



انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی



موسسه تحقیقات خاک و آب

پژوهش‌های خاک

(علوم خاک و آب)

[http:// www.srjournal.areeo.ir](http://www.srjournal.areeo.ir)

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۸ / شماره ۴ سال ۱۴۰۳

صفحه

فهرست

عنوان

تحلیل وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند در شهرستان شاهرود با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)..... ۳۱۵

جلال قادری ، احمد اخیانی و کمال خلخال

تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی..... ۳۳۱

مرضیه براتی زانیانی، علیرضا حسین‌پور، محمدحسن صالحی و اعظم جعفری

تأثیرات تغذیه بهینه تلفیقی بر عملکرد و کیفیت میوه درختان زیتون در جنوب استان کرمان..... ۳۴۵

جواد سرحدی، صابر حیدری و مهری شریف

ارزیابی تأثیر بافت خاک بر صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده برنج توسط مدل DSSAT در مقیاس ناحیه‌ای..... ۳۶۵

مجتبی رضایی، ناصر دواتگر، ابراهیم امیری و مرتضی کمالی

مقایسه متغیرهای زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک با دو کاربری زراعی و جنگلی (سرو زربین) در رامیان استان گلستان..... ۳۸۱

اکرم احمدی، محمد متینی زاده ، سپیده زوار، سعید شعبانی، محمد کریم مقصودلو، حسین قربانی ، ملیحه بهشتیان، علیرضا ربیع زاده، طاهره

علیزاده، الهام نوری، حسن فرامرزی و مریم سبطی

تهیه نقشه رقومی اجزاء بافت خاک با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون کریجینگ و کریجینگ باقی‌مانده شبکه عصبی ۳۹۵

محمد شهریار ، محمد رضا پهلوان راد، معصومه دلبری و پیمان افراسیاب

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

انجمن علوم خاک ایران

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه
پژوهش‌های خاک

جلد ۳۸ شماره (۴)

۱۴۰۳

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

به استناد نامه شماره ۳/۱۱/۳۷۶۰ مورخ ۱۳۸۹/۳/۱۶ اعتبار علمی پژوهشی نشریه پژوهش‌های خاک
تمدید شده است

استاد و رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب

مدیر مسؤول: دکتر هادی اسدی رحمانی
سر دبیر: دکتر حمید سیادت

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

مدرس دانشگاه
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دانشیار دانشگاه تهران
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دانشیار پژوهش سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
استاد دانشگاه تهران
دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد دانشگاه تبریز

دکتر محمد بای بوردی
دکتر حسین بشارتی
دکتر محمدرضا بلالی
دکتر کامبیز بازرگان
دکتر حسن توفیقی
دکتر غلامحسین حق نیا
دکتر کاظم خاوازی
دکتر محمدحسن روزیطلب
دکتر امیر فتوت
دکتر منوچهر گرجی
دکتر عزیز مؤمنی
دکتر محمدرضا نیشابوری

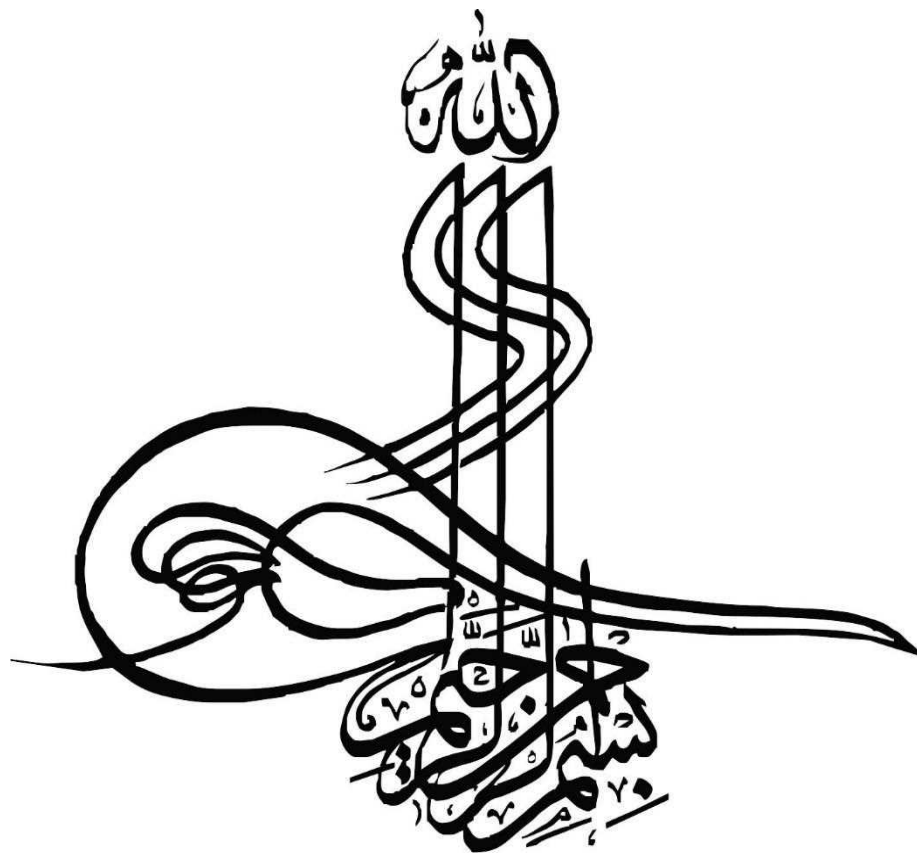
دکتر حمید سیادت
مهندس کیانا خامه‌چی
چهار شماره

ویراستار انگلیسی:
تایپ و صفحه آرایی:
تعداد انتشار در سال:

این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:
www.isc.gov.ir : پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)
همچنین در پایگاه (ISC) از ضریب تأثیر (IF) برخوردار می‌باشد
www.sid.ir : پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی
www.civilica : پایگاه سیولیکا

www.srjournal.areeo.ir : پایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش‌های خاک
www.swri.ir : پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب
www.soiliran.org : پایگاه الکترونیکی انجمن علوم خاک ایران
majalehsoil@yahoo.com : آدرس الکترونیکی دفتر مجله:

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵
تلفن و نمابر: ۳۶۲۰۸۷۹۶ (۰۲۶) آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: www.srjournal.areeo.ir



عنوان	فهرست	صفحه
تحلیل وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند در شهرستان شاهرود با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND).....	جلال قادری ، احمد اخبانی و کمال خلخال	۳۱۵
تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی.....	مرضیه براتی زانیانی، علیرضا حسین‌پور، محمدحسن صالحی و اعظم جعفری	۳۳۱
تأثیرات تغذیه بهینه تلفیقی بر عملکرد و کیفیت میوه درختان زیتون در جنوب استان کرمان.....	جواد سرحدی، صابر حیدری و مهری شریف	۳۴۵
ارزیابی تأثیر بافت خاک بر صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست توده برنج توسط مدل DSSAT در مقیاس ناحیه‌ای.....	مجتبی رضایی، ناصر دواتگر، ابراهیم امیری و مرتضی کمالی	۳۶۵
مقایسه متغیرهای زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک با دو کاربری زراعی و جنگلی (سرو زربین) در رامیان استان گلستان.....	اکرم احمدی، محمد متینی زاده ، سپیده زوار، سعید شعبانی، محمد کریم مقصودلو، حسین قربانی ، ملیحه بهشتیان، علیرضا ربیع زاده، طاهره علیزاده، الهام نوری، حسن فرامرزی و مریم سبطی	۳۸۱
تهیه نقشه رقومی اجزاء بافت خاک با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون کریجینگ و کریجینگ باقی مانده شبکه عصبی	محمد شهریاری ، محمد رضا پهلوان راد، معصومه دلبری و پیمان افراسیاب	۳۹۵

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

نشریه علمی پژوهش‌های خاک به منظور افزایش آگاهی محققان و پژوهشگران علوم خاک و آب، ایجاد زمینه ارتقای سطح دانش و پژوهش، شناخت و معرفی اندیشه‌ها، نوآوریها و خلاقیت‌های علمی- پژوهشی در سطح ملی و بین‌المللی، ایجاد ارتباط بین مراکز آموزشی، علمی - پژوهشی و انتقال و تبادل نتایج یافته‌ها، نتایج حاصل از فعالیتهای تحقیقاتی پژوهشگران در زمینه مسائل مربوط به شناسایی، حفاظت و بهره‌برداری پایدار از منابع خاک و آب در کشاورزی را منتشر می نماید.

الف) اصول کلی

۱- این نشریه صرفاً مقالات پژوهشی (Original Articles) منتج از پژوهش‌های نویسنده و یا نویسندگان در زمینه علوم خاک و آب را منتشر می نماید.

۲- مقاله باید به زبان فارسی روان و پیراسته از غلط‌های نگارشی و نوشتاری باشد. از آوردن واژه های بیگانه که معادل شناخته شده فارسی دارند جداً خودداری گردد.

۳- مسئولیت صحت و سقم مطالب، نظرات و عقاید مندرج در مقالات به عهده نویسندگان مقاله می‌باشد. حقوق معنوی مقالات برای نویسندگان محفوظ می‌باشد.

۴- مقاله نباید در هیچ یک از نشریات کشور به چاپ رسیده یا همزمان برای مجلات دیگر ارسال شده باشد این مسئله باید با تأیید کتبی نویسنده مسئول باشد.

• مقالاتی که مبنی بر آزمایش‌هایی است که بیش از ۳ سال از خاتمه اجرای آن گذشته است از شانس کمتری برای پذیرش برخوردار خواهد بود و نویسندگان باید علت تأخیر در نوشتن مقاله را توجیه کنند

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

۱- مقاله حداکثر در ۱۵ صفحه A4 با فاصله خطوط ۱/۵ و حاشیه‌های ۳ سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک

ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.

۲- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه آنها مطابق جدول (۱) استفاده شود.

۳- پیش از نقطه (.) و کاما (،) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.

۴- اصول نگارش زبان فارسی به طور کامل رعایت شده و از به کاربردن اصطلاحات انگلیسی که معادل فارسی آنها در فرهنگستان زبان فارسی تعریف شده‌اند، حتی الامکان پرهیز گردد.

جدول ۱- نوع قلم و اندازه		
موقعیت استفاده	نام قلم	اندازه قلم
عنوان مقاله	Nazanin پر رنگ	14
متن مقاله	Nazanin	12
عناوین بخش‌های مقاله	Nazanin پر رنگ	12
نام مؤلفان	Nazanin پر رنگ	12
کلمه چکیده و کلمات کلیدی	Nazanin پر رنگ	12
عناوین جداول و اشکال	Nazanin پر رنگ	11
متن جداول و شکل‌ها و منابع	Nazanin	11
اعداد جداول	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت

نویسنده(گان) موظف هستند حداکثر ۱۵ روز پس از دریافت نظرات داوران اصلاحات لازم و یا پاسخ را ارسال نمایند. ضمناً ارسال چکیده لاتین مقاله به همراه مقاله الزامی است. ارسال نامه درخواست چاپ مقاله در نشریه پژوهش‌های خاک به همراه فرم تعهد نامه الزامی است. کلیه مقالات پس از دریافت اعلام وصول گردیده و جهت ارزیابی برای داوران مجله ارسال خواهد شد و پس از اتخاذ رأی داوران و تأیید هیئت تحریریه، مقاله در نوبت چاپ قرار خواهد گرفت

شناسنامه مقاله

مقالات باید شامل عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی (حداکثر تا ۳۰۰ کلمه)، واژه‌های کلیدی (Keywords)، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی (در صورت نیاز) و فهرست منابع باشد.

برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی) و پست الکترونیکی همه نویسندگان در صفحه چکیده ها تایپ و در قسمت فایل‌های با نام نویسنده (گان) بارگذاری نمایید و در قسمت بدون نامه نویسنده(گان) مقاله بدون نام بارگذاری گردد. * نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که با امضای کلیه نگارندگان و الزامی می باشد در قسمت فایل‌های پیشیناز بارگذاری نماید.

عنوان مقاله

عنوان مقاله باید روان، گویا، مختصر و مفید بوده و در برگیرنده محتوای تحقیق انجام شده باشد. عنوان مقاله نباید بیش از ۲۰ کلمه باشد. در زیر عنوان نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی و یا تحصیلات و وابستگی سازمانی، تاریخ، آدرس کامل پستی، شماره تلفن همراه و پست الکترونیک نویسندگان مقاله درج گردد. دقت شود کلمه‌های تشکیل دهنده عنوان با کلمه‌های کلیدی متفاوت باشد.

چکیده: چکیده بایستی شامل حداکثر ۳۰۰ کلمه بوده و بیانگر زمینه و هدف، تحقیق روش بررسی، یافته‌ها، نتیجه‌گیری و ترجیحاً در یک پارگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

واژه های کلیدی:

واژه های کلیدی بایستی ۳-۶ کلمه باشد. واژه های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه های چکیده فارسی باشد.

در انتخاب واژه‌های کلیدی از تکرار واژه‌هایی که در عنوان مقاله آمده است خودداری فرمایید

مقدمه

باید دربرگیرنده اهمیت پژوهش انجام شده بوده و به بیان مسئله با مروری بر مطالعات و مشاهدات مرتبط با تحقیق که در گذشته انجام شده پرداخته و به منابع معتبری که در انتهای مقاله ذکر شده، استناد شده باشد و در ادامه وجه تمایز نسبت به مطالعات قبلی و لزوم و وجوب آن و در انتها هدف اصلی پژوهش نگاشته شود. مقالاتی که تکراری بوده و در گذشته به کرات در داخل و خارج از ایران در مورد آن مطالعاتی انجام شده، در صورتی که وجه تمایز قانع کننده‌ای نداشته باشد چاپ نخواهد شد.

مواد و روش‌ها

در این قسمت باید شرح مواد و روش‌های مورد استفاده در تحقیق، جامعه آماری، روش‌های نمونه‌گیری، اندازه‌گیری‌های آزمایشی و نحوه تجزیه و تحلیل آماری آورده شود. در صورتی که از روش‌های متداول قبلی منتشر شده استفاده شده باشد، از شرح آنها خودداری و فقط به ارائه اصول و ذکر مأخذ اکتفا شود.

نتایج

در این بخش نتایج بدست آمده از تحقیق به صورت نوشتار همراه شکل و جدول و بدون بحث بیان گردد. از بکار بردن عنوان‌هایی مانند نمودار، عکس و نقشه خودداری و کلیه آنها با عنوان " شکل " درج شوند. نتایج ارائه شده در جداول یا شکل‌ها نباید به صورت دیگری مانند منحنی و یا متن نوشتاری در مقاله تکرار گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون‌ها و متن جدول تشکیل می‌شود. یک جدول باید با خطی افقی از شماره و عنوان جدول متمایز شود. همچنین سر جدول با یک خط افقی از متن جدول جدا و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی رسم شود. عنوان جدول در بالای آن جدول درج و پس از کلمه جدول و شماره آن، خط تیره و سپس عنوان ذکر شود. در متن جدول تا جایی که ممکن است نباید از خطوط افقی و عمودی استفاده کرد. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به کمیت آن ستون باشد. اگر همه ارقام جدول دارای یک واحد مشترک باشند، آن واحد در عنوان اصلی جدول ذکر شود. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه شوند.

در نمودارها از نشانه‌های Δ $\square$ $\bullet$ $\blacktriangle$ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمه شکل و شماره آن، نقطه و سپس عنوان ذکر شود. فایل Excel مربوط به نمودارها ارسال شود. اختصارات موجود در شکل‌ها و جداول باید در زیرنویس توضیح داده شوند. تمام اعداد متن و توضیحات جداول و شکل‌ها باید به زبان فارسی ارائه گردد. از ارسال نمودارهای رنگی جداً اجتناب نموده و از رنگ‌های سفید، سیاه و هاشورهای کاملاً متفاوت استفاده شود. اندازه فونت توضیحات محورهای نمودارها و اعداد به اندازه کافی بزرگ باشد تا در صورت کوچک کردن نیز خوانا باشد. جداول و نمودارها حتی المقدور در متن مقاله جاسازی شوند.

بحث

یافته‌های جدید و مهم باید با یافته‌های موجود در منابع مقایسه شود و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار گیرد، از تکرار یافته‌ها خودداری شود. مروری بر مقالات گذشته در این بخش گنجانده شود، محدودیت‌های مطالعه باید مورد توجه قرار گیرد. راهکارهای جدید و فرضیه‌های جدید پیشنهاد گردد، یافته‌های جدید و یافته‌های پیش‌بینی شده مقایسه شود. در پایان باید موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از تحقیق و نتیجه کلی پژوهش بیان گردد.

تشکر و قدردانی

در این بخش نویسنده (گان) می‌توانند از اشخاص، سازمان‌ها و افراد ذیربطی که در اجرای تحقیق همکاری داشته اند، تشکر و قدر دانی نمایند. این قسمت باید کوتاه و در حدود ۵۰ کلمه باشد.

فهرست منابع

شیوه ارجاع در تمام متن مقاله بایستی به صورتی باشد که منبع مورد ارجاع در پایان جمله در داخل پرانتز به فارسی برای منابع انگلیسی و فارسی ارائه شود. برای منابع دارای دو نویسنده، نام هر دو نویسنده و منابعی که بیش از دو نویسنده دارند، نخست نام نفر اول و سپس " همکاران " و تاریخ بیان شود. مثال:

..... نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (کریمی و احمدی، ۱۳۸۹)

..... نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، ۲۰۱۰)

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش از یک

نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف a, b و c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند.

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف اول نام اولین نویسنده و سپس اول نام نویسندگان بعدی و پس از آن نام خانوادگی آن‌ها ذکر شود.

در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به جای نام نگارنده از "Anonymous" برای منابع انگلیسی و (بی نام) برای منابع فارسی استفاده شود.

چنانچه منبع ترجمه شده باشد، در فهرست منابع باید نخست نام نویسنده (گان) کتاب اصلی، عنوان مشخصات آن (به زبان انگلیسی) و سپس نام مترجم (مترجمان) ذکر شود.

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

Brennan, E.W., and W.L. Lindsay. 1998. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:930–937.

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

Hanbury, A. 2002. The taming of the hue, saturation and brightness colour Space, 7th Computer Vision Winter Workshop, February 2002, Bad Aussee, Austria.

مطلب از کتاب

Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibrium in soils*. John Wiley & Sons, New York.

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

Logsdon, S.D., and D.A. Laird. 2003. Ranges of bound water properties associated with a smectite clay. p. 101–108. In *Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substance*. Proc. of Conf., Rotorua, New Zealand. 23–26 Mar. 2003. Industrial Research, Auckland, New Zealand.

ذکر مطلب از نویسنده‌ای در یک کتاب که نام ویراستاران روی جلد آن است

Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403–427. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

ذکر مطلب از اینترنت

Soil Survey Staff. 2004. NRCS soils [Online]. Available at <http://soils.usda.gov> [verified 23 Mar. 2005]. USDA-NRCS, Washington, DC.

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

بای بوردی و همکاران (۱۳۸۲) گزارش کردند...

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

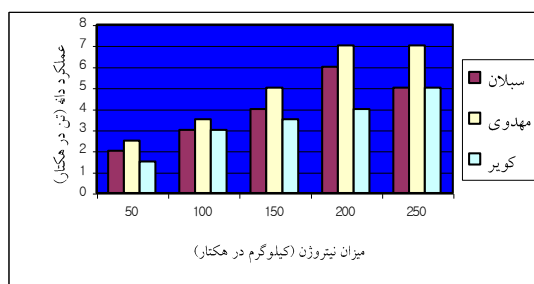
– در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق‌الذکر، مقاله پذیرفته نمی‌شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می‌رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می‌شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جدول نامناسب

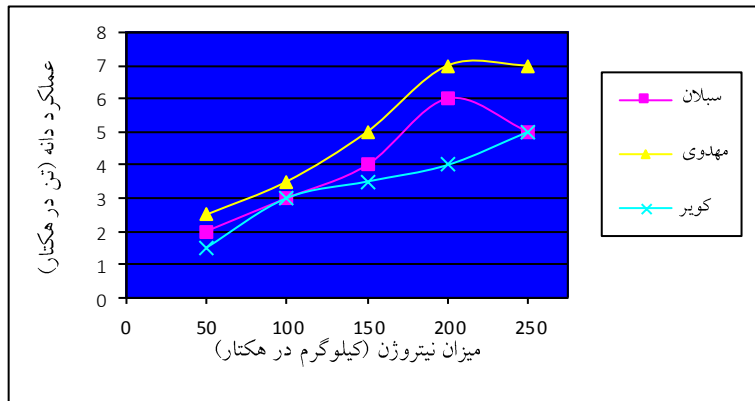
عمق (cm)	pH	EC (dS. m- 1)	TNV (%)	OC (%)	Pava il	Kavail .	Mge xch	بافت
۰-۳۰	۸/۲	۷/۶	۲۸	۰/۶۲	۳/۶	۲۹۰	۳۰۰	لومی رسی
۳۰-۶۰	۸/۲	۷/۲	۳۰	۰/۵۰	۰/۶	۲۹۵	۳۰۵	لومی رسی
۶۰-۹۰	۷/۸	۹/۵	۳۳	۰/۲۱	۰/۵	۳۳۲	۲۸۶	لومی شنی

جدول مناسب

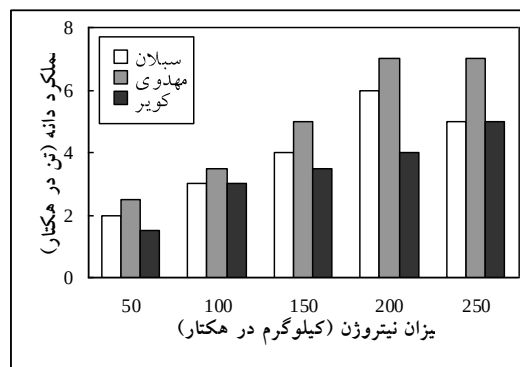
عمق (cm)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	TNV (%)	OC (%)	P _{av}	K _{av}	Mg _{ex}	بافت
							(mg.kg ⁻¹)	
0-30	8/3	7/6	28	0/60	3/6	290	300	لومی رسی
30-60	8/2	7/2	30	0/50	/60	295	305	لومی رسی
	7/8	9/5	33	0/21	/50	232	286	لومی شنی



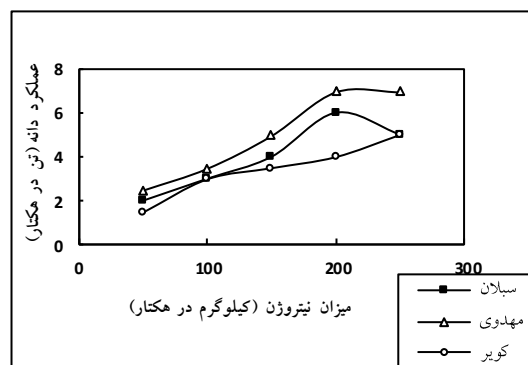
«نامناسب»



«مناسب»



«نامناسب»



«مناسب»

((نشریه پژوهش‌های خاک))

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

۱. کلیه تهیه کنندگان مقاله از ارسال آن به دفتر مجله شما آگاهند
۲. مقاله قبلاً در هیچ مجله داخلی و خارجی منتشر نشده است
۳. مقاله تا زمان پایان بررسی در آن مجله به مجله دیگری ارسال نخواهد شد.
۴. هیچگونه تغییری در تعداد نویسندگان یا ترتیب ذکر اسامی انجام نخواهد شد.

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

((اسامی داوران مقالات جلد ۳۸ شماره ۴ سال ۱۴۰۳ مجله پژوهش های خاک))

تعداد داوری	اسامی داوران
۱	دکتر کامبیز بازرگان
۱	دکتر حسین بشارتی
۲	دکتر مجید بصیرت
۱	دکتر کبری ثقفی
۲	دکتر علی چراتی
۳	دکتر هوشنگ خسروی
۲	مهندس عبدالمحمد دریاشناس
۱	دکتر علی زین الدینی
۱	دکتر محسن سیلپور
۱	دکتر ناصر علی اصغرزاد
۱	دکتر پیمان کشاورز
۱	دکتر فرهاد مشیری
۲	دکتر عزیز مؤمنی
۱	دکتر میرناصر نویدی
۲	دکتر مژگان یگانه

تحلیل وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند در شهرستان شاهرود با روش تشخیص چندگان

عناصر غذایی (CND)

جلال قادری^{۱*}، احمد اخیانی^۲ و کمال خلخال^۳

۱. نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران، رایانامه: ghaderij@yahoo.com

۲. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران، رایانامه: AhmadAkhyani@yahoo.com

۳. کارشناس محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، ایران، رایانامه: kamalkhalkhal@yahoo.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳ و پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۱

چکیده

استفاده از ارزیابی‌های تغذیه‌ای برگ، روشی امیدبخش برای شناسایی وضعیت تغذیه معدنی گیاهان است. تجزیه برگ، روشی مؤثر است که با استفاده از روش تشخیص چندگان عناصر غذایی (CND) برای ارزیابی و بهینه‌سازی عناصر غذایی چغندر قند به کار می‌رود. به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند در شهرستان شاهرود در استان سمنان این پژوهش به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۴۰۰) اجرا شد. در هر سال حداقل تعداد ۳۰ مزرعه که دارای دامنه متنوعی از خصوصیات خاک بودند، انتخاب شد. در این پژوهش گروه عملکرد زیاد در مزارع چغندر قند، با استفاده از روش CND از طریق ریاضی، آماری و کاربرد تابع تجمعی متمایز گردید. نتایج نشان داد که ۸۳/۳٪ و ۴۵٪ مزارع به ترتیب دارای کمبود فسفر و پتاسیم در خاک بوده و میانگین عملکرد در کل مزارع ۶۱/۱ تن در هکتار بود. بر اساس میانگین شاخص‌های CND ترتیب اولویت عناصر غذایی مورد نیاز در مزارع با عملکرد پایین برای عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف به ترتیب به صورت $N > P > K$ و $Mn > Fe > B > Cu > Zn$ به دست آمد. بنابراین برای افزایش عملکرد حتماً باید مصرف کودهای پرمصرف حاوی نیتروژن و در بین عناصر کم مصرف منگنز و آهن مورد توجه قرار گیرد. روش CND با در نظر گرفتن وضعیت تغذیه‌ای متعادل و نامتعادل و همچنین بی‌شبود و کمبود عناصر غذایی، ضمن توصیه کودی مناسب، از هدررفت کود و منابع مالی نیز جلوگیری می‌کند. این روش نشان داد که حدود ۵۳/۷۵٪ مزارع شهرستان شاهرود به دلیل مدیریت نامناسب کوددهی در وضعیت تغذیه‌ای نامتعادل قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه گیاه، وضعیت عناصر غذایی، مدیریت کود دهی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: ghaderij@yahoo.com

مقدمه

چغندر قند به عنوان یکی از محصولات زراعی کلیدی در سطح جهانی و در ایران، نقش مهمی در تأمین قند و دیگر مواد مغذی ایفا می‌کند. طبق آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۲ چغندر قند در ایران رتبه چهارم میزان تولید (حدود ۶/۶۷ میلیون تن که ۸/۸۳ درصد از کل میزان تولید) محصولات زراعی آبی را به خود اختصاص داده است. بنابراین آگاهی از وضعیت تغذیه چغندر قند برای افزایش کمی و کیفی محصول امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. تجزیه گیاه می‌تواند به عنوان ابزاری مفید برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان در نظر گرفته شود، زیرا مقدار یک عنصر خاص در گیاه معمولاً نشان‌دهنده تأمین آن عنصر از خاک است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فاجریا و همکاران، ۱۹۹۱؛ مونتاس و همکاران، ۱۹۹۳). کارایی تجزیه گیاه به عواملی نظیر رعایت دقیق زمان نمونه‌برداری، انتخاب عضو مناسب برای نمونه‌برداری و استاندارد بودن روش‌های تجزیه وابسته است. برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان زراعی و باغی، از روش‌های مختلفی مانند روش حد بحرانی (CL^1)، دامنه کفایت (SR^2)، تلفیقی تشخیص و توصیه ($DRIS^3$)، انحراف از حد بهینه (DOP^4) و تشخیص چندگانه (CND^5) استفاده می‌شود. در هر یک از این روش‌ها، نرم‌هایی برای هر عنصر غذایی تعیین می‌شود که بسته به فراوانی یا کمبود آن عنصر، رتبه‌بندی می‌گردد. در نهایت، این نرم‌ها اهمیت عناصر غذایی را در تغذیه متعادل گیاه مشخص می‌کنند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ دریا شناس و ثقفی، ۱۳۹۰). اما در بین این روش‌ها، روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) به عنوان یک ابزار نوین و کارآمد در ارزیابی و تشخیص وضعیت تغذیه‌ای گیاهان،

به ویژه در زراعت محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. این روش به محققان و کشاورزان کمک می‌کند تا به تجزیه و تحلیل دقیق‌تری از نیازهای غذایی گیاهان بپردازند و اثرات متقابل عناصر غذایی را در عملکرد گیاهان شناسایی کنند (Parent and Dafir, 1992). مزیت روش CND این است که با کمک گرفتن از روش ریاضی و آماری و کاربرد تابع تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی و تابع توزیع مربع کای، گروه‌های عملکردی زیاد و کم را با دقت زیاد تفکیک می‌نماید و امکان استفاده از بانک اطلاعاتی کوچک را فراهم می‌کند (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱). با توجه به این که تعادل مناسب عناصر غذایی در خاک و گیاه از کلیدی‌ترین عوامل مؤثر بر تولید و کیفیت محصول است، CND می‌تواند به بهینه سازی مصرف کودهای شیمیایی و ارتقاء عملکرد زراعی کمک کند. این روش به طور خاص، همبستگی بین غلظت عناصر و عملکرد گیاه را مورد تحلیل قرار می‌دهد و می‌تواند به تشخیص سریع‌تر نیازهای تغذیه‌ای کمک کند (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱). روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی به عنوان یک ابزار برای تفسیر نتایج تجزیه برگ، توسط پژوهشگران مختلفی از جمله پارت و دافیر (۱۹۹۲)، پارت و همکاران (۱۹۹۴)، خیاری و همکاران (۲۰۰۱)، دریاشناس و ثقفی (۱۳۹۰)، دریاشناس و همکاران (۱۳۹۶)، دریاشناس و همکاران (۱۳۹۹)، بصیرت و همکاران (۱۳۹۷) و بابازاده جعفری و همکاران (۱۴۰۳) مورد استفاده قرار گرفته است. قادری و همکاران (۱۴۰۲) برای مزارع چغندر قند استان کرمانشاه میانگین شاخص‌های CND را به ترتیب اولویت عناصر غذایی مورد نیاز در مزارع با عملکرد پایین به ترتیب برای عناصر غذایی پرمصرف به صورت

4-Deviation from optimum percentage (DOP)

5-Compositional Nutrient Diagnosis (CND)

1-Critical Limit (CL)

2Sufficiency Range (SR)

3-Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)

Mg>P>N>K و برای عناصر غذایی کم مصرف بدین صورت $Mn > Zn > Cu > B$ گزارش کردند. با توجه به اهمیت نتایج حاصل از این روش، برای محصولات زراعی مانند چغندر قند، که از نظر اقتصادی و غذایی دارای ارزش بالایی هستند، استفاده از CND می‌تواند به بهبود روش‌های کشت و افزایش عملکرد کمک کند. به ویژه در مناطق با شرایط خاص خاک و آب، CND می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای شناسایی و اصلاح مشکلات تغذیه‌ای به کار رود (دریاشناس و ثقفی، ۱۳۹۰). بنابراین با توجه به اهمیت و کشت چغندرقند و کمبود نرم‌های تغذیه‌ای برای این محصول مهم، این پژوهش با هدف بررسی وضعیت تغذیه‌ای مزارع چغندرقند با استفاده از روش CND و شناسایی عناصر غذایی محدود کننده همچون نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی، مس و بور انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی محصول چغندرقند از سال ۱۳۹۷ به مدت دو سال در شهرستان شاهرود استان سمنان انجام شد. در هر سال، حداقل ۳۰ مزرعه انتخاب گردید که این مزارع در تمامی مناطق کشت چغندرقند به نسبت سطح زیر کشت آن منطقه توزیع شدند. همچنین، در این مزارع دامنه‌ای متنوع از خصوصیات خاک (با استفاده از مطالعات خاک و ...) وجود داشت. پس از انتخاب مزارع، پیش از کشت و کودپاشی چغندرقند، از هر مزرعه یک نمونه مرکب خاک از سطح یک هکتار و عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. برای تجزیه نمونه‌های خاک، کربن آلی به روش والکلی و بلمک (۱۹۳۴)، pH با روش گل اشباع (مکلین، ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (بلاک و همکاران، ۱۹۶۵)، در صد کربنات کلاسیم (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (۱۹۶۴) و پتاسیم قابل استفاده با عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (نودسن و همکاران، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری

شدند. در سال‌های اول و دوم، نمونه‌برداری از برگ‌ها برای تعیین غلظت عناصر غذایی انجام شد. این نمونه‌برداری حدود ۹۰ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت و از برگ‌های جوان کامل و سالم (بین جوان‌ترین برگ‌ها در مرکز بوته و برگ‌های مسن‌تر) صورت گرفت. نمونه‌های برگ پس از شستشو با آب مقطر، در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس با آسیاب برقی پودر شدند. مقدار ۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده به روش هضم تر روی احاق الکتریکی در دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نیتروژن کل به روش کجلدال (بورش و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر کل به روش طیف‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، پتاسیم کل با دستگاه فلیم فتومتر، گوگرد به روش کدورت‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس کل به روش خاکستر کردن خشک با دستگاه جذب اتمی (رایان و همکاران، ۲۰۰۷) اندازه‌گیری شدند. بور نیز به روش آزمونین-اچ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت شد. جونز و همکاران (۱۹۹۱)، حدود کفایت عنصر فسفر ۱/۱-۰/۴۵، پتاسیم ۶-۲، منیزیم ۱-۰/۲۵ در صد و برای آهن ۱۴۰-۶۰، روی ۸۰-۱۰، منگنز ۳۶۰-۲۶ و بور ۲۰۰-۳۱ میلی گرم در کیلوگرم برگ چغندرقند گزارش کرده اند.

