

## پیش‌بینی عملکرد پسته با استفاده از رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: شهرستان‌های رفسنجان و انار استان کرمان)

بهروز پورمحمدعلی<sup>۱</sup>، محمدحسن صالحی<sup>۲\*</sup>، سیدجواد حسینی‌فرد<sup>۳</sup>، حسین شیرانی<sup>۴</sup> و عیسی اسفندیارپور بروجنی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۳- استادیار پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۷/۲۶

### کلمات کلیدی:

عملکرد پسته،

مدل‌سازی،

رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی،

شبکه عصبی مصنوعی

### چکیده

امروزه، مدیریت اصولی اراضی به‌عنوان یک راهکار مهم برای رسیدن به عملکرد بیشتر در واحد سطح و استفاده بهینه از منابع خاک و آب، مورد توجه پژوهشگران، تولیدکنندگان و سیاست‌گذاران عرصه کشاورزی قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین عملکرد پسته و عوامل مؤثر بر آن، صورت پذیرفت. بدین منظور، ۱۲۹ قطعه باغ در مناطق مختلف شهرستان‌های رفسنجان و انار شناسایی و انتخاب گردید. نمونه‌برداری از آب آبیاری، برگ درختان و خاک همه باغ‌ها انجام شد. همچنین برای هر باغ یک پرسشنامه به منظور جمع‌آوری اطلاعات مدیریتی و تعیین مقدار عملکرد تهیه شد. در نهایت یک متغیر وابسته یعنی عملکرد محصول و ۵۰ متغیر مستقل شامل ویژگی‌های خاک، آب و گیاه برای انجام مدل‌سازی به کمک مدل‌های رگرسیون چندمتغیره خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی تنها ۲۶ درصد تغییرات عملکرد را توجیه می‌نماید اما وقتی با تقسیم منطقه به چهار بخش، داده‌ها همگن‌تر می‌شود، دقت این روش افزایش یافت. به طوری که ضریب تبیین اصلاح‌شده‌ی مدل برای باغ‌های منطقه نوق، انار، حومه شرقی و حومه غربی به ترتیب به حدود ۹۲/۴، ۸۱/۵، ۹۵ و ۵۳/۶ درصد رسید. این مدل‌ها، به ویژگی‌های مربوط به آب آبیاری حساسیت زیادی نشان می‌دهند. بنابراین، توجه ویژه به روش‌های نوین آبیاری و اتخاذ رویکردهای صحیح مدیریتی به منظور افزایش بهره‌وری آب ضروری به نظر می‌رسد. شبکه عصبی مصنوعی با ۹ نرون در یک لایه پنهان، تابع فعال‌سازی تانژانت-سیگموئید و تابع آموزشی لونیگ مارکوات دارای دقت ۹۸/۳ درصدی در پیش‌بینی عملکرد محصول پسته در کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

\* عهده دار مکاتبات

Email: mehsalehi@yahoo.com

### مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) یکی از مهمترین محصولات کشاورزی نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران است. اگرچه پسته به خشکی مقاوم است، اما این بدان معنا نیست که عملکرد بهینه درخت پسته در شرایط کم‌آبی حاصل می‌شود. در دهه‌های اخیر، به دلیل افزایش چشمگیر سطح زیرکشت پسته و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و همچنین کاهش نزولات جوی، سطح سفره‌های آب زیرزمینی پایین‌تر رفته و کاهش کمیت و کیفیت آب به دغدغه اصلی باغداران تبدیل شده است (۱۹). از این رو، مدیریت اصولی به‌عنوان یک راهکار مهم برای رسیدن به عملکرد بیشتر در واحد سطح و استفاده بهینه و توجیه‌پذیر از منابع خاک و آب، مورد توجه پژوهشگران و باغداران قرار گرفته است. در تدوین برنامه‌های مدیریتی (کاشت، داشت، برداشت، بهره‌وری، حمل و نقل و غیره)، مدل‌سازی ریاضی به‌عنوان یک فرایند برای پیش‌بینی عملکرد محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵۵). تاکنون، روش‌های زیادی برای تخمین عملکرد در کشاورزی به کار گرفته شده است. برخی از پژوهش‌گران، از همبستگی خطی ساده عملکرد با متغیرهایی نظیر ویژگی‌های خاک استفاده کرده‌اند (۲۵). اما نتایج چنین پژوهش‌هایی از مزرعه‌ای به مزرعه دیگر و از یک سال به سال دیگر تغییر می‌کند. بسیاری از پژوهش‌های دیگر، با روش‌های رگرسیون چندمتغیره خطی به تخمین عملکرد پرداخته‌اند (۲۲، ۲۵ و ۲۸). در برخی از پژوهش‌ها نیز روش‌های آماری غیرخطی برای این منظور، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۱).

الگوریتم‌های هوش مصنوعی در زمره روش‌های جدید غیرخطی قرار دارند. شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup>، جزو سامانه‌های پویا می‌باشند که با پردازش داده‌های تجربی، قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. در شرایطی که تنوع داده‌ها زیاد و روابط و اثرات متقابل

مبهم و پیچیده باشد، شبکه‌های عصبی مصنوعی کارگشا خواهند بود (۴۹). پژوهشگران علوم کشاورزی از شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی متغیرهایی چون میزان تبخیر و تعرق هفتگی (۲۹)، پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی (۹)، تهیه نقشه پوشش اراضی (۱۵) و محاسبه نرخ کوددهی (۵۸) استفاده کرده‌اند. پژوهش‌های زیادی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، به حل یکی از مسائل مهم در کشاورزی دقیق یعنی تخمین عملکرد هدف پرداخته‌اند (۳۱). کول و همکاران<sup>۲</sup> (۲۴) از قابلیت شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد ذرت و سویا در منطقه مرینند استفاده و بیان کردند که مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی دارای دقت بالاتری می‌باشد. آن‌ها از پارامترهای میزان بارندگی و ویژگی‌های خاک به‌عنوان ورودی‌های مدل استفاده کردند. نوروزی و همکاران (۳۸) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی غرب ایران استفاده و بیان داشتند که شاخص انتقال رسوب نسبت به سایر شاخص‌های توپوگرافی، تأثیر بیشتری بر میزان عملکرد این گیاه داشته و میزان پروتئین موجود در دانه‌ها تحت تأثیر میزان نیتروژن کل خاک می‌باشد. شعبانی و همکاران (۵۴) گزارش کردند که شبکه عصبی مصنوعی قادر به توجیه ۹۲ درصد از تغییرات عملکرد کل و عملکرد دانه گندم در اراضی دیم منطقه سیسب استان خراسان شمالی می‌باشد. باقوری و همکاران (۴) حداقل پارامترهای ورودی مورد نیاز برای تعیین عملکرد ذرت علوفه‌ای به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی و نیز کاربرد این نوع از شبکه‌ها برای پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای در سطوح مختلف مدیریتی را مورد بررسی قرار دادند.

پژوهش‌های معدودی به بررسی عملکرد محصول پسته و عوامل مؤثر بر آن پرداخته‌اند. زنگ و همکاران<sup>۳</sup> (۶۰) گزارش کردند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت

2- Kaul et al.  
3- Zeng et al.

1- Artificial neural networks

۵۴ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی، به ترتیب، اریدیک<sup>۱</sup> و ترمیک<sup>۲</sup> می‌باشند.

