت کادمیم در خاک و در نهایت در گیاه می شود (Malakuti and Ghaybi, 2000). فسفر بالا در خاک بدلیل استفاده ی بی رویه از کودهای فسفره بدون توجه به نیاز درختان و راندمان پایین این کودها می باشد. 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 معنی داری وجود دارد. بطوری که با افزایش pH در خاک، رسوب کادمیم در خاک افزایش پیدا کرده است و در نتیجه از غلظت آن در

شده با دی تی پی ا و برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک از شبکه های عصبی مصنوعی پیش خور<sup>۴</sup> استفاده شده که جزء شبکه های عصبی پس انتشار محسوب می شود. اساس روش پس انتشار خطا بر پایه قانون یادگیری اصلاح خطا می باشد که از دو مسیر اصلی رفت و برگشت تشکیل می شود. در مسیر رفت، بردار ورودی به شبکه اعمال شده و تأثیراتش از طریق لایه های میانی به لایه ی خروجی انتشار می یابد و بردار خروجی پاسخ واقعی شبکه را تولید می نماید. سپس خطا اندازه گیری شده و در هر برگشت به شبکه اعمال می شود و وزن ها بهینه می گردند. بهترین الگوریتم آموزشی این شبکه ها برای تخمین، الگوریتم لونیبرگ-مارکوات است که در این پژوهش نیز از همین الگوریتم استفاده شد.

شبکه ی طراحی شده با استفاده از ۷۰ درصد داده ها بعنوان داده های آموزشی، مورد ارزیابی قرار گرفت. ۱۵ درصد از داده ها نیز برای اعتبار سازی و ۱۵ درصد آن ها برای آزمون استفاده شد. بهترین توپولوژی با آزمون و خطا و ارزیابی دقت برآورد داده های آزمونی به دست آمد. پس از سعی و خطاهای پی در پی، بهترین شبکه با توپولوژی زیر به دست آمد:

۱- شبکه با یک لایه ی پنهان، ۲- تعداد ده نرون در لایه مخفی، ۳- تابع فعالیت تانوانت سیگموئید در لایه ی مخفی، ۴- تابع خطی در لایه ی خروجی ۵- الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکوات مدل سازی توسط شبکه ی عصبی با در نظر گرفتن تمام ویژگی های اندازه گیری شده بعنوان ورودی (روی، فسفر، رس، شن، قابلیت هدایت الکتریکی و pH) انجام گرفت.

#### سنجه های خطا

در این تحقیق برای تعیین دقت مدل ها و مقایسه ی عملکرد مدل های مختلف در هر مرحله از مدل سازی، از معیارهای ضریب تبیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین استاندارد مربعات خطا (RMSSE) استفاده گردید.

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

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

در این معادله ها:  $O_i$ : مقدار ویژگی اندازه گیری شده،  $P_i$ : مقدار ویژگی برآورده شده توسط مدل،  $O_{si}$ : مقدار استاندارد ویژگی

جدول ۱- 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 <sup>ns</sup>	0.065 <sup>ns</sup>	0.194*	-0.405**		Zn-DTPA (mg/ Kg)
			*0.187	-0.115 <sup>ns</sup>	0.140 <sup>ns</sup>	-0.025 <sup>ns</sup>	0.028 <sup>ns</sup>	P (mg/Kg)
		0.261**	0.124 <sup>ns</sup>	-0.346**	0.375**	-0.083 <sup>ns</sup>	0.126 <sup>ns</sup>	Cd (mg/Kg)
	0.175*	0.186*	0.447**	-0.188*	0.243**	-0.094 <sup>ns</sup>	0.278**	Zn (mg/Kg)
0.441**	0.338**	0.386**	0.410**	-0.337**	0.391**	0.160 <sup>ns</sup>	-0.456**	Cd-DTPA (mg/ Kg)

\*\* معنی‌دار بودن در سطح ۹۹ درصد، \* معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد و <sup>ns</sup> معنی‌دار نبودن

مقادیر ناخالصی زیادی از نظر عنصر هایی مانند روی می‌باشند. بنابراین با کاربرد کودهای فسفره، انتظار می‌رود مقادیر کادمیم و روی قابل جذب، هر دو در خاک افزایش یابند.