محاسبه روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی به روش زیر انجام می‌شود. این روش که مبانی ریاضی و آماری آن توسط پرنس و دافیر (۱۹۹۲) و دریاشناس و ثقفی، (۱۳۹۰) مطرح شده است، به شرح زیر است:

باقی‌مانده ترکیبات (R_d) برابر صفر خواهد بود. برای عناصری مانند R_d ، N ، P ، K ، ...، فرم بیانی از وضعیت و نسبت عناصر غذایی در گیاه است که مقادیر آن در جامعه با عملکرد زیاد بیانگر غلظت مطلوب و ایده‌آل است و به‌عنوان ارقام مرجع یا نرم‌های استاندارد CND محسوب می‌شوند و معمولاً V_N^* ، V_P^* ، V_K^* و ... $V_{R_d}^*$ نشان داده می‌شود. اگر غلظت هر عنصر غذایی گیاه مورد مطالعه را با غلظت ایده‌آل یا همان نرم‌های استاندارد کنیم شاخص عناصر غذایی CND بدست خواهد آمد و برای عناصر R_d ، N ، P ، K ، ...، به شرح ذیل محاسبه می‌شود:

$$I_{zi} = \frac{(Z_i - Z_i^*)}{SD_{zi}^*}, \quad I_N = \frac{V_N - V_N^*}{SD_{V_N}^*}, \quad I_P = \frac{V_P - V_P^*}{SD_{V_P}^*}, \\ I_K = \frac{V_K - V_K^*}{SD_{V_K}^*}, \quad I_{R_d} = \frac{V_{R_d} - V_{R_d}^*}{SD_{V_{R_d}}^*} \quad (6)$$

در این روابط $SD_{V_P}^*$ ، $V_{R_d}^*$ ، V_K^* ، V_P^* ، V_N^* ، $SD_{V_N}^*$ ، $SD_{V_{R_d}}^*$ ، $SD_{V_K}^*$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتمی عناصر غذایی هستند که به‌عنوان نرم استاندارد و یا ارقام مرجع CND محسوب می‌شوند. V_N ، V_P ، V_K و ... V_{R_d} نسبت لگاریتمی مربوط به نمونه مطالعاتی است. I_N ، I_P ، I_K و ... I_{R_d} به ترتیب شاخص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر باقیمانده هستند.

در روش CND، غلظت یک عنصر نسبت به میانگین هندسی کل عناصر و ترکیبات با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (پرنت و دافتر، ۱۹۹۲).

$$I_{zi} = \frac{Z_i - Z_i^*}{SD_{zi}^*} \quad (7)$$

۴- شاخص تعادل عناصر غذایی با روش CND مجموع r رابطه ذیل قابل محاسبه است. در این رابطه r^2 مربعات شاخص‌های عناصر غذایی است و همیشه می‌تواند اعداد

۱- ترکیبات بافت گیاهی به‌صورت یک ساختار ساده^۶ (S^d) شامل عناصر غذایی (N ، P ، K و ...) و یک بخش باقی‌مانده ترکیبات (R_d) قابل بیان است. این رابطه به شکل زیر می‌باشد که در آن d نمایانگر تعداد عناصر غذایی و R_d نشان‌دهنده باقی‌مانده ترکیبات گیاهی است: $S_d = [(N, P, K, \dots, R_d): N > 0, P > 0, K > 0, R_d > 0, N + P + K + \dots + R_d = 100]$ (۱)

در این رابطه عدد ۱۰۰ بیان‌کننده کل غلظت ماده خشک گیاه است (درصد) و N ، P ، K و ... R_d عناصر غذایی تشکیل‌دهنده بافت گیاهی هستند که R_d نشانگر سایر عناصر غذایی باقی‌مانده و اندازه‌گیری نشده است که از رابطه (۲)، محاسبه می‌شود (ایچسن، ۱۹۸۰).

$$R_d = 100 - (N + P + K \dots) \quad (2)$$

۲- میانگین هندسی عناصر غذایی با رابطه ۳ نشان داده می‌شود.

$$G = [N \times P \times K \times R_d] \frac{1}{d + 1} \quad (3)$$

۳- نسبت لگاریتم طبیعی عناصر از طریق روابط ذیل محاسبه می‌شود.

$$ZI = \log[x_i / g(x)] \\ V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), \quad V_P = \ln\left(\frac{P}{G}\right), \quad V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right), \quad V_{R_d} = \ln\left(\frac{R_d}{G}\right) \quad (4)$$

$$V_N + V_P + V_K + \dots + V_{R_d} = 0 \quad (5)$$

V_x بیانگر نسبت لگاریتمی عناصر برای x عنصر است. رابطه ۵ درستی محاسبات را تأیید می‌کند. براساس این تعریف، مجموع ترکیبات گیاهی بر مبنای عدد ۱۰۰ است و مجموع نسبت لگاریتمی عناصر با احتساب مقدار

$$F_i^c = \frac{\sum_{i=1}^{n_i-1} f_i(V_x)}{\sum_{i=1}^{n-3} f_i(V_x)} \times 100 \quad (10)$$

۵- تابع تجمعی $F_i^c(V_x)$ مرتبط با عملکرد (Y) با الگوی درجه ۳ قابل نمایش است.

$$F_i^c(V_x) = aY^3 + BY^2 + cy + d \quad (11)$$

۶- نقطه عطف این منحنی که شکل کاوی دارد، از طریق مشتق اول و دوم معادله بدست خواهد آمد.

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_i^c(V_x)}{\partial Y} &= 3ay^2 + 2by + c \\ \frac{\partial^2 F_i^c(V_x)}{\partial Y^2} &= 6ay + 2b = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

از حل معادله (۱۳) مقدار $-\frac{b}{3a}$ بیانگر عملکرد حدواسط بین گروه عملکرد کم و زیاد است که برای $d + 1$ عنصر غذایی قابل محاسبه است.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک

نتایج تجزیه خاک‌های مزارع انتخابی نشان داد که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها دارای طیف وسیعی از خصوصیات بودند (جدول ۱). اغلب مزارع محتوای کربن آلی کمتر از ۱/۲ درصد داشتند. در بسیاری از مزارع بر اساس سطح بحرانی عناصر غذایی در خاک، کمبود فسفر و در برخی از مزارع کمبود پتاسیم مشاهده شد. در شهرستان شاهرود (استان سمنان)، عناصر کم مصرف در خاک اندازه‌گیری نشده است. ولی در تمام ویژگی‌های مورد بررسی اختلاف زیادی بین مزارع وجود داشت که انحراف استاندارد بالا در جدول ۱، بیانگر این موضوع است. در مجموع، وسیع‌ترین کمبود در بین عناصر غذایی اندازه‌گیری شده، مربوط به کمبود فسفر و نیتروژن بود.

حدود ۵۰ درصد از مزارع مشکل شوری داشتند (میانگین ۴/۹۱ دسی زیمنس بر متر) و هدایت الکتریکی در خاک‌های مناطق مورد آزمایش بین ۰/۵۲ الی ۱۱/۴۵

صفر و بیشتر را به خود اختصاص دهد. از به عدد صفر نزدیک تر شود تعادل r نظر تئوری هر اندازه r^2 عناصر غذایی مطلوب‌تر خواهد شد.

$$r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + \dots + I_{Rd}^2 \quad (8)$$

بنابراین، برای هر نمونه مشخص گیاهی از طریق بدست آوردن r^2 می‌توان عدم توازن عناصر غذایی را تعیین کرد. با توجه به اینکه شاخص‌های عناصر غذایی CND متغیری مستقل و نرمال هستند، بنابراین مجموع این شاخص‌ها یعنی r^2 از یک توزیع مربع کای با درجه آزادی $d+1$ تبعیت می‌کند (روس، ۱۹۸۷). تبعیت منغیر شاخص توازن عناصر غذایی CND یعنی r^2 از تابع توزیع مربع کای یک مزیت به شمار می‌رود که در سامانه دریس امکانپذیر نبوده است.

۵- روش مناسب برای تمایز جامعه عملکرد به دو گروه زیاد و کم می‌تواند بر اساس ترسیم تابع تجمعی بین عملکرد و نسبت واریانس شاخص‌های عناصر غذایی باشد. این تابع عملکرد - عنصر غذایی شکل کاوی (concavity) دارد که با تعیین نقاط عطف منحنی (Inflection point) می‌توان گروه‌های عملکردی را با دقت ریاضی تفکیک نمود (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱).

مراحل به طریق زیر تعیین می‌شود:

۱- عملکردها از زیاد به کم ردیف می‌شوند.

۲- نسبت لگاریتمی (V_x) عناصر غذایی محاسبه می‌شود.

۳- واریانس مقادیر V_X برای اولین گروه عملکرد و برای سایر عملکردها محاسبه و نسبت واریانس آنها براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود. این عمل برای دومین گروه عملکرد و الی آخر انجام می‌شود.

$$F_i(V_x) = \frac{\text{واریانس } V_x \text{ برای } n_1 \text{ مشاهده}}{\text{واریانس } V_x \text{ برای } n_2 \text{ مشاهده}} \quad (9)$$

۴- تابع تجمعی نسبت واریانس نیز به روش بند ۳ بر اساس رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

دسی زیمنس بر متر متغیر بود (جدول ۱). pH خاک بین ۷/۱۲ الی ۸/۲ در نوسان بوده و در محدوده کمی قلیایی قرار داشت. کربن آلی خاک بین مقادیر ۰/۲۴ الی ۱/۲ درصد در نوسان بود که نشان‌دهنده آن است که مزارع به مصرف نیتروژن برای رشد نیازمند بودند. مقدار آهک بین مقادیر ۱۱ الی ۴۵ درصد متغیر بود. فسفر قابل جذب خاک بین ۵ الی ۳۰/۷۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک در تغییر بود. غلظت بهینه فسفر در خاک برای اغلب گیاهان زراعی آبی بین ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (ملکوتی و غیبی ۱۳۷۶). نتایج نشان داد ۸۳/۳ درصد

مزارع، دارای فسفر قابل جذب کمتر از ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم بودند. پتاسیم قابل جذب مزارع انتخابی بین ۱۳۰ الی ۶۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم در نوسان بود. سطح بحرانی پتاسیم قابل جذب، برای اغلب گیاهان زراعی آبی ۲۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۶). نتایج آزمایشگاهی، بیانگر بهینه بودن غلظت پتاسیم قابل جذب خاک در بیش از ۵۵ درصد خاک‌های مورد ارزیابی و ۴۵ درصد مزارع دارای پتاسیم کمتر از حد بهینه بودند.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک‌های مزارع چغندر قند در شهرستان شاهرود (۶۰ مزرعه)

صفت مورد بررسی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	فراوانی کمتر از حد بحرانی	فراوانی بیشتر از حد بحرانی
pH	۷/۱۲	۸/۲	۷/۷۶	۰/۲۱	-	-
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۵۲	۱۱/۴۵	۴/۹۱	۲/۹	-	-
آهک (درصد)	۱۱	۴۵	۲۷/۸	۷/۸	-	-
کربن آلی (درصد)	۰/۲۴	۱/۲	۰/۶۲	۰/۲۱	-	-
فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	۵	۳۰/۷۶	۱۱/۲۰	۵/۲	۸۳/۳	۱۶/۷
پتاسیم قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۳۰	۶۲۰	۲۷۸	۱۰۲/۱	۴۵	۵۵

روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)

گروه بندی مزارع چغندر قند

داده‌های عملکرد و غلظت عناصر غذایی مربوطه به ۶۰ مزرعه بر اساس میزان عملکرد از زیاد به کم مرتب شدند. سپس مقادیر میانگین هندسی (G) و نسبت لگاریتمی (V_X)، ۸ عنصر غذایی محاسبه شد. در ادامه مقادیر تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی یعنی F_i^c (V_N)، F_i^c (V_P)، F_i^c (V_K)، F_i^c (V_{Fe})، F_i^c (V_{Zn})، F_i^c (V_{Mn})، F_i^c (V_{Cu})، F_i^c (V_B) و F_i^c (V_R) برای کلیه عناصر محاسبه و ترسیم گردید که به صورت ۹ معادله درجه ۳ برای ۸ عنصر و یک قسمت باقیمانده (R_d) برازش داده شد (جدول ۲). نقاط عطف منحنی‌ها برای ۸ عنصر غذایی و ترکیبات باقیمانده برای چغندر قند شهرستان شاهرود بر حسب تن در هکتار محاسبه شدند و مطابق جدول ۷ عبارت بودند از: F_i^c (V_N)=۷۶/۵، F_i^c (V_P)=۶۴/۶

F_i^c (V_K)=۶۲/۷، F_i^c (V_{Fe})=۴۴/۲، F_i^c (V_{Cu})=۶۳، F_i^c (V_B)=۴۳/۱، F_i^c (V_{Mn})=۵۷/۷، F_i^c (V_{Zn})=۳۱/۲ و F_i^c (V_R)=۴۳/۳. همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می شود. مدل درجه ۳ برای تمام عناصر غذایی و باقیمانده در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. عملکرد چغندر قند ۷۶/۵ تن در هکتار به عنوان عملکرد حد واسطه برای تفکیک دو گروه با عملکرد بالا و پایین استفاده شد (پرنت و ترمیلی، ۲۰۰۱). بر اساس روش ذکر شده توسط پرنت و ترمیلی (۲۰۰۱)، حداکثر عملکرد در نقاط عطف مشاهده شده در منحنی‌های مقادیر تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی، به عنوان عملکرد حد واسطه انتخاب شد. همانگونه که مشاهده می شود حداکثر عملکرد در نیتروژن مشاهده شده است. در مجموع و با این تفکیک ۱۰ مزرعه در جامعه با عملکرد بالا و ۵۰ مزرعه در گروه با عملکرد پایین قرار گرفتند.

جدول ۲- برآورد عملکرد حد واسط با روش توابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی عناصر غذایی چغندر قند در شهرستان شاهرود

عناصر غذایی	$F_i^c (V_x) = aY^3 + bY^2 + cY + d$	R^2	عملکرد تعیین شده
N	$y = -0.0012x^3 + 0.2756x^2 - 21.402x + 560.27$	۰/۹۷**	۷۶/۵
P	$y = 0.0015x^3 - 0.2907x^2 + 15.354x - 150.06$	۰/۹۹**	۶۴/۶
K	$y = 0.0018x^3 - 0.3384x^2 + 17.884x - 192.64$	۰/۹۸**	۶۲/۷
Fe	$y = 0.0006x^3 - 0.0796x^2 + 1.1109x + 135.99$	۰/۹۹**	۴۴/۲
Mn	$y = 0.0006x^3 - 0.104x^2 + 3.0378x + 98.585$	۰/۹۹**	۵۷/۷
Zn	$y = 0.0002x^3 - 0.0187x^2 - 2.0634x + 17$	۰/۹۹**	۳۱/۲
Cu	$y = 0.0007x^3 - 0.1323x^2 + 6.4508x - 12.896$	۰/۹۸**	۶۳
B	$y = 0.0007x^3 - 0.0922x^2 + 1.4239x + 131.85$	۰/۹۸**	۴۳/۱
R _d	$y = 0.0004x^3 - 0.0484x^2 - 1.1268x + 179.42$	۰/۹۹**	۴۰/۳

برآورد اعداد مرجع عناصر غذایی به روش

تشخیص چندگانه

با توجه به اینکه غلظت عناصر در جامعه با عملکرد بالا به عنوان اعداد مرجع و حد بهینه عناصر غذایی

در نظر گرفته می‌شوند (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱، a, b, c) در نتیجه با در نظر گرفتن عملکرد ۷۶/۵ تن در هکتار، مقادیر V^*N ، V^*P ، V^*K ، V^*Fe ، V^*Mn ، V^*Zn و V^*Cu به عنوان اعداد مرجع تعیین شدند که در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- نرم‌های CND و انحراف معیار آن برای ۱۰ عنصر در مزارع مورد مطالعه شهرستان شاهرود

انحراف معیار	میانگین غلظت در جامعه با عملکرد مطلوب	عنصر غذایی	انحراف معیار نرم CND	میانگین نرم CND	نرم CND
۱	۳/۶۴	N	۰/۲۴	۳/۷۰	V^*_N
۰/۰۷	۰/۳۲	P	۰/۱۷	۱/۲۹	V^*_P
۰/۳	۳/۶	K	۰/۱۱	۳/۷۳	V^*_K
۴۱/۹	۱۳۵	Fe	۰/۳۰	-۱/۹۱	V^*_{Fe}
۱۶/۴	۷۱/۳	Mn	۰/۲۱	-۲/۵۳	V^*_{Mn}
۳/۱	۱۹/۴	Zn	۰/۱۲	-۲/۸۱	V^*_{Zn}
۱/۵	۱۳/۹	Cu	۰/۱۱	-۴/۱۴	V^*_{Cu}
۱/۹	۳۲/۲	B	۰/۱۰	-۳/۳۰	V^*_B

برآورد اعداد مرجع عناصر غذایی به روش

تشخیص چندگانه

با توجه به اینکه غلظت عناصر در جامعه با عملکرد بالا به عنوان اعداد مرجع و حد بهینه عناصر غذایی در نظر گرفته می‌شوند (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱، a, b, c). حدود بالا و پایین شاخص بحرانی عناصر غذایی در شهرستان شاهرود، در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق با نتایج دریا شناس و ثقفی (۱۳۹۰) دامنه‌های بحرانی ارائه شده در این جدول را می‌توان به عنوان یک "دامنه‌ی

کفایت" برای شاخص‌های عناصر غذایی در نظر گرفت که اعداد خارج از این دامنه بیانگر وضعیت بحرانی (نامتعادل) و داخل دامنه، نشانه‌ی وضعیت خوب و بسنده است (متعادل). یکی از مزایای سامانه CND نسبت به روش DRIS این است که رابطه شاخص‌های عنصر غذایی CND با عملکرد شبیه یک تابع کای اسکویر است و دارای این پتانسیل است که می‌توان شاخص‌ها را به صورت یک محدوده بیان داشت (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱ab: دریا شناس و ثقفی، ۱۳۹۰). در این ارتباط برای

تقسیم شد. مربع شاخص‌های بحرانی (I^2x) برای عناصر غذایی $I^2_N, I^2_P, I^2_K, I^2_{Fe}, I^2_{Mn}, I^2_{Zn}, I^2_{Cu}$ و I^2_B که به عنوان اعداد مرجع تعیین شدند، در جدول ۴ ارائه شده است.

تعیین محدوده بحرانی شاخص عناصر غذایی به روش CND برای چغندر قند در پژوهش ما بدین طریق عمل شد که جامعه عملکرد ریشه (مزرعه $N=60$) با استفاده از مربع شاخص‌های عناصر غذایی ($CNDI^2x$) و روش گام به گام آماری کیت-نلسون (نلسون و اندرسون، ۱۹۷۷) به دو گروه

جدول ۴- شاخص عناصر غذایی و دامنه کفایت و بحرانی برای ۸ عنصر غذایی در مزارع چغندر قند شهرستان شاهرود

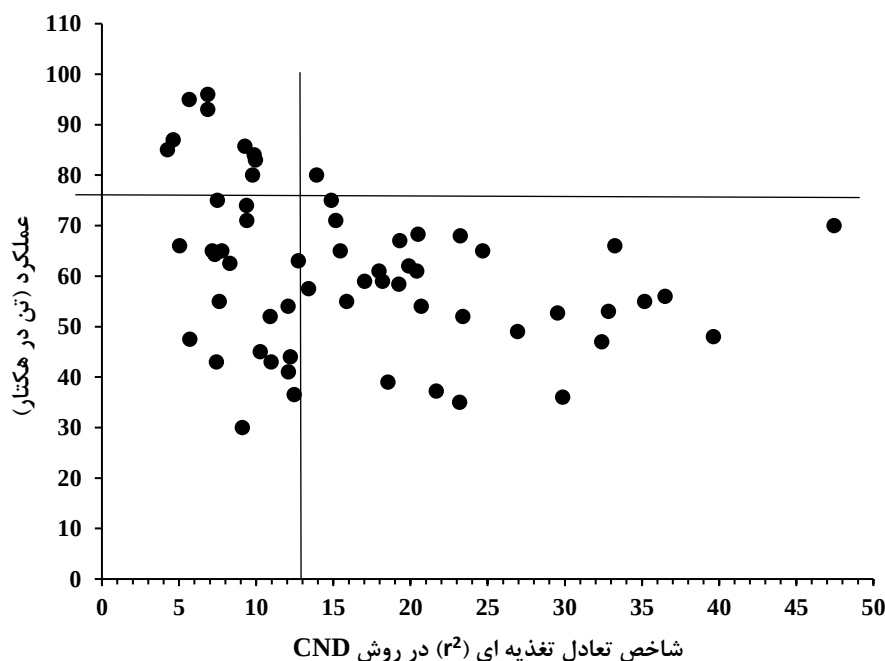
شاخص عناصر غذایی	عملکرد بحرانی	مربع شاخص عناصر غذایی (I^2x)	سطح بحرانی پایین I^2x	سطح بحرانی بالا I^2x
I^2_N	۸۲	۰/۲۲	-۰/۴۷	۰/۴۷
I^2_P	۵۰	۱/۱۳	-۱/۰۶	۱/۰۶
I^2_K	۸۳	۰/۰۵	-۰/۲۳	۰/۲۳
I^2_{Fe}	۹۴	۰/۳۴	-۰/۵۹	۰/۵۹
I^2_{Mn}	۴۷	۱/۱۵	-۱/۰۷	۱/۰۷
I^2_{Zn}	۴۰	۴/۰۴	-۲/۰۱	۲/۰۱
I^2_{Cu}	۴۵	۱/۲۱	-۱/۱۰	۱/۱۰
I^2_B	۸۴	۱/۰۶	-۱/۰۳	۱/۰۳
جمع (I^2)	۴۶	۲/۱۰	-۱/۴۵	۱/۴۵

بحرانی آن عنصر و بر اساس تابع توزیع آماری کای اسکوتر (K^2) با درجه آزادی $d+1$ برای تعداد عنصر بررسی شده و یک برای قسمت باقی مانده و فرمول مربوط در اکسل به دست آمد (شکل ۱) مقدار آن برای عملکرد ۷۶/۵ تن در هکتار، ۱۲/۹ بدست آمد. البته، اگر بر اساس روش کیت-نلسون بخواهد این شاخص برای ۱۲/۹ برآورد گردد، می‌تواند در این محدوده قرار گیرد تا حداکثر نقاط در قطعات اول و سوم قرار گیرد.

شکل ۱ نشان‌دهنده رابطه عملکرد در دو گروه عملکرد بالا و پایین با شاخص تعادل عناصر غذایی است و نشان می‌دهد که در عملکردهای کمتر از ۷۶/۵ تن در هکتار تعادل تغذیه‌ای دچار اختلال شده است و شاخص تعادل تغذیه‌ای افزایش یافته است. در عملکردهای تقریباً بیشتر از ۷۶/۵ تن در هکتار هم شاخص تعادل تغذیه‌ای مجدداً افزایش یافته است که باز مؤید این است که در عملکردهای بالا ممکن است مصرف بی‌رویه کودها و بیش‌بود عناصر در برگ منجر به اثرات برهم‌کنش منفی بین عناصر شده باشد (بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷).

ارتباط شاخص تعادل عناصر غذایی (r^2) با عملکرد چغندر قند

این شاخص به عنوان معیاری برای ارزیابی وضعیت تعادل تغذیه‌ای می‌باشد و می‌تواند صفر و یا بزرگتر از صفر باشد. در این شاخص تعادل تغذیه‌ای نیز هرچه مجموع توان دوم شاخص‌های CND بزرگتر از صفر باشد، عدم تعادل تغذیه‌ای بیشتر می‌شود. در این روش، شاخص تعادل تغذیه‌ای (r^2) از مجموع توان دوم شاخص‌های CND کلیه عناصر غذایی به دست می‌آید ($I_N, I_P, I_K, \dots$) که رابطه‌ی معکوسی با میزان عملکرد دارد (بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷). در واقع r^2 یک مجموعه متشکل از محدوده‌های شاخص غذایی است که به وسیله روش کیت-نلسون قابل تعریف است و می‌تواند به عنوان یک روش کنترل برای برآورد صحیح شاخص‌های عناصر غذایی محسوب شود و این پتانسیل در روشی همچون DRIS امکان‌پذیر نیست. شاخص عناصر غذایی (I^2x) با استفاده از روش تصویری کیت نلسون و عملکرد



شکل ۱- رابطه بین عملکرد (t ha⁻¹) و شاخص تعادل تغذیه‌ای (r²) در چغندر قند در شهرستان شاهرود (خط افقی عملکرد ۷۶/۵ تن در هکتار و خط عمودی شاخص ۱۲/۹ می باشد).

گیاه بروز و غلظت آن زیر سطح بحرانی باشد. کمبود فسفر در گیاهان، به دلایل مختلفی مانند کمبود این عنصر در خاک، عدم تعادل عناصر غذایی و همچنین به دلیل وجود شرایط آهکی بودن خاک‌ها و تثبیت آن توسط رس‌ها و کربنات کلسیم می‌باشد. شیروانی و شریعتمداری (۱۳۸۱) بیان کردند مقدار نیاز استاندارد فسفر (SPR) به شدت تحت تاثیر میزان رس، آهک و ظرفیت بافری خاک است. در یک پژوهش مشابه بر روی چغندر قند در استان کرمانشاه قادری و همکاران (۱۴۰۲) نتایج متفاوتی بدست آوردند. آن‌ها گزارش کردند که بر اساس میانگین شاخص‌های CND ترتیب اولویت عناصر غذایی مورد نیاز در مزارع با عملکرد پایین برای عناصر غذایی پرمصرف بدین ترتیب $Mg > P > N > K$ بود.