### مطالعات صحرائی و نمونه‌برداری

در این پژوهش، ۱۲۹ نقطه نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شد که طیف قابل قبولی از نحوه مدیریت خاک و آب را شامل شوند. برای این منظور، ابتدا واحدهای آبی (مجموعه باغ‌هایی که از طریق یک چاه آبیاری می‌شوند) مورد نظر مشخص شده، سپس اقدام به شناسایی واحدهای مدیریتی (باغ‌های با مدیریت تقریباً یکنواخت) در هر واحد آبی شد. نمونه‌برداری خاک، از انتهای سطح سایه‌انداز درخت و از سه عمق صفر تا ۴۰، ۴۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۲۰ سانتیمتری انجام گرفت. در هر نقطه، یک نمونه برگ به صورت مرکب از چند درخت، در فاصله زمانی اواخر تیرماه تا اواسط مردادماه (زمان معمول نمونه‌برداری منطقه) و از برگ‌های انتهایی شاخه‌های بدون میوه تهیه شد. از هر واحد آبی، یک نمونه از آب آبیاری نیز جمع‌آوری شد. هم‌چنین، با مراجعه حضوری به باغ‌های منطقه مطالعاتی و از طریق پرسش‌نامه، اطلاعاتی نظیر مقدار عملکرد، دبی آب، زمان و دور آبیاری، مساحت باغ، سن درختان و نسبت پایه‌های نر به ماده جمع‌آوری شد.

### تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه، هواخشک شده، با چکش چوبی خرد و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی کیفیت خاک، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر (۱۶)، واکنش خاک در گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج، سدیم محلول، کلسیم محلول، منیزیم محلول (۵) و مقدار قابل جذب عناصر غذایی فسفر (۳۹) و پتاسیم (۲۷) در سه عمق اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برگ نیز پس از شستشو و خشک شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد،

پتاسیم برگ و عملکرد محصول پسته رقم کرمان وجود دارد. حسینی‌فرد و همکاران (۲۲) با مطالعه آب‌های زیرزمینی شهرستان انار، به همبستگی منفی و معنی‌دار بین دو ویژگی قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیمی آب آبیاری با عملکرد پسته اشاره نمودند. صالحی و همکاران (۴۶) بیان کردند که غلظت سدیم و بور در خاک و برگ درختان پسته، از عمده‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد پسته در رفسنجان می‌باشند. سجادی و همکاران (۴۳) با بررسی خاک‌های زیر کشت پسته در دشت رباط شهر بابک به این نتیجه رسیدند که در باغ‌های با عملکرد کم، قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیمی خاک بیش از حد مجاز است. صالحی و حسینی‌فرد (۴۵) با مطالعه شش باغ با مدیریت یکنواخت در رفسنجان، میزان شوری و درصد رس خاک را از مهمترین ویژگی‌های مؤثر بر عملکرد پسته عنوان نمودند.

موفقیت در کشاورزی دقیق بستگی به اطلاع دقیق از پتانسیل عملکرد در پاسخ به شرایط ویژه دارد (۴۱). عملکرد محصول پسته، یکی از متغیرهای چالش‌برانگیزی است که از یک سو اطلاع از مقدار آن لازم و از سوی دیگر با توجه به تغییرات مکانی و زمانی عملکرد، پیش‌بینی آن در محدوده وسیعی از مناطق تحت کشت ضرورت دارد. با این وجود، پژوهش‌های چندانی در رابطه با پیش‌بینی عملکرد محصول پسته با استفاده از طیف قابل‌قبولی از ویژگی‌های مؤثر بر آن و در مقیاس منطقه‌ای انجام نشده است. از این رو، پژوهش حاضر به منظور مدل‌سازی روابط بین عملکرد با متغیرهای خاکی، آبی و مدیریتی و مقایسه کارایی روش‌های رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین عملکرد، صورت پذیرفت.

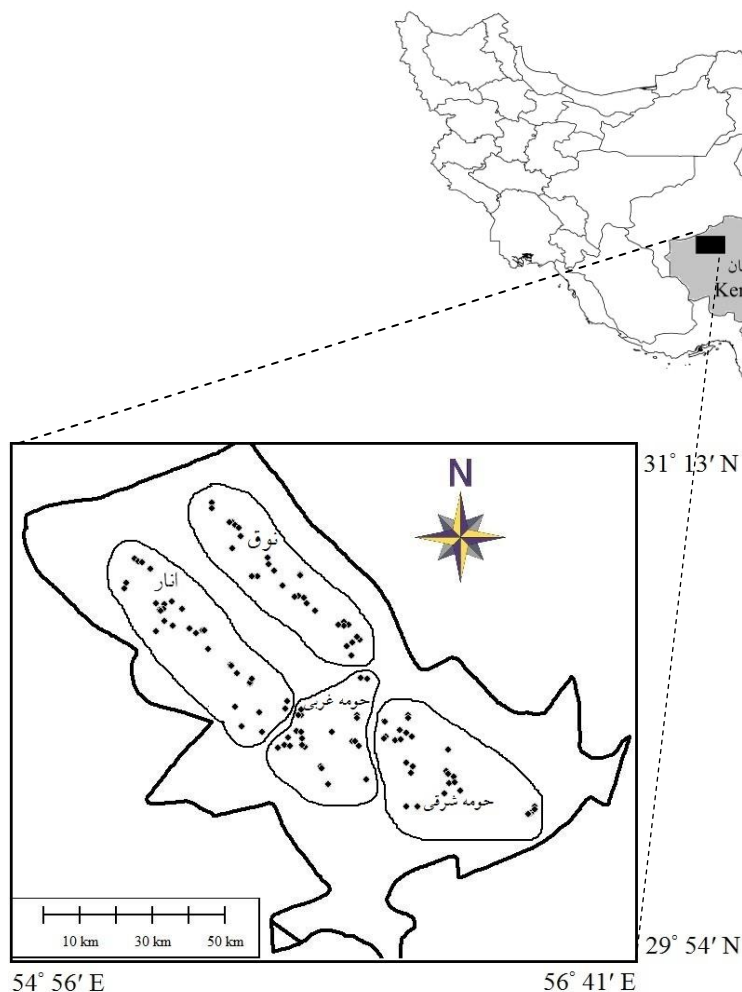
### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل بخشی از اراضی زیر کشت پسته در شهرستان‌های رفسنجان و انار می‌باشد که در محدوده ۲۹ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی و

پور محمدعلی و همکاران: پیش‌بینی عملکرد پسته با استفاده از...

به مدت ۶ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و خاکستر به دست آمده با اسید کلریدریک هضم شد.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری  
Figure (1) Location of study area and sampling points

ویژگی‌های خاک، آب و گیاه مورد استفاده قرار گرفت. به منظور انجام تحلیل‌های آماری و مدل رگرسیون چند-متغیره به روش گام به گام، نرم‌افزار SPSS 22.0 مورد استفاده قرار گرفت. مدل شبکه عصبی مصنوعی نیز در نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۳ اجرا گردید. در این مدل، به طور تصادفی ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان داده آموزشی، ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی و ۱۵ درصد به عنوان داده آزمون در نظر گرفته شد. سپس، با استفاده از شبکه‌ی پرسپترون چندلایه پیش‌خور<sup>۲</sup> مدل‌سازی صورت

سپس، غلظت فسفر به روش طیف‌سنجی نوری، غلظت پتاسیم به روش شعله‌سنجی و غلظت عناصر آهن، روی، مس، منگنز، کلسیم و منیزیم در برگ به روش جذب اتمی و با استفاده از دستگاه ICP مدل Optima 7000 DV اندازه‌گیری شد (۸). در نمونه‌های آب آبیاری، قابلیت هدایت الکتریکی<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار گرفت.

