

بررسی روابط بین عملکرد گل محمدی و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با روش‌های رگرسیون چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌سازی روابط ساختاری

مرتضی بهمنی^{۱*}، جهانگرد محمدی^۲، عیسی اسفندیارپور بروجنی^۳، حمیدرضا متقیان^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷)

چکیده

با توجه به ارتباط بین عملکرد محصول و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی زمین، شناخت و آگاهی از ویژگی‌ها برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی، ضروری است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و تعیین رابطه بین عملکرد گل محمدی و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی زمین با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی و روش مدل‌سازی معادلات ساختاری در شهرستان بردسیر، استان کرمان اجرا گردید. برای این منظور، نمونه‌برداری از خاک و عملکرد محصول، در قالب یک الگوی شبکه‌ای منظم صورت گرفت. همچنین، با تهیه مدل رقومی ارتفاع منطقه، برخی ویژگی‌های توپوگرافی زمین محاسبه گردید و برای اجرای مدل روابط ساختاری، سه مدل نظری طراحی و مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب، ۶۸ و ۸۷ درصد از تغییرپذیری عملکرد را توجیه می‌کنند که نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی چندمتغیره در تخمین عملکرد می‌باشد. نتایج مدل‌سازی معادلات ساختاری نشان داد که کنترل عملکرد گل محمدی در این منطقه، بیشتر در اختیار ویژگی‌های شیمیایی خاک، سپس ویژگی‌های توپوگرافی زمین و ویژگی‌های فیزیکی خاک قرار دارد. سناریوهای مختلف برای انجام مدل‌سازی معادلات ساختاری نشان داد که هر چقدر مدل طراحی شده ساده‌تر و دارای سازه‌های پنهان کمتری باشد، می‌تواند برازش مطلوب‌تری داشته باشد. بنابراین، اولین مدل مفهومی این روش با دارا بودن مقادیر جذر میانگین مربعات خطا، شاخص نیکویی برازش و شاخص تطبیقی به ترتیب ۰/۰۳۳، ۰/۸۸ و ۰/۹۴، به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. نتایج کلی نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی به دلیل لحاظ کردن روابط غیرخطی بین عملکرد و عوامل تأثیرگذار بر آن، کارایی بهتری نسبت به رگرسیون چندمتغیره در تخمین عملکرد داشت. علاوه بر توانایی مدل شبکه عصبی در برآورد عملکرد محصول، مدل‌سازی روابط ساختاری نشان داد که روش اخیر نیز می‌تواند توضیحات بیشتری در مورد روابط و تعامل‌های همزمان بین متغیرها ارائه کند. به‌طور کلی، کاربرد روش مدل‌سازی روابط ساختاری، با تکیه بر توانایی‌های این روش می‌تواند زمینه ارتقای عملکرد محصولات مختلف را فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: بردسیر کرمان، شاخص برازش تطبیقی، شاخص نیکویی برازش، کشاورزی پایدار، مدل رقومی ارتفاع

بهمنی م، محمدی ج، اسفندیارپور بروجنی ع، متقیان ح. ۱۳۹۹. بررسی روابط بین عملکرد گل محمدی و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با روش‌های رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌سازی روابط ساختاری. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸. شماره ۲. صفحه: ۱۴۲-۱۵۷.

۱- دانش‌آموخته دکتری تخصصی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* پست الکترونیک: Bahmanimorteza@yahoo.com

مقدمه

کشاورزی پایدار، فعالیتی علمی و مبتنی بر اصول اکولوژیک است که هدف اصلی آن ایجاد حالت تعادل و رسیدن به پایداری در تولید می‌باشد. همچنین مهم‌ترین مسئله برای کشاورزان یک منطقه، کسب درآمد و نیل به حداکثر محصول است. این موضوع، نیازمند درک کامل روابط بین مقدار عملکرد با ویژگی‌های اراضی می‌باشد. در نتیجه، به نظر می‌رسد که برآورد عملکرد محصول به‌عنوان یک ویژگی دیرپافت از روی ویژگی‌های زودپافت (مانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) از اهمیت فراوانی برخوردار باشد. در سال‌های اخیر، رشد علم و فناوری رایانه‌ای و نرم‌افزاری، سبب به‌کارگیری مدل‌های پیشرفته به‌عنوان ابزار قوی در مدیریت بخش کشاورزی شده است. در واقع مدل، شکل ساده‌شده‌ای از واقعیت است که بعد از ایجاد آن، می‌توان بدون اندازه‌گیری و آزمایش، رفتار یک پدیده را پیش‌بینی نمود. استفاده اصلی از مدل و مدل‌سازی در مطالعات ارزیابی اراضی، پیش‌بینی مقدار محصول است (Ayoubi & Jalalian, 2010).

انواع مختلفی از مدل‌های پیش‌بینی عملکرد وجود دارند که یکی از رایج‌ترین و درعین‌حال ساده‌ترین آن‌ها مدل‌های رگرسیونی است که با استفاده از ویژگی‌های اراضی، تخمین تولید محصول از طریق آن‌ها میسر می‌گردد. در مدل‌های رگرسیونی، تنها ورودی‌ها و خروجی‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. به‌عبارت دیگر، این‌گونه مدل‌ها بدون اینکه روابط ریاضی بین متغیرهای ورودی و خروجی را مورد توجه قرار دهند، تنها مقدار خروجی را برآورد می‌کنند که این موضوع، امکان تفسیر و بررسی میزان تأثیر هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی را برای کاربر مشکل می‌سازد (Goudarzinejad, 2001). شوکلا و همکاران (Shukla et al., 2004) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، عملکرد دانه و ماده خشک ذرت را پیش‌بینی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل‌ها، بیش از ۷۸ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کنند. ایوبی و همکاران (Ayoubi et al., 2009) رابطه بین عملکرد دانه جو را با ویژگی‌های خاک از طریق به‌کارگیری رگرسیون چندمتغیره و تجزیه عاملی بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که روابط رگرسیونی می‌توانند به‌ترتیب ۷۸ و

۷۳ درصد از واریانس کل در زیست‌توده و عملکرد دانه را توجیه کنند. یکی دیگر از روش‌های متداول برای پیش‌بینی تولید محصول، شبکه عصبی مصنوعی (Artificial neural network; ANN) می‌باشد. این شبکه‌ها الهام‌گرفته از عملکرد و نحوه کار شبکه‌های عصبی بیولوژیکی هستند. مدل‌های ANN از یکسری لایه‌هایی به نام نرون تشکیل شده‌اند که به‌صورت موازی با هم عمل می‌کنند. هر لایه ورودی به یک یا تعداد بیشتری لایه میانی مرتبط است و لایه‌های میانی نیز به لایه خروجی (پاسخ نهایی شبکه) مرتبط هستند (Menhuj, 2003). ANN بیانگر یک سامانه غیرخطی است که بدون داشتن اطلاعات کامل از نحوه ارتباط پارامترها و قوانین حاکم بین آن‌ها سامانه‌های مختلف را شبیه‌سازی می‌کند. استفاده از این سامانه غیرخطی می‌تواند بسیاری از مشکلات روش‌های سنتی را مرتفع سازد و مطابق با شرایط فعلی و شرایط حاکم بر سامانه و به کمک داده‌های واقعی، آموزش دیده و برای کاربردهای بعدی تعمیم داده شود.

نوروزی و همکاران (Norouzi et al., 2010) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی غرب ایران استفاده نمودند. آن‌ها بیان داشتند که شاخص انتقال رسوب، مهم‌ترین عامل توپوگرافیکی مؤثر بر میزان عملکرد این گیاه بوده است و میزان پروتئین موجود در دانه‌ها تحت تأثیر میزان نیتروژن کل خاک می‌باشد. به‌طورکلی، نتایج ایشان نشان داد که مدل ANN می‌تواند ۸۹ تا ۹۵ درصد تغییرات در بیوماس گندم، عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه را شبیه‌سازی کند. میا و همکاران (Miao et al., 2006) شبکه عصبی مصنوعی را برای ارزیابی تأثیر فاکتورهای خاک، زمین‌نما و گیاه بر عملکرد و کیفیت دانه ذرت به‌کار بردند. این پژوهشگران، ۷ تا ۱۳ فاکتور مهم را شناسایی کردند که ۶۱ تا ۹۹ درصد تغییرات عملکرد را توجیه می‌نمودند.