تفسیر نتایج تعدادی از مزارع با عملکرد پایین با روش تشخیص چندگانه

بر اساس میانگین شاخص‌های CND ترتیب اولویت عناصر غذایی مورد نیاز در مزارع با عملکرد پایین برای عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف به ترتیب به صورت $N > P > K$ و $Mn > Fe > B > Cu > Zn$ به دست آمد (جدول ۵). اولویت کمبود عناصر غذایی در کل مزارع بر اساس درصد از مزارعی می‌باشد که دارای کمبود یک عنصر خاص می‌باشد. ولی در یک مزرعه براساس شدت کمبود می‌باشد. شاخص نیتروژن در ۵۰ درصد از مزارع با عملکرد پایین، منفی (زیاد بود نامتعادل) بود. بعد از عنصر نیتروژن، فسفر در ۲۲ درصد از مزارع دارای شاخص منفی (زیاد بود نامتعادل) بود. بعد از فسفر، پتاسیم با ۲۰ درصد از مزارع دارای شاخص منفی بود. pH بالای خاک، رشد سریع گیاه، کم بودن مواد آلی خاک، آبیاری بیش از حد، عدم وجود آیش، کمبود بارش در فصول پاییز، زمستان و بهار از عواملی می‌باشند که نیتروژن کمتری در دسترس گیاه قرار گیرد و در نتیجه علائم کمبود آن در

در بین عناصر کم مصرف، شاخص‌های منگنز، آهن و بور به ترتیب در ۲۶، ۴۰ و ۱۰ درصد از مزارع با عملکرد پایین، منفی (زیادبود نامتعادل) بودند وجود شرایط آهکی در خاک‌های منطقه می‌تواند دلیل این کمبود باشد. تهویه خوب، pH بالا، وجود کلسیم و منیزیم، جذب آهن را کاهش می‌دهند (همدانی و ملکوتی، ۱۳۷۱). شاخص بور در برخی مزارع مثبت و در برخی از مزارع دیگر منفی بود. شناخت دامنه اثر فرآیندهای کنترل‌کننده فعالیت بور در محلول خاک برای حفظ کیفیت آب و مدیریت حاصلخیزی خاک مهم است. مجیدی و همکاران (۱۳۸۹)،

گزارش کردند که ظرفیت تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم فعال خاک، از مهم‌ترین عوامل ابقای بور در خاک‌های آهکی هستند و رابطه مثبتی با درجه برگشت پذیری بور در خاک نشان دادند. همچنین ۲۴ درصد از مزارع دارای شاخص منفی روی و بور هستند. عواملی مانند سیستم آبیاری، شیوع و بروز بیماری‌های گیاهی و حمله آفات، تغییرات ناگهانی دما، سابقه کشت و تناوب جزو عواملی هستند که ممکن است به عنوان عامل ناشناخته در کاهش عملکرد چغندر قند نقش ایفا کرده باشند.

جدول ۵ - شاخص‌های CND، عملکرد و اولویت نیاز عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در مزارع چغندر قند با عملکرد پایین در

شهرستان شاهرود

عملکرد	I_N	I_P	I_K	I_{Fe}	I_{Mn}	I_{Zn}	I_{Cu}	I_B	عناصر غذایی	r^2
۷۵	-۲/۶۰	۰/۱۹	-۰/۳۳	-۰/۶۹	-۰/۳۶	۱/۶۷	۱/۱۲	۱/۸۲	N	۳۳/۱۶
۷۵	۰/۶۷	۱/۱۴	-۰/۹۷	-۰/۷۵	-۱/۰۰	-۱/۶۳	-۰/۱۶۶	-۰/۳۴	Zn>K	۲۴/۸۶
۷۴	-۰/۹۲	-۰/۳۰	-۱/۲۲	-۰/۴۰	۰/۶۷	-۰/۶۶	۲/۰۳۲	-۱/۱۱	K>N	۲۳/۵۵
۷۱	-۲/۲۰	-۰/۴۱	-۰/۹۴	-۰/۴۲	-۰/۳۳	۱/۱۶	۲/۱۶	۱/۷۶	N>K	۲۳/۱۸
۷۱	۰/۳۰	۱/۰۶	-۰/۸۶	-۰/۱۸	-۰/۹۲	-۰/۵۷	-۰/۸۳	-۲/۳۰	B	۲۵/۰۶
۷۰	-۱/۷۹	-۲/۹۰	۲/۹۶	-۱/۰۶	-۰/۳۳	۳/۶۹	۱/۳۸	۲/۶۷	P>N	۲۳/۳۳
۶۸/۳	۱/۸۸	۰/۶۱	-۲/۵۶	۱/۱۱	-۲/۲۳	-۰/۴۱	-۰/۲۸	-۱/۶۲	K>Mn	۲۴/۸۹
۶۸	-۳/۲۱	۰/۰۵	۱/۶۰	۲/۵۰	-۱/۲۲	-۰/۹۹	-۰/۵۴	۱/۰۳	N>Mn	۲۳/۲۹
۶۷	۰/۹۶	۱/۹۳	-۰/۳۶	-۰/۱۲	-۱/۷۷	-۰/۸۲	۱/۰۳	-۲/۵۴	B>Mn	۲۵/۴۷
۶۶	۰/۴۳	۰/۶۴	۱/۱۲	-۰/۱۹	-۱/۳۴	-۰/۷۵	-۰/۱۶	-۰/۱۰	Mn	۲۵/۰۲
۶۶	-۱/۷۹	-۱/۵۵	۲/۶۶	-۰/۹۱	-۰/۴۷	۳/۴۰	۰/۲۰	۱/۸۵	N>P	۲۳/۷۶
۶۵	۲/۴۲	-۰/۰۷	-۰/۴۰	-۰/۹۹	-۰/۴۴	-۰/۸۳	-۰/۱۱	-۲/۴۲	B>Fe	۲۵/۵۳
۶۵	-۰/۵۶	-۰/۷۱	-۰/۶۷	-۰/۴۱	-۰/۵۰	-۰/۴۲	۱/۷۱	-۱/۴۵	P>N	۲۴/۰۰
۶۵	۱/۳۱	۰/۳۷	۱/۰۶	-۰/۱۲	-۱/۷۲	-۰/۱۹	-۰/۴۳	-۰/۶۴	-	۲۵/۲۷
۶۵	-۳/۶۶	-۰/۲۲	۲/۴۸	-۰/۶۳	-۰/۲۹	۱/۲۳	۱/۱۲	-۰/۱۳	N	۲۳/۲۳
۶۴/۳	۱/۱۰	۰/۰۵	-۰/۹۲	-۰/۶۶	-۰/۷۰	-۰/۱۴	-۰/۲۹	-۲/۵۰	B>K	۲۴/۷۴
۶۳	۲/۳۶	-۰/۳۱	-۰/۴۰	-۱/۷۷	-۰/۳۹	۱/۳۱	۰/۹۴	-۰/۴۲	Fe	۲۵/۲۷
۶۲/۵	-۰/۶۲	-۰/۴۰	۱/۰۴	-۰/۱۰	-۰/۴۴	۱/۱۳	-۰/۸۶	-۱/۳۱	N	۲۴/۰۷
۶۲	-۳/۰۵	۰/۲۷	-۰/۹۵	۲/۲۴	-۰/۹۶	-۱/۱۴	۱/۱۶	-۰/۹۶	N	۲۳/۲۷
۶۱	۲/۶۰	۰/۲۱	-۰/۴۳	-۰/۴۷	-۲/۴۲	-۲/۲۶	-۰/۸۰	۱/۲۰	Zn>Mn	۲۵/۸۴
۶۱	-۰/۴۱	-۱/۹۰	-۰/۶۲	-۱/۲۲	-۰/۶۴	۲/۲۸	-۰/۹۱	۱/۵۳	P>Fe	۲۴/۲۳
۵۹	-۳/۳۳	۰/۰۷	۱/۲۵	۱/۱۸	-۰/۰۰۴	-۰/۱۷	۱/۶۸	-۰/۰۰۱	N	۲۳/۲۰
۵۹	۰/۱۱	-۰/۸۶	۱/۶۶	-۰/۱۸	-۲/۳۵	۲/۴۶	-۰/۳۳	-۱/۵۴	Mn>B	۲۴/۸۸
۵۸/۴	-۰/۰۰۳	-۰/۹۲	۱/۹۰	-۰/۰۶	-۱/۸۸	۲/۹۱	-۰/۷۳	-۱/۴۴	Mn	۲۴/۵۳
۵۷/۵	-۱/۱۰	-۰/۵۱	۱/۴۳	۱/۳۳	-۲/۲۳	-۰/۲۳	۱/۶۸	-۰/۴۹۲	Mn>N>P	۲۴/۰۲
۵۶	-۲/۷۷	-۱/۵۲	-۰/۹۲	-۰/۷۴	-۰/۶۳	۲/۰۲	۱/۳۵	۳/۰۸	N>P>Fe	۲۲/۹۸
۵۵	-۲/۴۰	-۱/۷۴	۱/۲۳	-۰/۸۱	-۰/۲۵	۱/۹۲	۱/۷۷	۳/۳۵	N>P>Fe	۲۳/۱۱
۵۵	۱/۵۲	-۰/۱۹	-۰/۰۰۱	۱/۴۴	-۲/۲۶	-۰/۴۷	-۲/۲۵	-۰/۴۶	Mn>Cu	۲۵/۰۰
۵۵	-۱/۱۷	۰/۳۷	-۰/۸۸	-۰/۲۵	-۰/۲۳	۲/۰۶	-۰/۵۰	-۰/۱۷	N	۲۴/۲۳
۵۴	۰/۹۸	-۱/۰۹	۲/۲۷	-۱/۲۸	-۱/۲۷	-۰/۶۳	-۰/۸۴	۱/۸۷	Fe>Mn>P	۲۵/۱۶
۵۴	-۱/۵۳	-۰/۳۳	۱/۲۵	۱/۰۸	-۱/۷۷	۱/۳۹	-۰/۸۷	-۰/۱۴	N>Mn	۲۳/۹۱
۵۳	-۱/۶۹	-۱/۱۹	۲/۶۳	-۰/۴۲	-۰/۴۹	۴/۲۶	-۱/۱۸	-۰/۷۹	N>P>Cu	۲۳/۸۴
۵۲/۷	۱/۹۰	-۰/۱۵	۲/۳۸	۱/۵۶	-۳/۲۶	-۰/۷۹	-۱/۱۸	-۱/۰۵	Mn>Cu	۲۵/۶۳
۵۲	۲/۷۵۶	۰/۵۰	۲/۱۰	-۰/۶۵	-۲/۶۹	-۱/۶۹	-۰/۵۰	-۰/۶۳	Mn>Fe	۲۶/۳۴
۵۲	-۰/۴۸	۲/۴۰	-۰/۲۳	-۰/۸۱	-۰/۷۷	۱/۶۲	-۰/۰۴	-۰/۷۴	Fe>N	۲۵/۰۰
۴۹	-۰/۳۵	-۲/۱۱	۴/۴۲	-۰/۴۵	-۱/۳۳	-۰/۱۱	-۰/۱۲	-۰/۸۲	P>Mn	۲۴/۵۰
۴۸	-۲/۱۱	-۰/۸۷	۲/۳۶	-۰/۷۱	-۱/۴۴	۴/۶۵	۱/۸۲	-۰/۸۸	N>Mn>Fe	۲۳/۶۷
۴۷/۵	-۱/۶۵	۱/۲۳	-۰/۶۷	-۰/۰۷	-۰/۶۹	-۰/۶۰	-۰/۴۰	-۰/۰۷۶	N	۲۴/۲۰
۴۷	-۳/۶۶	-۰/۲۲	۱/۸۹	-۰/۳۳	-۰/۷۹	۲/۵۰	-۰/۵۲	-۰/۴۷	N	۲۳/۱۰
۴۵	۱/۷۴	-۰/۰۲	-۱/۶۳	-۰/۲۶۱	-۱/۲۳	-۰/۱۳	۱/۴۲	-۰/۳۵	K>Mn	۲۴/۸۱
۴۳	-۰/۸۷	۰/۵۲	-۰/۵۵	-۰/۱۵	-۱/۱۰	۱/۷۰	۲/۳۱	-۱/۲۰	N>Mn	۲۴/۲۸
۴۴	۱/۸۲	-۰/۰۷	-۰/۵۴	-۰/۴۵	-۱/۰۶	-۱/۰۶	۱/۱۶	-۰/۱۴	K	۲۵/۱۲
۴۳	-۰/۰۲۴	-۰/۷۶	-۰/۸۷	-۰/۹۳	-۱/۱۵	-۰/۶۸	-۱/۶۳	۱/۴۵	K>Fe	۲۴/۴۵
۴۱	۰/۴۷	۰/۲۴	۱/۲۵	-۰/۵۱	-۱/۶۶	-۰/۶۳	-۲/۰۲	۱/۴۷	Mn>Cu	۲۵/۰۴
۳۹	-۰/۵۷	۱/۷۲	-۰/۶۱	-۱/۱۸	-۱/۷۹	۲/۰۷	۱/۹۹	۱/۰۳	Fe>K	۲۴/۶۶
۳۷/۲	-۱/۱۸	-۰/۰۶۹	۱/۲۵	-۰/۶۷	-۱/۰۷	۲/۹۵	۲/۳۷	-۱/۳۵	N	۲۴/۲۱
۳۶/۵	-۱/۰۳	۱/۵۹	-۰/۵۱	-۰/۵۹	-۰/۴۱	۲/۰۱	۱/۱۰	-۰/۸۶	N>B>Fe>Mn	۲۴/۴۷
۳۶	-۱/۳۵	۲/۶۰	-۲/۲۱	-۱/۰۵	-۱/۱۹	۱/۵۷	۳/۰۴	-۰/۷۲	K>N>Fe>Mn	۲۴/۲۷
۳۵	-۰/۴۷	-۱/۹۳	۳/۹۹	-۰/۴۹	-۱/۲۹	-۰/۱۶	-۰/۱۲	۱/۱۴	P>Mn	۲۴/۴۰
۳۰	-۱/۵۵	-۰/۱۶	۱/۸۸	-۰/۰۳	۱/۱۷	-۰/۶۰	-۰/۶۵	-۰/۳۵	N	۲۴/۰۹

تفسیر نتایج مزارع با عملکرد پایین با روش تشخیص چندگانه

مزیت و برتری روش CND نسبت به روش های DRIS و DOP این است که با استفاده از روش های آماری مانند کای اسکویر می توان وضعیت متعادل و یا نامتعادل عناصر غذایی هر مزرعه (با استفاده از جدول ۴ و ۵) را تعیین کرد (جدول ۶). در روش CND برخلاف روش DRIS، منفی بودن شاخص عناصر غذایی (مثلاً

IN یا IP و) الزاما دلیل بر کمبود آن عناصر نیست. در روش CND ممکن است یک شاخص عناصر غذایی منفی باشد (جدول ۵) ولی در محدوده بین حد پایین بحرانی و حد بالای بحرانی قرار گیرد (جدول ۴) که در این صورت بیانی از حالت متعادل است و خارج از این محدوده نامتعادل است (دریاسناس و ثقفی ۱۳۹۰: خياری و همکاران ۲۰۱۱a). در جدول ۶ شاخص های عناصر غذایی را به دو حالت متعادل و نامتعادل بیان شده است.

جدول ۶- وضعیت متعادل و نامتعادل عناصر غذایی مزارع چغندر قند با عملکرد پایین در شهرستان شاهرود

عملکرد	I_N	I_P	I_K	I_{Fe}	I_{Mn}	I_{Zn}	I_{Cu}	I_B	r^2
۷۵	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۳/۱۶
۷۵	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۴/۸۶
۷۴	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۳/۵۵
۷۱	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۳/۱۸
۷۱	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۵/۰۶
۷۰	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۳/۳۳
۶۸/۳	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۴/۸۹
۶۸	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۳/۲۹
۶۷	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۵/۴۷
۶۶	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۵/۰۲
۶۶	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	۲۳/۷۶
۶۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۵/۵۳
۶۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۴/۰۰
۶۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۵/۲۷
۶۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۳/۲۳
۶۴/۳	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۴/۷۴
۶۳	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۵/۲۷
۶۲/۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۴/۰۷
۶۲	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۳/۲۷
۶۱	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	۲۵/۸۴
۶۱	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	۲۴/۲۳
۵۹	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۳/۲۰
۵۹	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	۲۴/۸۸
۵۸/۴	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	۲۴/۵۳
۵۷/۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۴/۰۲
۵۶	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۲/۹۸
۵۵	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۳/۱۱
۵۵	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۵/۰۰
۵۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	۲۴/۲۳
۵۴	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۵/۱۶
۵۴	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۳/۹۱
۵۳	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	۲۳/۸۴
۵۲/۷	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۵/۶۳
۵۲	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۶/۳۴
۵۲	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۵/۰۰
۴۹	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۴/۵۰
۴۸	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	۲۳/۶۷
۴۷/۵	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۴/۲۰
۴۷	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	۲۳/۱۰
۴۵	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۴/۸۱
۴۳	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۴/۲۸
۴۴	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۵/۱۲
۴۳	متعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۴/۴۵
۴۱	متعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۵/۰۴
۳۹	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	۲۴/۶۶
۳۷/۲	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	۲۴/۲۱
۳۶/۵	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۴/۴۷
۳۶	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	۲۴/۲۷
۳۵	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	نامتعادل	۲۴/۴۰
۳۰	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	متعادل	متعادل	۲۴/۰۹
	I_N	I_P	I_K	I_{Fe}	I_{Mn}	I_{Zn}	I_{Cu}	I_B	میانگین
نامتعادل (%)	۸۲	۳۲	۹۴	۵۴	۴۸	۲۶	۴۶	۵۰	۵۳/۷۵
متعادل (%)	۱۸	۶۸	۶	۴۶	۵۲	۷۴	۵۴	۵۰	۴۶/۲۵

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است عناصر به ترتیب زیر دارای وضعیت متعادل یا نامتعادل هستند:

وضعیت نامتعادل:

$K (94\%) > N (82\%) > Fe (54\%) > B (50\%) > Mn (48\%) > Cu (46\%) > P (32\%) > Zn (26\%)$

وضعیت متعادل:

$Zn (74\%) > P (68\%) > Cu (54\%) > Mn (52\%) > B (50\%) > Fe (46\%) > N (18\%) > K (6\%)$

به صورت کلی ۵۳/۷۵ درصد مزارع شهرستان شاهرود در وضعیت نامتعادل تغذیه‌ای و ۴۶/۲۵ درصد آن در وضعیت متعادل تغذیه‌ای قرار دارند (جدول ۶). نکته قابل توجهی که بایستی به آن اشاره کرد این است که زمانی که وضعیت یک عنصر غذایی نامتعادل است به این معنی نیست که این عنصر دارای کمبود است چرا که ممکن است دارای بیشبود باشد. به عنوان مثال پتاسیم ۹۴ درصد در وضعیت نامتعادل تغذیه‌ای قرار دارد که ۷۸/۷۲ درصد آن بیشبود و تنها ۲۱/۲۸ درصد آن مربوط به کمبود پتاسیم است. در چنین وضعیتی بایستی از مصرف کودهای پتاسه در مزارع دارای بیشبود خودداری کرد. از طرف دیگر عنصری مانند نیتروژن که ۸۲ درصد وضعیت تغذیه‌ای آن نامتعادل است، ۶۵/۸۵ درصد دارای وضعیت کمبود و ۳۴/۱۵ درصد آن مربوط به بیشبود نیتروژن است. بنابراین روش CND با در نظر گرفتن متعادل و نامتعادل بودن وضعیت تغذیه‌ای و همچنین بیشبود و کمبود عناصر مربوطه، ضمن توصیه

کودی مناسب از هدررفت کود و منابع مالی نیز جلوگیری می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در مزارع انتخابی، بیانگر اختلاف در روش مدیریت مزارع و عدم بهینه مصرف کودهای شیمیایی و آلی می‌باشد. با توجه به اینکه این پژوهش کاربردی بوده و برای افزایش عملکرد و کیفیت چغندر قند، قابل تسری می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌نماید که در برنامه کوددهی از عناصر دچار کمبود با توجه به منطقه، استفاده و اولویت داده شود. برای افزایش عملکرد چغندر قند بایستی مصرف کودهای نیتروژن، منگنز و آهن مورد توجه قرار گیرد و از مصرف بی رویه کودهای پتاسیم و روی پرهیز کرد. به صورت کلی ۵۳/۷۵ درصد مزارع شهرستان شاهرود در وضعیت نامتعادل تغذیه‌ای و ۴۶/۲۵ درصد آن در وضعیت متعادل تغذیه‌ای قرار دارند. تعیین نرم‌های CND نسبت به روش‌های دیگر همچون DRIS یا DOP نیاز به داده و هزینه کمتری دارد. این روش اثرات متقابل کلیه عناصر غذایی را نیز در نظر می‌گیرد. پیشنهاد می‌شود که روش CND برای محصولات زراعی مختلف با روش‌های دیگر مورد اعتبارسنجی و مقایسه بیشتری قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی. (۱۴۰۲). مرکزآمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه ریزی اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی.
۲. بابازاده جعفری، شهریار، دواتگر، و شکوری کتیگری، فیضیان. (۱۴۰۳). برآورد محدودیت عناصر غذایی گیاه برنج با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND). نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۴(۴)، ۷۳-۵۳.
۳. <https://doi.org/10.22034/SPS.2024.19183>
۴. بصیرت، مجید، حقیقت نیا، حسن و موسوی، سید مجید. (۱۳۹۷). ارزیابی و تعیین وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب استان فارس. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۲(۱)، ۱۴۳-۱۵۴. <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i1.67597>
۵. دریاشناس، عبدالمحمد و ثقفی، کبری. (۱۳۹۰). تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) برای چغندرقد. نشریه علمی پژوهش‌های خاک، ۲۵(۱)، ۱-۱۲.
۶. دریاشناس، عبدالمحمد، بصیرت، پاک‌نژاد و دریاشناس، سروش. (۱۳۹۶). روش تحلیل داده‌های ترکیبی برای تشخیص وضعیت عناصر غذایی کم‌مصرف با رویکرد تعادل عناصر در چغندرقد پاییزه. پژوهش‌های خاک، ۳۱(۴)، ۴۹۷-۵۰۸. <https://doi.org/10.22092/IJSR.2018.1158405>
۷. دریاشناس، عبدالمحمد و ثقفی، داوودی. (۱۳۹۹). تشخیص تعادل عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در چغندرقد با استفاده از تخمین-گرهای فاصله ماهالانویس، فاصله ایچسن و تعادل ترازیوی. پژوهش‌های خاک، ۳۴(۲)، ۲۴۷-۲۶۳. <https://doi.org/10.22092/IJSR.2020.122634>
۸. شیروانی، مهران و شریعتمداری، حسین. (۱۳۸۱). استفاده از هم دماهای جذب سطحی در تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری و نیاز استاندارد فسفر برخی خاک‌های آهکی استان اصفهان. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۶(۱)، ۱۲۱-۱۳۰. <https://sid.ir/paper/373176/fa>
۹. قادری، جلال، طهرانی، حامدی، فردین و حیدری، خلیل. ۱۴۰۲. ارزیابی تعادل تغذیه‌ای در مزارع چغندرقد استان کرمانشاه با روش‌های انحراف از درصد بهینه (DOP) و تشخیص چندگانه (CND). پژوهش‌های خاک، ۳۷(۲)، ۹۵-۱۱۵. [10.22092/IJSR.2023.359848](https://doi.org/10.22092/IJSR.2023.359848)
۱۰. مجیدی، عزیز، راهنمایی، رسول و ملکوتی، محمد. جعفر. (۱۳۸۹). برهم‌کنش‌های جذب سطحی بور با فسفر و سیلیسیم در خاک‌های آهکی. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۴۵ص.
۱۱. همدانی، ریاضی، عبدالحسین، ملکوتی، محمد. جعفر. (۱۳۷۱). کودها و حاصلخیزی خاک (نویسنده، تسیدل و و تلسون). انتشارات دانشگاه تهران، ۵۹۸ص.
۱۲. ملکوتی، محمد. جعفر و غیبی، محمد. نبی. ۱۳۷۶. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی برای محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور. نشرآموزش کشاورزی، ۱۱، ۵۶.
۱۳. ملکوتی، محمد، جعفر، کشاورز، پیمان و کریمیان، نجفعلی. (۱۳۸۷). روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۵۵۰ص.

14. Black, C. A., Evans, D. D., and R. C. Dinauer. (1965). Methods of soil analysis (Vol. 9, pp. 653-708). ASA. Madison, WI.
15. Buresh, R. J., Austin, E. R., and E. T. Craswell. (1982). Analytical methods in N-15 research. *Fertilizer Research*, 3(1): 37-62. <https://doi.org/10.1007/BF01053296>
16. Fageria, N.K., Baligar, V.C., and Jones, C. A. 1991. Growth and mineral nutrition of field crop. Marcel Dekker, New York.
17. Jones, J. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420025293>
18. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001b. The Phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agron. J*, 93: 815-819. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934815x>
19. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001c. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agron. J*, 93: 802-808. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934802x>
20. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001a. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. *Agron. J*, 93: 809-814. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934809x>
21. McLean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties* (pp. 199-224). SSSA. Madison, WI.
22. Montanes, L., Heras, L., Abadia, J., and M. Sanz (1993). Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage. *J. Plant Nutr*, 16(9): 1289-1308. <https://doi.org/10.1080/01904169309364875>
23. Nelson, L.A., and R.L. Anderson. (1977). Partitioning of soil test-crop response probability. In M. Stelly (ed.) *Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results* (pp. 19-38). ASA, Madison WI.
24. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., and L. A. Dean. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939. US Government Printing Office, Washington DC.
25. Page, A. L., Miller, R. H., and D. R. Keeney. (1982). Chemical and microbiological properties. In *Methods of soil analysis, part 2, no. 9* (2nd ed., pp. 443-444). ASA. Madison, WI.
26. Parent, L. E., and M. Dafir. (1992). A theoretical concept of Compositional Nutrient Diagnosis. *J Am Soc Hortic Sci*, 117(2): 239-242. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.2.239>
27. Parent, L.E., Cambouris, A.N., and A. Muhawenimana. (1994). Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. *SSSA*, 58: 1432-1438. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050022x>
28. Ryan, J. R., Stefan, G., and A. Rashid. (2001). *Soil and plant analysis laboratory manual* (2nd ed.). ICARDA. Aleppo, Syria.
29. Sharma, J., Shikhamany, S. D., Singh, R. K., and H. B. Raghupathi. (2005). Diagnosis of nutrient imbalance in Thompson seedless grape grafted on Dog Ridge rootstock by DRIS common. *Soil Sci Plant Anal*, 36(20): 2823-2838. <https://doi.org/10.1080/00103120500214674>
30. Walkley, A., and I. A. Black. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*, 37(1): 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت در تعدادی از خاک‌های آهکی

مرضیه براتی زانیانی^{۱*}، علیرضا حسین‌پور^۲، محمدحسن صالحی^۳ و اعظم جعفری^۴

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. چهارمحال و بختیاری، ایران. رایانامه: marziehbarati99@yahoo.com

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. چهارمحال و بختیاری، ایران. رایانامه:

alirezahosseinpur1347@gmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. چهارمحال و بختیاری، ایران. رایانامه:

mehsalehi@yahoo.com

۴. بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. رایانامه:

a.jafari@uk.ac.ir

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳ و پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۶

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی وضعیت پتاسیم و تعیین حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت (*Zea mays L*) با روش‌های میچرلیخ-بری، تصویری کیت-نلسون و روش تجزیه واریانس کیت-نلسون در تعدادی از خاک‌های آهکی انجام شد. به این منظور، ۱۵ نمونه خاک از خاک‌های کشاورزی (۳۰-۰ سانتیمتر) دشت شهرکرد انتخاب شد. قبل از کاشت، پتاسیم خاک‌ها با روش‌های استات آمونیوم ۱ نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-DTPA، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۱ مولار و مهلیج ۱ عصاره‌گیری و تعیین شد. آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (نوع خاک و مقدار کود پتاسه)، در ۳ تکرار انجام شد. پس از اتمام دوره رویشی، بخش هوایی ذرت برداشت و شاخص‌های گیاهی شامل؛ وزن ماده خشک، غلظت پتاسیم، جذب کل پتاسیم و عملکرد نسبی تعیین شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات خاک و کود پتاسیم در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر وزن خشک، غلظت و جذب کل پتاسیم گیاه داشت. نتایج نشان داد که عصاره‌گیرهای مختلف، غلظت‌های متفاوتی از پتاسیم را عصاره‌گیری نموده‌اند. میانگین پتاسیم عصاره‌گیری شده در خاک‌ها به ترتیب؛ استات آمونیوم ۱ نرمال > بی‌کربنات آمونیوم-DTPA > باریم کلرید ۰/۱ مولار > کلسیم کلرید ۰/۱ مولار > مهلیج ۱ بود. عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار به دلیل همبستگی با شاخص عملکرد نسبی را می‌توان به عنوان عصاره‌گیر مناسب در این خاک‌ها دانست. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم با روش میچرلیخ-بری در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار به ترتیب؛ ۲۵۷/۶، ۲۴۵/۸ و ۴۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. در روش تصویری کیت-نلسون، حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، کلرید باریم ۰/۱ مولار و کلرید کلسیم ۰/۱ مولار به ترتیب، ۲۶۰، ۲۴۰ و ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در روش تجزیه واریانس کیت نلسون، حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب، ۳۲۵/۵، ۲۶۵/۲ و ۵۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. نتایج این پژوهش نشان داد که حد بحرانی پتاسیم تعیین شده در هر عصاره‌گیر با روش تجزیه واریانس کیت-نلسون بیشتر از دو روش دیگر بود.

واژه‌های کلیدی: دشت شهرکرد، کیت-نلسون، میچرلیخ-بری.

*-آدرس ایمیل نویسنده مسئول: marziehbarati99@yahoo.com

مقدمه

پتاسیم جزء عناصر پرنیاز گیاه می‌باشد. در اکثر مواقع، مقدار پتاسیمی که جذب گیاه می‌شود، با مقدار نیتروژن مورد استفاده گیاه برابری می‌نماید. گیاهان همانند نیتروژن، نیاز فراوانی به پتاسیم دارند. عمدتاً، مقدار برداشت پتاسیم بین ۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. پتاسیم به عنوان فراوان‌ترین کاتیون در گیاه، فعال کننده بیش از ۵۰ نوع آنزیم می‌باشد. در فتوسنتز، تنفس، ساخت پروتئین، متابولیسم مواد هیدروکربنه و تنظیم اسمز نقش دارد. همچنین، این عنصر موجب تسریع در تعدادی از واکنش‌های بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود و مقاومت گیاهان را در برابر خشکی و حملات آفات افزایش می‌دهد. بنابراین، پتاسیم در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و حفظ رشد ضروری است (مکلین و واتسون، ۱۹۸۵). یکی از مهمترین گیاهان زراعی کشور، ذرت (*Zea mays* L.) است. کراوس (۱۹۹۴)، گزارش کرد که مقدار برداشت پتاسیم توسط ذرت، از نیتروژن بیشتر می‌باشد. ذرت در طول روز حدود ۵ کیلوگرم در هکتار، پتاسیم برداشت می‌کند که این مقدار برداشت در مقایسه با برداشت پتاسیم توسط بسیاری از گیاهان، نسبتاً بالا است. کمبود پتاسیم در ذرت می‌تواند منجر به کاهش عملکرد، آسیب به برگ‌ها و کاهش مقاومت گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی مانند خشکسالی شود (ماسچر، ۱۹۹۵). در سال‌های اخیر، به علت استفاده فشرده از اراضی زراعی و استفاده از ارقام با قابلیت استفاده بالای پتاسیم و افزایش سیستم‌های کشت آبی، نشانه‌هایی از کمبود پتاسیم و پاسخ گیاه به کاربرد کود پتاسیم، مشاهده شده است.