#### مدل‌سازی عملکرد پسته

برای انجام مدل‌سازی به کمک مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی یک متغیره وابسته یعنی عملکرد محصول و ۵۰ متغیره مستقل شامل

2- Feedforward multilayer perceptron

1- Electrical conductivity (EC)

قبولی برخوردار است. بر اساس گروه‌بندی ویلدینگ و درس<sup>۳</sup> (۵۷) اسیدیته خاک و ارتفاع از سطح دریا دارای تغییرات کم (ضریب تغییرات کمتر از ۱۵ درصد)، مقدار شن خاک، سن درختان، دور آبیاری و پتاسیم برگ دارای تغییرات متوسط (ضریب تغییرات بین ۱۵ و ۳۵ درصد) و بقیه متغیرها دارای تغییرات زیاد (ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵ درصد) می‌باشند. ارقام مربوط به ضریب تغییرات، نشان می‌دهد که غلظت فسفر در برگ و خاک نسبت به پتاسیم تنوع بیشتری دارد. پراکندگی زیاد فسفر احتمالاً ناشی از تحرک کم آن است (۷). همچنین، شاخص سدیمی خاک (نسبت جذب سدیمی) نسبت به شاخص شوری خاک (قابلیت هدایت الکتریکی) تغییرپذیری بیشتری نشان می‌دهد (جدول ۱). به طوری کلی، ضریب تغییرات بالاتر را به تأثیر بیشتر عوامل مدیریتی نسبت می‌دهند (۱۰ و ۵۷). دقت رگرسیون چند متغیره‌ی خطی در تخمین عملکرد کل منطقه مورد مطالعه، برابر با ۲۶ درصد می‌باشد (جدول ۲). با استفاده از ضرایب رگرسیونی استاندارد شده (جدول ۳)، می‌توان عوامل مؤثر بر عملکرد در هر بخش را شناسایی کرد. بر اساس این مدل، مقدار آب مصرفی و نسبت جذب سدیم در عمق صفر تا ۴۰ سانتیمتری، بیشترین تأثیر را بر عملکرد محصول در کل منطقه دارد. افزایش نسبت جذب سدیم، باعث تخریب ساختمان خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک، رشد گیاه و عملکرد محصول پسته می‌شود (۵۹).

گروه‌بندی رکوردها می‌تواند از طریق کاهش ناهمگونی و اختلاط اثرات ویژگی‌ها باعث افزایش کارایی رگرسیون چند متغیره‌ی خطی شود (۳۳ و ۵۳). آماره‌های اعتبارسنجی نشان می‌دهد که دسته‌بندی داده‌ها، دقت تخمین را افزایش می‌دهد. به طوری که ضریب تبیین اصلاح شده‌ی مدل برای باغ‌های منطقه نوق، انار، حومه شرقی و حومه غربی به ترتیب به حدود ۹۲/۴، ۸۱/۵، ۹۵ و ۵۳/۶ درصد رسید (جدول ۲).

پذیرفت. از روش پس انتشار خطا<sup>۱</sup> با قاعده آموزشی لونبرگ مارکوات<sup>۲</sup> برای آموزش شبکه استفاده شد. در مدل‌های مذکور، مجموعه داده‌های یکسان به کار گرفته شد. در نهایت، منطقه مطالعاتی از نظر جغرافیایی به ۴ بخش که دارای بیشترین تراکم باغ‌های پسته هستند تقسیم شده و مدل رگرسیونی برای هر بخش به صورت جداگانه اجرا شد. ارزیابی میزان توانایی مدل‌ها در تخمین عملکرد، با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا (رابطه ۱)، جذر میانگین مربعات خطای نسبی (رابطه ۲)، ضریب تبیین اصلاح شده (رابطه ۳) و آماره دورین-واتسون (رابطه ۴) انجام گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{\sigma} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\text{adjusted\_}R^2 = R^2 - \frac{(1 - R^2)p}{n - p} \quad (3)$$

$$D.W = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (4)$$

در روابط بالا،  $X_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $y_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $\bar{X}$  میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده،  $\bar{y}$  میانگین داده‌های پیش‌بینی شده،  $n$  تعداد نمونه‌های مورد ارزیابی،  $p$  تعداد متغیرهای ورودی به مدل و  $e_i$  تفاضل مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده می‌باشند.

## نتایج و بحث

خلاصه‌ای از توصیف‌های آماری مربوط به ۵۱ ویژگی اندازه‌گیری شده، در جدول ۱ نشان داده شده است. متوسط عملکرد در منطقه مورد مطالعه، حدود ۱۷۰۰ کیلوگرم در هکتار است. طبق آمارنامه کشاورزی، متوسط عملکرد پسته در مناطق زیر کشت این محصول در ایران ۷۴۰ و در استان کرمان ۴۴۷ کیلوگرم در هکتار است (۳). مقدار عملکرد با ضریب تغییرات ۷۷ درصد، از تنوع قابل-

1- Back propagation of error

2- Levenberg Marquardt (LM)

3- Wilding and Dress

جدول (۱) خلاصه‌ای از وضعیت آماری ویژگی‌های مورد بررسی در منطقه مطالعاتی

Table (1) Summary of descriptive statistics of investigated features in the study area

کشیده‌گی kurtosis	چولگی Skewness	ضریب تغییرات Coefficient of variance	انحراف معیار Standard deviation	میانگین mean	حداکثر max	حداقل min	متغیر Variable
5.26	1.91	77.14	1324.80	1717.44	8400	61.54	عملکرد Yield (kg/ha)
-0.67	0.54	56.45	0.10	0.18	0.44	0.04	P (%) فسفر برگ
-0.16	0.30	28.84	0.43	1.47	2.60	0.50	K (%) پتاسیم برگ
0.98	1.34	40.55	0.99	2.44	5.10	1.10	Ca (%) کلسیم برگ
-0.25	0.06	39.01	0.32	0.82	1.60	0.10	Mg (%) منیزیم برگ
1.32	1.16	45.28	60.06	132.63	339	38.00	Fe (ppm) آهن برگ
34.97	5.49	115.27	13.84	12.00	110	2.80	Zn (ppm) روی برگ
1.84	0.85	43.72	18.01	41.18	120	4.10	Mn (ppm) منگنز برگ
0.54	0.72	42.22	3.23	7.66	18.40	1.40	Cu (ppm) مس برگ
10.58	2.41	56.00	2.86	5.11	22.70	0.95	EC <sub>0-40</sub> (dSm <sup>-1</sup> )
0.47	0.23	3.73	0.29	7.81	8.84	7.10	pH <sub>0-40</sub>
8.01	2.62	85.26	5.27	6.19	32.53	0.90	SAR <sub>0-40</sub> (meq/L) <sup>0.5</sup>
3.56	1.60	49.61	192.53	388.10	1150.00	113.00	K <sub>0-40</sub> (mg/Kg)
1.84	1.42	84.69	23.52	27.77	117.69	1.24	P <sub>0-40</sub> (mg/Kg)
1.01	0.96	49.65	9.23	18.59	50.00	3.60	Ca <sup>2+</sup> <sub>0-40</sub> (meq/L)
1.73	1.08	57.76	7.71	13.35	44.50	0.50	Mg <sup>2+</sup> <sub>0-40</sub> (meq/L)
11.15	3.15	99.32	24.31	24.47	143.80	3.00	Na <sup>+</sup> <sub>0-40</sub> (meq/L)
1.38	1.19	42.27	6.36	15.04	37.00	5.00	%Clay <sub>0-40</sub>
1.30	0.84	48.11	7.97	16.57	48.00	3.00	%Silt <sub>0-40</sub>
0.02	-0.55	16.79	11.48	68.38	92.00	34.50	%Sand <sub>0-40</sub>
-0.01	0.67	48.42	2.86	5.90	15.04	0.93	EC <sub>40-80</sub> (dSm <sup>-1</sup> )
-0.29	-0.31	4.30	0.33	7.75	8.50	7.00	pH <sub>40-80</sub>
9.19	2.78	90.40	6.56	7.26	40.91	1.40	SAR <sub>40-80</sub> (meq/L) <sup>0.5</sup>
3.20	1.44	49.74	216.29	434.88	1350.00	66.00	K <sub>40-80</sub> (mg/Kg)
2.76	1.69	100.49	17.31	17.23	87.00	0.78	P <sub>40-80</sub> (mg/Kg)
-0.76	0.34	42.97	9.04	21.03	40.50	5.00	Ca <sup>2+</sup> <sub>40-80</sub> (meq/L)
-0.15	0.57	54.72	7.74	14.15	36.00	1.00	Mg <sup>2+</sup> <sub>40-80</sub> (meq/L)
7.86	2.61	98.04	30.00	30.60	181.07	4.20	Na <sup>+</sup> <sub>40-80</sub> (meq/L)
1.09	0.99	44.72	6.99	15.64	40.40	5.40	%Clay <sub>40-80</sub>
0.96	0.88	54.85	9.33	17.02	49.00	2.60	%Silt <sub>40-80</sub>
-0.03	-0.58	20.55	13.84	67.36	90.00	26.50	%Sand <sub>40-80</sub>
-0.02	0.55	46.97	3.64	7.76	19.40	1.30	EC <sub>80-120</sub> (dSm <sup>-1</sup> )
-0.10	-0.55	3.94	0.31	7.75	8.28	6.90	pH <sub>80-120</sub>
5.06	2.19	90.97	8.56	9.41	47.89	1.30	SAR <sub>80-120</sub> (meq/L) <sup>0.5</sup>
4.33	1.67	46.13	182.67	396.04	1250.00	120.00	K <sub>80-120</sub> (mg/Kg)
3.46	1.68	86.99	10.91	12.54	58.00	0.28	P <sub>80-120</sub> (mg/Kg)
1.75	0.84	46.69	11.85	25.38	76.00	6.50	Ca <sup>2+</sup> <sub>80-120</sub> (meq/L)
0.21	0.67	51.74	9.79	18.92	47.00	1.00	Mg <sup>2+</sup> <sub>80-120</sub> (meq/L)