مدل‌سازی روابط ساختاری (Structural equation modeling; SEM) یک راه‌کار تحلیل چندمتغیره از خانواده رگرسیون است که به پژوهش‌گر امکان می‌دهد مجموعه‌ای از روابط رگرسیونی را به‌صورت هم‌زمان مورد آزمون قرار دهد و به بررسی هم‌زمان روابط بین متغیرهای مختلف بپردازد (Hoyle, 2012). اهمیت این

تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در راستای شناسایی عوامل مؤثر بر میزان عملکرد این گل صورت نگرفته است. لذا مطالعه حاضر به منظور بررسی روابط بین ویژگی‌های خاک و پستی‌وبلندی با عملکرد گل محمدی، مدل‌سازی عملکرد با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی و روابط ساختاری و مقایسه کارایی این مدل‌ها در برآورد تولید گل محمدی در منطقه گلزار انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مزرعه گل محمدی مورد مطالعه در این پژوهش، در منطقه گلزار شهرستان بردسیر، واقع در ۷۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان قرار دارد. این مزرعه با وسعت ۱۸ هکتار در محدوده جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه و ۴۹ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲ ثانیه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۱۳ دقیقه و ۵۷ ثانیه تا ۵۷ درجه و ۱۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع منطقه نسبت به سطح دریا حدود ۲۶۲۰ متر می‌باشد. میانگین بارندگی و متوسط دمای سالیانه در این منطقه به ترتیب، ۲۰۰ میلی‌متر و ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد. رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه به ترتیب زیریک و مزیک هستند. مواد مادری منطقه مورد مطالعه از رسوبات نئوژن و کواترن همراه با سنگ‌های آتشفشانی ائوسن تشکیل شده است (Khoddami et al., 2011).

مطالعات میدانی و آزمایشگاهی

در ابتدا به کمک نرم‌افزار Map source موقعیت ۱۰۰ نقطه نمونه‌برداری در قالب یک الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم با فاصله تقریبی ۵۰ متر طراحی شد و سپس با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (Global positioning system; GPS)، تمامی این نقاط در سطح مزرعه مکان‌یابی شدند (شکل ۱). سپس، از دو عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ سانتی‌متری هر نقطه مشاهداتی، با استفاده از مته، نمونه‌برداری خاک صورت گرفت. پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری خاک در مزرعه، در محل همان نقاط، عملکرد گل محمدی به دست آمد. به منظور به دست آوردن عملکرد گل محمدی هر روز گل‌های

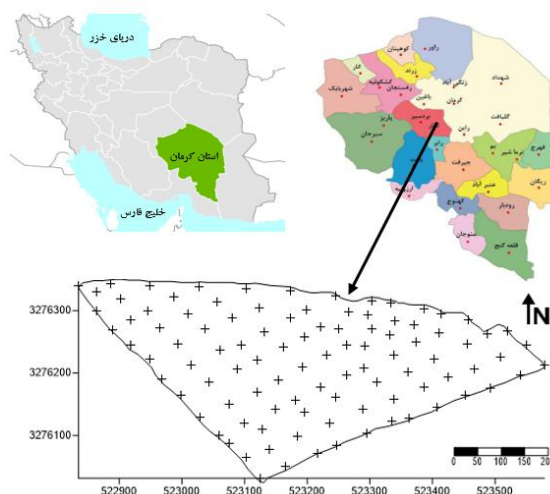
راه‌کارها در پژوهش‌های گوناگون، آن است که پژوهشگران قادر خواهند بود به بررسی روابط بین متغیرهای مختلف در قالب مدل یا شبکه‌ای از روابط پردازند. بنابراین پژوهشگران می‌توانند شمای کلی فرضیه‌های خود در مورد روابط بین متغیرها را در قالب مدلی از پیش‌ساخته طراحی نمایند (Dion, 2008). امروزه پژوهشگران علوم مختلف (از علوم انسانی و سلامت گرفته تا علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، SEM را به عنوان یک راهکار مناسب برای آزمون روابط پیچیده بین متغیرهای طبیعی و نیز غلبه بر محدودیت‌های مربوط به روش‌های تحلیلی سنتی برگزیده‌اند. بررسی‌ها گویای آشنایی بسیار کم خاک‌شناسان با کاربرد این راه‌کار در پژوهش‌های خود است؛ بنابراین، آشنایی بیشتر پژوهشگران با این روش و کاربرد آن در زمینه‌های مختلف مرتبط با علوم خاک، ضروری به نظر می‌رسد. برای آگاهی بیشتر از مبانی و نحوه به‌کارگیری روش SEM، مطالعه منابعی نظیر محمدی (Mohammadi, 2018) و استیج و همکاران (Stage et al., 2004) توصیه می‌گردد.

مارکوس و همکاران (Marcus et al., 2017) از مدل‌سازی روابط ساختاری برای بررسی روابط درونی بین چرخه فسفر و ویژگی‌های خاک استفاده کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که مدل‌های مفهومی آن‌ها با فرضیه وابستگی بین ذخیره فسفر و مواد آلی و ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک مطابقت داشت. هانگ فن و همکاران (Hongfen et al., 2016) نیز به بررسی روابط بین ویژگی‌های شیمیایی خاک و ویژگی‌های توپوگرافی با عناصر کم‌مصرف قابل‌استفاده خاک با استفاده از روش مدل‌سازی روابط ساختاری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ویژگی‌های شیمیایی خاک دارای اثرات مستقیم بر روی تمام عناصر کم-مصرف خاک می‌باشند، اما ویژگی‌های توپوگرافی دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی عناصر مزبور هستند.

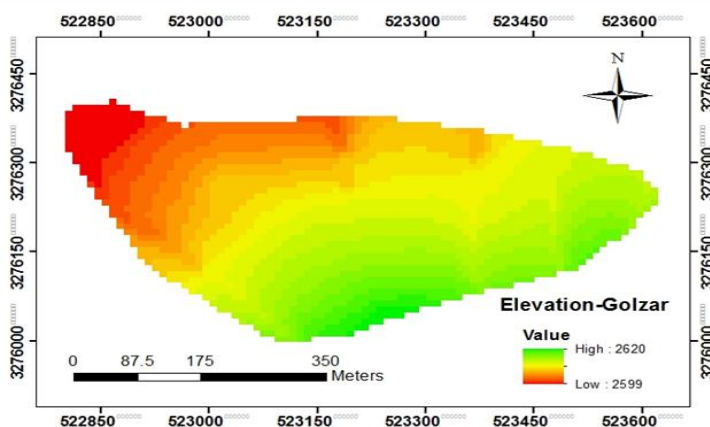
کشاورزان منطقه گلزار شهرستان بردسیر، از توابع استان کرمان، سالیان سال است که به کشت گل محمدی در این منطقه می‌پردازند و یکی از مهم‌ترین منابع درآمد مردمان این منطقه، تولید این گل می‌باشد. با توجه به اهمیت بالای کشتزارهای گل محمدی در منطقه مزبور،

و آهن) با استفاده از DTPA (Lindsay & Norvell, 1978)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم یک نرمال (Page *et al.*, 1982)، کربنات کلسیم معادل (CCE) توسط روش برنارد (Page *et al.*, 1982)، واکنش خاک (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به ترتیب در سوسپانسیون ۱:۲ آب به خاک و عصاره با استفاده از دستگاه‌های pH متر و EC متر (Mclean, 1982) اندازه‌گیری شدند. سپس نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه گردید و با تهیه مدل رقومی ارتفاع منطقه، برخی ویژگی‌های پستی و بلندی مانند ارتفاع از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب، انحنای سطحی و انحنای عمودی با استفاده از این مدل تعیین شد.

بازشده را توزین و در نهایت با یکدیگر جمع و عملکرد گل محاسبه شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌های برداشت‌شده و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متری، تجزیه‌های آزمایشگاهی لازم بر روی آن‌ها انجام گرفت. برای این منظور، درصد حجمی ذرات درشت آن‌ها با استفاده از الک و به روش حجمی (Gee & Bauder, 1986)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، نیتروژن کل خاک با روش کج‌دال (Bremner, 1982)، مواد آلی با روش اکسایش تر (Nelson & Sommers, 1982)، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال (Al-Kanani *et al.*, 1994)، فسفر قابل دسترس با استفاده از روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982)، عناصر کم‌مصرف (مس، منگنز، روی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی توزیع نقاط نمونه‌برداری
Figure 1. Location of the study area and distribution pattern of the sampling points



شکل ۲- مدل رقومی ارتفاع در منطقه مورد مطالعه
Figure 2. Location of the study area and distribution pattern of the sampling points

مدل‌سازی رگرسیونی

هدف کلی از مدل‌سازی رگرسیون خطی چندمتغیره (Multiple Linear Regression, MLR)، پیدا کردن رابطه بین چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته است. برای این منظور از نرم‌افزار Statistica 10.0 استفاده گردید. برای تعیین صحت و اعتبار مدل‌ها از آماره‌های ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده استفاده می‌شود.