حد بحرانی، غلظتی از عنصر غذایی در خاک است که در مقادیر کمتر از آن، احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود افزایش می‌یابد. با تعیین حد بحرانی یک عنصر در خاک، می‌توان خاک‌ها را از نظر نیاز یا عدم نیاز به مصرف کود دسته‌بندی نمود (سیدو و همکاران، ۱۹۸۲). به منظور تعیین حد بحرانی روش‌های مختلفی، از جمله؛ روش میچرلیخ-بری (بری، ۱۹۵۸)، روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه (هاولین و

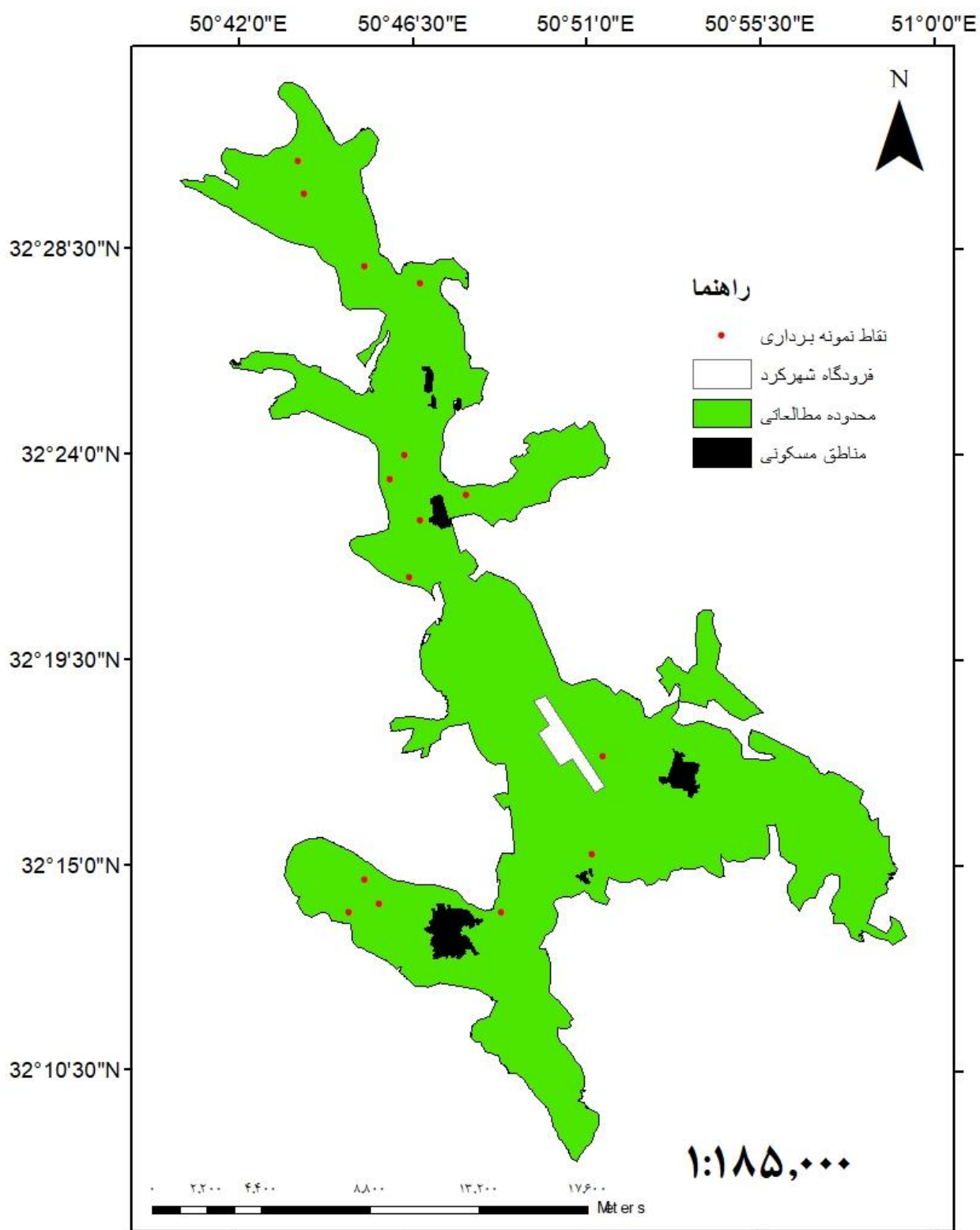
سلطان‌پور، ۱۹۸۵)، روش تصویری کیت-نلسون (کیت-نلسون، ۱۹۸۵) و روش تجزیه واریانس کیت-نلسون (کیت-نلسون، ۱۹۷۱) استفاده می‌شود. حد بحرانی پتاسیم در خاک‌ها، با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع عصاره‌گیر به کار رفته و نوع گیاه کشت شده متفاوت می‌باشد. نظری و دردی پور (۱۳۹۵)، حد بحرانی پتاسیم برای گیاه ذرت و گندم در عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال، را به ترتیب؛ ۲۱۲ و ۲۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. مونی‌شوار ساین و همکاران (۲۰۱۹)، حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های ورتی سول با سیستم کشت مختلف شامل برنج-گندم و سوبا-گندم را در عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال با استفاده از روش تصویری کیت-نلسون ۳۳۵ و با استفاده از روش تجزیه واریانس کیت-نلسون ۳۳۷ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. نظری و همکاران (۱۴۰۰)، حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال را به روش تصویری کیت-نلسون در گیاه کینوا، ۲۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. کشاورز و همکاران (۲۰۰۴)، حد بحرانی پتاسیم در پنبه با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال به روش میچرلیخ-بری و روش تصویری کیت-نلسون را به ترتیب ۲۱۳ و ۲۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. عبداللهی و همکاران (۱۳۹۰)، حد بحرانی پتاسیم با روش میچرلیخ-بری در برخی مزارع گندم آبی استان کرمانشاه با عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال را ۱۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. تفرجی و حق‌پرست تنها (۱۳۸۴)، حد بحرانی پتاسیم را با استفاده از روش تصویری کیت-نلسون و معادله میچرلیخ-بری برای ذرت در خاک‌های استان گیلان به ترتیب ۱۴۸ و ۱۶۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند.

با توجه به نقش پتاسیم به عنوان یک عنصر ضروری در رشد گیاه، این مطالعه با هدف تعیین حد بحرانی پتاسیم در گیاه ذرت به روش میچرلیخ-بری، روش تصویری کیت-نلسون و روش تجزیه واریانس کیت-نلسون در تعدادی از خاک‌های زراعی دشت شهرکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین حد بحرانی پتاسیم در گیاه ذرت در خاک‌های زراعی دشت شهرکرد، ۳۰ نمونه خاک زراعی از عمق ۳۰ سانتی‌متری در فروردین ماه ۱۴۰۳ تهیه شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی متری، مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک‌ها با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال تعیین و از بین آنها، ۱۵ نمونه خاک (شکل ۱)، که حاوی مقادیر مختلف پتاسیم بودند، انتخاب شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های انتخاب شده، شامل؛ توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (جی و بادر، ۱۹۸۶)، قابلیت هدایت الکتریکی

در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک (رودز، ۱۹۹۶)، pH در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (توماس، ۱۹۸۲)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامر، ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید (لاپرت و همکاران، ۱۹۹۶) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در $pH = 7$ (سامر و میلر، ۱۹۹۶)، اندازه‌گیری شد. همچنین، عصاره‌گیرهای؛ استات آمونیوم ۱ مولار (نادسن و همکاران، ۱۹۸۲)، باریم کلرید ۰/۱ مولار (سیمارد و زیزکا، ۱۹۹۴)، مهلیچ ۱ (مهلیچ، ۱۹۵۳)، بی کربنات آمونیوم - DTPA (سلطان‌پور و شواب، ۱۹۷۷) و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار (سالومون، ۱۹۹۸)، برای استخراج پتاسیم استفاده شد (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری در خاک‌های زراعی دشت شهرکرد

جدول ۱- مشخصات روش‌های عصاره‌گیری‌های مورد استفاده

شماره	عصاره‌گیر	غلظت	نسبت خاک/آب	زمان تکان دادن (دقیقه)	منبع
۱	استات آمونیوم	۱ مولار	۱:۲۰	۱۵	نارس و همکاران، ۱۹۸۲
۲	باریم کلرید	۰/۱ مولار	۱:۱۰	۳۰	سیمارد و زیژکا، ۱۹۹۴
۳	مهلچ ۱	اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار و اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار	۱:۵	۵	مهلچ، ۱۹۵۳
۴	بی‌کربنات آمونیوم-DTPA	بی‌کربنات آمونیوم یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار	۱:۲	۱۵	سلطان‌پور و شواب، ۱۹۷۷
۵	کلسیم کلرید	۰/۰۱ مولار	۱:۱۰	۱۲۰	سالومون، ۱۹۹۸

مطالعه گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی در

۱۵ نمونه خاک با دو سطح پتاسیم (مقدار صفر و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم) در سه تکرار انجام شد. به همین منظور، بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در گلدان‌هایی با ۷ کیلوگرم خاک کشت شد. برای کشت گیاه، بذرهای ذرت با محلول قارچ‌کش بنومیل ضدعفونی شده و تعداد ۵ بذر در هر گلدان کشت شد. بعد از جوانه‌زنی، تعداد بذرهای ۲ عدد در هر گلدان کاهش داده شد. مقادیر ۵۰، ۱۰ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، آهن و روی به‌صورت کودهای مونوکلسیم دی‌هیدروژن فسفات، سکوسترین ۱۳۸ آهن و سولفات روی به هر گلدان اضافه شد. همچنین، مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به صورت تقسیطی در سه نوبت (در زمان کاشت، سه و پنج هفته بعد از کاشت) اضافه گردید. در طول دوره رشد، مراقبت‌های لازم از قبیل آبیاری در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه و حذف علف‌های هرز انجام شد. پس از تکمیل مرحله رویشی، بخش‌های هوایی گیاه برداشت، با آب مقطر شسته شد. سپس، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک اندام هوایی تعیین گردید. نمونه‌های خشک شده در آون، به روش خاکستر خشک هضم و غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد (والینگ و همکاران، ۱۹۸۹). همچنین، تفاوت عملکرد گیاه در تیمارهای کود داده شده و کود داده نشده به عنوان پاسخ گیاه (ΔY_{max}) تعیین و جذب پتاسیم و عملکرد نسبی با استفاده از رابطه‌های زیر، محاسبه شد.

غلظت پتاسیم در گیاه $\times$ عملکرد گیاه = جذب پتاسیم

$$100 * \frac{\text{عملکرد در تیمار شاهد}}{\text{عملکرد در تیمار کود داده شده}} = \text{درصد عملکرد نسبی}$$

به‌منظور معنی‌دار بودن اثر تیمارها از نظر پاسخ‌های گیاهی، تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل انجام شد. سپس، حد بحرانی پتاسیم در خاک‌ها در عصاره‌گیری‌های مختلف به روش‌های میچرلیخ-بری، تصویری کیت-نلسون و تجزیه واریانس کیت-نلسون انجام شد.

روش میچرلیخ-بری

بر اساس روش میچرلیخ-بری (بری، ۱۹۸۵)، تغییر در عملکرد نسبت به تغییر غلظت عنصر غذایی در خاک، به صورت نزولی متناسب با اختلاف حداکثر عملکرد و عملکرد نسبی می‌باشد. هر چه این اختلاف بیشتر باشد، تغییر در عملکرد نسبت به تغییر در مقدار غلظت عنصر غذایی قابل استفاده خاک، بیشتر خواهد بود. رابطه زیر برای تعیین حد بحرانی و پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی استفاده می‌شود.

$$\text{Log}(100-y) = \log 100 - C_1 b$$

که در این رابطه، b مقدار پتاسیم استخراج شده از خاک، y عملکرد نسبی گیاه و C_1 ضریب تأثیر خاک می‌باشد. در هر خاک، ضریب C_1 محاسبه و میانگین آن به عنوان ضریب C_1 معادله محاسبه خواهد شد. سپس برای رسیدن به عملکرد نسبی ۹۰ درصد، حد بحرانی محاسبه خواهد شد.

روش تصویری کیت-نلسون

$$SS_B = \frac{(\sum_{i=1}^n \Delta Y_{\max i})^2}{n_1} + \frac{(\sum_{i=n_1+1}^n \Delta Y_{\max i})^2}{n_2} - \frac{(\sum_{i=1}^n \Delta Y_{\max})^2}{n}$$

در این رابطه، عبارت اول، مجموع $\Delta Y_{\max}$ کلاس ۱، عبارت دوم مجموع $\Delta Y_{\max}$ کلاس ۲ و عبارت سوم مجموع دو کلاس می‌باشد. n_1 تعداد مشاهدات در کلاس ۱ و n_2 تعداد مشاهدات در کلاس ۲ و n مجموع مشاهدات است. در مکانی که بیشترین مجموع مربعات بین گروه‌ها (SS_B) به دست می‌آید، حد بحرانی در این روش، میانگین آخرین عضو کلاس کم و اولین عضو کلاس زیاد خواهد بود.

نتایج و بحث

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خاک‌ها دارای pH ۷/۷ تا ۸/۲، مواد آلی ۰/۲۳ تا ۱/۳۳ درصد، کربنات کلسیم معادل ۲۰ تا ۴۴/۵ درصد، گنجایش تبادل کاتیونی ۱۷ تا ۲۵ سانتی مول‌بار بر کیلوگرم و بافت خاک‌ها متوسط تا سنگین بودند. نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که نوع خاک و اثر سطح پتاسیم مصرفی بر عملکرد خشک، غلظت و جذب پتاسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری دارد. بنابراین، می‌توان گفت که مصرف پتاسیم باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه ذرت شده است. فتحی و همکاران، (۱۳۹۳) در پژوهش خود به نتیجه مشابهی دست یافتند. اثر متقابل خاک و پتاسیم در سطح ۵ درصد بر عملکرد خشک پتاسیم معنی‌دار نشده است ولی با غلظت و جذب کل پتاسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری دارد. خودشناس، قدبیک‌لو و دادیور (۱۳۹۹)، گزارش نمودند که اثر متقابل خاک و پتاسیم در سطح ۵ درصد بر غلظت پتاسیم گیاه لوبیا اثر معنی‌داری داشت.

کیت-نلسون (۱۹۶۵)، این روش را به‌منظور گروه بندی مقادیر عناصر غذایی خاک به دو دسته کم و زیاد، طراحی نمودند. در این روش خاک‌ها به خاک‌هایی که احتمال پاسخ به مصرف کود در آنها اندک و خاک‌هایی که احتمال پاسخ به مصرف کود در آنها زیاد می‌باشد، تقسیم می‌شوند. در این روش، محور X ، میزان عنصر غذایی عصاره‌گیری شده از خاک و محور Y ، درصد عملکرد نسبی می‌باشد. در این نمودار، محل تلاقی عنصر غذایی عصاره‌گیری شده از خاک با نتایج درصد عملکرد نسبی نقطه گذاری می‌شود. خط عمود بر محور Y ها، از ۹۰ درصد عملکرد نسبی ترسیم خواهد شد. سپس، خط عمود بر محور X ها، به‌گونه‌ای ترسیم می‌شود که نمودار پراکنش نقاط به چهار قسمت تقسیم و بیشترین نقاط در ربع‌های دوم و چهارم قرار گیرد. محل تلاقی خط عمود بر محور X ، حد بحرانی عنصر غذایی در خاک در نظر گرفته می‌شود.

روش تجزیه واریانس کیت-نلسون

کیت-نلسون (۱۹۷۱)، یک روش آماری تکرارپذیری را برای تفکیک داده‌های آزمون خاک به دو یا سه گروه، براساس حداکثر کردن کلاس مجموع مربعات بین گروه‌ها ارائه کردند. بدین منظور، عملکرد در تیمار شاهد و عملکرد در تیمار کود داده شده در هر مکان تعیین می‌شود. تفاوت بین عملکرد در تیمار کود داده شده و عملکرد در تیمار شاهد در هر مکان محاسبه می‌گردد ($\Delta Y_{\max}$). اطلاعات مربوط به پاسخ گیاه براساس افزایش مقدار عنصر عصاره‌گیری شده با هر روش مرتب خواهند شد. سپس، مجموع مربعات بین گروه‌ها (SS_B)، با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	pH 1:2	EC 1:2 (dS m ⁻¹)	بافت خاک	رس	سیلت	شن	ماده آلی %	کربنات کلسیم معادل	گنجایش تبادل کاتیونی (Cmol _c kg ⁻¹)
۱	۸/۰	۰/۳۲	C.L	۲۵/۴	۲۶/۰	۴۸/۶	۰/۶۵	۲۳/۵	۲۱/۳
۲	۷/۹	۰/۳۳	C.L	۳۷/۴	۱۸/۰	۴۴/۶	۰/۴۵	۳۵/۰	۲۵/۰
۳	۷/۹	۰/۳۱	S.L	۱۷/۴	۱۶/۰	۶۶/۶	۰/۲۳	۳۳/۵	۲۰/۰
۴	۷/۸	۰/۳۷	S.L	۱۷/۴	۲۰/۰	۶۲/۶	۰/۸۲	۴۳/۰	۱۸/۰
۵	۸/۱	۰/۳۱	C.L	۲۷/۴	۳۰/۰	۴۲/۶	۰/۵۹	۴۴/۵	۱۷/۰
۶	۷/۹	۰/۳۴	C.L	۲۹/۴	۲۸/۰	۴۲/۶	۱/۳۳	۲۴/۰	۲۱/۷
۷	۸/۰	۰/۳۳	C	۴۷/۴	۲۸/۰	۲۴/۶	۰/۷۲	۳۶/۰	۲۱/۱
۸	۸/۰	۰/۳۱	S.C.L	۳۱/۴	۱۲/۰	۵۶/۶	۰/۴۱	۴۴/۵	۱۸/۰
۹	۸/۰	۰/۳۳	C	۴۷/۴	۲۶/۰	۲۶/۶	۰/۵۵	۳۸/۵	۱۸/۴
۱۰	۸/۱	۰/۳۳	C	۴۳/۴	۲۰/۰	۳۶/۶	۰/۷۰	۲۹/۵	۲۱/۷
۱۱	۸/۲	۰/۳۰	C	۴۳/۴	۲۲/۰	۳۴/۶	۰/۵۰	۳۴/۰	۲۱/۷
۱۲	۷/۸	۰/۳۱	C.L	۳۳/۴	۲۲/۰	۴۴/۶	۰/۸۳	۲۳/۵	۲۳/۰
۱۳	۷/۷	۰/۳۳	S.L	۱۹/۴	۱۶/۰	۶۴/۶	۰/۴۸	۲۰/۰	۲۲/۳
۱۴	۸/۱	۰/۳۱	C	۴۱/۴	۳۲/۰	۲۶/۶	۰/۹۰	۲۶/۵	۲۴/۸
۱۵	۸/۱	۰/۳۲	C	۴۱/۴	۳۲/۰	۲۶/۶	۰/۶۸	۳۰/۰	۲۱/۴
حداقل	۷/۷	۰/۳۰		۱۷/۴	۱۲/۰	۲۴/۶	۰/۲۳	۲۰/۰	۱۷/۰
حداکثر	۸/۲	۰/۳۷		۴۷/۴	۳۲/۰	۶۶/۶	۱/۳۳	۴۴/۵	۲۵/۰
میانگین	۷/۹۷	۰/۳۲		۳۳/۵	۲۳/۲	۴۳/۳	۰/۶۶	۳۲/۴	۲۱/۰

SL: Sandy Loam ,SCL: Sandy Clay Loam ,CL: Clay Loam ,C: Clay

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد خشک	غلظت	جذب
نوع خاک	۱۴	۲۱/۱۵۳**	۱/۲۱*۱۰.۸**	۵۶۸۹۳**
مقدار پتاسیم	۱	۳۷/۴۰.۶**	۲/۲۴*۱۰.۹**	۵۳۲۴۰.۸**
نوع خاک × مقدار پتاسیم	۱۴	۲/۰۴ ^{ns}	۷/۳۶*۱۰.۷**	۹۹۱۱**
خطا	۶۰	۲/۴۱ ^{ns}	۹/۵۲*۱۰.۶ ^{ns}	۴۹۶۹ ^{ns}

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} : غیر معنی‌دار

اثر مصرف کود پتاسه بر عملکرد گیاهی در هر خاک در جدول ۴، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کاربرد پتاسیم در اکثر خاک‌ها باعث افزایش عملکرد شد. عدم افزایش عملکرد گیاه در اثر مصرف کود پتاسه در برخی خاک‌ها، نشان می‌دهد که پتاسیم در این خاک‌ها محدود کننده رشد گیاه نیست.

جدول ۴- اثر مصرف کود پتاسه بر شاخص‌های گیاهی

شماره خاک	ماده خشک (گرم بر گلدان)	غلظت پتاسیم (درصد)	جذب کل پتاسیم (میلی گرم بر گلدان)	عملکرد نسبی (درصد)	پاسخ گیاه (گرم بر گلدان)
سطوح پتاسیم مصرفی (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)					
	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	
۱	۷/۶۲	۸/۶۰	۲/۶۸	۴/۰	۳۴۳/۸۱
۲	۷/۹۵	۱۱/۳۳	۳/۸۷	۴/۹۸	۵۶۵/۰۹
۳	۷/۰۳	۹/۱۰	۳/۷۱	۴/۴۳	۴۰۳/۲۸
۴	۱۱/۳۵	۱۳/۳۰	۴/۲۲	۴/۵۶	۶۰۶/۸۰
۵	۸/۰۶	۸/۵۳	۳/۲۱	۵/۲۳	۴۴۶/۰۱
۶	۱۴/۴۵	۱۴/۵۱	۴/۱۰	۴/۴۵	۵۹۳/۷۲
۷	۸/۵۱	۹/۳۲	۳/۱۰	۵/۹۴	۲۶۳/۹۳
۸	۹/۶۵	۱۱/۱۶	۴/۳۸	۴/۸۹	۴۲۳/۱۰
۹	۱۱/۰	۱۲/۰۸	۴/۶۳	۵/۱۱	۵۰۸/۹۹
۱۰	۱۱/۰۵	۱۳/۲۴	۴/۲۲	۴/۸۲	۴۶۶/۲۷
۱۱	۹/۹۹	۱۲/۶۵	۴/۱۲	۵/۳۱	۴۱۱/۶۷
۱۲	۱۰/۰۱	۱۲/۲۳	۲/۷۸	۴/۲۷	۳۷۸/۷۹
۱۳	۹/۸۰	۸/۵۳	۳/۹۸	۴/۶۰	۳۹۰/۲۷
۱۴	۱۱/۷۴	۱۲/۳۶	۳/۳۳	۴/۲۷	۳۹۱/۶۶
۱۵	۱۰/۵۷	۹/۶۴	۴/۶۰	۵/۰۶	۴۸۶/۲۲
میانگین	۱۰/۴۰**	۱۱/۰۶**	۳/۷۹**	۴/۷۹**	۳۶۸/۴۵**
					۵۳۱/۲۹**

*: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

نتایج پتاسیم قابل استفاده در عصاره‌گیری‌های مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. میانگین مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیری‌های استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و مهلیچ یک به ترتیب ۲۴۸/۴، ۲۴۷/۱، ۲۲۲/۹، ۴۰/۳ و ۳۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. بیشترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال و کمترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیر مهلیچ یک بود. این نتیجه نشان‌دهنده مکانیسم‌های مختلف عصاره‌گیرها در عصاره‌گیری پتاسیم می‌باشد. از طرف دیگر در هر عصاره‌گیر مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در خاک‌ها متفاوت بود. این نتیجه نشان‌دهنده تأثیر ویژگی‌های خاک بر پتاسیم عصاره‌گیری شده می‌باشد. احاراری و همکاران (۱۳۹۵)، میانگین مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیری‌های استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را به ترتیب ۲۳۱/۱، ۲۰۲/۶ و ۹۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. زیبک و همکاران (۲۰۱۷)، میانگین پتاسیم

عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیری‌های استات آمونیوم یک نرمال و باریم کلرید ۰/۱ مولار را به ترتیب ۱۷۰ و ۲۰۲/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. به‌منظور انتخاب عصاره‌گیر مناسب، ارتباط پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیری‌های مختلف با شاخص‌های گیاه ذرت بررسی شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که عملکرد نسبی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با عصاره‌گیری‌های استات آمونیوم یک نرمال، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و پاسخ گیاه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با عصاره‌گیری‌های استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار و مهلیچ یک داشت. با توجه به نتایج، عصاره‌گیری‌های استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار می‌توانند به عنوان عصاره‌گیر مناسب در ارزیابی پتاسیم قابل استفاده ذرت استفاده شوند. المفراجی و همکاران (۲۰۲۰)، عصاره‌گیری‌های استات آمونیوم یک نرمال و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را به عنوان عصاره‌گیر مناسب بر رشد و

گندم و سویا-گندم را با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال با روش تصویری کیت-نلسون و روش آماری کیت-نلسون به ترتیب ۳۳۵ و ۳۳۷ کیلوگرم بر هکتار گزارش نمودند. حسین‌پور و زارع‌نیا (۲۰۱۲)، حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده لوبیا با روش تصویری کیت-نلسون برای عصاره‌گیر کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار را ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند.

عملکرد سیب‌زمینی دانستند. فتحی و همکاران (۱۳۹۳)، گزارش کردند که پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه ذرت با پتاسیم استخراج شده در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها در عصاره‌گیرهای مناسب به روش میچرلیخ-بری در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب؛ ۲۵۷/۶۶، ۲۴۵/۸۲ و ۴۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. کشاورز و همکاران (۲۰۰۴)، حد بحرانی پتاسیم در پنبه با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال به روش میچرلیخ-بری را ۲۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند. نتایج حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به روش تصویری کیت-نلسون در شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که حد بحرانی پتاسیم در عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب ۲۶۰، ۲۴۰ و ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین، نتایج حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به روش آماری کیت-نلسون در جدول ۸، نشان داده شده است. نتایج جدول نشان داد که حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم یک نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار به ترتیب، ۳۲۵/۵۰، ۲۶۵/۲۵ و ۵۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در خاک‌هایی که مقادیر پتاسیم قابل استفاده بالاتر از حد بحرانی باشد، احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود در این خاک‌ها ناچیز است. فرشادی‌راد و دردی‌پور (۱۳۸۸)، حد بحرانی پتاسیم در گندم را با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک نرمال به روش تصویری کیت-نلسون، ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. مونی‌شوار ساین و همکاران (۲۰۱۹)، حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های زیر کشت برنج-

جدول ۵- مقادیر پتاسیم قابل استفاده خاک در عصاره‌گیرهای مختلف

شماره خاک	استات آمونیوم ۱ نرمال	بی‌کربنات آمونیوم-DTPA	باریم کلرید ۰/۱ مولار	کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار	مهلیج ۱
۱	۲۰۶	۲۱۴/۶	۲۰۶	۳۹/۵	۳۶/۷۵
۲	۱۹۵	۲۰۸/۳	۲۰۶	۴۰/۵	۲۸/۵۰
۳	۲۴۲	۲۲۵/۳	۲۲۵	۴۸/۰	۴۲/۰
۴	۱۶۸	۱۸۴/۹	۱۷۷	۱۷/۵	۲۲/۵۰
۵	۱۸۷	۲۰۶/۳	۲۰۲	۳۲/۵	۲۸/۵۰
۶	۲۳۰	۲۱۵/۹	۲۲۳	۴۲/۵	۳۶/۵۰
۷	۲۱۸	۲۱۷/۳	۲۰۵	۳۱/۰	۲۸/۰
۸	۱۸۴	۲۰۲/۱	۲۰۲	۳۶/۰	۳۲/۲۵
۹	۲۸۳	۳۰۳/۱	۲۵۲	۶۰/۵	۵۷/۰
۱۰	۲۵۸	۲۷۰/۰	۲۳۵	۴۰/۵	۴۰/۵
۱۱	۲۵۰	۲۵۵/۲	۲۱۵	۲۹/۰	۳۱/۵
۱۲	۲۵۱	۲۴۵/۳	۲۱۴	۳۴/۰	۲۶/۵
۱۳	۴۰۳	۳۲۸/۹	۲۷۹	۶۱/۰	۵۷/۰
۱۴	۳۰۸	۳۱۱/۴	۲۲۴	۳۳/۵	۲۸/۰
۱۵	۳۴۳	۳۱۸/۲	۲۷۹	۵۸/۰	۴۹/۷۵
حداقل	۱۶۸	۱۸۴/۹	۱۷۷	۱۷/۵	۲۲/۵۰
حداکثر	۴۰۳	۳۲۸/۹	۲۷۹	۶۱/۰	۵۷/۰
میانگین	۲۴۸/۴	۲۴۷/۱	۲۲۲/۹	۴۰/۳	۳۶/۴

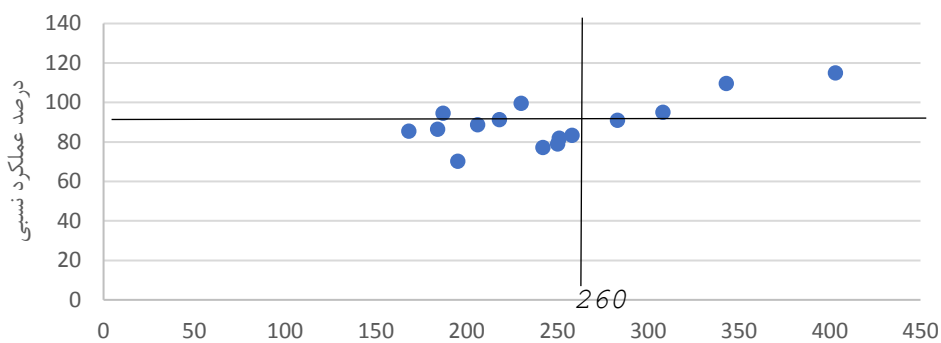
جدول ۷- همبستگی بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی

ماده خشک	عملکرد نسبی	جذب پتاسیم	غلظت پتاسیم	پاسخ گیاه
استات آمونیوم ۱ نرمال	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۶۷ ^{**}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}
بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌بی‌ای	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۵۷ ^{**}	۰/۳۰ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}
باریم کلرید ۰/۱ مولار	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۶۶ ^{**}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}
کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۵۴ ^{**}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}
مهلیج ۱	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}