ادامه جدول (۱) خلاصه‌ای از وضعیت آماری ویژگی‌های مورد بررسی در منطقه مطالعاتی

Table (1) (continued). Summary of descriptive statistics of investigated features in study area

کشیده‌گی kurtosis	چولگی Skewness	ضریب تغییرات Coefficient of variance	انحراف معیار Standard deviation	میانگین mean	حداکثر max	حداقل min	متغیر Variable
1.49	1.51	88.22	38.81	43.99	172.41	5.40	Na <sup>+</sup> <sub>80-120</sub> (meq/L)
2.30	1.19	53.21	9.52	17.90	47.80	1.40	%Clay <sub>80-120</sub>
-0.35	0.52	56.01	11.11	19.83	52.00	0.60	%Silt <sub>80-120</sub>
-0.51	-0.41	29.94	18.61	62.15	94.00	10.20	%Sand <sub>80-120</sub>
2.27	1.62	70.91	4.81	6.78	23.90	1.10	EC <sub>Water</sub> (dSm <sup>-1</sup> )
-0.04	0.48	43.90	10.89	24.81	50.00	5.00	دبی آب (L/s) Water flow
5.41	1.37	30.13	13.98	46.39	120.00	15.00	دوره آبیاری (day) Irrigation interval
11.43	2.77	71.18	9.57	13.45	72.00	3.55	زمان آبیاری در هر نوبت (h/ha) Irrigation time per turn
28.33	5.14	232.59	2076.30	892.67	15000.0	40.00	مساحت باغ (قصب) Orchard area
0.33	0.78	48.27	4015.26	8317.50	20498.4	1478.25	مقدار آب مصرفی (m <sup>3</sup> /ha.year) amount of consumed water
0.23	0.43	6.52	94.92	1455.36	1658.00	1169.00	ارتفاع از سطح دریا (m) Elevation
0.40	0.56	29.93	9.00	30.07	60.00	11.00	سن درختان (year) Tree age
41.25	5.82	160.04	0.02	0.01	0.17	0.00	نسبت درخت نر به ماده Male to female tree ratio

جدول (۲) آماره‌های اعتبارسنجی مربوط به مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد پسته توسط مدل‌های رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی و شبکه عصبی مصنوعی

Table (2) Validation statistics related to the comparison of observed and predicted pistachio yield by multivariate linear regression models and artificial neural network

D-W	%RMSE	RMSE	adj-R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	روش (Method)
1.77	88.98	1178.81	0.26	0.28	رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی برای کل منطقه مورد مطالعه (Multiple linear regression for the whole study area)
2.48	28.19	506.35	0.92	0.95	رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی برای منطقه نوق (Multiple linear regression for Noogh)
2.38	44.03	607.60	0.81	0.86	رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی برای منطقه انار (Multiple linear regression for Anar)
1.89	18.89	253.64	0.95	0.97	رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی برای حومه شرقی (Multiple linear regression for eastern suburbs)
2.14	71.22	477.21	0.54	0.60	رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی برای حومه غربی (Multiple linear regression for western suburbs)
1.75	13.82	221.6	0.97	0.98	شبکه عصبی مصنوعی برای کل منطقه مورد مطالعه (Artificial neural network for the whole study area)

جدول (۳) نتایج رگرسیون برازش شده بین متغیرهای اندازه‌گیری شده و عملکرد پسته

Table (3) The Results of fitted regression between measured variables and pistachio yield

منطقه Region	متغیر Variable	ضریب Coefficient	ضریب استاندارد شده Standardized Coefficient	سطح معنی- داری P-value
کل All	مقدار ثابت Constant	888.7		0.002
	مقدار آب مصرفی water used amount	0.16	0.46	0.000
	SAR <sub>0-40</sub>	-68.6	-0.28	0.001
انار Anar	مقدار ثابت Constant	-7442.8		0.048
	P <sub>40-80</sub>	63.4	0.64	0.000
	دور آبیاری Irrigation interval	-31.9	-0.38	0.002
	Clay <sub>0-40</sub>	69	0.37	0.000
	Silt <sub>40-80</sub>	-101.1	-0.58	0.000
	پتاسیم برگ K	1004.4	0.29	0.002
حومه شرقی Eastern suburbs	مقدار ثابت Constant	1418.2		0.000
	دبی آب Water flow	586.5	0.52	0.000
	منیزیم برگ Mg	446.1	0.39	0.000
	Ca <sup>2+</sup> <sub>40-80</sub>	902.2	0.8	0.000
	EC <sub>40-80</sub>	-798.5	-0.7	0.000
	مقدار آب مصرفی water used amount	164.3	0.14	0.029
	سن درخت Tree age	-370.2	-0.33	0.000
	Clay <sub>40-80</sub>	577.4	0.52	0.000
	آهن برگ Fe	353.7	0.31	0.000
	مقدار ثابت Constant	751.9		0.158
حومه غربی Western suburbs	Na <sup>+</sup> <sub>0-40</sub>	-53.5	-0.81	0.000
	Silt <sub>40-80</sub>	49.8	0.55	0.004
	سن درخت Tree age	37.5	0.39	0.016
	مقدار ثابت Constant	3163.2		0.451
نوق Noogh	دبی آب Water flow	145.3	0.71	0.000
	Mg <sup>2+</sup> <sub>40-80</sub>	-257.6	-0.96	0.000
	Sand <sub>40-80</sub>	-125.2	-0.84	0.000
	سن درخت Tree age	-108.5	-0.56	0.000
	زمان آبیاری Irrigation time	22.5	0.27	0.004
	P <sub>80-120</sub>	45.7	0.35	0.000

نسبت به سال کم‌بار، ۱۴ درصد فسفر بیشتر از خاک جذب می‌کنند (۱۱). تثبیت فسفر در خاک‌های آهکی، جذب آن توسط ریشه را کاهش می‌دهد. برخی پژوهش‌ها حاکی از این است که تنش شوری می‌تواند باعث افزایش نیاز غذایی گیاه به فسفر شود (۲۶). دور

مدل‌سازی عملکرد پسته با استفاده از نمونه‌های برداشت شده از منطقه انار نشان می‌دهد که غلظت فسفر قابل جذب در عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتری خاک مؤثرترین عامل در افزایش عملکرد محصول این منطقه است. فسفر یک عنصر پر نیاز بوده و درختان پسته در سال پربار



به روش‌هایی مانند کاهش عرض نوار آبیاری (۵۱) و آبیاری یک‌درمیان نوارهای آبیاری (۵۰)، می‌تواند به عنوان یکی از توصیه‌های مدیریتی در دستور کار قرار گیرد.