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش از ساختار شبکه پیش‌خور پس‌انتشار برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی عملکرد در نرم افزار NeuralWorks Professional II/PLUS استفاده گردید. معمول‌ترین شبکه در مسائل مهندسی و در رابطه با مسائل غیرخطی شبکه پرسپترون چند لایه با قاعده یادگیری پس‌انتشار است. مدل‌های ANN به‌منظور طراحی، نیازمند حداقل دو دسته داده آموزشی (Training data) و آزمون (Testing data) می‌باشند. از داده‌های آموزشی به‌منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای استفاده می‌گردد. داده‌های آزمون نیز برای ارزیابی عملکرد شبکه پیشنهادی کاربرد دارند. در این پژوهش، به ترتیب ۸۰ و ۲۰ درصد کل داده‌ها برای آموزش و آزمون مدل اختصاص یافت. در نهایت برای انجام آنالیز حساسیت مدل از روش Statsoft (2004) استفاده شد. بر اساس این روش اگر مقدار ضریب حساسیت یک متغیر بیشتر از یک باشد، آن متغیر سهم زیادی در توضیح تغییرپذیری عملکرد دارد و هرچه این عدد بزرگتر باشد متغیر مؤثرتر است (Miao et al., 2006).

مدل‌سازی روابط ساختاری

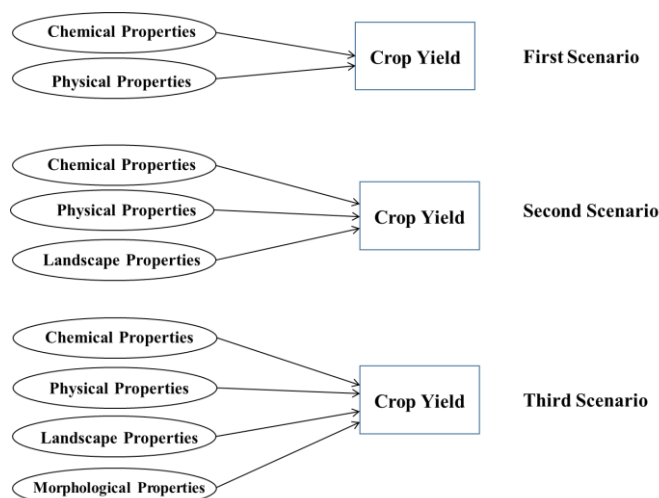
پیش از انجام این مدل‌سازی، در ابتدا به‌منظور کاهش تعداد متغیرهای ورودی به مدل روابط ساختاری و جلوگیری از روابط بسیار پیچیده و همبستگی‌های متغیرها با یکدیگر از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. انجام آنالیزهای آماری مربوط به این روش با استفاده از نرم‌افزار آماری MiniTab انجام شد. بر اساس این روش، مؤلفه‌های اصلی (PC) با ارزش ویژه بزرگتر از یک برای کاهش ابعاد داده‌ها مورد بررسی

قرار می‌گیرند. سپس درون هر مؤلفه اصلی، شاخص‌هایی که دارای بالاترین سهم باشند شناسایی و انتخاب می‌شوند (Govaerts et al., 2006). برای رسیدن به این هدف، ابتدا متغیرهای مشاهده شده در قالب دو دسته ویژگی‌های شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی (خاک و توپوگرافی) قرار گرفتند. سپس آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای هر دسته انجام شد و کاهش تعداد متغیرها صورت گرفت (نتایج این قسمت آورده نشده است). در نهایت خروجی روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تعدادی متغیر غیروابسته بود که بخش قابل‌توجهی از واریانس داده‌ها را تشکیل می‌داد. همان‌طور که گفته شد، اولین گام برای ارزیابی روابط و پیش‌بینی عملکرد محصول براساس روش SEM، توسعه فرضیه‌های پژوهشگران به‌صورت یک مدل مفهومی می‌باشد. برای بررسی روابط بین عملکرد و سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، سه رویکرد در قالب سه مدل مفهومی طراحی شد. در رویکرد اول، روابط بین ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با عملکرد محصول در قالب دو ساختار پنهان شامل ویژگی‌های فیزیکی (خاک و توپوگرافی) و ویژگی‌های شیمیایی خاک بررسی گردید (شکل ۳). در رویکرد دوم با جدا کردن ویژگی‌های توپوگرافی، مدل مفهومی دارای سه ساختار پنهان شامل ویژگی‌های شیمیایی خاک، ویژگی‌های فیزیکی خاک و ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک بود. در نهایت در رویکرد سوم با اضافه کردن ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه به مرحله قبل از آن، مدل مفهومی دارای چهار ساختار پنهان بود که شامل ویژگی‌های شیمیایی خاک، ویژگی‌های فیزیکی خاک، توپوگرافی و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه می‌باشند و ارزیابی روابط بین عملکرد محصول با چهار ساختار پنهان بررسی گردید. در نهایت مقایسه مدل‌های مفهومی فوق با استفاده از شاخص‌های آماری RMSEA، شاخص برازش تطبیقی (CFI) و شاخص نیکویی برازش (GFI) صورت گرفت.

$$RMSEA = \frac{\sqrt{(X^2 - df)}}{\sqrt{[df(N - 1)]}} \quad (1)$$

$$CFI = 1 - \frac{\max(X_{model}^2 - df_{model} \cdot 0)}{\max(X_{null}^2 - X_{model}^2 - df_{model} \cdot 0)} \quad (2)$$

$$GFI = 1 - \frac{F(S, \Sigma(\theta))}{F(S, \Sigma(\cdot))} \quad (3)$$



شکل ۳- دیاگرام مدل‌های مفهومی معادلات ساختاری مورد استفاده در پژوهش حاضر
Figure 3. Diagram of Conceptual models of structural equations used in this study

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

خلاصه آماری ویژگی‌های گل محمدی، خاک و توپوگرافی در جدول ۱ آورده شده است. محمدی (Mohammadi, 2007) بیان نمود تمامی ویژگی‌هایی که دارای ضریب چولگی بین ۱- تا ۱ باشند، از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. بنابراین براساس ضریب چولگی به‌دست‌آمده، تمام ویژگی‌های گل محمدی، از توزیع نرمال برخوردار می‌باشند. بیشترین و کمترین ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک به ترتیب مربوط به قابلیت هدایت الکتریکی و pH با ضریب تغییرات ۴۶/۰۹ و ۳/۳۵ درصد در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متر و نیتروژن کل و pH با ضریب تغییرات ۵۶/۲۸ و ۲/۳۹ درصد در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. لوپزگرانادوز و همکاران (Lopez-Granados *et al.*, 2002) و کاکس و همکاران (Cox *et al.*, 2006) نیز در مورد pH، کمترین ضریب تغییرات را در بین ویژگی‌های خاک به‌دست آورده‌اند. با توجه به نتایج این جدول تمام ویژگی‌ها توپوگرافی به‌جز انحنای عمودی، دارای توزیع نرمال هستند. نتایج این جدول نشان‌دهنده تفاوت‌های پستی و بلندی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

بررسی رابطه بین ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با عملکرد گل محمدی توسط مدل رگرسیون خطی چند متغیره

رابطه به‌دست آمده برای این منظور در جدول ۲ ارائه شده است. مدل به‌دست آمده نشان می‌دهد که در عمق اول ویژگی‌های نیتروژن کل، درصد سیلت و ماده آلی و در عمق دوم درصد ذرات درشت خاک مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر عملکرد گل محمدی هستند. باین وجود، مشاهده می‌شود که در این مدل، هیچ‌یک از پارامترهای پستی و بلندی زمین مؤثر تشخیص داده نشده‌اند. پورمحمدعلی و همکاران (Pour-Mohammadi *et al.*, 2018) برای مدل‌سازی عملکرد پسته از روش MLR استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رگرسیون خطی چندمتغیره تنها ۱۸/۹ درصد تغییرات عملکرد را توجیه می‌نماید. اما وقتی که باغ‌های مورد بررسی از نظر مقدار عملکرد به سه دسته تقسیم شد، کارایی مدل رگرسیون خطی بهبود یافت؛ به-طوری که دقت مدل برای باغ‌های با عملکرد کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۶۲/۷، ۳۰/۵ و ۵۰/۲ درصد شد. بابایی و همکاران (Babaei *et al.*, 2016) با به‌کارگیری روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی، مدلی برای بیان رابطه عملکرد دانه گندم دیتم و ویژگی‌های خاک ارائه کردند (n=۴۰ و R²=۰/۶). سیلت و کربنات کلسیم معادل، مؤثرترین عوامل بر عملکرد گندم دیتم و ضرایب استاندارد شده آن‌ها در مدل برآوردکننده به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۲۴- بود. این پژوهشگران بیان کردند که برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل میزان سیلت، کربنات کلسیم معادل و پتاسیم به ترتیب اولویت، تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه گندم دیتم دارند.