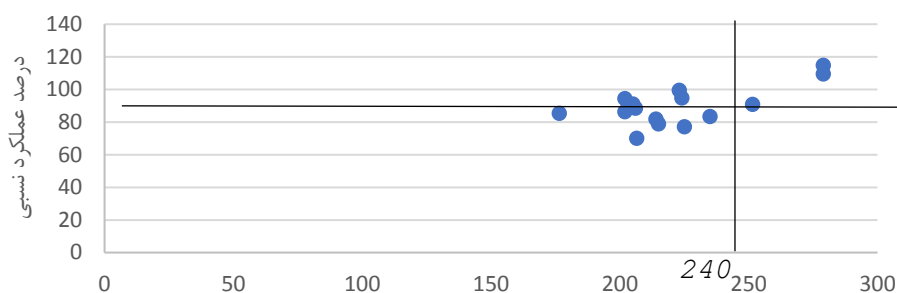
** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} : غیر معنی‌دار

جدول ۸- حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها در عصاره‌گیرهای مناسب به روش میچرلیخ-بری

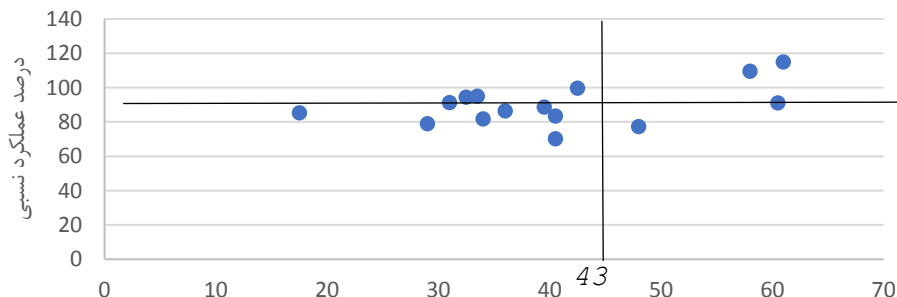
نام عصاره گیر	ضریب C ₁	حد بحرانی (میلی گرم بر کیلوگرم)
استات آمونیوم ۱- نرمال	۰/۰۰۳۸۸۱	۲۵۷/۶۶
باریم کلرید ۰/۱ مولار	۰/۰۰۴۰۶۸	۲۴۵/۸۲
کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار	۰/۰۲۴۷۸۰	۴۰/۳۵



شکل ۱- پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم ۱ نرمال (میلی گرم بر کیلوگرم)



شکل ۲- پتاسیم عصاره‌گیری شده با باریم کلرید ۱/۱ مولار (میلی گرم بر کیلوگرم)



شکل ۳- پتاسیم عصاره‌گیری شده با کلسیم کلرید ۱/۱۰ مولار (میلی گرم بر کیلوگرم)

جدول ۹- حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها در عصاره‌گیرهای مناسب به روش آماری کیت-نلسون

نام عصاره گیر	کلاس		حد بحرانی (میلی گرم بر کیلوگرم)
	n ₂	n ₁	
استات آمونیوم ۱- نرمال	۲	۱۳	۳۲۵/۵۰
باریم کلرید ۱/۱ مولار	۲	۱۳	۲۶۵/۲۵
کلسیم کلرید ۱/۱۰ مولار	۳	۱۲	۵۳/۰

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم باعث افزایش عملکرد ذرت در برخی خاک‌ها شد. بیشترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری، در عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ نرمال با میانگین ۲۴۸/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و کمترین مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیر مهلیچ ۱ با میانگین ۳۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. با توجه به همبستگی مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده در عصاره‌گیرهای ذکر شده با شاخص عملکرد نسبی، عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار عصاره‌گیر مناسب در این خاک‌ها بودند. حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها به روش میچرلیخ-بری با عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار به ترتیب؛ ۲۵۷/۶۶، ۲۴۵/۸۲ و ۴۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. حد

بحرانی پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه به روش تصویری کیت-نلسون در عصاره‌گیرهای استات آمونیوم ۱ نرمال، باریم کلرید ۰/۱ مولار و کلسیم کلرید ۰/۱ مولار به ترتیب ۲۶۰، ۲۴۰ و ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین، حد بحرانی پتاسیم به روش آماری کیت-نلسون در عصاره‌گیرهای ذکر شده به ترتیب ۳۲۵/۵۰، ۲۶۵/۲۵ و ۵۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج این مطالعه نشان داد که حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده در روش‌های تصویری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری مشابه و با روش تجزیه واریانس کیت-نلسون تفاوت دارند. این نتیجه احتمالا، به دلیل استفاده از دو شاخص متفاوت در تعیین حد بحرانی می‌باشد. در روش‌های تصویری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری تعیین حد بحرانی براساس شاخص عملکرد نسبی می‌باشد. درحالی‌که در روش تجزیه واریانس کیت-نلسون براساس پاسخ گیاه است. در رابطه با اینکه کدام روش‌ها در تعیین حد بحرانی پتاسیم دقت بالاتری دارند، نیاز به تحقیقات بیشتر و انجام مطالعه در مزرعه می‌باشد.

فهرست منابع

۱. احراری، م. اولیایی، ح.م. ادهمی، ا. و نجفی‌قیری، م. ۱۳۹۶. مطالعه وضعیت پتاسیم و ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی برای استخراج پتاسیم قابل جذب در برخی خاک‌های زیتون‌کاری استان فارس. نشریه آب و خاک. ۳۱ (۳): ۸۴۵-۸۳۵.
۲. تفرجی، س.ح. و حق‌پرست‌تنها، م.ر. ۱۳۸۴. تعیین سطح بحرانی پتاسیم با استفاده از روش گرافیکی کیت - نلسون و معادله میچرلیخ - بری برای ذرت در خاک‌های استان گیلان. نهمین کنگره علوم خاک ایران. تهران. ایران.
۳. خودشناس، م.ع.، قدبیک‌لو، ج. و دادپور، م. ۱۳۹۹. ارزیابی عصاره‌گیرهای شیمیایی و تعیین حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های زیر کشت لوبیا. پژوهش‌های خاک. ۳۴ (۴): ۴۶۴-۴۵۱.
۴. دردپور، ا. و فرشادی‌راد، ا. ۱۳۸۸. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای گندم و بررسی پاسخ آن به سولفات پتاسیم در تعدادی از خاک‌های لسی استان گلستان. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان. ایران.
۵. فتحی، س.، صمدی، ع.، داوری، م. و اسدی کپورچال، ص. ۱۳۹۳. ارزیابی عصاره‌گیرهای مختلف برای تعیین پتاسیم قابل استفاده ذرت در خاک‌های آهکی استان کردستان. دانشگاه گیلان، تحقیقات غلات. ۴ (۳): ۲۶۶-۲۵۳.
۶. عبداللهی، ع. ملکوتی، م.ج. و قادری، ج. ۱۳۹۰. انجام توصیه کودی پتاسیم با استفاده از معادله میچرلیخ-بری در برخی از مزارع گندم آبی استان کرمانشاه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۱۲۸-۱۲۱.

۷. نظری، ط. دردی‌پور، ا. ۱۳۹۵. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای کشت گندم و ذرت. سومین کنگره سراسری در مسیر توسعه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. گرگان. ایران.
۸. نظری، ط. سوسرای، ن. بارانی‌مطلق، م. و دردی‌پور، ا. ۱۴۰۰. تعیین حد بحرانی پتاسیم به روش کیت-نلسون در گیاه کینوا.
۹. سومین کنفرانس بین‌المللی مطالعات مهندسی کشاورزی، زراعت و اصلاح نباتات. تهران. ایران.
10. Al-Mafraji, R.J., Saad Hannon, T.M. and Al-Barakat N.K. 2022. The impact of potassium levels and its extraction methods on growth and yield of potassium (*Solanum Tuberosum* L.). *Plant Archives*. 20 (1): 416- 419.
11. Bray, R.H. 1958. The correlation of a phosphorus soil test with the response of wheat through a modified Mitscherlich equation. *Soil Science Society of America, Proceeding*. 22: 314-317.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1958.03615995002200040013x>.
12. Cate, R.B., Jr., and Nelson. L.A. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. North Carolina. *Agricultural Experiment Statistics. International Soil Testing Series, Tech. Bull. Number 1*.
<https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000226900>.
13. Cate, R.B.Jr., and Nelson. L.A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America. Proceeding*. 35:658-660.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500040048x>.
14. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute A. (ed.) *Methods of Soil Analysis: Part I-Physical and mineralogy methods*. Agron. Monogr. 9. 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 383-412.
15. Havlin, J.L., and Soltanpour, P.N. 1982. Greenhouse and field evaluation of the NH_4HCO_3 -DTPA soil test for Fe. *Journal of Plant Nutrition*. 5: 769-783.
<https://doi.org/10.1080/01904168209363007>.
16. Hosseini, A.R., and Zarenia, M. 2012. Evaluating chemical extractants to estimate available potassium for pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in some calcareous soils. *Plant, Soil and Environ*. 58: 42–48. [10.17221/314/2011-PSE](https://doi.org/10.17221/314/2011-PSE).
17. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. (2nd ed.). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 225-246.
18. Krauss, A. 1994. Potassium in soils dynamic and availability. Iran Agrofood, export promotion center, Tehran, Iran. 42 pp.
19. Keshavarz, P. NoriHosieni, M. and Malakouti, M.J. 2004. Effect of Soil Salinity on K Critical Level for Cotton and its Response to Sources and Rates of K Fertilizers. In IPI regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa. 24-28. <https://doi.org/10.1080/02571862.2008.10639897>
20. Loeppert, R.H., and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and gypsum In: Sparks D.L. (ed.) *Chemical Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America, Madison pp. 437-447. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c15>
21. McLean, E.O., and Watson, M.E. 1985. Soil measurements of plant available potassium. In: Munson, R.D. (ed.), *Potassium in agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 277–308.

22. Mustscher, H. 1995. "Measurement and assessment of soil potassium." International potash institute Research Topics Number 4".
23. Muneshwar Singh, R.H., Wanjari, B.L., Abhay Shirale, L., Kumar, U., and Jamra, S.H. 2019. Response of Crops to Applied Potassium and Estimation of Critical Limits in Vertisols. *Indian Journal of Fertilisers*. 15(7): 748-753.
24. Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄, North Carolina Soil Test Division, Department of Agriculture, Raleigh, North Carolina.
25. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L. (ed) *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America, Madison. pp. 961-1010.
26. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L. (ed) *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America, Madison. pp. 417-435.
27. Sumner, M.E. and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks D.I.(ed.), *Methods of Soil Analysis Part3, Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series 5, Soil Science Society of America, Madison, WI. 1201-1231.
28. Simard, R.R., and Zizka, J. 1994. Evaluation plant available potassium with strontium chlorid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25: 1779-1789. <https://doi.org/10.1080/00103629409369152>.
29. Salomon, E. 1998. Extraction of soil potassium with 0.01 M calcium chloride compared to official Swedish methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(19-20), 2841-2854. <https://doi.org/10.1080/00103629809370159>
30. Soltanpour, P.N., and Schwab, A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro-and micro-nutrients in alkaline soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 8(3), 195-207. <https://doi.org/10.1080/00103627709366714>.
31. Sidhu . A.S. Dhillon A.S. and Daw G. 1982. Field avaluation of NPK soil test for wheat in alkaline soils of Punjab. Punjab Agriculture Unevercity.
32. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In: A.L. Page et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis: chemical and microbiological properties*. Agron. Monogr. 9. Part 2. 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp.159-166.
33. Waling, I., Van Vark, W., Houba,,V.J. G., and Der Lee, J. J. 1989. *Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi*. Part 7, *Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University.
34. Zebec, V., Rastija, D., Loncaric, Z., Bensa, A., Popovic, B., and Ivesic v. 2017. Comparation of chemical extraction methods for determination of soil potassium in different soil types. *Soil Chemistry*. 50 (12): 1420-1427. [10.1134/S1064229317130051](https://doi.org/10.1134/S1064229317130051)

تأثیرات تغذیه بهینه تلفیقی بر عملکرد و کیفیت میوه درختان زیتون در جنوب استان کرمان

جواد سرحدی^۱، صابر حیدری^۲  و مهری شریف^۳

۱-استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران javad.sarhadi2009@gmail.com

۲-استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران. s.heydari@areeo.ac.ir

۳-کارشناس بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران. z.sh1394@yahoo.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۸/۲۱ و پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

چکیده

در این پژوهش تأثیرات تغذیه بهینه را بر عملکرد و کیفیت میوه درختان زیتون در ارتفاعات جبالبارز، جنوب ایران، در طول دو فصل رشد ارزیابی شد. طرح آزمایشی به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار شامل شاهد (T1)، کودهای شیمیایی همراه با کود دامی پوسیده (T2) و تیمار ۲ به علاوه عناصر ریزمغذی (T3). صفاتی از جمله عملکرد، ویژگی‌های میوه و غلظت مواد مغذی در برگ‌های زیتون ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در تیمار T3 عملکرد زیتون به میزان ۵۰/۷٪ در سال اول و ۷۲/۵٪ در سال دوم نسبت به تیمار T1 افزایش یافت، که نشان‌دهنده نقش اثر تغذیه بهینه تلفیقی در بهبود عملکرد است. افزون بر این، درختان تیمار T3 بهبود قابل توجهی در اندازه و وزن میوه و غلظت عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) نشان دادند. جذب ریزمغذی‌ها، به ویژه آهن (Fe)، روی (Zn) و منگنز (Mn) نیز در درختان تیمار T3 به طور قابل توجهی بیشتر بود. تحلیل‌ها نشان داد که ترکیب کودهای شیمیایی و آلی همراه با ریزمغذی‌ها تأثیر مثبت چشمگیری بر عملکرد کلی زیتون و رشد میوه داشت. عوامل محیطی از جمله تغییرات بارش و همچنین اثرات باقیمانده کودها بین دو سال، بر شدت اثرات تیمار تأثیر گذاشت و پاسخ قوی‌تری در سال دوم مشاهده شد. این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت تلفیقی مواد مغذی، که شامل کودهای آلی و شیمیایی به همراه ریزمغذی‌ها است، برای بهبود عملکرد و کیفیت میوه تأکید می‌کند. این مطالعه بینش‌های ارزشمندی برای توسعه استراتژی‌های پایدار کوددهی برای باغ‌های زیتون در مناطق نیمه‌خشک ارائه می‌دهد و بهره‌وری بلندمدت و بهبود وضعیت خاک را ترویج می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کشت زیتون، کودهای شیمیایی، کودهای آلی، بهبود عملکرد، مدیریت تلفیقی مواد مغذی

*. آدرس ایمیل نویسنده مسئول: s.heydari@areeo.ac.ir

مقدمه

کشاورزی پایدار رویکردی جامع به کشاورزی است که هدف آن تأمین نیازهای غذایی جامعه است درحالی که محیط زیست را برای نسل های کنونی و آینده حفظ کند. یکی از جنبه های کلیدی کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی و حیوانی در کنار کودهای شیمیایی برای حفظ سلامت و باروری خاک است (گانسن، ۲۰۲۴).

درخت زیتون، که به طور علمی به نام *Olea europaea*. شناخته می شود، به خانواده Oleaceae تعلق دارد (حسینی-مزنانی و همکاران، ۲۰۱۴). کودهای شیمیایی، که یکی از ارکان کشاورزی مدرن هستند، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد محصولات، از جمله تولید زیتون، داشته اند. در مطالعه ای نشان داده شد که استفاده از کودهای شیمیایی باعث بهبود رشد و عملکرد درختان زیتون شد. نویسندگان گزارش دادند که از بین تیمارهای شامل ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و صفر درصد کود معدنی توصیه شده برای درخت زیتون، استفاده از ۱۰۰٪ دوز توصیه شده کود معدنی منجر به افزایش قابل توجه عملکرد زیتون در مقایسه با تیمار شاهد شد (کاروالو و همکاران، ۲۰۱۴). به طور مشابه، مطالعه دیگری نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفر و پتاس عملکرد درختان زیتون را افزایش داد. نویسندگان گزارش دادند که بالاترین عملکرد با استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ۵۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار به دست آمد. علاوه بر تأثیرات آن ها بر رشد و عملکرد گیاه، کودهای شیمیایی می توانند بر کیفیت گیاه نیز تأثیر بگذارند (دباغی و همکاران، ۲۰۱۸). یک مطالعه نشان داد که استفاده از کودهای شیمیایی باعث افزایش غلظت برخی از عناصر غذایی ماکرو و میکرو در برگ های زیتون شد، اما غلظت ترکیبات فنولی را کاهش داد. ترکیبات فنولی برای طعم و کیفیت روغن زیتون اهمیت دارند (مازه و همکاران، ۲۰۲۱). امروزه، تولیدکنندگان تمایل دارند سیستم تولید را به تولید ارگانیک با جایگزینی مواد آلی به جای کودهای شیمیایی تغییر

دهند (لاکتر و همکاران، ۲۰۱۶). یافته های تجربی نشان داده است که مواد آلی به آرامی تجزیه شده و مواد مغذی را برای مدت طولانی به ریشه گیاهان تأمین می کنند (گوس و همکاران، ۲۰۱۳). کودهای دامی گوسفند و مرغ برای کشت زیتون در مناطق خشک و نیمه خشک با منابع محدود آب، به ویژه در خاک های شنی، توصیه شده اند. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک به واسطه کودهای دامی گوسفند و مرغ بهبود یافته و در نتیجه رشد درختان زیتون افزایش یافته است (عبدالناصر و هارهاش، ۲۰۰۱). پژوهش ها نشان داده اند که ورمی کمپوست، به عنوان یک کود آلی غنی از مواد مغذی، می تواند غلظت پتاسیم و فسفر برگ ها را افزایش دهد و بهبود مقاومت به خشکی را تسهیل کند (عباس زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

مدیریت تلفیقی مواد مغذی یکی از راهکارهای اصلی برای بهبود بهره وری محصولات باغی و حفظ سلامت خاک است. تحقیقات اخیر نشان داده اند که ترکیب کودهای آلی و شیمیایی، علاوه بر افزایش عملکرد محصول، به بهبود کیفیت میوه و روغن نیز کمک می کند. در این زمینه، کاربرد ورمی کمپوست به عنوان یک کود آلی طبیعی، تأثیر مثبتی بر ساختار خاک و جذب عناصر غذایی نشان داده است. این کود می تواند مقاومت گیاهان در برابر تنش های محیطی مانند خشکی را بهبود بخشد و نقش حیاتی در مدیریت پایدار کشاورزی ایفا کند (موسوی دهموردی و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این، نوآوری هایی مانند استفاده از نانو کودهای کلاته نقش قابل توجهی در بهبود کیفیت محصولات باغی ایفا کرده اند. مطالعات نشان داده است که نانو کودهای نیتروژن و پتاسیم می توانند با افزایش غلظت کلروفیل برگ و بهبود سنتز چربی ها، کیفیت روغن زیتون را به طور قابل توجهی ارتقا دهند (روحی و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین، استفاده از محلول پاشی نانوذرات سیلیسیم و پتاسیم بر روی درختان زیتون، بهبود اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع را نشان داده است که می تواند کیفیت روغن تولیدی را بهبود بخشد

مواد مغذی و نگهداری آب را بهبود می‌بخشند. این نتایج نشان می‌دهند که استفاده ترکیبی از کودهای شیمیایی و آلی می‌تواند روشی پایدار و مؤثر برای بهبود تولید زیتون باشد (مازه و همکاران، ۲۰۲۱).

ارتفاعات رشته‌کوه‌های جبالبارز منطقه اصلی کشت درختان زیتون با حدود ۲۰۰۰ هکتار باغ زیتون در جنوب استان کرمان است. بیشتر کشاورزان در منطقه عموماً هر چند سال یک‌بار از کودهای دامی و کودهای شیمیایی (بدون چال کود و به‌صورت پخش سطحی در زیر درخت) در باغات خود استفاده می‌کنند. باوجود فواید کاربردی کودهای شیمیایی و حیوانی به‌صورت مجزا بر درختان زیتون، تأثیر ترکیبی این دو نوع کود همچنان نامشخص باقی‌مانده است. لازم است بررسی شود که آیا استفاده از تغذیه بهینه (بر اساس آزمون خاک و استفاده هم‌زمان از کودهای شیمیایی و آلی) می‌تواند به اثرات هم‌افزایی منجر شود که رشد و محصول زیتون را بیشتر افزایش دهد. این مطالعه به بررسی تأثیر ترکیبی کودهای شیمیایی و حیوانی بر ویژگی‌های کمی و کیفی زیتون می‌پردازد. یافته‌های این مطالعه بینش‌های ارزشمندی را در مورد مزایا و معایب احتمالی استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی در کشت زیتون در منطقه ارائه خواهد داد.

مواد و روش‌ها

محل مطالعه و طراحی آزمایش

این آزمایش طی دو فصل رشد متوالی (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) در یک باغ زیتون واقع در منطقه جبالبارز شمالی جنوب استان کرمان، ایران (طول جغرافیایی: ۵۷ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی: ۲۸ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی، ارتفاع: ۱۵۵۰ متر) انجام شد. محل تحقیق بر اساس آمار دریافتی از ایستگاه هواشناسی جیرفت، دارای میانگین بارندگی سالانه ۳۱۷ میلی‌متر و ۳۹۸ میلی‌متر به ترتیب در سال

(زارعی و همکاران، ۱۴۰۲). کودهای ارگانیک نقش حیاتی در افزایش هر دو جنبه کمی و کیفی زیتون دارند، یک تحقیق به بررسی اثرات انواع مختلف کودهای ارگانیک (کود گوسفند، گاو، مرغ و ورمی‌کمپوست) با و بدون کودهای شیمیایی بر درختان زیتون به مدت دو سال پرداخت. نتایج نشان داد که ترکیب کودهای ارگانیک با کودهای شیمیایی به‌طور کلی عملکرد و کیفیت میوه را نسبت به استفاده تنها از کودهای ارگانیک افزایش داد. به‌ویژه، کود گوسفند به‌طور مؤثری در افزایش عملکرد میوه و محتوای روغن تأثیرگذار بود (هاداوی و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعه‌ای دیگر بر تأثیر کودهای ارگانیک مشتق شده از ضایعات نی و کود دامی بر درختان زیتون در شرایط بیابانی عراق نشان داد که ترکیب این کودهای ارگانیک منجر به بهبود ویژگی‌های گل‌دهی، تشکیل میوه و درنهایت، افزایش عملکرد زیتون‌ها شد (چاترستاتیس و همکاران، ۲۰۲۰).

درحالی‌که کودهای شیمیایی نقش اساسی در افزایش تولید زیتون داشته‌اند، استفاده بیش‌ازحد آن‌ها می‌تواند به مشکلات زیست‌محیطی مانند آلودگی آب و تخریب خاک منجر شود. برای کاهش این مسائل، مدیریت یکپارچه مواد مغذی (INM^۱) اهمیت یافته است (زیپوری و همکاران، ۲۰۲۰). نقش هم‌افزایی کودهای شیمیایی و آلی در افزایش کمیت و کیفیت زیتون در چندین مطالعه نشان داده‌شده است. استفاده ترکیبی از کودهای آلی و معدنی باعث افزایش ۵۵ درصدی محصول نسبت به استفاده تنها از کودهای معدنی شد. کودهای آلی باعث افزایش ماده آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای مواد مغذی شدند، که منجر به افزایش شاخص سطح برگ و نرخ جذب کربن گردید (روزس و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعه دیگری نشان داد که ترکیب کودهای آلی و شیمیایی باعث افزایش رشد و محصول درختان زیتون بیشتر از هر یک از این کودها به‌تنهایی می‌شود. این مطالعه همچنین نشان داد که کودهای آلی ساختار خاک، دسترسی به

اول و دوم بود که عمدتاً در پاییز و زمستان رخ داد. در این مطالعه از درختان زیتون رقم سبز ۱۰ ساله کاشته شده بافاصله ۶ × ۶ متر (۲۷۷ درخت در هکتار) در خاک شنی استفاده شد. در مجموع ۲۷ درخت برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار بود.

تجزیه خاک و آب

قبل از اعمال تیمارها، نمونه‌های خاک از دو عمق (۰-۳۰ سانتی‌متر و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری برخی خصوصیات

مانند توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر (گی و باوور، ۱۹۸۶)، اسیدیته، هدایت الکتریکی (EC) (آلیسون و ریچاردز، ۱۹۵۴)، کربن آلی (OC) به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز، ۱۹۸۳)، فسفر به روش اولسن، پتاسیم به روش استات آمونیوم و عناصر کم‌مصرف با روش جذب اتمی (اسپارکس و همکاران، ۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). کود آلی طبق روش‌های استاندارد از نظر هدایت الکتریکی، pH و مقدار کل عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز، روی و مس مورد تجزیه قرار گرفتند (جدول ۲) (پیترز و همکاران، ۲۰۰۳).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مورد مطالعه

Zn mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	OC %	Ec ds.m ⁻¹	pH	Soil texture	Depth cm
1.5	2.5	3.1	200	11.6	0.38	0.54	7.7	L	0-30
0.4	1.4	2.2	80	7.1	0.12	0.47	7.9	S.L	30-60

جدول ۲- ویژگی‌های کود گاوی

Mn	Zn	Fe	Mg	Ca	K	N	P	PH	Ec
mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%	%		ds.m ⁻¹
225.3	110.2	1302	0.51	2.8	1.2	4.3	0.85	7.8	15.2

تیمارها و نحوه اعمال

سه تیمار اعمال شد: ۱. تیمار شاهد (تیمار کشاورز که سال قبل از شروع آزمایش از کود حیوانی به مقدار ۵ کیلوگرم در هر درخت استفاده کرد و در سال‌های آزمایش از کود حیوانی و شیمیایی استفاده نکرد) (T1) ۲. کود شیمیایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم بعلاوه کود گاوی پوسیده (T2) و ۳. تیمار دوم بعلاوه کودهای عناصر میکرو آهن، روی و منگنز (T3). تیمارها در بهمن‌ماه هر سال اعمال شدند. هر تیمار در هر تکرار شامل ۳ درخت بود و سعی گردید در تمام تیمارها درختان هم سن و تقریباً همسان باشند (درختان ۱۲ ساله). برای هر درخت، سه حفره (۴۰ × ۴۰ × ۴۰ سانتی‌متر) در اطراف سایه‌انداز درخت حفر شد. کود گاوی پوسیده با مقدار ۱۵ کیلوگرم برای هر درخت اعمال شدند. تیمار کود

شیمیایی شامل ۲۵۰۰ گرم سولفات آمونیوم، ۱۰۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل، ۱۵۰۰ گرم سولفات پتاسیم، ۵۰۰ گرم سولفات منیزیم، ۲۰ گرم کلات آهن، ۱۰۰ گرم سولفات منگنز و ۱۰۰ گرم سولفات روی برای هر درخت، بر اساس نتایج تجزیه خاک بود. برای تیمارهای ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی، هر دو مخلوط شده و در حفره‌های آماده شده اعمال شدند. در سال دوم نیز تیمارها به همان ترتیب و در همان درختان انجام گرفت. در کلیه تیمارها آبیاری به صورت قطره‌ای و دور آبیاری همانند باغ کشاورز انجام گرفت.

جمع‌آوری داده‌ها

وزن خشک و وزن تر میوه تأثیر گذاشتند، که نشان می‌دهد تیمارها بر اندازه و وزن میوه تأثیر داشتند که عامل کلیدی در قابلیت بازاریابی محصول است. تأثیرات معنی‌داری نیز برای غلظت مواد مغذی مانند نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) در برگ زیتون مشاهده شد. این نشان می‌دهد که تیمارها به‌طور متفاوتی بر جذب و توزیع مواد مغذی در گیاهان تأثیر گذاشته‌اند، که منجر به تفاوت‌هایی در رشد و توسعه میوه شده است. تأثیر سال نیز برای بیشتر ویژگی‌ها به‌طور قابل‌توجهی معنی‌دار بود ($p < 0.01$). با توجه به داده‌های هواشناسی که نشان‌دهنده افزایش میزان بارندگی سالانه در سال دوم بود، عوامل محیطی مانند تغییرات آب و هوایی بین دو سال نقش مهمی در تعیین بهره‌وری زیتون داشتند. اگرچه به نقش احتمالی اثرات باقیمانده کود نیز بین دو سال نیز باید اشاره شود. سال تأثیر قوی بر خصوصیات میوه داشت، که نشان می‌دهد شرایطی مانند دما و بارندگی در طول فصل‌های رشد بر رشد میوه تأثیر داشته‌اند. تأثیرات معنی‌دار سال برای غلظت‌های مواد مغذی مانند نیتروژن (N) و پتاسیم (K) برگ نیز مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر نوسانات سالانه شرایط محیطی بر دسترسی به مواد مغذی و جذب آن‌ها در درختان زیتون است. همچنین تفاوت معنی‌دار در صفات عملکرد و غلظت عناصر غذایی (مانند نیتروژن و پتاسیم) نشان می‌دهد که تأثیر کود از سال اول تداوم یافته و بر رشد در سال دوم تأثیر گذاشته است.

با توجه به اینکه اثر سال و اثر متقابل سال و تیمار بر بیشتر خصوصیات زیتون معنی‌دار بود، تجزیه واریانس به‌صورت جداگانه برای هر سال انجام گردید (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، تجزیه واریانس سالانه برای هر سال به‌طور جداگانه انجام شد تا اثرات تیمار بر عملکرد، خصوصیات میوه و غلظت مواد مغذی در هر فصل رشد ارزیابی شود. این رویکرد به درک دقیق‌تری از عملکرد تیمارها تحت شرایط محیطی خاص هر سال کمک می‌کند. در سال اول، تیمارها به‌طور قابل‌توجهی بر بیشتر ویژگی‌ها از

تجزیه برگ: در مهرماه هر سال آزمایش، برگ‌ها از قسمت میانی درخت برداشت شده و غلظت‌های K, P, N, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Zn و Cu با استفاده از روش خشک سوزانی (سوزاندن برگ‌های خشک شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی) تعیین شد. غلظت‌های عناصر پرمصرف به درصد وزن خشک (D.W.) و غلظت‌های عناصر کم‌مصرف، یعنی Cu, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Zn و K به میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک (D.W.) بیان شد (چاپمن و پرات، ۱۹۶۲).