مدل رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی با استفاده از متغیرهای ورودی دبی و مقدار آب مصرفی، غلظت منیزیم و آهن در برگ، سن درخت و همچنین کلسیم محلول، هدایت الکتریکی عصاره اشباع و درصد رس عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتری، تا ۹۵ درصد تغییرات عملکرد حومه شرقی را توجیه می‌کند (جدول ۲ و ۳). پسته به شرایط خشکی مقاوم است، اما برای حصول عملکرد بهینه، تأمین آب مورد نیاز ضروری است. مؤذن‌پور (۳۲) طی بررسی بیلان آبی باغ‌های پسته‌ی منطقه‌ی کرمان، مقدار آب مصرف شده در هر هکتار (صرف نظر از تلفات آب) را حدود ۸۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ مترمکعب در سال گزارش نمود. محمدی محمدآبادی و همکاران (۳۴) در راستای تعیین نیاز آبی درختان پسته‌ی رفسنجان، تبخیر و تعرق درختان پسته در سال را معادل ۹۴۳۲ مترمکعب در هکتار اعلام کردند. منیزیم اتم مرکزی مولکول کلروفیل بوده و از نقش‌های عمده آن سنتز کلروفیل است. در صورت کمبود این عنصر ساکارز نمی‌تواند وارد آوند آبکشی شود و در نتیجه توزیع کربوهیدرات‌ها مختل می‌شود (۱۱). آهن از عناصر مهم در تولید کلروفیل و در نهایت فتوسنتز می‌باشد. کاهش کلروفیل برگ منجر به کاهش ماده‌ی سازی در گیاه شده و در نهایت محصول کاهش می‌یابد. در همین زمینه مشخص شده در اثر کمبود آهن، پوکی میوه پسته افزایش یافته و تعداد میوه پسته در خوشه کم می‌شود (۳۰). تکین و همکاران<sup>۲</sup> (۵۶) نیز عنوان کردند که آهن بر وزن میوه پسته اثر مثبت دارد. این امر می‌تواند به دلیل نقش مؤثر آهن در تولید کلروفیل باشد. با وجود اینکه در بسیاری از خاک‌های تحت کشت پسته مقدار کل عناصری نظیر آهن به میزان کافی وجود دارد، ولی در عمل اسیدیته بالای ۷/۵ باعث

آبیاری متغیر دیگری است که وارد مدل مذکور شد. گلدهمر<sup>۱</sup> (۱۷) عنوان کرد که حذف آبیاری درختان پسته در طی مراحل مختلف رشد، موجب کاهش کمیت و کیفیت عملکرد می‌شود. صدقاتی و همکاران (۵۲) مشاهده کردند که با افزایش دور آبیاری از ۲۵ به ۴۵ روز، درصد پوکی در تمام تیمارها افزایش می‌یابد. محمدی محمد آبادی و همکاران (۳۴) بیان داشتند که در منطقه کرمان بهترین دور آبیاری برای ماه‌های با تبخیر کم بین ۳۰ تا ۴۵ روز و برای ماه‌های گرم بین ۲۰ تا ۳۵ روز بر اساس بافت خاک می‌تواند متغیر باشد. درصد رس خاک سطحی، با ضریب استاندارد شده‌ی ۰/۳۷ بر عملکرد محصول منطقه انار اثر مثبت دارد. با توجه به اینکه خاک منطقه اغلب دارای بافت سبک از نوع لوم- شنی و شن لومی می‌باشد، احتمالاً افزایش رس باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود. از طرف دیگر، حسینی‌فرد و همکاران (۲۱)، با بررسی کانی‌شناسی خاک‌های منطقه انار گزارش نمودند که کانی غالب این خاک‌ها از نوع ایلیت بوده که ضمن پایداری زیاد و انبساط‌پذیری محدود، دارای پتاسیم بین لایه‌ای می‌باشد. حاجی‌زاد و همکاران (۱۸) نیز رابطه مثبت و معنی‌داری بین پتاسیم غیرتبادلی و ایلیت مشاهده کردند. نقش پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه به اثبات رسیده است. مقدار عملکرد در این منطقه با درصد سیلت عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتری رابطه منفی دارد. ممکن است کانی‌شناسی بخش سیلت، در شناسایی دلیل این امر مؤثر واقع شود. در این مدل رگرسیونی، ضریب استاندارد شده‌ی پتاسیم برگ برابر با ۰/۲۹ می‌باشد. پتاسیم به عنوان یکی از عناصر ضروری و پرمصرف برای گیاه، در فرآیندهای زیستی متعددی از جمله فتوسنتز، فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌ها، باز و بسته شدن روزنه‌ها، تقسیم سلولی و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و شیوع بیماری و آفت نقش دارد (۴۸). بر طبق نتایج مربوط به مدل رگرسیونی منطقه انار، کاهش دور آبیاری

نیاز گیاه می‌شود. سن درختان پسته مورد مطالعه در منطقه نوق نسبتاً بالا است (۱۸ تا ۶۰ سال). درخت پسته در سال‌های نخست محصول قابل توجهی تولید نمی‌کند و حداکثر تولید محصول پسته از سال‌های ۱۰ تا ۱۲ عمر درخت آغاز می‌شود. با افزایش سن درخت به تدریج از توان رشد و تولید محصول آن کاسته می‌شود (۱۴).

جدول ۳ نشان می‌دهد که سدیم محلول خاک سطحی، عامل محدود کننده برای عملکرد در حومه غربی است. با توجه به اینکه نسبت جذب سدیم در ۹۰ درصد نمونه‌های خاک سطحی این بخش، کمتر از ۸ می‌باشد، احتمالاً، تأثیر منفی سدیم به مسمومیت ناشی از آن مربوط می‌شود. جذب و تجمع سدیم در بافت گیاهی می‌تواند منجر به ایجاد سمیت در گیاه شود که علائم ظاهری آن تا حدود زیادی به علائم کمبود پتاسیم شبیه بوده و ممکن است با آن اشتباه گرفته شود (۶). به مرور زمان و با شسته شدن کاتیون‌های دیگر، سدیم می‌تواند سهم بیشتری از جایگاه‌های تبادل کلونیدها را به خود اختصاص داده و در نتیجه با افزایش نسبت جذب سدیم، نفوذپذیری و تهویه خاک دچار مشکل گردد. در واقع، آبخشوی خاک‌های شور و سدیمی به ویژه با آب دارای نسبت جذب سدیمی و کربنات بالا و قابلیت هدایت الکتریکی پایین، باعث ایجاد شرایط سدیمی می‌شود (۴۲) و (۴۷). با اقدامات مدیریتی مناسب و به‌هنگام، می‌توان از ایجاد چنین مشکلاتی جلوگیری کرد.

به طور کلی، پارامترهای مربوط به مقدار آب آبیاری، از مهمترین متغیرهای مؤثر بر عملکرد محصول پسته در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. در میان چهار مدل رگرسیونی برآزش شده، تنها مدلی که هیچکدام از ویژگی‌های آب آبیاری در آن معنی‌دار نشده، مدل مربوط به حومه غربی است. وضعیت عملکرد حومه غربی نسبت به سایر مناطق از وضعیت بهتری برخوردار است به طوری که نزدیک به ۹۰ درصد باغ‌های مورد بررسی در این ناحیه، دارای عملکرد بیشتر از ۱۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشند. مقدار بارندگی کم، تبخیر

تثبیت در خاک و بروز کمبود این عناصر در گیاه می‌شود (۲ و ۳۶). شوری عمق توسعه ریشه، با ضریب استاندارد شده‌ی ۰/۷- محدود کننده‌ترین متغیر برای عملکرد محصول حومه شرقی است. شوری، یکی از مشکلات اساسی مناطق خشک و نیمه خشک است (۱۳). صالحی و حسینی فرد (۴۵) بیان نمودند که شوری خاک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد پسته دارد. حیدری (۲۰) ۷ درصد کاهش در عملکرد نسبی پسته به ازای هر واحد شوری خاک را گزارش نمود. در مقابل، کلسیم محلول عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتری با ضریب ۰/۸، اثر مثبتی در افزایش محصول دارد. با توجه به بالا بودن سدیم محلول در این قسمت، کلسیم باعث کاهش نسبت جذب سدیم می‌شود. به علاوه، کلسیم نقش مهمی در تغذیه پسته دارد (۳۷). بنا بر مواردی که اشاره شد، آبخشوی سنگین زمستانه همراه با کاربرد مواد اصلاح کننده مناسب نظیر گچ و اسیدسولفوریک و مطابق با نظر کارشناس، می‌تواند به عنوان راه کار مدیریتی در این ناحیه توصیه شود.