جدول ۱- خلاصه آماری ویژگی‌های گل، خاک و توپوگرافی (n=100)

Table 1. Statistical Summary of Rose, Soil and topographic Characteristics (n= 100)

| | Variable | Unit | Min | Max | Average | Coefficient of variation (%) | Skewness |
|----------------------|------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|------------------------------|----------|
| Crop Properties | Rose Yield | gr | 690 | 1120 | 824.85 | 12.2 | 0.85 |
| | Height | Cm | 51 | 110 | 75.63 | 19.5 | 0.35 |
| | Diameter | Cm | 73 | 142 | 106.1 | 14.5 | 0.50 |
| Depth 0-25 | Gravel | % | 12 | 47 | 29.93 | 24.09 | -0.2 |
| | Clay | % | 12 | 28 | 19.31 | 17.18 | 0.47 |
| | Silt | % | 8 | 30 | 18.64 | 24.25 | 0.3 |
| | Sand | % | 45 | 74 | 61.29 | 10.24 | -0.25 |
| | Organic matter | % | 0.53 | 4.28 | 2.25 | 39.55 | 0.16 |
| | Calcium carbonate equivalent | % | 4 | 12 | 8.04 | 21.21 | -0.28 |
| | Cation Exchange Capacity | cmol+ kg ⁻¹ | 5.2 | 16 | 9.96 | 23.98 | 0.39 |
| | Total N | mg kg ⁻¹ | 0.46 | 1.53 | 0.98 | 27.55 | 0.34 |
| | Available K | mg kg ⁻¹ | 245 | 342 | 293.8 | 7.33 | -0.18 |
| | Available P | mg kg ⁻¹ | 4.5 | 13.1 | 9.18 | 23.01 | -0.41 |
| | Available Cu | mg kg ⁻¹ | 0.7 | 1.5 | 1.03 | 17.51 | 0.57 |
| | Available Mn | mg kg ⁻¹ | 3.5 | 9.8 | 6.86 | 23.92 | 0.03 |
| | Available Zn | mg kg ⁻¹ | 0.9 | 2.3 | 1.61 | 20.45 | 0.16 |
| | Available Fe | mg kg ⁻¹ | 4.1 | 6.9 | 5.53 | 11.89 | -0.02 |
| | pH | - | 7.1 | 8.1 | 7.66 | 3.35 | -0.31 |
| EC | dS m ⁻¹ | 0.38 | 4.3 | 1.7 | 46.09 | 1.06 | |
| Depth 25-50 | Gravel | % | 16 | 63 | 38.87 | 25.99 | 0.13 |
| | Clay | % | 9 | 25 | 15.74 | 16.76 | 0.52 |
| | Silt | % | 9 | 31 | 19.66 | 23.42 | 0.20 |
| | Sand | % | 44 | 76 | 62.61 | 9.95 | -0.43 |
| | Organic matter | % | 0.25 | 2.48 | 1.27 | 40.86 | 0.23 |
| | Calcium carbonate equivalent | % | 3 | 12 | 7.57 | 28.68 | -0.24 |
| | Cation Exchange Capacity | cmol+ kg ⁻¹ | 2.5 | 13.4 | 7.54 | 27.8 | -0.02 |
| | Total N | mg kg ⁻¹ | 0.03 | 1.2 | 0.35 | 56.28 | 1.21 |
| | Available K | mg kg ⁻¹ | 240 | 35.1 | 291 | 7.05 | -0.1 |
| | Available P | mg kg ⁻¹ | 4.9 | 13.2 | 8.99 | 19.52 | -0.18 |
| | Available Cu | mg kg ⁻¹ | 0.7 | 1.4 | 1.02 | 14.26 | 0.31 |
| | Available Mn | mg kg ⁻¹ | 4.2 | 10.1 | 6.93 | 23.61 | -0.04 |
| | Available Zn | mg kg ⁻¹ | 0.9 | 2.3 | 1.55 | 23.79 | 0.11 |
| | Available Fe | mg kg ⁻¹ | 3.5 | 6.8 | 5.43 | 12.97 | -0.19 |
| | pH | - | 7.4 | 8.2 | 7.84 | 2.39 | -0.46 |
| EC | dS m ⁻¹ | 0.35 | 2.34 | 1.11 | 37.67 | 0.8 | |
| Landscape Properties | Elevation | meter | 2602.93 | 2618.83 | 2612.17 | 3.36 | -0.45 |
| | Slpoe | % | 0.33 | 6.85 | 3.13 | 1.56 | 0.42 |
| | Aspect | degree | 0.00 | 337.50 | 180.06 | 139.05 | -0.26 |
| | ProfPlan | 1/m | -11.84 | 9.90 | -0.11 | 4.45 | -0.15 |
| | ProfLong | 1/m | -11.12 | 91.55 | 1.44 | 9.98 | 7.75 |

(Jenness, 2013) =ProfPlan= انحنای سطحی (رادیان بر متر)

(Jenness, 2013) =ProfLong= انحنای عمودی (رادیان بر متر)

جدول ۲- مدل رگرسیون پیش‌بینی عملکرد گل محمدی

Table 2. Regression model of rose yield prediction

| Model | Training data | | Testing data | |
|---|----------------|-------|----------------|-------|
| | R ² | RMSE | R ² | RMSE |
| Y= 577.57+ 108.39(N ₀) +7.42(Silt ₀) + 35.58(OC ₀) -1.99(Frag ₂₅) | 0.65 | 55.60 | 0.68 | 54.30 |

انتشار خطا مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس، مدل به‌دست آمده دارای ۳۷ نرون در لایه ورودی، یک‌لایه پنهان و ۱۴ نرون در لایه پنهان و یک نرون در لایه خروجی بود (جدول ۳).

بررسی رابطه بین ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با عملکرد گل محمدی توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی همان‌گونه که پیش از این بیان شد، در این پژوهش، مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور با الگوریتم پس -

جدول ۳- ویژگی‌های بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد گل محمدی

Table 3. Characteristics of the best artificial neural network structure for rose yield prediction

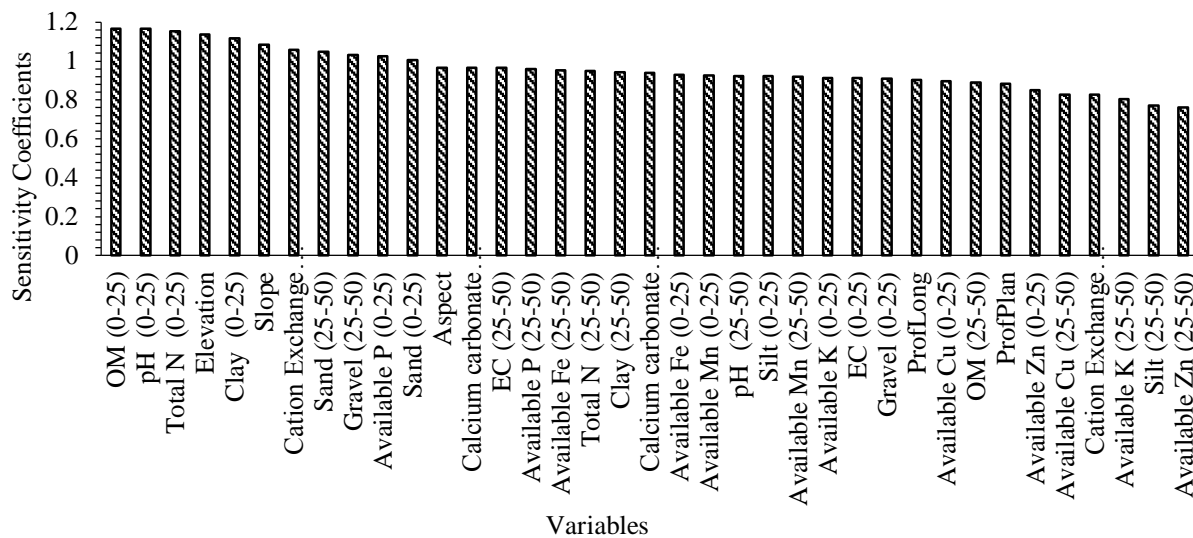
| Number of input neurons | Number of hidden layers | Number of hidden neurons | Transfer function | Repeat | ANN structure | Testing data | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|--------|---------------|----------------|------|
| | | | | | | R ² | RMSE |
| 37 | 1 | 14 | Sigmoid | 200000 | 37-14-1 | 0.87 | 41.4 |