خصوصیات میوه: در زمان برداشت، ۵۰ میوه از هر درخت نمونه‌برداری شد تا وزن تر میوه، وزن خشک میوه، طول میوه و قطر میوه اندازه‌گیری شود. ماده خشک میوه با خشک کردن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. عملکرد: عملکرد کل میوه برای هر درخت در زمان برداشت اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

تجزیه واریانس مرکب به‌منظور ارزیابی تأثیرات تیمارهای مختلف، سال‌ها و اثر ترکیبی آن‌ها بر عملکرد، خصوصیات میوه و غلظت مواد مغذی برگ در تولید زیتون انجام شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر آماری معنی‌داری ($p < 0.01$) بر تقریباً تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، از جمله عملکرد، خصوصیات میوه و غلظت مواد مغذی داشت. تیمارها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد داشت، که نشان می‌دهد تیمارهای مختلف به تغییرات قابل‌توجهی در تولید زیتون منجر شدند. تیمارها به‌طور معنی‌داری بر طول، قطر،

جمله عملکرد، خصوصیات میوه و غلظت مواد مغذی تأثیر گذاشتند. در سال دوم، تأثیرات تیمار همچنان برای بیشتر ویژگی‌ها معنی‌دار باقی ماند، اما تفاوت‌هایی در میزان اثرات تیمارها نسبت به سال اول وجود داشت. در سال دوم تیمارهای کودی تأثیر بسیار معنی‌داری بر عملکرد داشت ($p < 0.01$) که بیشتر از سال اول بود و نشان می‌دهد که تیمارها در سال دوم تأثیر بیشتری بر عملکرد داشتند. تأثیرات تیمار بر خصوصیات میوه در سال دوم مشابه سال اول معنی‌دار بود.

اما اندازه تأثیرات کمی متفاوت بود و نشان‌دهنده تأثیر شرایط محیطی متغیر است. مشابه سال اول، اثرات تیمار برای غلظت‌های عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر در سال دوم معنی‌دار بود. نتایج آنالیز سالانه نشان می‌دهد که تیمارها تأثیرات معنی‌دار و پایداری بر عملکرد، خصوصیات میوه و غلظت مواد مغذی در هر دو سال داشتند، هرچند میزان تأثیرات تیمارها بین سال‌ها متفاوت بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و خصوصیات میوه و برگ در زیتون

S.O.V	df	میانگین مربعات											
		Yield	Fruit Length	Fruit Diameter	Wet Weight	Dry Weight	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
		Kg/tree	cm		gr			%			ppm		
Treatment	2	297.78**	0.33**	0.22**	11545.35**	3085.24**	0.57**	0.003**	0.35**	2880.49**	303.14**	65.82**	3410.59**
Year	1	124.718**	1.77**	0.29**	12617.19**	218.19*	0.05	0.0002**	0.81**	9464.59**	425.83**	204.83**	12763.23**
Year× Repetition	4	45.138**	0.52**	0.23**	4416.85**	1120.23**	0.14**	0.0008**	0.10**	345.82**	30.49**	6.12**	422.32**
Year× Treatment	2	14.3182*	0.003	0.013*	2199.96**	96.58	0.09*	0.0003**	0.03**	283.69**	4.15	12.15**	304.52**
Error	8	2.208	0.01	0.002	84.34	29.45	0.02	1.37e-05	0.002	15.63	2.94	0.46	19.99
CV(%)		4.94	4.64	2.68	3.66	4.56	8.01	3.35	4.03	5.95	9.38	8.20	6.26

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱٪

جدول ۳- تجزیه واریانس سالانه عملکرد و خصوصیات میوه و برگ در زیتون

year	S.O.V	df	میانگین مربعات											
			Yield	Fruit Length	Fruit Diameter	Wet Weight	Dry Weight	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
			kg/tree	cm		g			%			ppm		
1	Treatm ent	2	91.39**	0.17**	0.065**	1987.92**	1064.26**	0.09**	0.0007**	0.09**	678.19**	188.03**	67.25**	846.15**
	block	2	14.55*	0.30**	0.19**	3482.17**	1028.05**	0.19**	0.0009**	0.13**	109.829**	38.91**	10.25*	147.35*
	Error	4	0.82	0.001	0.002	22.87	9.325	0.003	7.78e-06	0.002	5.32	1.76	0.74	8.49
	CV(%)		3.31	1.81	2.88	2.13	2.49	3.97	2.44	2.25	5.30	5.72	7034	6.51
2	Treatm ent	2	220.6981**	0.16	0.17**	11757.39**	2117.57**	0.58**	0.003**	0.29**	2486.001**	119.26**	10.72**	2868.95**
	block	2	75.71**	0.746**	0.26**	5351.54**	1212.43**	0.09	0.0007**	0.07**	581.82**	22.06	1.99*	697.29**
	Error	4	3.58	0.026	0.002	145.82	49.59	0.03	1.98e-05	0.003	25.95	4.13	0.19	31.48
	CV(%)		5.79	5.90	2.53	4.35	6.10	10.32	4.15	5.13	5.70	15.14	8.94	5.72

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱٪

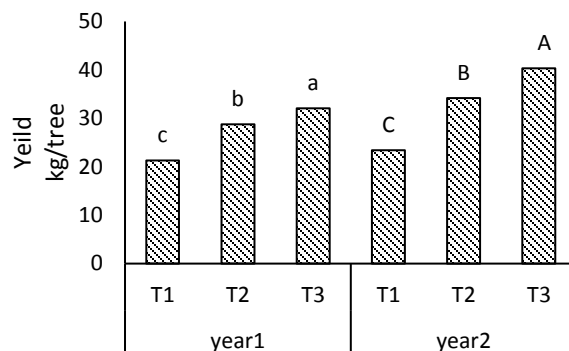
عملکرد

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار ۳ (T3) (کاربرد کودهای شیمیایی و آلی به علاوه کودهای میکرو آهن، روی و منگنز) در هر دو سال عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت. در سال اول تیمار ۳ (تیمار دوم بعلاوه کودهای عناصر میکرو آهن، روی و منگنز) بالاترین عملکرد (۳۲/۰۷ کیلوگرم در هر درخت) را داشت که به طور قابل توجهی بیشتر از تیمار ۲ (کود شیمیایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم بعلاوه کود گاوی پوسیده) (۲۸/۷۵ کیلوگرم در هر درخت) و تیمار ۱ (شاهد) (۲۱/۲۹ کیلوگرم در هر درخت) بود. تیمار ۳ نسبت به تیمار ۱ افزایش ۵۰/۷ درصدی داشت، در حالی که تیمار ۳ نسبت به تیمار ۲ به میزان ۱۱/۶ درصد برتری داشت. در سال دوم، تیمار ۳ دوباره بالاترین عملکرد (۴۰/۳۵ کیلوگرم/درخت) را نشان داد، در حالی که تیمار ۲ (۳۴/۱۶ کیلوگرم/درخت) و تیمار ۱ (۲۳/۴ کیلوگرم/درخت) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. تیمار ۳ نسبت به تیمار ۱ ۷۲/۵ درصد بیشتر عملکرد داشت و نسبت به تیمار ۲ نیز ۱۸/۱ درصد برتری داشت. عملکرد تیمار ۳ از ۳۲/۰۷ کیلوگرم/درخت در سال اول به ۴۰/۳۵ کیلوگرم/درخت در سال دوم افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش ۲۵/۸ درصدی است. این بهبود قابل توجه در بهره‌وری زیتون نشان‌دهنده تأثیر مثبت تیمار ۳ در شرایط محیطی مختلف است. البته این افزایش عملکرد از سال اول تا سال دوم می‌تواند نشان‌دهنده اثرات تجمعی کوددهی نیز باشد است که تیمار ۳ در سال دوم به نمایش گذاشت.

این نتایج با تحقیقات پیشین درباره کوددهی درختان زیتون همخوانی دارد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای نشان داده شده که با کوددهی متعادل که مقادیر مناسبی از نیتروژن، فسفر و پتاسیم را تأمین می‌کند، می‌توان عملکرد زیتون را به طور قابل توجهی بهبود بخشید (سیلوا و همکاران، ۲۰۲۳). با این

حال، نتایج متفاوتی در مطالعاتی که در مناطق با نوع خاک یا شرایط اقلیمی متفاوت انجام شده، مشاهده شده است. این نشان می‌دهد که در حالی که تیمار ۳ در افزایش عملکرد بسیار مؤثر بود، مطالعات بیشتری برای ارزیابی تأثیر آن بر کیفیت میوه، به ویژه از نظر ترکیب روغن که یک نکته مهم برای تولیدکنندگان زیتون است، مورد نیاز است. ترکیب کودهای آلی (کمپوست) با کودهای NPK در مقایسه با استفاده از هر نوع کود به تنهایی، عملکرد زیتون را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد (فرناندز-هرناندز و همکاران، ۲۰۱۴). استفاده از کود دامی همراه با کودهای NPK عملکرد میوه زیتون و شادابی کلی درخت را بهبود می‌بخشد. انتشار سریع عناصر غذایی از کودهای شیمیایی می‌تواند نیازهای فوری گیاه را برآورده کند، در حالی که کودهای آلی به تدریج عناصر غذایی را آزاد می‌کنند و عرضه پایدار این عناصر در طول زمان را فراهم می‌کنند (عیسی و همکاران، ۲۰۲۱). این مطالعات نشان می‌دهد که مواد آلی به سلامت خاک کمک می‌کنند و با افزایش نگهداری مواد مغذی، رشد بهتر گیاهان را تقویت می‌کنند، در حالی که کودهای شیمیایی تغذیه سریع و هدفمندی را برای رشد سریع گیاهی و تولید مثل فراهم می‌کنند.

یکی از نکات برجسته در تیمار ۳، توانایی آن در تثبیت عملکرد در شرایط محیطی متفاوت (دو سال با تغییرات بارندگی) است. این موضوع نشان می‌دهد که ترکیب کودهای آلی و شیمیایی به همراه ریزمغذی‌ها توانسته است از نظر تغذیه‌ای تعادل پایداری ایجاد کند. این تعادل احتمالاً از طریق بهبود ساختار خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی در خاک به دست آمده است (هابرمن و همکاران، ۲۰۱۹). شواهد حاکی از آن است که در مناطق نیمه‌خشک مانند جنوب استان کرمان، استفاده از کودهای آلی همراه با شیمیایی می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش‌های محیطی را کاهش دهد.



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد زیتون در سالهای مختلف

وزن خشک و تر میوه

وزن خشک نشان‌دهنده میزان تجمع زیست‌توده است و به شدت با توسعه میوه مرتبط است. همانطور که در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است، در سال اول تیمار ۳ بالاترین وزن خشک (۱۳۹/۶۲ گرم) را ثبت کرد که به طور قابل توجهی بیشتر از تیمار ۲ (۱۲۵/۰۶ گرم) و تیمار ۱ (۱۰۲/۲۵ گرم) بود. در سال دوم نیز تیمار ۳ در سال دوم نیز برتری خود را حفظ کرد و وزن خشک آن به ۱۳۷/۸۷ گرم رسید، در حالی که تیمار ۲ (۱۲۲/۱۲ گرم) و تیمار ۱ (۸۶/۰۵ گرم) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در مقایسه دو سال نیز وزن خشک تیمار ۳ از ۱۳۹/۶۲ گرم در سال اول به ۱۳۷/۸۷ گرم در سال دوم کاهش یافت، البته این تفاوت معنی دار نبود. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تیمار ۳ به طور مداوم در تولید وزن خشک پیشرو بوده و با وجود تغییرات اندک بین سال‌ها، این تیمار در هر دو سال برتری خود را حفظ کرده است. تیمار ۳ نه تنها عملکرد بالاتری دارد، بلکه به توسعه بهتر میوه از نظر تجمع ماده خشک نیز کمک می‌کند. افزایش وزن خشک احتمالاً به دلیل ترکیب متعادل مواد مغذی تیمار ۳ است که از رشد بهینه گیاه و توسعه میوه حمایت می‌کند. نیتروژن و پتاسیم کافی برای تجمع بیوماس در درختان ضروری است. نیتروژن رشد گیاهی و گسترش سطح برگ را تقویت می‌کند، در حالی که پتاسیم برای تنظیم آب و انتقال کربوهیدرات‌ها حیاتی است، که هر دو به وزن خشک کمک می‌کنند (ژو و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج این مطالعه با این

یافته‌ها همخوانی دارد و نشان می‌دهد که تیمار ۳ حاوی سطوح کافی از این مواد مغذی برای حمایت از تولید بیوماس است. جالب اینجاست که محققین دیگری مشاهده کردند که کاربرد بیش از حد نیتروژن می‌تواند منجر به رشد بیشتر گیاهی به هزینه توسعه میوه شود و در نتیجه وزن خشک کمتری به دست آید (امان الله و استوارت، ۲۰۱۳). این موضوع اهمیت تعادل در کوددهی را برجسته می‌کند، زیرا کوددهی بیش از حد با نیتروژن می‌تواند در بلندمدت وزن خشک میوه‌ها را کاهش دهد. در این مطالعه، وزن خشک نسبتاً پایدار در طول دو سال نشان می‌دهد که تیمار ۳ یک منبع متعادل از مواد مغذی را فراهم می‌کند و از عوارض ناشی از کاربرد بیش از حد نیتروژن جلوگیری می‌کند.

وزن خشک به عنوان یک شاخص زیست‌توده، نه تنها عملکرد کوتاه‌مدت درختان را نشان می‌دهد، بلکه ارتباط مستقیمی با سلامت و پایداری خاک دارد. در تیمار ۳، استفاده از کودهای آلی به همراه کودهای شیمیایی به بهبود کیفیت خاک، افزایش ماده آلی و ظرفیت نگهداری رطوبت کمک کرده است. این شرایط باعث شده که جذب مواد مغذی، به ویژه نیتروژن و پتاسیم، بهینه شود و توسعه زیست‌توده میوه افزایش یابد. تأثیر مثبت این تیمار حتی در شرایط سال دوم، که ممکن است با تغییرات محیطی همراه بوده، نشان‌دهنده پایداری این روش تغذیه‌ای است. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که استفاده از کودهای آلی به صورت

ترکیبی با شیمیایی می تواند پایداری عملکرد را حتی در شرایط محیطی متغیر حفظ کند (روزس و همکاران، ۲۰۱۷).

وزن تر با محتوای آب میوه ارتباط نزدیک دارد و نقش مهمی در وزن بازاری پسند میوه ایفا می کند. همانطور که در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است، در سال اول افزایش درصدی از تیمار ۱ به تیمار ۳ معادل ۲۵/۹ درصد بود و وزن تر تیمار ۳ به میزان ۱۱/۴ درصد بیشتر از تیمار ۲ بود. تیمار ۲ نیز نسبت به تیمار ۱ ۱۳/۱ درصد افزایش داشت. در سال دوم، تیمار ۳ دوباره برتری خود را نشان داد و نسبت به تیمار ۱ به میزان ۵۸/۳ درصد افزایش داشت و وزن تر تیمار ۳ نیز ۱۰/۹ درصد بیشتر از تیمار ۲ بود. تفاوت بین تیمار ۲ و ۱ نیز معادل ۴۲/۷ درصد بود. در مقایسه بین دو سال نیز وزن تر تیمار ۳ از ۲۴۹/۸۳ گرم در سال اول به ۳۲۸/۱۷ گرم در سال دوم افزایش یافت که نشان دهنده بهبود ۳۱/۴ درصدی است که تأثیر قابل توجه این تیمار بر حفظ آب میوه را نشان می دهد. توانایی تیمار ۳ در افزایش وزن تر احتمالاً به دلیل تأثیر آن بر جذب و نگهداری آب در میوه است.

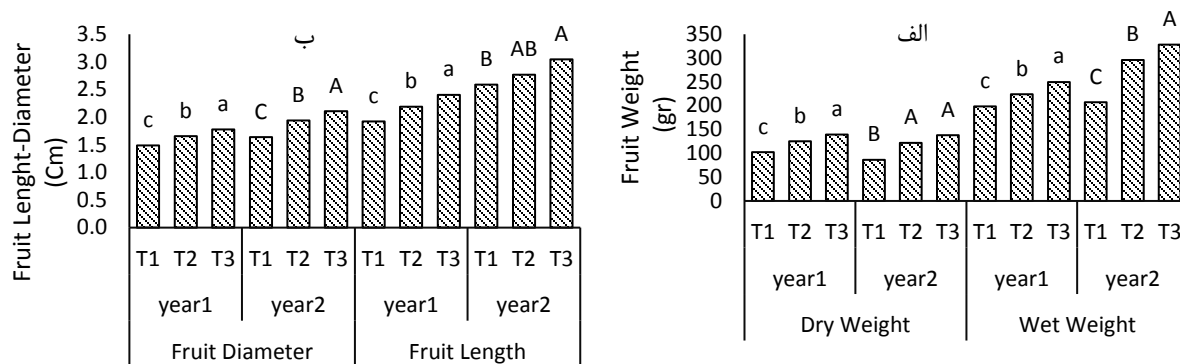
پتاسیم نقش کلیدی در تنظیم حرکت آب در بافت های گیاهی دارد و سطوح کافی پتاسیم می تواند نگهداری آب در میوه ها را بهبود بخشد (کومار و همکاران، ۲۰۰۶). این با نتایج این مطالعه مطابقت دارد، جایی که تیمار ۳، که احتمالاً حاوی سطوح بالاتری از پتاسیم است، منجر به وزن تر به طور قابل توجهی بالاتر شد. با این حال، باید توجه داشت که وزن تر به تنهایی کیفیت میوه را تعیین نمی کند. محتوای آب بالاتر ممکن است به میوه های بزرگ تر منجر شود، اما همچنین ممکن است باعث کاهش غلظت ترکیبات مهم مانند روغن و پلی فنول ها شود که برای کیفیت روغن زیتون حیاتی هستند. در مطالعه دیگری اشاره شد که در حالی که میوه های بزرگ تر و غنی از آب ممکن است در بازارهای تازه جذاب تر باشند، ممکن است روغن با کیفیت پایین تری تولید کنند که به دلیل غلظت کمتر روغن در هر واحد وزن میوه است (جوکیک

اسپیکا و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، در حالی که تیمار ۳ در افزایش وزن تر موثر است، مطالعات بیشتری برای ارزیابی تأثیر آن بر محتوای روغن و کیفیت مورد نیاز است.

اندازه میوه

اندازه میوه (شکل ۲ ب)، به ویژه قطر آن، یک ویژگی مهم برای بازاری پسندی است، زیرا مصرف کنندگان معمولاً میوه های بزرگ تر را ترجیح می دهند. در این مطالعه، T3 در هر دو سال بزرگترین قطر میوه را تولید کرد، با ۱/۷۸ سانتی متر در سال اول و ۲/۱۱ سانتی متر در سال دوم. درصد افزایش قطر میوه از T1 به T3 در سال اول ۱۹/۵٪ و در سال دوم ۲۸/۷٪ بود، که نشان دهنده تأثیر قوی T3 بر اندازه میوه است. افزایش قطر میوه مشاهده شده در درختان تیمار شده با T3 را می توان به بهبود دسترسی به مواد مغذی، به ویژه نیتروژن و پتاسیم، نسبت داد.

پتاسیم نقش حیاتی در گسترش سلول ها در طول توسعه میوه ایفا می کند، که منجر به اندازه بزرگ تر میوه می شود. علاوه بر این، نیتروژن از توسعه پوشش گیاهی بزرگتر پشتیبانی می کند، که می تواند ظرفیت فتوسنتزی را بهبود بخشد و منابع بیشتری برای رشد میوه فراهم کند. با این حال، باید توجه داشت که کاربرد بیش از حد نیتروژن گاهی می تواند به میوه های بیش از حد بزرگ با محتوای روغن کمتر منجر شود (ژیا و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه ای گزارش شد که در حالی که نیتروژن می تواند اندازه میوه را افزایش دهد، همچنین ممکن است غلظت روغن در میوه را کاهش دهد، که می تواند بر کیفیت روغن زیتون تولید شده از این میوه ها تأثیر منفی بگذارد (الباداوی و همکاران، ۲۰۱۶). در این مطالعه، افزایش قطر میوه در طول دو سال پایدار بود، که نشان می دهد تیمار ۳ یک منبع متعادل از مواد مغذی را فراهم کرده که رشد میوه را بدون کاهش محتوای روغن ترویج کرده است. با این حال، تحقیقات بیشتری برای تأیید این فرضیه مورد نیاز است.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر خصوصیات میوه (الف- وزن خشک و تر میوه. ب- قطر و طول میوه) در سالهای مختلف

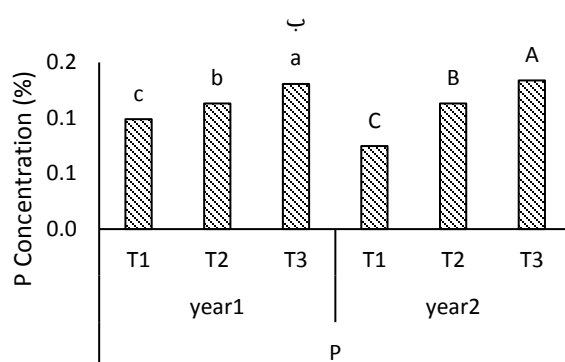
غلظت عناصر ماکرو در برگ

جدول‌های مقایسه میانگین از تأثیر تیمارها بر نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K) در طول دو سال در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۳ الف نشان داده شده است در سال اول تیمار ۳ بالاترین غلظت نیتروژن (۱/۷۶٪) را داشت، پس از آن تیمارهای دوم و اول قرار داشتند. تیمار ۳ به طور معنی‌داری از تیمارهای یک و دو بهتر عمل کرده است و تمام تیمارها به گروه‌های مجزا تقسیم شده‌اند، که نشان‌دهنده تفاوت‌های واضح در جذب نیتروژن است. در سال دوم نیز تیمار سوم دوباره بالاترین غلظت نیتروژن (۲/۱۳٪) را داشت. در سال دوم تفاوت بین تیمار سوم و سایر تیمارها افزایش یافت. در مطالعه‌ای بیان شد که نیتروژن عامل کلیدی در افزایش عملکرد و کیفیت میوه در درختان زیتون است. مطالعه آن‌ها نشان داد که درختان دچار کمبود نیتروژن عملکرد کمتری داشتند و میوه‌های کوچکتری تولید کردند، که مشابه با عملکرد پایین‌تر مشاهده شده در تیمار ۱ در این مطالعه است. با این حال، آن‌ها همچنین اشاره کردند که کاربرد بیش از حد نیتروژن می‌تواند منجر به رشد بیش از حد بخش‌های گیاهی به هزینه تولید میوه شود، که این می‌تواند توجیهی برای جذب نسبتاً کمتر نیتروژن در تیمار ۲ نسبت به ۳ باشد (فرناندز-اسکوبار، ۲۰۰۲).

نتایج نشان داد که در سال اول تیمار ۳ بالاترین غلظت پتاسیم (۱/۶۳٪) را داشت، پس از آن تیمار دوم (۱/۴۲٪) و تیمار اول

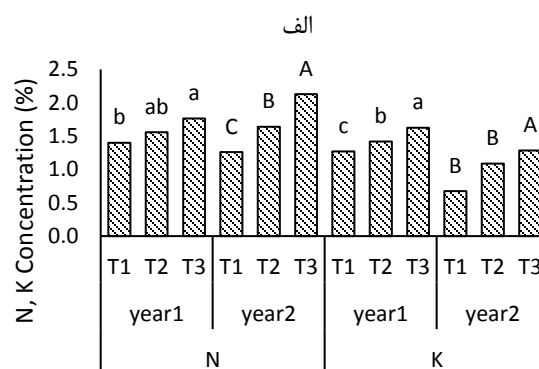
(۱/۲۷٪) قرار داشتند. در سال دوم تیمار سوم همچنان بالاترین غلظت پتاسیم (۱/۲۸٪) را داشت، در حالی که تیمار دوم (۱/۰۹٪) و تیمار اول کاهش قابل توجهی تا ۰/۶۷٪ نشان دادند. این نشان می‌دهد که تیمار ۳ در بهبود وضعیت مواد مغذی درختان مؤثر بوده و عملکرد کلی بهتری را به همراه داشته است. اهمیت پتاسیم برای درختان زیتون به خوبی مستند شده است. کمبود پتاسیم می‌تواند به طور جدی عملکرد، اندازه و کیفیت میوه‌ها را کاهش دهد. پتاسیم بر توسعه میوه‌های بزرگ‌تر با محتوای آب بیشتر تأثیر می‌گذارد (هابرمن و همکاران، ۲۰۱۹)، که این یافته با نتایج این مطالعه همخوانی دارد، جایی که تیمار ۳ بزرگ‌ترین میوه‌ها و بالاترین وزن تر را تولید کرد. علاوه بر این، سطح مناسب پتاسیم برای انتقال صحیح کربوهیدرات‌ها و تخصیص انرژی به میوه‌های در حال توسعه ضروری است، که منجر به بهبود اندازه و عملکرد میوه‌ها می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، کاهش اندک غلظت پتاسیم در تیمارها از سال اول به سال دوم ممکن است بازتابی از تغییرات شرایط محیطی، مانند بارندگی یا سطح رطوبت خاک باشد، که می‌تواند بر دسترسی پتاسیم تأثیر بگذارد. جذب پتاسیم به شدت به دسترسی آب در خاک وابسته است (سیفرت و همکاران، ۱۹۹۵). همچنین کاهش سطح پتاسیم در برگ‌ها همراه با افزایش عملکرد زیتون و بزرگ‌تر شدن اندازه میوه در سال دوم می‌تواند به اثر رقت نسبت داده شود. این مفهوم بیان می‌کند که هنگامی که درختان زیتون عناصر غذایی بیشتری را به سمت حمایت از افزایش

نیترژن کمتر بود، اما برتری پیوسته‌ی تیمار ۳ نشان می‌دهد که این تیمار منبع فسفر مؤثرتری را فراهم کرده است. جذب فسفر به ویژه برای درختان زیتون در مرحله استقرار اهمیت دارد، زیرا رشد ریشه‌ها را ترویج می‌کند و توانایی درخت در جذب آب و مواد مغذی از خاک را بهبود می‌بخشد. درختان زیتون با کمبود فسفر سیستم ریشه کوچکتری داشتند و عملکرد میوه‌های کمتری را نشان دادند (ایرال و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت عناصر برگ (الف- نیترژن و پتاسیم، ب- فسفر) در سالهای مختلف

عملکرد و توسعه میوه هدایت می‌کنند، غلظت پتاسیم در بافت‌های برگ ممکن است به دلیل توزیع مجدد آن در سراسر گیاه کاهش یابد (عیسی و همکاران، ۲۰۲۱). با وجود کاهش غلظت پتاسیم در سال دوم، تیمار ۳ همچنان بهتر از سایر تیمارها عمل کرد، که نشان‌دهنده برتری آن در حفظ سطح کافی پتاسیم برای عملکرد بهینه درخت است. در این مطالعه، تیمار ۳ (شکل ۳ ب) در هر دو سال بالاترین غلظت فسفر را نشان داد، به طوری که در سال اول و دوم به میزان ۰٫۱۳ درصد بود. اختلاف بین تیمارها در مقایسه با



غلظت عناصر میکرو در برگ

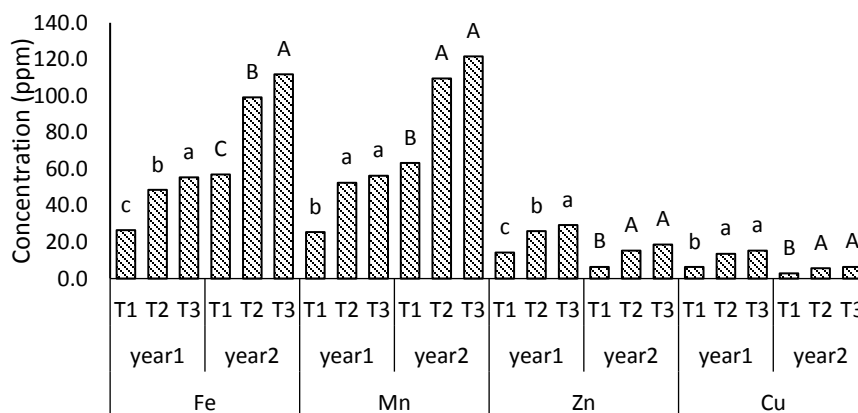
جدول‌های مقایسه میانگین از تأثیر تیمارها بر غلظت عناصر میکرو در طول دو سال در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تیمار سوم بالاترین غلظت آهن (۵۵/۳۵ ppm) را داشت. تفاوت‌ها بین تیمارها معنی‌دار بودند و تیمار ۳ برتری واضحی در جذب آهن نشان داد. در سال دوم نیز غلظت‌های آهن افزایش یافتند و تیمار سوم همچنان با ۱۱۱/۸۷ ppm پیش‌تاز بود. تفاوت‌ها در سال دوم بیشتر شدند و تیمار سوم تقریباً دو برابر آهن بیشتر نسبت به تیمار اول نشان داد. آهن برای تشکیل کلروفیل و فعال‌سازی آنزیم‌ها در گیاهان ضروری است. کمبود آهن در درختان زیتون می‌تواند منجر به کلروز و کاهش کارایی فتوسنتزی شود که به طور منفی بر رشد و توسعه میوه تأثیر می‌گذارد (آلکانترا و همکاران، ۲۰۰۳). جذب بیشتر آهن در درختان تیمار ۳

احتمالاً به رشد گیاهی برتر و عملکرد بیشتر میوه آن‌ها کمک کرده است.

در جذب روی توسط برگ نیز تیمار سوم بالاترین غلظت روی (۲۹/۲۷ ppm) را داشت، پس از آن تیمار دوم (۲۵/۹۶ ppm) و تیمار اول (۱۴/۲۱ ppm) قرار داشتند. در سال دوم نیز تیمار سوم بالاترین غلظت روی را داشت و تفاوت‌ها همچنان معنی‌دار باقی ماند. روی در سنتز اکسین‌ها (هورمون‌های گیاهی) دخالت دارد و برای توسعه تولید مثل اهمیت دارد. در این مطالعه، تیمار ۳ بالاترین غلظت روی را نشان داد که ممکن است به اندازه بزرگ‌تر میوه‌ها و عملکرد بالاتر مشاهده شده کمک کرده باشد. کمبود روی در درختان زیتون منجر به کاهش تشکیل میوه و میوه‌های کوچک‌تر شد، که بر اهمیت تامین روی کافی در باروری زیتون تأکید می‌کند (رمضانی و شکافنده، ۱۳۹۱).