دبی چاه، ساعت هر نوبت آبیاری در هکتار، غلظت فسفر خاک در عمق ۸۰ تا ۱۲۰ سانتیمتری و واکنش خاک سطحی دارای تأثیر مثبت و غلظت منیزیم و درصد شن خاک در عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتری و سن درختان دارای اثر منفی بر عملکرد محصول بخش نوق می‌باشند (جدول ۳). افزایش منیزیم خاک، علاوه بر ایجاد مسمومیت برای گیاه، باعث تخریب ساختمان خاک نیز می‌شود. در واقع بالا بودن تراکم بار مثبت موجب افزایش شعاع هیدراته یون منیزیم و در نتیجه از هم پاشیدن خاکدانه‌ها می‌شود (۶۱). افزایش منیزیم در خاک، جذب پتاسیم و کلسیم را مختل نموده و کمبود کاذب کلسیم در درخت پسته اتفاق می‌افتد (۴۴). بنا بر این، استفاده از مواد اصلاح کننده که باعث افزایش کلسیم محلول و تبادل می‌شود، تأثیر مثبتی بر عملکرد محصول این باغ‌ها خواهد داشت. افزایش درصد شن موجب کاهش توانایی خاک در نگهداری آب و عناصر غذایی مورد

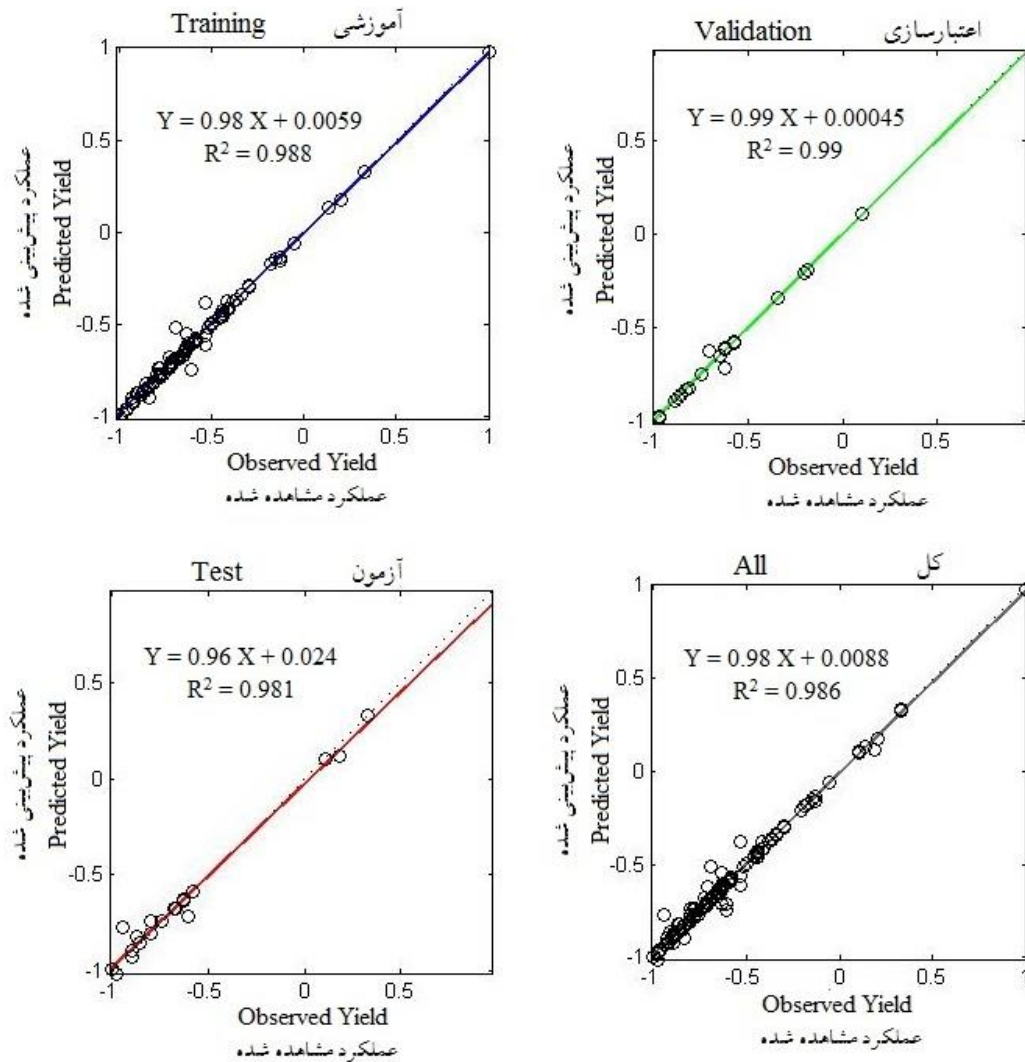
مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی برتری نخواهد داشت اما با کاربرد داده‌های با دقت زیاد، شبکه عصبی مصنوعی مدل‌های دقیق‌تری ارائه می‌کند. آماره دوربین-واتسون به منظور بررسی استقلال نمونه‌های ورودی به مدل استفاده می‌شود و مقدار آن بین صفر تا ۴ متغیر است. اگر بین باقیمانده‌ها همبستگی متوالی وجود نداشته باشد، مقدار این آماره به ۲ نزدیک است. گرایش به صفر حاکی از همبستگی مثبت و گرایش به ۴ نشان‌دهنده همبستگی منفی خواهد بود. در کل، اگر آماره دوربین-واتسون در محدوده ۱/۵ تا ۲/۵ باشد، مدل برازش شده معتبر است (۱۲).

زیاد و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در سالیان اخیر، بیلان آب منطقه را به شدت منفی کرده است. کاهش منابع آب و افزایش دور آبیاری در باغات پسته، می‌تواند درختان را دچار تنش‌های متعدد ناشی از شوک‌های خشکی کند که با خسارات جبران ناپذیری همراه است. روش‌های آبیاری سنتی رایج در منطقه، به دلیل ماهیت ذاتی آن‌ها و همچنین مدیریت نادرست راندمان کمی دارند (۳۵). بنابراین، توسعه روش‌های نوین آبیاری به همراه مدیریت اصولی، قدم مؤثری در افزایش بهره‌وری آب در منطقه محسوب می‌شود.