بیشتر و کمتر از مدل MLR می‌باشد (جدول‌های ۲ و ۳). این موضوع بیانگر دقت بیشتر مدل ANN در برآورد عملکرد گل محمدی می‌باشد. کائول و همکاران (Kaul *et al.*, 2005) نیز در بررسی پیش‌بینی عملکرد محصولات ذرت و سویا در منطقه مریلند آمریکا به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی دقیق‌تری از عملکرد، نسبت به مدل‌های رگرسیونی ارائه می‌دهند. آلوارز (Alvarez, 2009)، گرین و همکاران (Green, 2003)، پورمحمدعلی و همکاران (Pour-Mohammadali *et al.*, 2018) و بابایی و همکاران (Babaei *et al.*, 2016) هم به نتایج مشابهی در این ارتباط دست یافتند. مدل‌های ANN به‌دلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی موجود میان عوامل محیطی و عملکرد و به‌دنبال آن افزایش دقت در برآورد پیش‌بینی‌ها، می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیونی در مدل‌سازی تخمین عملکرد باشند. بر اساس نتایج فوق روش ANN بر روش MLR برتری داشته و از طرف دیگر وجود روابط غیرخطی میان ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با عملکرد محصول را نیز تأیید می‌کند. آنالیز حساسیت عملکرد گل محمدی نسبت به متغیرهای ورودی با استفاده از روش StatSoft برای مدل ANN انجام و مقادیر ضریب حساسیت متغیرها محاسبه گردید. نتایج آنالیز حساسیت در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که در منطقه مورد مطالعه ویژگی‌های درصد ماده آلی، pH، نیتروژن کل، درصد رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و فسفر قابل‌استفاده در عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر؛ درصد شن و سنگریزه در عمق ۵۰-۲۵ سانتی‌متر و

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2001) از یک شبکه پرسپترون با ۱۵ نرون در لایه ورودی، ۲۰ نرون در لایه پنهان و یک نرون در لایه خروجی برای پیش‌بینی عملکرد ذرت به‌کمک ویژگی‌های خاک، آب‌وهوا و مدیریت در ایالت ایلینویز آمریکا استفاده کردند. در مطالعه‌ای دیگر، میائو و همکاران (Miao *et al.*, 2006) به‌منظور پیش‌بینی عملکرد ذرت به مدلی از شبکه عصبی با ۱۳ متغیر ورودی، ۱۳ نرون در لایه پنهان و یک متغیر خروجی و برای پیش‌بینی مقدار پروتئین دانه ذرت به ساختاری از شبکه عصبی با ۱۰ متغیر ورودی، ۷ نرون در لایه پنهان و یک متغیر خروجی دست یافتند. مدل‌های توسعه‌یافته آن‌ها توانستند ۶۱ تا ۹۹ درصد از تغییرات عملکرد و کیفیت ذرت را در دو مزرعه مورد مطالعه در ایالت ایلینویز آمریکا توجیه کنند. محنت‌کش (Mehnatkesh, 2013) به‌منظور پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده هوایی گندم دیم توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی، بهترین ساختار این شبکه‌ها برای هر کدام از مؤلفه‌های عملکرد را به‌دست آورد. وی گزارش کرد که هر یک از ساختارهای آموزش‌دیده، دارای ۵۴ گره ورودی در ۴ گروه و یک گره خروجی بود. تعداد گره‌های لایه پنهان، ۹۰ و ۵۰، و مناسب‌ترین تعداد تکرار یادگیری براساس آزمون و خطا، ۹۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ به ترتیب برای عملکرد دانه و زیست‌توده گندم دیم تعیین شد. مدل‌های ANN به‌دست آمده برای عملکرد دانه و زیست‌توده گندم دیم به ترتیب دارای مقادیر R² آزمون ۰/۹۲ و ۰/۸۷ بود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد است که در منطقه مورد مطالعه مقدار R² و RMSE داده‌های آزمون برای مدل ANN به ترتیب

پیش‌بینی مدل به‌دست آمده به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی دارند.

ارتفاع و درجه شیب از ویژگی‌های توپوگرافی دارای ضرایب حساسیت بیشتر از ۱ می‌باشند. بنابراین می‌توان عنوان نمود که این پارامترها تأثیر معنی‌داری بر دقت



شکل ۴- هیستوگرام ضرایب حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی

Figure 4. Histogram of the sensitivity coefficients of artificial neural network model

آب و مواد غذایی در خاک بر عملکرد محصول مؤثر باشند، زیرا سنگریزه و شن، حجمی از خاک را اشغال می‌کنند بدون آن‌که در نگهداری آب و مواد غذایی شرکت کنند (Ayobi & Jalalian, 2007). همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود pH دارای کمترین ضریب تغییرات می‌باشد، غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2011) نیز کمترین ضریب تغییرات را برای اسیدیته خاک گزارش کرده‌اند. فروغی‌فر و همکاران (Foroughifar *et al.*, 2010) نیز بیان داشته‌اند که ضریب تغییرات کم برای اسیدیته متأثر از عوامل ذاتی همچون مواد مادری در رفتار این ویژگی است در حالی که ضریب تغییرات زیاد می‌تواند ناشی از اثر متقابل عوامل مدیریتی، مانند مصرف کود و عوامل ذاتی مانند وضعیت زهکشی در خاک‌ها باشد. pH خاک بطور مستقیم یا غیرمستقیم رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین نقش pH خاک کنترل حلالیت عناصر غذایی در خاک می‌باشد. به عبارت دیگر قابلیت جذب عناصر غذایی وابستگی زیادی به pH خاک دارد (Khadem *et al.*, 2014).

اقبال و همکاران (Iqbal *et al.*, 2005) در مطالعه‌ای در شرق می‌سی‌سی‌پی نشان دادند که مناطق با ارتفاع بیشتر، در مقایسه با مناطق کم ارتفاع‌تر، معمولاً عملکرد

ماده‌ی آلی خاک به‌صورت‌های گوناگونی می‌تواند باعث افزایش میزان عملکرد شود. این ویژگی مهم خاک با افزایش قابلیت نفوذپذیری خاک نسبت به آب و پایداری خاکدانه‌ها، از یک‌سو باعث بهبود فیزیکی ساختمان خاک شده و محیط مناسبی را برای رشد گیاه فراهم می‌کند و از سوی دیگر به‌دلیل دارا بودن عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه و تشدید فعالیت زیستی در خاک، می‌تواند منبع تغذیه‌ای بسیار مناسبی نیز برای گیاه به‌حساب آید. همچنین نیتروژن و فسفر از مهم‌ترین عناصر غذایی پرمصرف می‌باشند که بر عملکرد محصول مؤثر هستند. بسیاری از پژوهشگران بر این باور هستند که کاربرد کودهای نیتروژنی و افزایش نیتروژن موجود در خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌منظور تولید بیشتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Shukla *et al.*, 2004). همچنین، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها نیز به‌عنوان معیاری از وضعیت حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌رود. با توجه به ارتباط بسیار نزدیک میزان درصد ذرات رس و همچنین میزان ماده آلی با این ویژگی مهم شیمیایی خاک، افزایش این ویژگی خاک و متعاقباً افزایش میزان عملکرد محصول نیز توجیه‌پذیر خواهد بود (Shukla *et al.*, 2004). درصد سنگریزه و درصد شن می‌توانند به‌دلیل اثرات منفی بر ظرفیت نگهداری