بهتر درخت و افزایش بهره‌وری شده است. منگنز به ویژه برای درختان زیتون که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند اهمیت دارد، زیرا در چنین خاک‌هایی دسترسی به این ماده مغذی ممکن است محدود باشد (ال-فولی و همکاران، ۲۰۰۸). جذب بیشتر منگنز در تیمار ۳ نشان می‌دهد که این تیمار ممکن است در غلبه بر محدودیت‌های تغذیه‌ای در چنین خاک‌هایی مؤثرتر باشد. ترکیب کودهای آلی با کودهای شیمیایی باعث افزایش جذب هم ماکرومغذی‌ها و هم میکرومغذی‌ها در برگ‌های زیتون شد. استفاده از کودهای میکرومغذی، به ویژه، به کاهش کمبودهای مواد مغذی که معمولاً در خاک‌های تحت درمان با کودهای شیمیایی مشاهده می‌شود کمک کرد (عیسی و همکاران، ۲۰۲۱).

در جذب مس نیز تیمار سوم بالاترین غلظت مس (۱۵/۲۳ ppm) را داشت. در سال دوم نیز، تیمار سوم همچنان بالاترین غلظت مس (۶/۴۰ ppm) را داشت، پس از آن تیمار دوم (۵/۵۹ ppm) و تیمار اول (۲/۸۰ ppm) قرار داشتند. در جذب منگنز توسط برگ زیتون در سال اول نیز تیمار سوم بالاترین غلظت منگنز (۵۶/۳۴ ppm) را داشت. غلظت‌های منگنز در سال دوم افزایش یافتند و T3 همچنان با ۱۲۱/۵۷ ppm پیشتاز بود، پس از آن تیمار دوم (۱۰۹/۵۰ ppm) و تیمار اول (۶۳/۲۰ ppm) قرار داشتند. تفاوت‌ها بین تیمارها در سال دوم بیشتر شدند. مس و منگنز نیز نقش‌های مهمی در فعال‌سازی آنزیم‌ها و فتوسنتز دارند. غلظت‌های بالاتر مس و منگنز در درختان تیمار ۳ نشان می‌دهد که این تیمار در تامین این میکرومغذی‌های اساسی مؤثرتر بوده و منجر به سلامت



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت عناصر میکرو در برگ در سالهای مختلف

محیطی مانند دما، بارندگی، و رطوبت خاک نقش مهمی در تعیین اثربخشی تیمارها داشته‌اند. اثر سال برای اکثر صفات قابل توجه بود، که نشان می‌دهد عوامل اقلیمی مانند دما و بارندگی تأثیر قابل توجهی بر نتایج داشتند. درختان زیتون به شدت به شرایط محیطی حساس هستند و تعامل بین تیمار و سال بر اهمیت در نظر گرفتن هر دو عامل مدیریتی و تغییرپذیری محیطی در بهینه‌سازی تولید زیتون تأکید دارد. در مطالعه دیگری نیز نتایج مشابهی در مورد کوددهی درختان

تغییرات سالانه‌ی اثر تیمارها

یکی از جالب‌ترین یافته‌های این مطالعه، تغییرات قابل توجه سال به سال در اثرات تیمار بود. در حالی که تیمار ۳ به طور مداوم عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت، شدت اختلاف بین تیمارها در طول سال‌ها متفاوت بود. به عنوان مثال، عملکرد تیمار ۳ از سال اول به سال دوم ۲۵/۸٪ افزایش یافت، در حالی که وزن خشک و جذب پتاسیم آن کاهش اندکی نشان داد. این موضوع نشان می‌دهد که عوامل

زیتون مشاهده شد، جایی که اثربخشی رژیم‌های مختلف کوددهی به دلیل تغییرات در بارندگی و دما به طور قابل توجهی بین سال‌ها متفاوت بود. در سال‌های خشک، درختانی که سطح بالاتری از پتاسیم و نیتروژن دریافت کرده بودند عملکرد بهتری داشتند، در حالی که در سال‌های مرطوب، نیتروژن بیش از حد منجر به کاهش عملکرد به دلیل آب‌گرفتگی و آب‌شویی مواد مغذی شد (فرناندز-اسکوبار و همکاران، ۲۰۰۲). این یافته‌ها بر لزوم استراتژی‌های کوددهی انعطاف‌پذیر که بتوانند با شرایط محیطی مختلف سازگار شوند تأکید می‌کنند. تغییرپذیری سالانه در اثرات تیمار بر اهمیت در نظر گرفتن شرایط محیطی هنگام توسعه استراتژی‌های کوددهی برای درختان زیتون تأکید می‌کند. در حالی که تیمار ۳ در هر دو سال بسیار مؤثر بود، شدت اثرات آن با توجه به شرایط اقلیمی خاص متفاوت بود. این موضوع نشان می‌دهد که برنامه‌های کوددهی انعطاف‌پذیر که می‌توانند بر اساس تغییرات سالانه در دما، بارندگی و رطوبت خاک تنظیم شوند، ممکن است برای بهینه‌سازی تولید زیتون در بلندمدت ضروری باشند.

عامل مهم دیگری که در می‌تواند در تغییرات سالانه اثرات تیمارها موثر باشد، اثر افزایشی کود بود. اثرات باقیمانده کودهای شیمیایی و آلی می‌تواند طی دو سال تفاوت قابل توجهی بر خصوصیات گیاه ایجاد کرده و بر سلامت خاک و دسترسی به عناصر غذایی تأثیر بگذارد. کودهای شیمیایی، اگرچه افزایش فوری مواد مغذی را فراهم می‌کنند، اما به دلیل حلالیت بالای خود، معمولاً اثرات بلندمدت محدودی دارند (بای و همکاران، ۲۰۲۰). در مقابل، کودهای آلی مانند کود دامی، عناصر غذایی را به تدریج آزاد می‌کنند و می‌توانند مواد آلی خاک و تنوع زیستی میکروبی را بهبود بخشند، که به نوبه خود منجر به دسترسی طولانی‌تر به عناصر غذایی و بهبود ساختار خاک در طول زمان شوند (شاجی و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات نشان داد که اثرات باقیمانده کودهای آلی غالباً شامل افزایش سطوح نیتروژن و پتاسیم در سال دوم است، که به

رشد پایدار گیاهان و مقاومت بیشتر در برابر تنش کمک می‌کند (تامیه و همکاران، ۲۰۲۴).

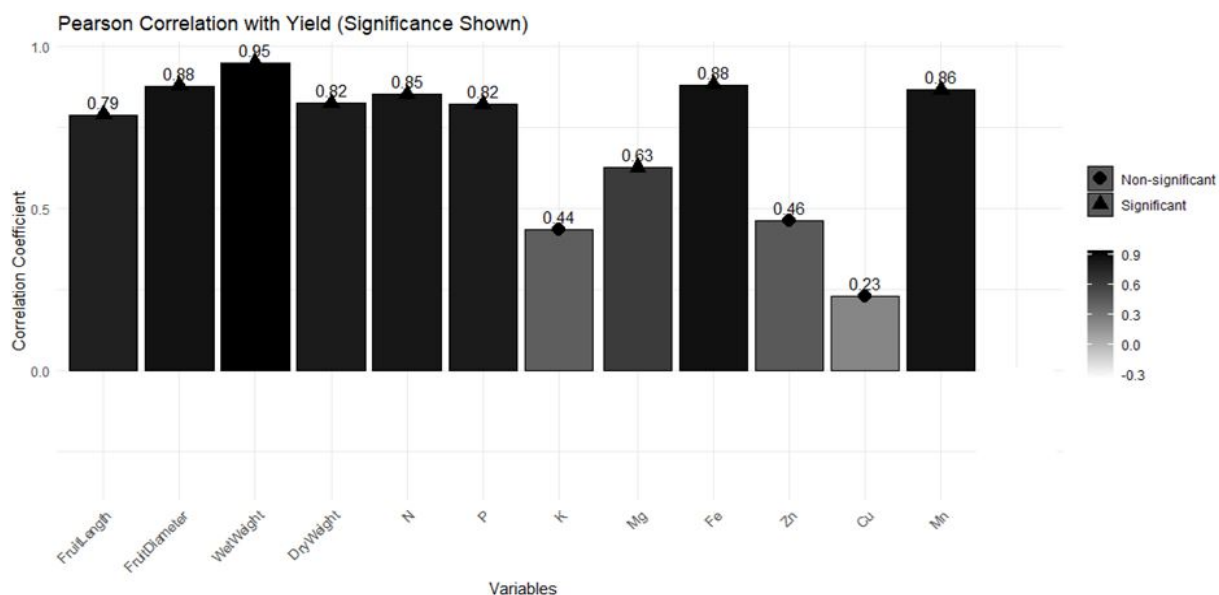
ضرایب همبستگی بین عملکرد و صفات مورد مطالعه

تحلیل همبستگی بینش ارزشمندی در مورد عوامل مؤثر بر عملکرد زیتون ارائه می‌دهد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، صفات طول میوه، قطر میوه، وزن تر، وزن خشک، نیتروژن (N)، منیزیم (Mg)، آهن (Fe) و منگنز (Mn) همبستگی مثبت قوی با عملکرد دارند که مقادیر آنها بین ۰/۷۹ تا ۰/۸۸ متغیر است. پتاسیم (K)، روی (Zn) و مس (Cu) همبستگی مثبت متوسطی دارند (از ۰/۲۳ تا ۰/۴۶). همبستگی‌های معنی‌دار (که با نقاط سیاه در نمودار نشان داده شده‌اند) نشان می‌دهند که طول میوه، قطر میوه، وزن تر، وزن خشک، نیتروژن، آهن، منگنز و منیزیم نقش‌های کلیدی در تعیین عملکرد دارند.

اندازه و وزن میوه ارتباط قوی با عملکرد زیتون دارد. میوه‌های بزرگ‌تر که از شرایط رشد مطلوب حاصل می‌شوند، اغلب منجر به عملکرد بالاتری می‌شوند، زیرا این صفات نشان‌دهنده دسترسی بهتر به مواد مغذی و سلامت درخت است. همبستگی مثبت قوی بین نیتروژن برگ ($r = 0.85$) و عملکرد، نقش اساسی نیتروژن در رشد زیتون را تأیید می‌کند. نیتروژن به بهبود رشد گیاهی و تشکیل میوه در زیتون کمک می‌کند (کوتسیاس و همکاران، ۲۰۲۴). به همین ترتیب، Mg، Fe و Mn (با همبستگی‌های ۰/۶۳، ۰/۸۸ و ۰/۸۶ به ترتیب) میکرومغذی‌های مهمی هستند که بر فتوسنتز و فعالیت آنزیمی در درختان زیتون تأثیر می‌گذارند و منجر به افزایش تولید می‌شوند (عبدالله، ۲۰۱۸). همبستگی فسفر ($r = 0.44$) با عملکرد نشان می‌دهد که فسفر برای توسعه ریشه و انتقال انرژی در گیاهان ضروری است (لیو، ۲۰۲۱). اگرچه به اندازه نیتروژن برجسته نیست، فسفر در توسعه میوه، به‌ویژه در مراحل اولیه رشد، نقش دارد.

کودها و تنظیم میزان مصرف آن‌ها می‌تواند به کاهش اثرات منفی و بهبود عملکرد گیاه کمک کند.

این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت دقیق تغذیه‌ای تأکید دارند، به‌ویژه در مناطقی که ویژگی‌های خاک و محیط ممکن است دسترسی به این عناصر را محدود کند. بهینه‌سازی ترکیب



شکل ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه و عملکرد

کیفیت میوه ایفا می‌کنند. افزایش جذب ریزمغذی‌هایی مانند Fe، Zn و Mn در تیمار ۳ نشان می‌دهد که این عناصر نقش حیاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی داشته و هم رشد رویشی و هم عملکرد تولیدمثلی را بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، تغییرات چشمگیر بین سال‌ها، به‌ویژه واکنش قوی‌تر در سال دوم، نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی مانند بارش و همچنین اثر افزایشی کود بر اثربخشی تیمارهای کودی است.

در نتیجه، این مطالعه نشان می‌دهد که تغذیه تلفیقی مواد مغذی که کودهای آلی و شیمیایی را همراه با ریزمغذی‌های ضروری شامل می‌شود، رویکردی پایدار و مؤثر برای افزایش تولید زیتون در مناطق نیمه‌خشک ارائه می‌دهد. این یافته‌ها بینش‌های عملی برای بهینه‌سازی استراتژی‌های کوددهی که هم عملکرد کوتاه‌مدت و هم سلامت بلندمدت خاک را بهبود می‌بخشند، ارائه کرده و راهی برای کشت پایدارتر زیتون تحت شرایط محیطی چالش‌برانگیز فراهم می‌کنند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه شواهد روشنی ارائه می‌دهد که تغذیه تلفیقی بهینه (کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی، همراه با ریزمغذی‌ها)، به‌طور قابل‌توجهی بهره‌وری و کیفیت درختان زیتون را در شرایط نیمه‌خشک بهبود می‌بخشد. تیماری که ترکیبی از کودهای شیمیایی، کود دامی پوسیده و ریزمغذی‌ها (T3) بود، به‌طور پیوسته عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت و منجر به افزایش قابل‌توجه در عملکرد، اندازه میوه، وزن‌های تر و خشک و جذب مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، روی (Zn) و منگنز (Mn) شد. بهبود عملکرد، ۵۰/۷ درصد در سال اول و ۷۲/۵ درصد در سال دوم نسبت به شاهد، نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی ترکیب نهاده‌های آلی و شیمیایی است.

این مطالعه همچنین بر اهمیت ریزمغذی‌ها تأکید دارد که نقشی حیاتی در به حداکثر رساندن بهره‌وری زیتون و بهبود

فهرست منابع

۱. رضائی، صدراله، شکافنده، اختر. (۱۳۹۱). 'اثرات روی و پتاسیم بر رشد و گوشت میوه زیتون (*Olea europaea* L.)', *Iran Agricultural Research*, 30(1.2), pp. 1-10. doi: 10.22099/iar.2012.489
۲. روحی ویشکائی، زهره، سلیمانی، علی، قاسم نژاد، محمود، حسنی، اکبر. (۱۴۰۳). 'تأثیر کاربرد برگی منابع مختلف کودی نانو کلات (نیتروژن و پتاسیم) و کودهای شیمیایی (اوره و نیترات پتاسیم) بر عملکرد و خواص کیفی روغن زیتون رقم ' زرد'، *علوم باغبانی* 38(1), pp. 147-164. doi: 10.22067/jhs.2023.81601.1246
۳. زارعی، عبدالکریم، عرفانی مقدم، جواد، هاشمی، سمیه، شیرمردی، عباس. (۱۴۰۲). 'اثر محلول پاشی برگی نانوذرات سیلیسیم و پتاسیم بر ترکیب اسیدهای چرب روغن زیتون رقم زرد، *بهار و بذر* 39(4), pp. 619-597. doi: 10.22092/spj.2024.366669.1375
۴. عباس زاده، بهلول، اسدی صنم، سمانه، لایق حقیقی، معصومه. (۱۳۹۸). 'تغییرات ویژگیهای مورفوفیزیولوژیک و ترکیبات فنلی برگ زیتون (*Olea europaea* L.) با کاربرد خاکی کودهای شیمیایی و آلی، *پژوهش‌های تولید گیاهی* 26(3), pp. 179-198. doi: 10.22069/jopp.2019.15532.2395
5. Abd-Elall, E. H., 2018. Effect of macro nutrients and Nano-boron foliar application on vegetative growth, yield and fruit quality of Manzanillo olive. *Alexandria Science Exchange Journal*, 39(July-September), pp.394-400. <https://dx.doi.org/10.21608/asejaiqsae.2018.9957>
6. Abdel-Nasser, G. and Harhash, M., 2001. Studies on some plant growing Media for olive cultivation in sandy soils under Siwa Oasis Conditions'. *Journal of the Advances in Agricultural Research*, 6, pp.487-510 .
7. Alcántara, E., Cordeiro, A. M. and Barranco, D., 2003. Selection of olive varieties for tolerance to iron chlorosis. *Journal of Plant Physiology*, 160(12), pp.1467-1472. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01013>
8. Allison, L. and Richards, L., 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, Soil and Water Conservative Research Branch, Agricultural Research Service.
9. Amanullah, J. and Stewart, B. A., 2013. Dry matter partitioning, growth analysis and water use efficiency response of oats (*avena sativa* l.) to excessive nitrogen and phosphorus application. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, pp.479-489 .
10. Bai, Y.-C., Chang, Y.-Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J.-P., Song, X.-B., Lei, X.-S. and Pei, D., 2020. Soil Chemical and Microbiological Properties Are Changed by Long-Term Chemical Fertilizers That Limit Ecosystem Functioning. *Microorganisms*, 8(5), pp.694. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050694>
11. Carvalho, R. P., Moreira, R. A., Cruz, M. C. M., Fernandes, D. R. and Oliveira, A. F., 2014. Organomineral fertilization on the chemical characteristics of Quartzarenic Neosol cultivated with olive tree. *Scientia Horticulturae*, 176, pp.120-126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.006>

12. Chapman, H. D. and Pratt, P. F., 1962. *Methods of analysis for soils, plants and waters*.
13. Chatzistathis, T., Papadakis, I. E., Papaioannou, A., Chatzissavvidis, C. and Giannakoula, A., 2020. Comparative study effects between manure application and a controlled-release fertilizer on the growth, nutrient uptake, photosystem II activity and photosynthetic rate of *Olea europaea* L. (cv. 'Koroneiki'). *Scientia Horticulturae*, 264, pp.109176. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109176>
14. Dabbaghi, O., Tekaya, M., M'barki, N., Ali, S., Oden, S., Mezghani, M., Attai, F., Labidi, F., Prinsen, E., Hammami, M. and Mechri, B., 2018. Effect of foliar bio-fertilization on growth and biochemical parameters of olive trees at flowering. *Journal of Plant Nutrition*, 41(18), pp.2281–2297. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1500592>
15. El-Fouly, M., Shaaban, S. and El-Sayed, A., 2008. Evaluation of seasonal nutrient status in the leaves of different olive varieties grown on calcareous soils. *Journal of Applied Horticulture*, 10(1), pp.59-62. <https://doi.org/10.37855/jah.2008.v10i01.12>
16. Elbadawy, N., Hegazi, E., Yehia, T., Abourayya, M. and Mahmoud, T., 2016. Effect of Nitrogen Fertilizer on Yield, Fruit Quality and Oil Content in Manzanillo Olive Trees. *Journal of Arid Land Studies*, 26(3), pp.175-177. https://doi.org/10.14976/jals.26.3_175
17. Erel, R., Yermiyahu, U., Yasur, H., Cohen Chamus, D., Schwartz, A., Ben-Gal, A. and Dag, A., 2016. Phosphorous Nutritional Level, Carbohydrate Reserves and Flower Quality in Olives. *PLOS ONE*, 11(12), pp.e0167591. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167591>
18. Fernandez-Escobar, R., Sánchez-Zamora, M., Uceda, M. and Beltran, G. The effect of nitrogen overfertilization on olive tree growth and oil quality. IV International Symposium on Olive Growing 586, 2002. 429-431.
19. Fernández-Hernández, A., Roig, A., Serrami , N., Civantos, C. G.-O. and Sánchez-Monedero, M. A., 2014. Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil, olive fruit and olive oil quality. *Waste Management*, 34(7), pp.1139-1147. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.027>
20. Ganesan, S., 2024. Biotic farming using organic fertilizer for sustainable agriculture. *Physical Sciences Reviews*, 9(1), pp.201-209. <https://doi.org/10.1515/psr-2022-0174>
21. Gee, G. W. and Bauder, J. W., 1986. Particle-size Analysis. *Methods of Soil Analysis*.
22. Goss, M. J., Tubeileh, A. and Goorahoo, D., 2013. Chapter Five - A Review of the Use of Organic Amendments and the Risk to Human Health. In: SPARKS, D. L. (ed.) *Advances in Agronomy*. Academic Press.
23. Haberman, A., Dag, A., Shtern, N., Zipori, I., Erel, R., Ben-Gal, A. and Yermiyahu, U., 2019. Long-Term Impact of Potassium Fertilization on Soil and Productivity in Intensive Olive Cultivation. *Agronomy*, 9(9), pp.525. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090525>
24. Hadawi, I., Safari, M. and Arji, I., 2021. Effects of Different Organic Manures and Chemical Fertilizers on Yield and Yield Component of Olive (*Olea europaea* L.) cv Zard In Kermanshah Province 2. 1, pp.61-70. <https://doi.org/10.22126/ATIC.2021.6514.1013>

25. Hosseini-Mazinani, M., Mariotti, R., Torkzaban, B., Sheikh-Hassani, M., Ataei, S., Cultrera, N. G. M., Pandolfi, S. and Baldoni, L., 2014. High Genetic Diversity Detected in Olives beyond the Boundaries of the Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 9(4), pp.e93146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093146>
26. Isa, A., Mansour, S. and Ibrahim, H., 2021. Effects of Different Organic Manures and Chemical Fertilizers on Yield and Yield Component of Olive (*Olea europaea* L.) cv Zard In Kermanshah Province. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1(2), pp.61-70. <https://doi.org/10.22126/atic.2021.6514.1013>
27. Jukić Špika, M., Romić, D., Žanetić, M., Zovko, M., Klepo, T., Strikić, F. and Perica, S., 2022. Irrigation of Young Olives Grown on Reclaimed Karst Soil Increases Fruit Size, Weight and Oil Yield and Balances the Sensory Oil Profile. *Foods*, 11(18), pp.2923. <https://doi.org/10.3390/foods11182923>
28. Kotsias, D., Kavvadias, V. and Pappas, C., 2024. Response of Olive Trees (*Olea europaea* L.) cv. Kalinioti to Nitrogen Fertilizer Application. *Physiologia*, 4(1), pp.43-53. <https://doi.org/10.3390/physiologia4010002>
29. Kumar, A. V. R., Kumar, N. and Kavino, M., 2006. Role of Potassium in Fruit Crops - A Review. *Agricultural Reviews*, 27, pp.284-291.
30. Lakner, S., Brenes-Muñoz, T. and Brümmer, B., 2016. What Influences the Growth of Organic Farms? Evidence from a Panel of Organic Farms in Germany. *German Journal of Agricultural Economics (Online)*, 65, pp.1-15. <https://doi.org/10.52825/gjae.v65i1.2010>
31. Liu, D., 2021. Root developmental responses to phosphorus nutrition. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(6), pp.1065-1090. <https://doi.org/10.1111/jipb.13090>
32. Mazeh, M., Almadi, L., Paoletti, A., Cinosi, N., Daher, E., Tucci, M., Lodolini, E. M., Rosati, A. and Famiani, F., 2021. Use of an Organic Fertilizer Also Having a Biostimulant Action to Promote the Growth of Young Olive Trees. *Agriculture*, 11(7), pp.593. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070593>
33. Mousavi Dehmordy, Z., Gholami, M., and Baninasab, B., 2022. Effect of Vermicompost Fertilizer on Some Physiological Factors and Mineral Elements Absorption of Olive (*Olea europaea* L. cv. Zard) Under Drought Stress Condition. *Journal of Crop Production and Processing* 12(3), pp.67-80. <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.12.3.32981>
34. Nelson, D. A. and Sommers, L. E., 1983. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*.
35. Peters, J., Combs, S., Hoskins, B., Jarman, J., Kovar, J., Watson, M., Wolf, A. and Wolf, N., 2003. Recommended methods of manure analysis. *University of Wisconsin Cooperative Extension Publishing: Madison, WI*.
36. Roussos, P. A., Gasparatos, D., Kechrologou, K., Katsenos, P. and Bouchagier, P., 2017. Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under Mediterranean conditions. *Scientia Horticulturae*, 220, pp.11-19. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.019>
37. Seiffert, S., Kaselowsky, J., Jungk, A. and Claassen, N., 1995. Observed and Calculated Potassium Uptake by Maize as Affected by Soil Water Content and Bulk Density. *Agronomy Journal*, 87(6), pp.1070-1077. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700060007x>
38. Shaji, H., Chandran, V. and Mathew, L., 2021. Chapter 13 - Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. In: LEWU, F. B., VOLOVA, T., THOMAS,

- S. & K.R. R. (eds.) *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. Academic Press.
39. Silva, E., Gonçalves, A., Martins, S., Brito, C., Ferreira, H., Ferreira, L. M. M., Moutinho-Pereira, J., Rodrigues, M. Â. and Correia, C. M., 2023. Olive Yield and Physicochemical Properties of Olives and Oil in Response to Nutrient Application under Rainfed Conditions. *Molecules*, 28(2), pp.831. <https://doi.org/10.3390/molecules28020831>
40. Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., Johnston, C. and Summer, M., 1996. Methods of soil analysis, parts 2 and 3 chemical analysis. *Soil Science Society of America Inc., Madison*, pp.1390. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3>
41. Taame, N., El Mejahed, K., Oukarroum, A., Choukr-Allah, R., Pittelkow, C., Bouabid, R. and Gharous, M. E., 2024. Residual Effects of Compost and Manure Fertilizers on Quinoa Production and Nutrient Uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(3), pp.4338-4348. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01838-2>
42. Xia, G., Cheng, L., Lakso, A. and Goffinet, M., 2009. Effects of Nitrogen Supply on Source-sink Balance and Fruit Size of 'Gala' Apple Trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(1), pp.126-133. <https://doi.org/10.21273/jashs.134.1.126>
43. Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S. and Jiang, Y., 2020. Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, and Nitrate Metabolism in Apple Dwarf Rootstock Seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11, pp.904. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904>
44. Zipori, I., Erel, R., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A. and Dag, A. ۲۰۲۰. Sustainable management of olive orchard nutrition: A review. *Agriculture*, 10(1), pp.11. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010011>

ارزیابی تأثیر بافت خاک بر صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده برنج توسط مدل

DSSAT در مقیاس ناحیه‌ای

مجتبی رضایی^{۱*}، ناصر دواتگر^۲، ابراهیم امیری^۳، مرتضی کمالی^۴

^۱ استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. mrezaei@yahoo.com

^۲ دانشیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

^۳ استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

^۴ کارشناس، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ و پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲

چکیده

مدل‌های رشد گیاهی در سطح کوچک و مقیاس مزرعه‌ای از صحت شبیه‌سازی زیادی برخوردار هستند. اما به کارگیری آن‌ها در سطح بزرگ‌تر و مقیاس ناحیه‌ای باعث کاهش قابل ملاحظه در صحت مدل می‌شود. کمتر مطالعه‌ای به بررسی دلایل این پدیده پرداخته است. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر بافت خاک بر میزان صحت مدل DSSAT برای پیش‌بینی عملکرد و زیست‌توده برنج در مقیاس ناحیه‌ای است. ابتدا مدل DSSAT با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای واسنجی و اعتبارسنجی شد و سپس برای پیش‌بینی عملکرد و زیست‌توده برنج ۱۱۰ شالیزار شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های موردنیاز از مزارع جمع‌آوری و وارد مدل شد. ارزیابی خروجی مدل نشان داد که خطای مطلق مربوط به مدل دامنه نسبتاً زیادی را (تا ۵۰٪) دارد. اما قسمت عمده این خطا در محدوده $\pm 30\%$ رخ می‌دهد. همچنین صحت مدل برای میانگین عملکرد منطقه، قابل قبول است، ولی برای محدوده عملکرد پیشینه یا کمینه، از صحت مدل کاسته می‌شود. نتایج نشان داد که صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده توسط مدل با مقدار شن خاک رابطه معکوس دارد. کمترین مقدار خطای مدل یا بالاترین صحت در گروه شن ۱۵-۰٪ و بیشترین خطا و کمترین صحت شبیه‌سازی در گروه شن بالای ۳۰٪ مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: خطای مدل، شن خاک، عملکرد شالیزار، مدل رشد گیاهی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: mrezaei@yahoo.com



مقدمه

حساسیت بالای محصولات زراعی نسبت به تغییرات اقلیمی، آب و هوایی و مدیریت‌های زراعی (کاسامکار و کولکارنی، ۲۰۱۹)، پایش مداوم آن را برای برآورد هرچه دقیق‌تر محصولات کشاورزی با هدف تسهیل سیاست‌گذاری در بخش امنیت غذایی ضروری می‌سازد (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ساتیر و بربروگلو، ۲۰۱۶). هزینه زیاد، زمان‌بر بودن و دشواری انجام روش‌های مستقیم برآورد تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی بر عملکرد گیاهان زراعی خصوصاً در مقیاس ناحیه‌ای سبب شده تا کاربرد مدل‌های رشد گیاهی فراگیر شود (خان و همکاران، ۲۰۱۹؛ دلقندی و همکاران، ۱۳۹۳). این مدل‌ها با توصیف و شبیه‌سازی فرایندهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان و برآورد عملکرد آن‌ها در محیط رایانه‌ای قادرند تا اطلاعات متنوعی را در خصوص اتخاذ بهترین رژیم آبیاری، میزان بهینه کود، تاریخ مناسب کشت، بهترین رقم و تعیین مقدار بذر در اختیار برنامه‌ریزان قرار دهند (دیلون و همکاران، ۲۰۲۳؛ کاسامکار و کولکارنی، ۲۰۱۹؛ اوواندو و همکاران، ۲۰۱۸؛ ون ایت‌رسام و همکاران، ۲۰۰۳؛ جامپسون و همکاران، ۱۹۹۸؛ بومن و همکاران، ۱۹۹۶). نتیجه نهایی این شبیه‌سازی افزایش سطح امنیت غذایی در جهان است (رینولدز و همکاران، ۲۰۱۸). از دهه ۱۹۶۰ تاکنون مدل‌های رشد گیاهی زیادی مانند CropSyst (استوکل و همکاران، ۲۰۰۳)، DSSAT (جونز و همکاران، ۲۰۰۳)، APAIM (کیتینگ و همکاران، ۲۰۰۳)، AquaCrop (استدوتو و همکاران، ۲۰۰۹) و WOFOST (دی ویت و همکاران، ۲۰۱۹) توسعه داده شده است. مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پرستفاده‌ترین مدل‌های رشد گیاهی است که برای بیش از ۲۰ گیاه زراعی مختلف به همراه برنامه‌های رایانه‌ای در یک بسته نرم‌افزاری ارائه شده است (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). نیاز به داده‌های ورودی کم، کاربرد دوست بودن، توانایی و صحت مناسب آن برای شبیه‌سازی رشد گیاه در طول فصل زراعی و پیش‌بینی قابل قبول عملکرد به خصوص در سطوح کوچک و

تحقیقاتی (امیری و همکاران، ۲۰۱۳)، باعث شده که این مدل مورد توجه زیادی قرار بگیرد (انگم و همکاران، ۲۰۱۴؛ سالمرون و همکاران، ۲۰۱۴، یانگ و همکاران، ۲۰۱۳). اما بررسی منابع نشان داد که صحت مدل در شرایط وجود تنش‌های محیطی مانند تنش آبی تا حدی کاهش می‌یابد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ سالامون و فاین، ۲۰۰۹). وجود عوامل تنش‌زا هنگام عملیات مدل می‌تواند بر صحت شبیه‌سازی رشد تاج گیاهی، تعرق محصول، زیست‌توده و عملکرد تأثیرگذار باشد و به خطاهای شبیه‌سازی بالاتر منجر شود (جی و همکاران، ۲۰۲۳).