مدل شبکه عصبی مصنوعی با ۵۰ صفت اندازه-گیری شده به عنوان متغیرهای ورودی و همچنین میزان عملکرد به عنوان متغیر هدف اجرا گردید. معماری شبکه پس از آزمون‌های سعی و خطا، به صورت ۹-نرون در یک لایه پنهان با تابع فعال‌سازی تانژانت-سیگموئید، تابع خطی در لایه خروجی و طی ۴۵ دوره آموزشی<sup>۱</sup>، شکل گرفت. شکل ۲ نمودار مقادیر عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون را نشان می‌دهد. مقادیر بالای ضریب همبستگی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون حاکی از کارایی قابل توجه شبکه طراحی شده در پیش‌بینی میزان عملکرد با استفاده از متغیرهای مورد بررسی در منطقه مطالعاتی می‌باشد. هاسنچک و هنگل<sup>۲</sup> (۲۳) اظهار داشتند که مقادیر جذر میانگین مربعات خطای نسبی تا حدود ۴۰ درصد، نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل است. آماره‌های اعتبارسنجی که در جدول ۲ ارائه شده، بیان‌گر این مهم است که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون چند متغیره‌ی خطی دقت بیشتری در مدل‌سازی عملکرد محصول پسته دارد. به گفته پچپسکی و همکاران<sup>۳</sup> (۴۰) در صورت استفاده از داده‌های ناپایدار، شبکه عصبی

1- Epoch  
2- Husnjak and Hengle  
3- Pachepsky *et al.*

پور محمدعلی و همکاران: پیش‌بینی عملکرد پسته با استفاده از...



شکل (۱) پراکنش مقادیر عملکرد مشاهده‌شده در مقابل عملکرد پیش‌بینی‌شده برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون

Figure (2) The Distribution of observed yield against predicted yield for training, validation and test data

به روش‌های نوین آبیاری و اتخاذ رویکردهای صحیح مدیریتی به منظور افزایش بهره‌وری آب ضروری به نظر می‌رسد. شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون چند متغیره‌ی خطی دقت بیشتری در مدل‌سازی عملکرد محصول پسته داشت. این امر شاهده‌ی بر وجود روابط غیرخطی و پیچیده عملکرد پسته و عوامل مؤثر بر آن و لزوم استفاده از ابزارهای نوین داده‌کاوی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های تکاملی در پیش‌بینی عملکرد می‌باشد. بنابراین تکنیک‌های هوش مصنوعی می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای تدوین برنامه‌های صحیح مدیریتی معرفی شود.

### نتیجه‌گیری

مدل رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی دقت چندانی در پیش‌بینی عملکرد در کل منطقه مورد مطالعه نداشت ولی وقتی که منطقه به چهار بخش جداگانه تقسیم شد، آماره‌های اعتبارسنجی مربوط به مدل رگرسیونی به میزان قابل توجهی بهبود یافت. به عبارت دیگر، همگن‌تر کردن داده‌ها و کاهش منابع تغییرات از پیچیدگی روابط بین متغیرها کاسته و در نتیجه کارایی رگرسیون خطی برای مدل‌سازی این روابط افزایش می‌یابد. مدل‌های خطی برازش شده در این پژوهش، به ویژگی‌های مربوط به آب آبیاری حساسیت زیادی دارند. بنابراین، توجه ویژه

## منابع

1. Adams, M.L., Cook, S.E., Caccetta, P.A. and Pringle, M.J. 1999. Machine learning methods in site-specific management research: An Australian case study. Proceedings of the fourth international conference on precision agriculture, Madison, USA. pp: 1321-1333.
2. Alipour, H., and Hosseinifard, S.J. 2003. Detection and alleviation nutrient deficiency in pistachio. Ministry of Agriculture, Agricultural Research Organization. 53p. (In Persian).
3. Anonymous. 2015. Agricultural Statistics in 2013-2014, Vol. 3: Horticultural crops. Ministry of Agriculture, Deputy of Planning and Economy, ICT Center. 138p. (In Persian).
4. Bagheri, S., Gheysari, M., Ayoubi, Sh. and Lavaee, N. 2012. Silage maize yield prediction using artificial neural networks. Journal of Plant Production, 19(4): 77-95. (in Persian with English abstract).
5. Barrows, H.L. and Elmer, C.S. 1962. An EDTA Method for the Direct Routine Determination of Calcium and Magnesium in Soils and Plant Tissue. Soil Science Society of America Journal, 26(5): 443-445.
6. Beede, R.H., Brown, P., Kallsen, C. and Weinbaum, S.A. 2005. Diagnosing and correcting nutrient deficiencies. In: Ferguson, L. (ed.) Pistachio Production Manual, 4<sup>th</sup> Edition. pp. 147-157.
7. Brye, K.R., Slaton, N.A., Stavin, M.C., Norman, R.J. and Miller, D.M. 2003. Short-term effects of land leveling on soil physical properties and Microbial Biomass. Soil Science Society of America Journal, 67: 1405- 1417.
8. Chapman, H.D. and Pratt, P.F. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. Division of Agricultural Sciences, University of California, Riverside, USA.
9. Chitsazan, M., Rahmani, Gh. and Neyamadpour, A. 2015. Forecasting groundwater level by artificial neural networks as an alternative approach to groundwater modeling. Journal of the Geological Society of India, 85(1): 98-106.
10. Dahiya, I.S., Richter, J. and Malik, R.S. 1984. Soil spatial variability: A review. International Journal of Tropical Agriculture, 11(1): 1-102.
11. Davarynejad, G.H., Azizi, M. and Akheratee, M. 2009. Effect of foliar nutrition on quality, quantity and of alternate bearing of Pistachio (*Pistacia vera* L.). Journal of Horticultural Sciences, 23(2): 1-10. (In Persian with English abstract).
12. Durbin, J. 1969. Tests for serial correlation in regression analysis based on the periodogram of least-squares residuals. Biometrika, 56 (1): 1-15.

13. Eskandari, S., Mozaffari, V., and Tajabadi Pour, A. 2014. Effects of salinity and copper on growth and chemical composition of pistachio seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 37(7): 1063-1079.
14. Ferguson, L., Polito, V. and Kallsen, C. 2005. The pistachio tree; botany and physiology and factors that affect yield. In Ferguson, L. (ed.), *Pistachio Production Manual*, 4<sup>th</sup> Edition. pp: 31-39.
15. Foody, G.M. 2000. Mapping Land Cover from Remotely Sensed Data with a Softened Feedforward Neural Network Classification. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 29: 433-449.
16. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute A. (Ed), *Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI, USA.* pp: 383-411.
17. Goldhamer, D.A. 1987. Effects of substained deficit irrigation on pistachio tree performance. *California Pistachio Industry. Annual Report-Crop year.* pp: 61-66.
18. Hajizad, Sh., Samadi, A., Movahedi Naeini, S.A.R. and Khormali, F. 2010. Quantity-intensity parameters and forms of potassium in relation to clay mineralogy in some vineyard growing calcareous soils in Western Azarbaijan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 17(3): 65-83. (in Persian with English abstract)
19. Hasheminasab, H. and Assad, M.T. 2015. A predictive model for breeding of pistachio yield stability under water stress condition. *Biological Forum*, 7(1): 212-217.
20. Heydari, M. 2006. Identification of dominant soils and the effect of their properties on leaf concentration, quantity and quality of pistachio in Anar region, Rafsanjan. MSc. Thesis, Soil Science Department, Agricultural College, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran. (In Persian with English abstract).
21. Hosseini-fard, S.J, Khademi, H., and Kalbasi, M. 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistacia vera* L.) trees in Rafsanjan, Iran. *Geoderma*. 155: 289-297.
22. Hosseini-fard, S.J., Salehi, M.H., Esfandiarpour, I. and Mohammadi, J. 2008. Spatial variability of groundwater quality and its relationship with pistachio yield in Anar region, Iran. *Journal of Applied Sciences*, 8 (20): 3697-3702.
23. Husnjak, S. and Hengle, T. 2006. Evaluation adequacy and usability of soil maps in Croatia. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 920-929.
24. Kaul, M., Hill, R.L. and Walthall, C. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems*, 85: 1-18.
25. Khakural, B.R., Robert, P.C., and Huggins, D.R. 1999. Variability of corn/soybean yield and soil/landscape properties across a southwestern Minnesota landscape. In *Proceedings of the fourth international conference on precision agriculture*, pp: 573-579.