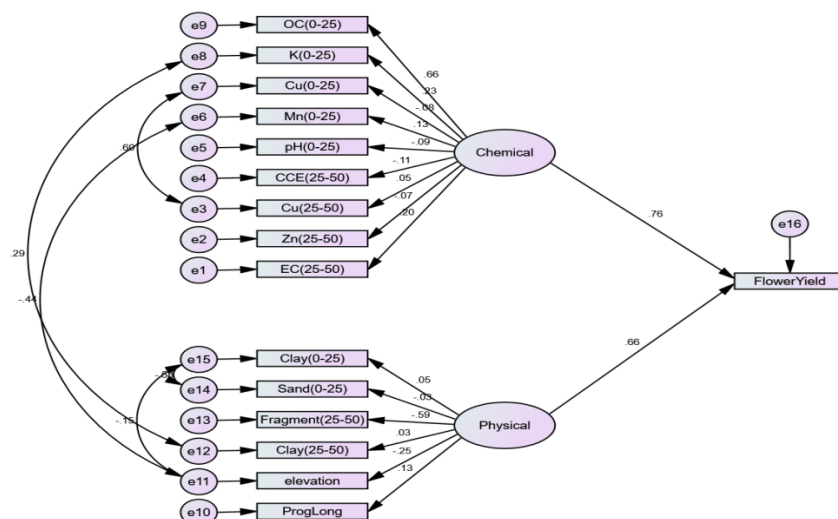
همکاران (Marcus *et al.*, 2017) هم از روش SEM برای بررسی روابط درونی بین چرخه فسفر و ویژگی‌های خاک استفاده کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که مدل‌های مفهومی آن‌ها با فرضیه وابستگی بین ذخیره فسفر و مواد آلی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مطابقت داشت. همچنین عنوان کردند که میزان فسفر پایدار و فسفر قابل استفاده به‌عنوان منبعی برای فسفر قابل دسترس عمل می‌کنند و این روابط ساختاری به‌شدت با محتوای مواد آلی خاک مرتبط هستند.

در رویکرد دوم، ضرایب مسیر برای ساختارهای پنهان ویژگی‌های شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکی و ویژگی‌های توپوگرافی به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۰۸ و ۰/۴۶ بود (شکل ۶). نتایج این مدل مفهومی نشان می‌دهد که در بین این سه گروه، باز هم ویژگی‌های شیمیایی بیشترین سهم را در کنترل عملکرد محصول دارند و پس‌از آن ویژگی‌های توپوگرافی و سپس ویژگی‌های فیزیکی قرار دارند. انجام این رویکرد نشان می‌دهد که در واقع تأثیر ویژگی‌های فیزیکی در رویکرد قبل بیشتر به دلیل وجود پارامترهای توپوگرافی بوده است. به دیگر سخن، تأثیر پارامترهای توپوگرافی (به‌ویژه ارتفاع) در کنترل عملکرد محصول بسیار زیاد بوده است که با یافته‌های پژوهش‌های مختلف هم‌خوانی دارد (Jiang & Iqbal *et al.*, 2005; Thelen, 2004; Alexandra & Bullock, 2000). همچنین، هانگ‌فن و همکاران (Hongfen *et al.*, 2016) به بررسی روابط بین ویژگی‌های شیمیایی خاک و ویژگی‌های توپوگرافی زمین با عناصر کم‌مصرف قابل استفاده خاک با استفاده از روش SEM پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ویژگی‌های شیمیایی خاک، دارای اثرات مستقیم بر روی تمام عناصر کم‌مصرف خاک بودند؛ اما ویژگی‌های توپوگرافی، هم اثرات مستقیم و هم اثرات غیرمستقیم بر روی عناصر کم مصرف دارند. این نتایج، تأییدی بر یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد که نشان می‌دهد ویژگی‌های شیمیایی خاک دارای اثر بیشتری بر پتانسیل تولید و حاصلخیزی خاک نسبت به سایر ویژگی‌ها می‌باشند.

کمتری دارند و احتمالاً تنش آبی را در ابتدای فصل تجربه می‌کنند. آلكساندرا و بالوک (Alexandra & Bullock, 2000) به‌منظور تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های توپوگرافی مؤثر بر عملکرد ذرت و سویا مطالعه‌ای انجام دادند و دریافتند که ارتفاع، اثر مهمی روی عملکرد ذرت و سویا دارد و در موقعیت‌های کم ارتفاع عملکرد بالاتری مشاهده شد. جیانگ و تِلن (Jiang & Thelen, 2004) در مطالعه عملکرد ذرت و سویا در میشیگان دریافتند مناطق با ارتفاع کمتر، خاک حاصلخیزتر و در نتیجه عملکرد بیشتری دارند.

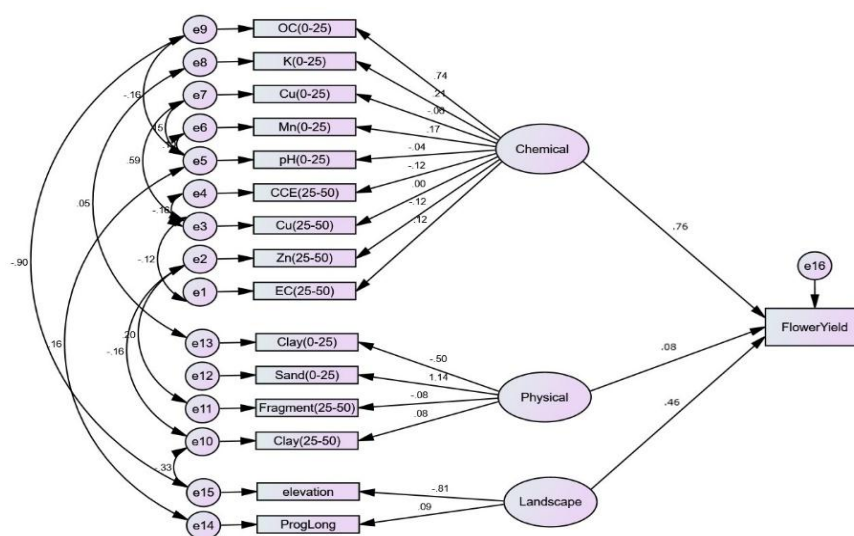
مدل‌سازی روابط ساختاری بین ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با عملکرد

نتایج مدل‌سازی روابط ساختاری (شکل‌های ۵، ۶ و ۷) نشان می‌دهد که بین ویژگی‌های شیمیایی خاک، ویژگی‌های فیزیکی خاک و ویژگی‌های توپوگرافی با عملکرد گل محمدی ارتباط وجود دارد. در رویکرد اول، ضرایب مسیر برای ساختار پنهان ویژگی‌های شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۶۶ بود (شکل ۵) که نشان می‌دهد کنترل عملکرد گل محمدی توسط ویژگی‌های شیمیایی بیش‌تر از ویژگی‌های فیزیکی می‌باشد. با این وجود، نزدیکی این ضرایب حاکی از آن است که در این منطقه ویژگی‌های فیزیکی نیز نقشی مؤثر در عملکرد محصول به عهده دارند. ماده آلی دارای بیشترین تأثیر بر روی ساختار پنهان ویژگی‌های شیمیایی می‌باشد که نشان می‌دهد اهمیت این پارامتر در عملکرد محصول بسیار زیاد است. براهیم و همکاران (Brahim *et al.*, 2011) با استفاده از روش SEM به ارزیابی روابط بین کربن آلی و ویژگی‌های خاک در خاک‌های رسی و شنی مناطق نیمه‌خشک مدیترانه پرداختند. نتایج مدل مفهومی آن‌ها ثابت نمود که کربن آلی با ویژگی‌های شیمیایی خاک، بیشتر از ویژگی‌های فیزیکی کنترل می‌شود؛ به طوری که در خاک‌های رسی، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی به ترتیب ۳۸/۴ و ۲۸/۹ درصد از تغییرات کربن آلی را توجیه می‌کنند. در خاک‌های شنی نیز کنترل کربن آلی توسط ویژگی‌های شیمیایی بیش از ویژگی‌های فیزیکی بود. مارکوس و



شکل ۵- مدل روابط ساختاری با دو متغیر نهفته (رویکرد اول)

Figure 5. Structural equation model with two latent variables (first scenario)



شکل ۶- مدل روابط ساختاری با سه متغیر رویکرد دوم)