### رگرسیون گام به گام

با انجام رگرسیون گام به گام و در نظر گرفتن ویژگی Cd-DTPA بعنوان متغیر وابسته، چهار صفت (بعنوان متغیر مستقل) وارد مدل شده و در مجموع ۶۸/۴۶ درصد از تغییر ها، کادمیم قابل جذب را توجیه نمودند. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، 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، ۱/۱ و 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:

$$\text{Cd-DTPA} = 0.3609 - 0.0437\text{pH} + 0.0054\text{P} + 0.00152\text{Clay} + 0.00121\text{Zn} \quad (3)$$

فاز محلول خاک کاسته می‌شود. خاک‌های منطقه‌های خشک (مانند منطقه‌ی رفسنجان) از نوع آهکی می‌باشند. خاک‌های آهکی نسبت به خاک‌های غیرآهکی توانایی بالاتری در جذب عنصر های سنگین دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاکی با کربنات کلسیم و pH بیشتر، توانایی بالاتری را برای جذب عنصر های 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 تبدالی جذب نماید. بنابراین با عصاره‌گیری کادمیم توسط دی تی پی، میزان کادمیم تبدالی بیشتری استخراج شده و در نتیجه، 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

نتیجه گرفت که هر متغیری دارای ضریب بیشتری در مدل استاندارد باشد، اهمیت و تأثیر آن بر متغیر وابسته بیشتر خواهد بود.

$$\text{Cd-DTPA} = -0.373\text{pH} + 0.317\text{P} + 0.278\text{Clay} + 0.202\text{Zn} \quad (4)$$

وارد سایت تبدالی شود، بنابراین مانع از ورود کادمیم به سایت تبدالی می شود و کادمیم وارد فاز محلول خواهد شد و در نتیجه غلظت آن در خاک افزایش خواهد یافت. همچنین می توان نتیجه گرفت که میزان کادمیم عصاره گیری شده توسط Cd-DTPA با میزان رس خاک، رابطه ی مثبت دارد. عبارت دیگر، عنصر های سنگین در خاک های رسی، بدلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر نسبت به خاک های شنی، با شدت بیشتری توسط ذرات خاک جذب شده و بنابراین میزان آن در خاک افزایش می یابد.

بنابر مدل استاندارد به دست 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 ضریب هایی برابر با ۰/۳۱۷، ۰/۲۷۸ و ۰/۲۰۲ بیشترین اثر را بر مقدار برآورد Cd-DTPA داشته اند.

معادله ۵، مدل استاندارد رگرسیونی رابطه ی Cd-DTPA با ویژگی های را خاک نشان می دهد. بنابر مدل استاندارد، می توان

بنابر مدل ۴، می توان نتیجه گرفت که با افزایش pH در خاک، میزان کادمیم عصاره گیری شده کاهش می یابد. از آنجا که pH از مهم ترین فاکتورهای مؤثر بر تعادل یون های فلزی با خاک است (Alloway, 2013)، افزایش pH خاک، موجب کاهش حلالیت عنصر های سنگین می شود. افزایش pH خاک، سبب افزایش بار منفی و در نتیجه تشکیل گونه های هیدروکسی و تشکیل رسوب هیدروکسید عنصر های سنگین می شود (Malandrino *et al.*, 2011) با توجه به مدل به دست آمده در خاک، رابطه ی فسفر خاک با کادمیم عصاره گیری شده، مثبت می باشد. روی با Cd-DTPA، در خاک نیز رابطه مثبت داشتند (معادله ۴) که ناشی از منابع یکسان ورود آن ها به خاک است (کودهای کم مصرف و فسفره). همچنین قدرت جذب روی در سایت های تبدالی خیلی بیشتر از کادمیم است و می تواند به راحتی

جدول ۲- تجزیه واریانس رگرسیون Cd-DTPA خاک با برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2. Regression variance analysis of soil Cd-DTPA with some of soil physical and chemical properties

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

\*\* بیانگر معنی دار بودن در سطح ۹۹ درصد

مناسبی برای تخمین Cd-DTPA برخوردار است. مقایسه روش شبکه عصبی و رگرسیون با استفاده از سنج های خطا در ادامه بیان شده است.

### شبکه ی عصبی مصنوعی (ANN) <sup>۵</sup>

نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، مدل ANN از دقت

جدول ۳- مدل شبکه عصبی برگزیده با تعداد ورودی مختلف

Table 3. Selected models with different input numbers

R <sup>2</sup>		ترکیب پارامترهای ورودی Composition of input parameters	مدل Model
داده های آزمون Test data	داده های آموزشی Training data		
84.3	89	pH، EC، روی، فسفر، شن، رس	شبکه عصبی مصنوعی ANN

نسبت به رگرسیون خطی چندگانه به دست 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 شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) و شبکه‌ی عصبی فازی تطبیقی (AN-FIS) 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، pH، EC، درصد مواد خنثی شونده و فسفر بعنوان پارامترهای ورودی به مدل استفاده شد و از طریق دو مدل ANN و ANFIS ارتباط میان پارامترهای مذکور و میزان غلظت کادمیم برقرار گردید. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی روش مناسب‌تری نسبت به شبکه‌ی عصبی فازی تطبیقی است.