26. Khoshgoftarmanesh, A.H. and Siadat, H. 2002. Mineral Nutrition of vegetables and horticultural crops in saline conditions. Ministry of Agriculture, Deputy of Horticulture, Iran. 87p. (In Persian)
27. Knudsen, D., Peterson, G.A. and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. In: Page, A.L. Miller R.H. and Keeny D.R. (eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, WI, USA. pp: 225-246.
28. Kravchenko, A.N., and Bullock, D.G. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal*, 92(1): 75–83.
29. Landeras, G., Ortiz-Barredo, A. and López, J.J. 2009. Forecasting weekly evapotranspiration with ARIMA and artificial neural network models. *Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 135: 323-334.
30. Malakouti, M.J., Tabatabaei, S.J., 1999. Proper nutrition of fruit trees for improving the yield and quality of horticultural crops in Iran. Agricultural education publications. Karaj, Iran. 266 p. (In Persian)
31. Miao, Y., Mulla, D.J. and Rober, P.C. 2006. Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks. *Precision Agriculture*, 7: 117–135.
32. Moazenpour, M. 1994. Evaluation of drought resistance of pistachio trees and determining the irrigation depth and interval. The report of Pistachio Research Institute of Iran, pp: 233-240. (In Persian).
33. Mohajer, R., Salehi, M., and Beigi Herchegani, H. 2009. Estimating Soil cation exchange capacity (in View of Pedotransfer Functions) Using Regression and Artificial Neural Networks and the Effect of Data Partitioning on Accuracy and Precision of Functions. *Water and Soil Science*, 13(49): 83-97. (in Persian with English abstract)
34. Mohammadi Mohammadabadi, A., Salehi, F. and Nekouie, M. 2004. Determining reference crop potential evapotranspiration ETo (Grass). The final report of Pistachio Research Institute of Iran. 21p. (In Persian)
35. Mohammadi Mohammadabadi, A. and Sedaghati, N. 2010. Water. In: Mehrnejad, M.R. and Javanshah, A. (eds.), The strategic framework for developing and promoting pistachio research in Iran. Pistachio Research Institute of Iran, Jomhour publication. pp: 71-110. (In Persian)
36. Mohsenian, Y., Roosta, H.R., Karimi, H.R. and Esmailizade, M. 2012. Investigation of the ameliorating effects of eggplant, datura, orange nightshade, local Iranian tobacco, and field tomato as rootstocks on alkali stress in tomato plants. *Photosynthetica*, 50(3):411-421.
37. Mozaffari, V. 2005. The role of potassium, calcium and zinc in controlling Pistachio dieback. PhD. Thesis, Soil Science Department, Agricultural College, Tarbiat Modarres University. Tehran, Iran. (in Persian).

38. Norouzi, M., Ayoubi, S., Jalalian, A., Khademi, H. and Dehghani, A.A. 2010. Predicting rainfed wheat quality and quantity by artificial neural network using terrain and soil characteristics. *Acta Agric Scandinavica, Section B-Plant and Soil Sciences*, 60: 341-352.
39. Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982. phosphorus. In: Page A.L. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed.* Argon. Mongr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA. pp. 403-430.
40. Pachepsky, Y., Timlin, D.J. and Varallyay, G. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Science Society of America Journal*, 60(3): 727-733.
41. Papageorgiou, E.I., Markinos, A. and Gemptos, T. 2009. Application of fuzzy cognitive maps for cotton yield management in precision farming. *Expert Systems with Applications*, 36: 12399-12413.
42. Qadir, M., Steffens, D., Yan, F. and Schubert, S. 2003. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation and Development*, 14: 301-307.
43. Sajadi, M., Zeinedini, A. and Mahmudi, Sh. 2012. Quality impacts of irrigation on soil properties and yield of pistachio in plain Robat Shahrabak. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 7:36-45. (In Persian with English abstract)
44. Sajadian, H., Hokmabadi, H. 2011. Investigation on Effects of Calcium Nitrate, Calcium Sulfate (soil application) and Calcium chelate as Foliar spray on Endocarp Lesion Disorder and Some Qualitative Characteristics of pistachio nut Cv. Akbari. *International Journal of Nuts and Related Sciences*, 2(3): 23-28.
45. Salehi, M.H. and Hosseinifard, S.J. 2012. Soil and groundwater relationships with pistachio yield in the Rafsanjan area, Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43: 660-671.
46. Salehi, M.H., Hosseinifard, S.J., Heydari, M. 2010. The effect of soil and leaf nutrients on pistachio yield in the Rafsanjan area, Iran. *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, 94: 79 -84.
47. Sanden B., Fulton, A. and Ferguson, L. 2005. Managing salinity, soil and water amendments. In: Ferguson, L. (ed.) *Pistachio Production Manual*, 4th Edition. pp. 129-146.
48. Sarcheshmepour, M. and Malakouti, M.J. 2005. Necessity for potassium fertilization in pistachio (higher yield with better quality). *Technical Bulletin No. 442. Soil and Water Research Institute, Sana Publications*. 17p. (In Persian)
49. Schultz, A., Wieland, R., and Lutze, G. 2000. Neural networks in agroecological modeling-stylish application or helpful tool?. *Computers and Electronics in Agriculture*, 29, 73-97.



50. Sedaghati, N., Hosseinifard, S.J., Hokmabadi, H. and Mohammadi Mohammadabadi, A. 2012. Study the possibility of alternate irrigation borders in order to reducing irrigation intervals in pistachio orchards. The final report of Pistachio Research Institute of Iran. 22p. (In Persian)
51. Sedaghati, N., Hosseinifard, S.J. and Mohammadi Mohammadabadi, A. 2009a. The study of possibility to decrease of irrigation borders width in mature pistachio (*Pistacia vera* L.) orchards. *Pajouhesh And Sazandegi*, 21: 153-162. (in Persian with English abstract)
52. Sedaghati, N., Mohammadi Mohammadabadi, A. and Hosseinifard, S.J. 2009b. The effect of irrigation regimes on occurrence of early split of pistachio (*Pistacia vera* L.) CV. ohadi. *Pajouhesh and Sazandegi*, 21(78): 149-158. (in Persian with English abstract)
53. Seybold, C.A., Grossman, R.B. and Reinsch, T.G. 2005. Predicting Cation Exchange Capacity for Soil Survey Using Linear Models. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 856-86.
54. Shabani, A., Haghnia, Gh., Karimi, A. and Ahmadi, M.M. 2011. Wheat yield prediction using artificial neural networks in Sisab Region, Northeastern Iran. 12<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress, Tabriz, Iran. (In Persian)
55. Soares, J.D.R., Pasqual, M., Lacerda, W.S., Silva, S.O. and Donato, S.L.R. 2013. Utilization of artificial neural networks in the prediction of the bunches' weight in banana plants. *Scientia Horticulturae*, 155: 24-29.
56. Tekin, H., Guzel, N. and Ibricki, H. 1995. Influence of manure and inorganic fertilizer on yield and quality of pistachio. *Journal of Plant Nutrition*, 18(6): 1263-1272.
57. Wilding, L.P. and Dress, L.R. 1983. Spatial variability and pedology. In Wilding, L.P., Smeckand, N.E. and Hall G.F. (eds.), *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*. Elsevier Science Pub. pp. 83-116.
58. Yu, H., Liu, D., Chen, G., Wan, B., Wang, Sh. and Yang, B. 2010. A neural network ensemble method for precision fertilization modeling. *Mathematical and Computer Modelling*, 51:1375-1382.
59. Zeinadini, M., Shirani, H., Mozafari, V. and Esfandiarpour, I. 2013. Variability of soil electrical conductivity and sodium adsorption ratio and their impact on growth Pistachio. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(6): 165-181. (In Persian with English abstract)
60. Zeng, D.Q., Brown, P.H. and Holtz, B.A. 2001. Potassium fertilization affects soil K, leaf K concentration, and nut yield and quality of mature pistachio trees. *Horticultural Science*, 36(1):85-89.
61. Zhang, X.C. and Norton, L.D. 2002. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. *Journal of Hydrology*, 260: 194-205.