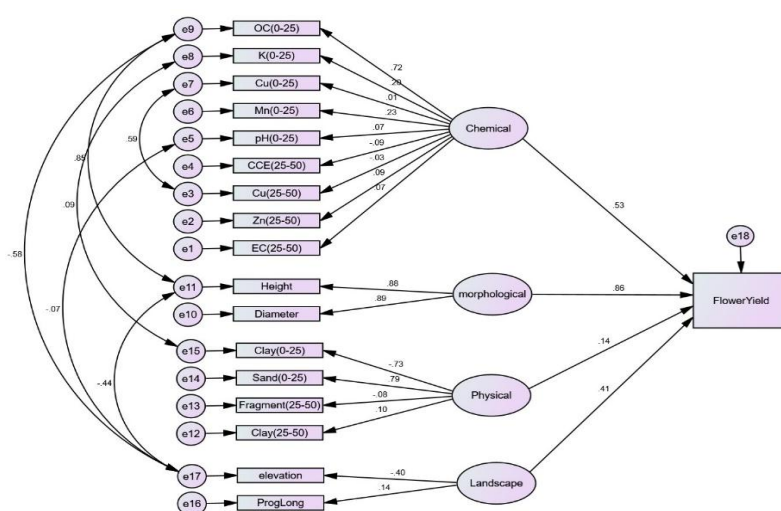
Figure 6. Structural equation model with two latent variables (Second scenario)

نتایج آن‌ها نشان داد که تعداد گل در بوته، وزن تر گل، ارتفاع گیاه و قطر تاج پوشش گیاه می‌توانند به‌عنوان معیار مناسبی برای عملکرد گل در هر ژنوتیپ گل محمدی در نظر گرفته شوند. زینلی و همکاران (Zeinali *et al.*, 2007) در مطالعه روابط بین عملکرد و اجزاء عملکرد گل در ژنوتیپ‌های گل محمدی، به این نتیجه رسیدند که همبستگی عملکرد گل در هر بوته با صفات وزن تر گل، عملکرد گل در هر شاخه، تعداد گل در هر شاخه، ارتفاع گیاه و قطر تاج پوشش گیاه مثبت و معنی‌دار و با صفت طول غنچه منفی و معنی‌دار بود. نتایج پژوهش منصورقناعتی و همکاران (Mansour *et al.*, 2014) به‌منظور بررسی روابط میان

در رویکرد سوم، ضرایب مسیر برای ساختارهای پنهان ویژگی‌های شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های توپوگرافی و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه به‌ترتیب ۰/۵۳، ۰/۱۴، ۰/۴۱ و ۰/۸۶ به‌دست آمد. نتایج این مدل مفهومی نشان می‌دهد که با وارد کردن ویژگی‌های مورفولوژیکی به مدل، بیشترین سهم در کنترل عملکرد محصول مربوط به این متغیر پنهان می‌شود و متغیرهای پنهان ویژگی‌های شیمیایی، ویژگی‌های توپوگرافی و ویژگی‌های فیزیکی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. کاشانی و همکاران (kashani *et al.*, 2012) در پژوهشی به بررسی روابط بین عملکرد گل و اجزای آن در ژنوتیپ‌های گل محمدی مناطق مختلف ایران پرداختند.

ساقه، طول برگ، عرض برگ، ضریب سطح برگ، طول میانگره های بالا و وسط و پایین مثبت و معنی‌دار بود.

عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام توتون نشان داد که همبستگی بین عملکرد برگ خشک با ارتفاع بوته، قطر



شکل ۷- مدل روابط ساختاری با چهار متغیر نهفته رویکرد سوم

Figure 7. Structural equation model with two latent variables (Third scenario)

مطلوب‌تر مدل است (Mohammadi, 2018). براساس این شاخص نیز رویکرد اول دارای بهترین برازش می‌باشد. شاخص برازش تطبیقی (Comparative fit index, CFI) برای رویکردهای اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۹ و ۰/۸۴ به دست آمد. مقادیر این شاخص همانند شاخص GFI هر چه به ۰/۹۵ نزدیک‌تر و یا بیشتر از آن باشند نشان‌دهنده برازش مطلوب‌تر مدل است (Mohammadi, 2018). بر اساس این شاخص نیز رویکردهای اول و دوم دارای برازش مطلوب‌تری نسبت به رویکرد سوم هستند. به‌طور کلی، نتایج فوق نشان می‌دهند که در منطقه مورد مطالعه مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی عملکرد گل محمدی توسط روش SEM رویکرد اول و به کمک دو ساختار پنهان به دست آمد.

برای مقایسه مدل‌های سه‌گانه روابط ساختاری از چندین شاخص برازش استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است. مقادیر RMSE برای رویکرد - های اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۰۳۳، ۰/۰۵۴ و ۰/۰۷ می‌باشد. مقادیر RMSE کمتر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل می‌باشند (Mohammadi, 2018). بنابراین براساس این شاخص، رویکرد اول دارای بهترین برازش می‌باشد پس از آن رویکرد دوم قرار دارد و رویکرد سوم دارای عدم برازش مناسب می‌باشد. شاخص نیکویی برازش (Goodness of fit index, GFI) برای رویکردهای اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۸۵ و ۰/۸۶ به دست آمد. مقادیر این شاخص هر چه به ۰/۹۵ نزدیک‌تر و یا بیشتر از این عدد باشند نشان‌دهنده برازش

جدول ۴- شاخص‌های نیکویی برازش مدل‌های روابط ساختاری

Table 4. Goodness fit indices of structural equation models

| Model | RMSEA | CFI | GFI |
|-----------------------|-------|------|------|
| First scenario model | 0.033 | 0.94 | 0.88 |
| Second scenario model | 0.054 | 0.85 | 0.89 |
| Third scenario model | 0.070 | 0.86 | 0.84 |

نتیجه‌گیری کلی

چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد محصول، مدل‌سازی مروابط ساختاری نشان داد که می‌تواند جزئیات بیشتری در مورد روابط و تعامل‌های همزمان بین متغیرهای موجود در مدل مفهومی ارائه کند. مدل‌سازی روابط ساختاری نشان داد که ویژگی‌های شیمیایی خاک نسبت به ویژگی‌های فیزیکی و توپوگرافی، شاخص‌های بهتری برای پیش‌بینی عملکرد محصول گل محمدی می‌باشند. رویکردهای مختلف برای انجام مدل‌سازی روابط اختاری نشان داد که هر چقدر مدل طراحی‌شده ساده‌تر و دارای ساختارهای پنهان کمتری باشد، می‌تواند برازش مطلوب‌تری داشته باشد. به‌طور کلی، پدیده‌های طبیعی غالباً دارای علت‌های چندگانه بوده و مطالعه آن‌ها مستلزم لحاظ کردن متغیرها و ساختارهای متعدد و بررسی روابط پیچیده بین آن‌ها می‌باشد. در این مواقع، مدل‌های مروابط ساختاری می‌توانند کاربرد ارزشمندی داشته باشند.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر تخمین عملکرد محصول در روش رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی به‌طور مشترک شامل ماده آلی، نیتروژن کل در عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر بودند. مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد گل محمدی به ترتیب توانستند ۶۸ و ۷۸ درصد از تغییرپذیری عملکرد را توجیه کنند. این نتایج نشان می‌دهد هرچند رگرسیون خطی چندمتغیره، عملکرد این گل را با دقت نسبتاً مناسبی برآورد نمود، ولی دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی بالاتر بود و کارایی بهتری نسبت به رگرسیون خطی چندمتغیره در تخمین عملکرد داشت که دلیل این موضوع می‌تواند لحاظ کردن روابط غیرخطی بین عملکرد و عوامل تأثیرگذار بر آن باشد. برخلاف توانایی روش‌های رگرسیون خطی

References

- Alexandra K.N., and Bullock D.G. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal*, 92(1): 75-83.
- Al-Kanani T., Mackenzi A.F., and Ross G.J. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy. *Canadian Journal Soil Science*. 64:99-106.
- Alvarez R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentina Pampas by an artificial neural network approach. *European Journal of Agronomy*, 30(2): 70-77.
- Ayoubi S.H.A., and Jalalian A. 2010. Land Evaluation (Agricultural and Natural Resources Secend Edition), Isfahan University of Technology Publication Center, Isfahan, Iran, 385p. (In Persian)
- Ayoubi Sh.A., Khormali F., and Sahrawat K.L. 2009. Relationships of barley biomass and grain yields to soil properties within a field in the arid region: Use of factor analysis. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science*, 59(2): 107-117.
- Babaei F., Vaezi A., Teheri M., Zarrinabadi E., and Eslami F. 2016. Development a regression relationship between rainfed wheat yield and soil properties in a semiarid region, Zanzan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(4): 715-725. (In Persian)
- Brahim N., Blavet D., Gallali T., and Bernoux M. 2011. Application of structural equation modeling for assessing relationships between organic carbon and soil properties in semiarid Mediterranean region. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8(2): 305-320.
- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Total nitrogen. PP. 595-624. In: A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Agron. No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., Am. Soc. Argon., Madison, WI, USA.
- Cox M.S., Gerard P.D., and Abshire M.J. 2006. Selected soil properties variability and their relationships with yield in three Mississippi fields, *Soil science*, 171(7): 541-551.
- Dion P.A. 2008. Interpreting Structural Equation Modeling Results: A Reply to Martin and Cullen. *Journal of Business Ethics*. 83: 365-368.
- Foroughifar H., Jafarzadah A.A., Torabi Gelsefidi H., Aliasgharzadah N., Toomanian N., and Davatgar N. 2010. Spatial variations of surface soil physical and chemical properties on different landforms of Tabriz plain, *Journal of Soil and Water Science*, 21(3): 1-21. (In Persian with English abstract)