## مقایسه‌ی مدل شبکه عصبی با مدل رگرسیون گام به گام

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

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 زود یافت خاک دارد (Pachepsky *et al.*, 1996; Shirani *et al.*, 2018; Ba<sup>+</sup>, 2017; Anagu *et al.*, 2009; Tamari *et al.* (1996). همچنین میزان RMSE کمتری از برآورد ویژگی‌های خاک با شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۴- مقایسه مدل ANN و رگرسیون گام به گام 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

RMSSE	RMSE	R <sup>2</sup>	مدل Model
0.395	0.01	84.3	ANN
0.530	1.43	27.2	Stepwise

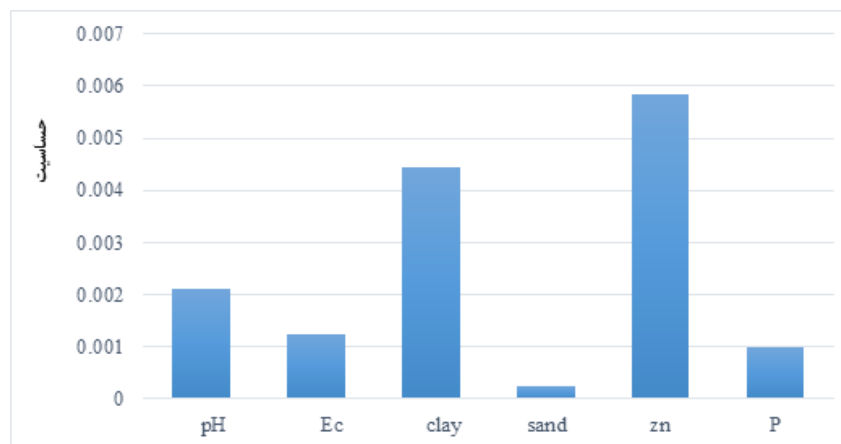
حاکم بر آن تاثیر زیادی بر فاکتورهای موثر بر غلظت کادمیم در خاک دارد. شاید مهم‌ترین تفاوت این دو تحقیق اقلیم حاکم بر شرایط خاک باشد که بررسی خاک‌های منطقه‌های مرطوب گیلان با خاک‌های منطقه‌های خشک رفسنجان نتایج متفاوتی را رقم زده است. در باغ‌های پسته بدلیل مصرف کودهای حاوی روی که دارای ناخالصی زیادی از 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

## 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 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 می‌رسد نوع خاک و شرایط

از آن جایی که سنج‌های خطای به دست آمده، مزید بر مناسب بودن مدل شبکه عصبی نسبت به مدل رگرسیون گام به گام 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 دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک توصیه می‌شود.

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.



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

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 قابل جذب خاک مناسب‌تر است زیرا معادله ساده و روشنی برای برآورد بیان می‌کند.

### سپاسگزاری

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

### پی‌نوشت‌ها

<sup>1</sup> Diethylene Triamine Pentaacetic Acid (DTPA)

<sup>2</sup> NeuroSolution

<sup>3</sup> Variance inflection factor (VIF)

<sup>4</sup> Feed forward

<sup>5</sup> Artificial Neural Network (ANN)

### نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی به روش‌های مختلف نشان داد که کادمیم قابل جذب خاک بیشترین ارتباط را با روی و فسفر قابل جذب خاک دارد. این مهم بیان‌گر این است که کودهای شیمیایی روی و فسفر مورد استفاده در باغ‌های پسته دارای ناخالصی قابل توجهی 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 بین‌المللی در تولید و واردات کودها می‌باشد. 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 مؤثر بر کادمیم قابل جذب خاک را نشان داد. بنابراین



- 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. (ed). 2013. Heavy Metals in soils. pp: 11-50 Volume 22, Springer, John Wiley and Sons, INC, New York.
- 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., 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. Ecology Publication. 97-341.
- Cariny, T., 1995. The re-use of contaminated land: a handbook of risk assessment. John Wiley and Sons, New York, US.
- Covelo, E.F., Andrade, M.L. and Vega, F.A., 2004. Heavy metal adsorption by humic umbrilsols: 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 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., 2001. Trace elements in soils and plants, third ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 2000. Trace Element 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 edu-

cation 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.

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*. ICARDA

Shirani, H., 2017. Artificial neural network with application approach in agricultural sciences and natural resources. *Vali-e-Asr university of Rafsanjan*, 310p.

Shirani, H., Hosseiniſard, 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, pp.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., Otter, D.K., 1998. Soil phosphorous spatial distribution in pastures receiving poultry litter application. *Agronomy abstracts*. American Society of Agronomy. Madison, W.I.

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 Environment*. 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<sup>1\*</sup>, Hossein Shirani<sup>2</sup>, Somayeh Sadr<sup>3</sup> and Hakimeh Hashemipour<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran

<sup>2</sup>Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

<sup>3</sup>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 Science*.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<sup>2</sup> 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.