- Gee W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute A (Eds.), Method of soil analysis. Part 1. SSSA. Madison, Wisconsin Pp. 383-411.
- Gholami Sh., Hosseini S.M., Mohammadi J., and Mahini A.S. 2011. Spatial variability of soil macrofauna biomass and soil properties in riparian forest of Karkhe river, *Journal of Water and Soil*, 25(2):248-257. (In Persian with English abstract)
- Goodarzinejad A. 2001. Artificial Intelligence and Modeling. *Shahid Chamran University of Ahvaz Publications*. 325 p. (In Persian)
- Govaerts B., Sayre K.D., and Deckers J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87:163–174.
- Green T.R., Erskine R.H., Fogarty E.A., Dunn G.H. and Salas J.D. 2003. Analysis of spatial soil hydraulic properties to investigate soil–water movement and scaling in an agricultural field. *American Geophysical Union*. 717 p.
- Hongfen Z., Ying Z., Feng N., Yonghong D., and Rutian B. 2016. Relative influence of soil chemistry and topography on soil available micronutrients by structural equation modeling. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (4): 1038-1051.
- Hoyle R.H. 2012. Handbook of Structural Equation Modeling. 1st (Ed.) *New York: The Guilford press*. 740 p.
- Iqbal J., Read J.J., Thomasson A.J., and Jenkins J.N. 2005. Relationships between soil-landscape and dryland cotton lint yield. *Soil Science Society of America Journal*, 69:1-11.
- Jenness Jeff. 2013. DEM Surface Tools for ArcGIS, USA, Online available.
- Jiang P., and Thelen K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn-soybean cropping system. *Agronomy Journal*. 96: 252–258.
- Khadem A., Golchin A., Mashhadi Jafarloo A., Zaree E., and Naseri E. 2014. Effect of Highly Acidified Soil on Soil Nutrient Availability and Corn (*Zea mays* L.) Growth. *Agronomy Journal* (Pajouhesh and Sazandegi) No: 107 pp: 1-7. (In Persian with English abstract)
- Kashani A., Arab M., Tabaei R., Zeinali H., and Roozban M. 2012. The relationship between flower yield and yield components in Damask Roes in different region of Iran. *Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture)*, 14(1): 13-19.
- Kaul M., Hill R.L., and Walthall C. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems*, 85: 1-18.
- Khodami A., Bouzari S., and Shafiei A. 2011. Morphotectonic Indices of Lalezar Fault in South of Bardsir. *Journal of Geoscience*. 5(1): 103-110. (In Persian)
- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421–428.
- Liu J., Georing C.E., and Tian L. 2001. A neural network for setting target corn yields. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 44: 705-713.
- Lopez-Granados F., Jurado-Exposito M., Atenciano S., Garcia-Ferrer A., De la Orden M.S., and Garcia-Torres L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*, 246:97-105.
- Mansour Ghanaei F., Samieezadeh H., Rabaie B., and Shoaii M. 2014. Study the relationship between yield and yield components in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) varieties. *Applied Field Crop Resarch*. 27: 29-37.
- Marcus V.S., Seldon A., and Gama-Rodrigues A.C. 2017. Structural equation modeling for the estimation of interconnections between the P cycle and soil properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 14: 225-232.
- Mehnatkesh A. 2008. Soil-landscape modeling and rainfed wheat yield prediction using different models in some regions of central Zagros. Thesis for the degree of Ph.D. *Department of Soil Science, Isfahan University of Technology. Iran*. (In Persian)
- Menhaj M. 2003. Basics of Neural Networks (Computational Intelligence). *Amir Kabir University of Technology*. 715 pages. (In Persian)
- Miao Y., Mulla D.J., and Robert P.C. 2006. Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks. *Precision Agriculture*, 7: 117-135.
- Mohammadi J. 2018. Pedominating, Volume 9, Structure Equation Modeling. *Pelk Publishing*, 396 pages. (In Persian)

- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, p. 539-579. In: A. L. Page (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 2*. 2nd Ed. Agron. Monogr 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Norouzi M., Ayoubi S., Jalalian A., Khademi H., and Dehghani A.A. 2010. Prediction rainfed wheat quality by artificial neural network using terrain and soil characteristics. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*. 60: 341-352.
- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. PP. 403-430. In: A. L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis*, Agron. No. 9, Part2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Page A.L., Miller R.H., and Keeny D.R. 1982. *Methods of soil analysis, Part 1: Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin, pp. 1-12.
- Pour-mohammadali B., Hosseinifard J., Salehi MH., and Shirani H. 2018. Modeling of Pistachio Yield Using Linear Multivariate Regression and Artificial Neural Network. *National Conference on Scientific Approaches in the Green Gold Industry, Pistachio*. Islamic Azad University of Moghan Branch, 6 p. (In Persian)
- Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2004. Principal component analysis for Predicting corn biomass and grain yields. *Soil Science*, 169: 215-224.
- Stage F.K., Carter H.C., and Nora A. 2004. Path analysis: an introduction and analysis of a decade of research. *Journal of Educational Research*, 98(1): 5-12.
- StatSoft Inc. 2004. *Electronic statistics textbook* (Tulsa, OK, USA).
- Zeinali H., Tabaei S.R., Asgarzadeh M., Kiyaniopor A., and Abtahi M. 2007. Study the relationship between yield and flower yield components in *Rosa damascena* Mill. Genotypes of. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 23(2):195-203

Assessment of Relationships between Rose Yield and Soil and Topography Properties Using Multivariate Regression, Artificial Neural Network and Structure Equation Modeling

Morteza Bahmani^{1*}, Jahangard Mohammadi², Isa Esfandiarpour Boroujeni³,
Hamid-Reza Mottaghian⁴

(Received: January 2019 Accepted: Jun 2019)

Abstract

Due to the relationship between crop yield, and soil characteristics and land topography, knowledge and awareness of these characteristics is necessary to achieve sustainable development in agriculture. This study was performed to evaluate and determine the relationships between Rose yield (*Rosa Damasceneae Mill*) with soil properties and land topography by using Multivariate Linear Regression models (MLR), Artificial Neural Network (ANN) and Structural Equation Modeling (SEM) in Bardsir City, Kerman Province. For this purpose, soil sampling and crop yield were performed in the form of a regular grid pattern. Besides, some topographic features of the land were calculated using digital elevation model (DEM) of the region, and to implement the conceptual models, three theoretical models were designed and tested. The results showed that MLR and ANN models were able to justify 68 and 87 % of the yield variability, respectively, which indicates the higher accuracy of ANN model than MLR in yield estimation. The results of SEM illustrated that Rose yield is mainly controlled by soil chemical properties, topographic features, and soil physical properties, respectively. Different scenarios for SEM showed that simpler models with fewer hidden structures could have a better fitting. Therefore, the first conceptual model of this method with the values of root mean square error, goodness of fit index and comparative fit index of 0.033, 0.88 and 0.94, respectively, was selected as the best model. The overall results showed that the ANN model was more efficient than MLR in yield prediction due to consideration of the nonlinear relationship between crop yield and the factors affecting it. In addition to the ability of the ANN model to estimate crop yield, the SEM also showed that the latter method can provide more explanations about the relationships and simultaneous interactions between variables. In general, the application of SEM method, relying on the capabilities of this method, can improve the yield of various crops.

Keywords: Bardsir of Kerman, Comparative fit index, Digital Elevation Model, Goodness fit index, Sustainable agriculture

Bahmani M., Mohammadi J., Esfandiarpour Borouleni I., Mottaghian H.R. 2020. Assessment of relationship between Rose yield and soil and topography properties by using multivariate regression, artificial neural network and structure equation modeling. *Applied Soil Research*, 8(2): 142-157.

1. Ph.D. Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord

2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord

3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan

4. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord

* Corresponding Author Email: Bahmanimorteza@yahoo.com