صحت مدل DSSAT در سطوح بزرگ نیز تا حد زیادی کاسته می‌شود. محققان به مواردی نظیر ناهمگونی شرایط خاک، عوامل آب و هوایی و اقلیمی، عوامل مدیریت زارعی، پارامترهای رقم محصول و عدم قطعیت داده‌های برداشت شده، به عنوان عوامل کاهش‌دهنده صحت مدل در سطوح بزرگ اشاره کرده‌اند (پالوسو و همکاران، ۲۰۱۱؛ فیوره و همکاران، ۲۰۰۹؛ دواتگر، ۱۳۸۹). صحت برآورد هر مدل از جمله مدل DSSAT وابستگی زیادی به داده‌های ورودی، مقادیر پارامترهای مدل، ساختار مدل و مفروضات در نظر گرفته شده در مدل دارد (رفسگارد و همکاران، ۲۰۰۶). در خصوص داده‌های ورودی، هر اندازه داده‌برداری انجام شده از دقت بالاتری برخوردار باشد، خطای برآورد مدل کمتر خواهد بود (اوجدا و همکاران، ۲۰۲۱). اما در بین عوامل تأثیرگذار بر صحت مدل پارامترهای مربوط به خاک نقش اساسی دارند (هی و همکاران، ۲۰۱۴؛ دیتوری و همکاران، ۲۰۱۱؛ تراپ و همکاران، ۲۰۰۷). از این‌رو حتی اگر شرایط عملیات زارعی، آب و هوایی و نوع رقم در سطوح منطقه‌ای یکسان باشد، عدم همگونی خاک باعث تغییرات صحت پیش‌بینی عملکرد می‌شود (فری و همکاران، ۲۰۱۷). دیتوری و همکاران (۲۰۱۱) این پدیده را به حاصلخیزی خاک نسبت دادند و گزارش کردند که صحت مدل با کاهش حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد. وولی و همکاران (۲۰۱۹)

ظرفیت نگهداشت آب خاک و ارتباط آن با نیتروژن و بافت خاک را بر صحت مدل DSSAT- مؤثر دانستند. از آنجا که تاکنون پژوهشی در خصوص تأثیر میزان شن خاک مزارع در سطح وسیع بر دقت پیش‌بینی مدل DSSAT انجام نشده است، از این رو هدف از پژوهش حاضر ارزیابی نقش درصد شن خاک بر نحوه پیش‌بینی عملکرد و زیست‌توده برنج توسط مدل DSSAT در مقیاس ناحیه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش ابتدا مدل DSSAT با استفاده از داده‌های اخذ شده از مطالعات پیشین انجام شده در مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت (رضایی، ۱۳۸۲؛ رضایی، ۱۳۸۷) واسنجی و اعتبارسنجی شد. داده‌های

هواشناسی از ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت با مختصات طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۴/۹ متر تهیه شد. نمونه آب و خاک مزرعه تحقیقاتی برداشت شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول‌های ۱ و ۲). ضرایب ژنتیکی رقم (در این پژوهش رقم هاشمی) برای واسنجی مدل با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده در مؤسسه تحقیقات برنج کشور طی چند سال اخیر و با استفاده از بخش GENCAL مدل به روش سعی و خطا محاسبه شد. در ادامه صحت مدل در سطح وسیع با استفاده از پارامترهای واسنجی شده در سطح مزرعه تحلیل شد و در پایان، با بررسی دلایل احتمالی ایجاد خطای برآورد، نقش بافت خاک و درصد شن در صحت مدل تحلیل و ارزیابی شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مزرعه تحقیقاتی تا عمق زراعی

درصد اشباع	EC	pH	درصد نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	بافت خاک
۷۵	۱/۱۲	۷/۴	۰/۱۸۹	۱۷/۸	۲۸۰	Si-Cl

فسفر و پتاسیم قابل جذب بر حسب ppm و EC بر حسب dS.m^{-1} است.

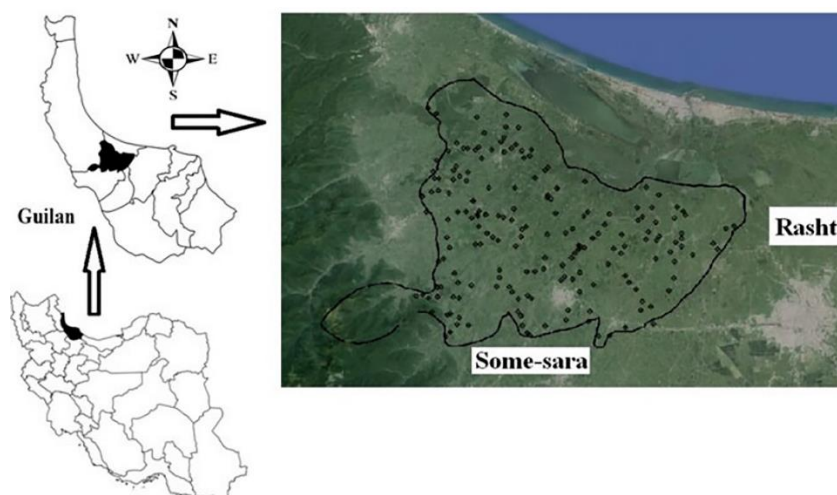
جدول ۲- نتایج تجزیه آب آبیاری در مزرعه تحقیقاتی

EC	TDS	pH	کربنات	بی‌کربنات	کلر	سولفات	کلسیم	منیزیم	سدیم	SAR	کلاس آب
۰/۹۸	۵۹۸	۷/۳	۱/۲	۴/۶	۴/۴	۰/۴۲	۴/۲	۱/۸	۵/۴	۳/۱	C3S1

آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب dS.m^{-1} و TDS بر حسب ppm و EC بر حسب dS.m^{-1} هستند.

برای ارزیابی عملکرد مدل در مقیاس ناحیه، تعداد ۱۱۰ مزرعه از مزارع شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان واقع در $49^{\circ} 15'$ تا $49^{\circ} 33'$ شرقی و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 15'$ تا $37^{\circ} 25'$ شمالی در سال ۱۳۸۵ انتخاب شدند (شکل ۱). در این شهرستان حدود ۲۶ هزار هکتار اراضی شالیزاری وجود دارد که عموماً برنج رقم محلی هاشمی در آن‌ها کشت می‌شود. مختصات هر مزرعه با دستگاه موقعیت‌یاب برداشت شد. اطلاعات خاکشناسی هر مزرعه با برداشت نمونه خاک از هر مزرعه و اطلاعات مصرف آب از شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان اخذ و به عنوان پارامتر در مدل

وارد شد (جدول ۳). ناحیه مورد مطالعه از نظر اقلیمی مشابه محل مؤسسه تحقیقات برنج است. لذا برای اجرای مدل از اطلاعات هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (کشاورزی رشت) استفاده شد. اطلاعات مدیریت زراعی شامل روز خزانه‌گیری، تعداد روز در خزان، تعداد نشاء در کپه، تعداد کپه در مترمربع، تاریخ‌های کاشت، نشاکاری، ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی، و میزان مصرف کود، از طریق بازدید میدانی و پرسشنامه از کشاورزان تهیه شد. در نهایت عملکرد شلتوک و زیست‌توده (مجموع کاه و شلتوک)، در این مزارع اندازه‌گیری و با خروجی مدل مقایسه شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گیلان و مزارع نمونه‌برداری شده
جدول ۳- ویژگی‌های خاک، آب و نیتروژن مصرفی در اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه

	بافت خاک			آب مصرفی	نیتروژن مصرف‌شده
	دس	شن	سیلت		
میانگین	۲۹/۷	۲۱/۳	۴۹/۱	۴۶۵	۳۳/۶
بیشینه	۴۲/۶	۴۰/۸	۵۴/۳	۷۴۲	۱۲۷
کمینه	۱۳/۶	۱۲/۴	۴۱/۹	۲۴۰	۴/۶
Sd	۶/۷	۶/۲	۳/۱	۹۳/۷	۱۹

نیتروژن، آب مصرفی و مؤلفه‌های بافت خاک به ترتیب بر حسب mm kg ha^{-1} و درصد هستند.

شاخص‌های آماری

برای ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد برنج، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا

(RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) و نیز ضریب تعیین (R^2) مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر شبیه‌سازی شده استفاده شد. این شاخص‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5} \quad (1)$$

$$NRMSE = 100 \left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

که در این روابط: P_i = مقدار شبیه‌سازی شده مدل، O_i = مقدار اندازه‌گیری شده واقعی، n = تعداد اندازه‌گیری واقعی، $\bar{O}$ = میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است.

دامنه مقادیر حاصل از RMSE از صفر تا مثبت بی‌نهایت متغیر است و همچنین واحد اندازه‌گیری یکسانی با متغیر وابسته یا هدف دارد. پایین بودن مقدار RMSE نشان‌دهنده

این است که مدل به‌خوبی بر داده‌ها برازش شده و پیش‌بینی‌ها دارای صحت بالایی است. چنانچه NRMSE کمتر از ۱۰ باشد نشان‌دهنده حالت عالی شبیه‌سازی و بین ۲۰-۳۰ حالت خوب، بین ۳۰-۴۰ حالت متوسط و بالای ۴۰ حالت ضعیف شبیه‌سازی است. بازه تغییرات R^2 نیز بین ۰ تا ۱ است. اگر مقدار R^2 به یک نزدیک باشد، مدل داده‌ها را خوب برازش کرده است، در حالی که اگر

۴) نشان داد که با توجه به شاخص‌های آماری، صحت مدل در شرایط مزرعه‌ای بسیار بالاست. دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده در این آزمایش را می‌توان به یکنواخت بودن شرایط آزمایش‌های مربوط در موسسه تحقیقات برنج کشور نسبت داد.

همبستگی پایین (نزدیک به صفر) باشد، مدل برازش خوبی از داده‌ها ارائه نداده است.

یافته‌ها و بحث

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده در سطح مزرعه‌ای (جدول

جدول ۴- ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی پارامترهای گیاهی مدل DSSAT

تعداد نمونه	O _{mean}	P _{mean}	R ²	RMSE	NRMSE
۱۸	۳۴۱۷	۳۳۳۴	۰/۷۵	۲۹۳	۹
۱۸	۸۴۱۹	۸۳۴۵	۰/۸۰	۴۶۶	۵
۹	۳۳۴۶	۳۴۹۷	۰/۸۶	۲۶۵	۸
۹	۷۲۴۹	۷۴۱۰	۰/۷۸	۶۸۶	۹

عملکرد شلتوک و زیست‌توده و RMSE بر حسب kg ha^{-1} و NRMSE بر حسب درصد است. O_{mean} و P_{mean} به ترتیب میانگین عملکرد و زیست‌توده اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده هستند.

بسیار کمتر از حد واقعی است. به طور کلی در محدوده عملکردی میانگین صحت برآورد مدل زیاد بوده و خروجی آن نزدیک و مشابه با واقعیت می‌باشد. برای محدوده عملکرد بیشتر از میانگین منطقه مقدار عملکرد برآوردی کمتر از مقادیر مشاهده شده (کم برآورد) است. برای محدوده عملکرد کمتر از میانگین عملکرد برآوردی مدل مقادیر بیشتر از مقدار واقعیت (بیش برآورد) را نشان می‌دهد. بدین معنی که مدل تمایل به میانگین دارد. ضعف مدل در شبیه‌سازی در مقادیر متفاوت کود خصوصاً نیتروژن باعث کاهش صحت آن می‌شود. این موضوع می‌تواند در مناطق با مدیریت متفاوت کاربرد کود به ویژه در سطوح بزرگ باعث ایجاد خطا در برآورد عملکرد شود (امیری و همکاران، ۲۰۱۴). در شرایط تنش کم‌آبی و عناصر غذایی، شاخص برداشت واقعی تغییر می‌کند و ضریب اختصاص انتقال یافته از برگ و ساقه به اندام زایشی توسط مدل به نحو مناسبی در نظر گرفته نمی‌شود و به دلیل عدم توانایی مدل در رفع این مشکل، خطا رخ می‌دهد (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). به همین دلیل بیشترین خطای مدل در شرایط تنش‌های آبی و کودی اتفاق می‌افتد (امیری و همکاران، ۲۰۱۴).

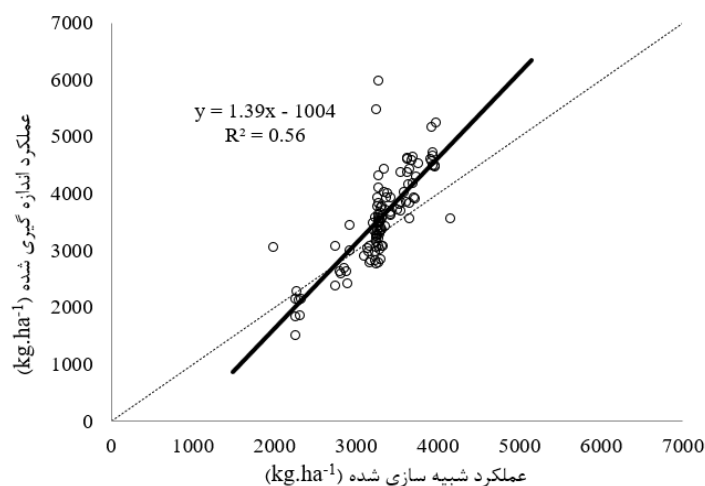
جدول ۵ و شکل ۲ نشان‌دهنده نتایج شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده در سطح صومعه‌سرا است که نشان داد شاخص‌های آماری بدست آمده بر کاهش صحت مدل در سطح وسیع دلالت دارد. به طوری که مقدار NRMSE شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده از ۸ و ۹ درصد در سطح مزرعه‌ای به ۲۱ و ۲۲/۷ درصد در مقیاس ناحیه رسیده است. میانگین عملکرد شلتوک و زیست‌توده مشاهده شده در ۱۱۰ مزرعه از اراضی برنجکاری در محدوده شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان به ترتیب ۳۵۷۵ و ۸۴۱۸ کیلوگرم در هکتار، کمینه عملکرد شلتوک و زیست‌توده منطقه به ترتیب ۱۶۳۶ و ۳۸۹۵ کیلوگرم در هکتار و بیشینه عملکرد شلتوک و زیست‌توده به ترتیب ۵۹۸۲ و ۱۳۱۹۵ کیلوگرم در هکتار است که بیانگر تنوع در نوع خاک، آب و هوا و عوامل مدیریتی در منطقه مورد مطالعه است.

برآورد عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل DSSAT نشان می‌دهد قسمت عمده اراضی از عملکردی در محدوده ۴۰۰۰-۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برخوردارند. بر اساس جدول ۵ بیشینه عملکرد شلتوک و زیست‌توده برآورد شده به ترتیب ۴۱۵۲ و ۹۴۲۹ کیلوگرم در هکتار و

جدول ۵- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده در سطح وسیع

میانگین	پیشینه	کمینه	R ²	RMSE	NRMSE	
مشاهده	۳۵۷۵	۵۹۸۲	۱۶۳۶	-	-	عملکرد
مدل	۳۰۵۳	۴۱۵۲	۱۹۸۶	۷۴۰	۲۱	
مشاهده	۸۴۱۸	۱۳۱۹۵	۳۸۹۵	-	-	زیست‌توده
مدل	۷۷۸۵	۹۴۲۹	۵۱۶۹	۱۹۰۵	۲۲/۷	

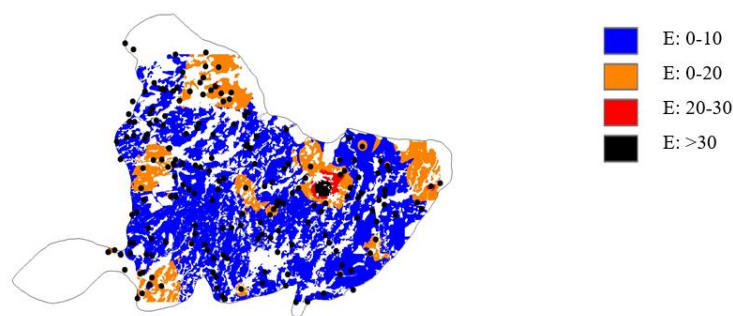
عملکرد شلتوک و زیست‌توده و RMSE بر حسب kg.ha⁻¹ و NRMSE بر حسب درصد است.



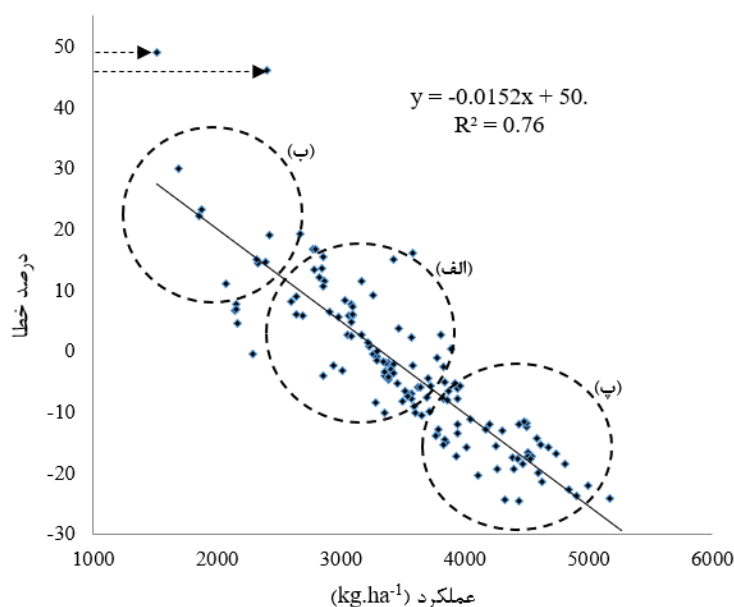
شکل ۲- مقدار عملکرد شلتوک شبیه‌سازی شده توسط مدل DSSAT

مدل مجدداً کاهش یافت.. بدین صورت که در محدوده‌های بزرگ‌تر مقدار خطا به سمت منفی‌تر شدن و یا به عبارت بهتر برآورد کمتر و در محدوده عملکردی بالاتر مقدار خطا به سمت مثبت یا برآورد بیشتر سوق می‌یابد که پیش‌تر اشاره شد. همواره پیش‌بینی در حالت شرایط عادی و بدون تنش با صحت بالاتری همراه است (ون گنوختن، ۱۹۸۰). اما در مقیاس ناحیه مدیریت زراعی متنوع و تغییرات مکانی عوامل مؤثر در عملکرد مانند بافت خاک، تراکم واقعی در واحد سطح، مقدار آب و عناصر غذایی قابل دسترس و داده‌های مناسب آب‌وهوایی بسیار زیاد است که می‌تواند باعث خطا در برآورد عملکرد شود.

نقشه پراکنش خطای مطلق برآورد مقدار عملکرد شلتوک توسط مدل DSSAT در سطح اراضی شالیزاری صومعه‌سرا (شکل ۳) نشان داد خطای مطلق برآورد در ۷۵ درصد از اراضی کمتر از ۱۰ درصد و در ۲۱ درصد از اراضی در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد قرار دارد و در تنها حدود ۴ درصد اراضی خطای مطلق برآورد بالاتر از حد ۲۰ درصد بوده که بیانگر صحت نسبتاً قابل قبول برآورد عملکرد توسط مدل است. همچنین بر اساس شکل ۴ خطای مطلق دامنه نسبتاً زیادی را در بر گرفت (قسمت عمده خطا در بازه $\pm 30\%$) و مقدار خطا در برخی نقاط به ۵۰ درصد رسید. بر اساس این شکل با افزایش عملکرد مقدار خطا کمتر شد و در محدوده عملکردی ۳۰۰۰-۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار مقدار خطا بسیار کم بود و با فاصله گرفتن از این محدوده دقت



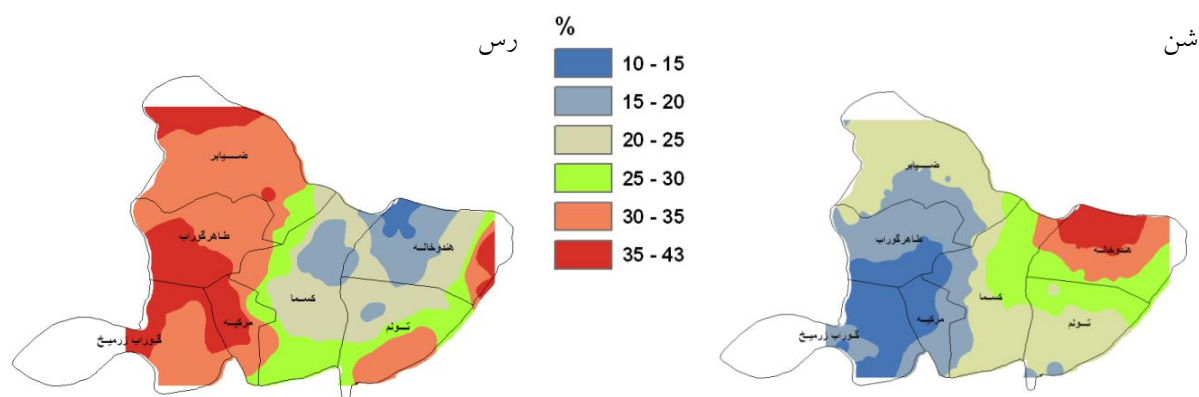
شکل ۳- نقشه درصد خطای مطلق مدل برای پیش‌بینی عملکرد شلتوک (نقاط مشخص شده، محل نمونه‌برداری عملکرد است)



شکل ۴- رابطه درصد خطا با مقدار (الف) میانگین، (ب) بیشینه، (پ) کمینه عملکرد مشاهداتی

به درصد شن افزوده می‌شود. به همین منظور سعی شد بین درصد شن خاک و مقدار عملکرد در کل نقاط و همچنین بین درصد مطلق خطا و درصد شن، رس و سیلت خاک ارتباطی برقرار گردد. ولی هیچ ارتباطی بین این صفات مشاهده نشد. به منظور بررسی دقیق‌تر دلایل و روند خطای برآورد عملکرد شلتوک و زیست‌توده، مزارع مورد بررسی بر اساس درصد شن خاک به ۵ دسته، گروه‌بندی شد.

برخی از منابع تغییر در بافت خاک (تراپ و همکاران، ۲۰۰۷)، به‌ویژه درصد شن را عامل مؤثر در مقدار خطای برآورد عملکرد عنوان نمودند (دیتوری و همکاران، ۲۰۱۱). شکل ۵ نشان‌دهنده درصد شن و رس در خاک‌های ۱۱۰ مزرعه کشاورزان محلی منطقه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد شن در اراضی شالیزاری جنوب غربی استان حداقل مقدار را داراست. ولی در سمت شرق

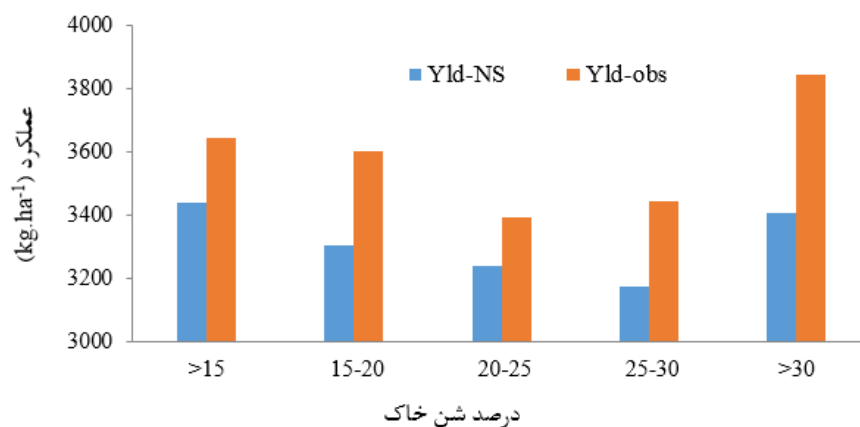


شکل ۵- درصد شن و رس در خاک‌های منطقه

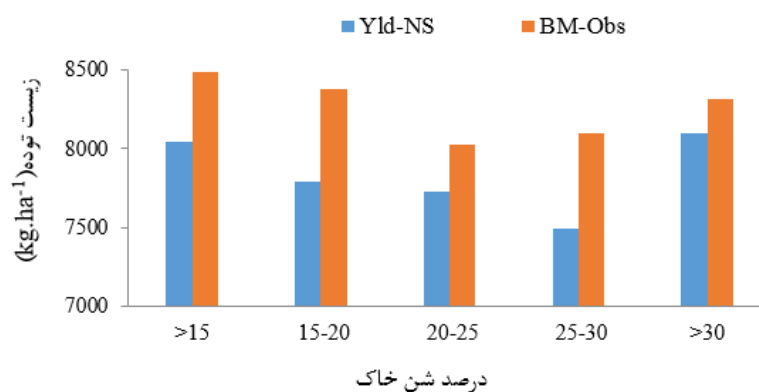
برنج در تیمار شاهد بدون مصرف زئولیت طی سال انجام طرح پژوهشی در خاک شنی (مقدار شن بیش از ۳۰٪) بیشتر از عملکرد در خاک با بافت رسی (مقدار شن کمتر از ۱۵٪) بود.

بررسی مقدار $NRMSE$ و $RMSE$ در گروه‌های شن (شکل‌های ۸ تا ۱۶) نیز بیانگر کاهش صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده مدل به ازای افزایش مقدار شن بود. کمترین مقدار خطا یا به عبارت دیگر بالاترین صحت در گروه شن ۱۵-۰ درصد و بالاترین خطا و کمترین دقت شبیه‌سازی در گروه درصد شن بالای ۳۰ درصد مشاهده شد. این مدل برای شرایط همگن خاک طراحی شده است (تراپ و همکاران، ۲۰۰۷). عدم دسترسی به مقدار رطوبت خاک در این مدل و حساسیت زیاد به مقدار نیتروژن باعث می‌شود شبیه‌سازی انجام یافته توسط این مدل در یک نقطه کوچک و مشخص نتایج خوبی دارد، ولی برای شبیه‌سازی در شرایط زمانی و مکانی متفاوت صحت برآورد کاهش می‌یابد. دیتوری و همکاران (۲۰۱۱) نیز با واسنجی و اعتبار سنجی مدل $DSSAT$ با استفاده از داده‌های بلندمدت برای سه رقم گندم در چند نقطه ایتالیا گزارش کردند عملکرد برآورد شده توسط این مدل کمی بیشتر از عملکرد مشاهداتی می‌باشد. ولی همواره بدترین نتایج در خاک با درصد شن بالا مشاهده شد.

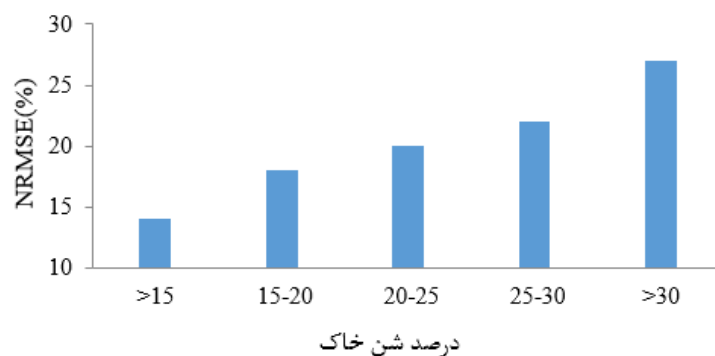
مشخصات عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در گروه‌های درصد شن خاک در شکل ۶ نشان داده شد. همانطور که مشاهده می‌گردد در گروه مقدار شن ۱۵-۱۰ درصد خاک مقدار عملکرد حدود ۳۶۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. با افزایش مقدار شن خاک عملکرد مشاهداتی کم شد تا اینکه در گروه ۲۵-۲۰ درصد به کمترین مقدار یعنی ۳۳۹۲ کیلوگرم در هکتار رسید و بعد از این مقدار، با افزایش درصد شن مقدار عملکرد افزایش یافت و به ۳۸۲۴ کیلوگرم در هکتار رسید. روند دوگانه و تغییر رفتار گیاه با تغییر درصد شن خاک بعد از حد ۳۰ درصد نیاز به بررسی بیشتر متخصصین فیزیولوژی گیاهی و خاک‌شناسی دارد. عدم مشاهده ارتباط بین درصد شن با عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در بخش‌های قبلی را می‌توان به این رفتار دوگانه اثر بافت خاک بر عملکرد برنج مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نسبت داد. تأثیر بافت خاک را بر مقادیر برآورد زیست‌توده در شکل ۷ نشان داد که مانند تغییرات عملکرد به ازای افزایش درصد شن در خاک تا گروه ۳۰-۲۵ درصد مقدار زیست‌توده کاهش یافته و بعد از این حد افزایش مقدار زیست‌توده نیز مشاهده شد. این پدیده مورد توجه دیگر محققان نیز قرار گرفته است. رضایی (۱۳۹۱) در یک مطالعه گلدانی با بررسی اثر افزودن زئولیت در دو بافت خاک بر مصرف آب برنج گزارش کرد که عملکرد



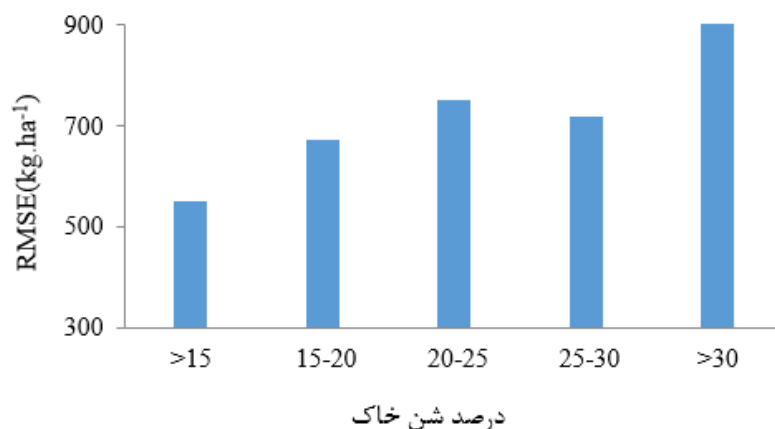
شکل ۶- مقدار عملکرد (کیلوگرم در هکتار) در کلاس‌های مختلف درصد شن بافت خاک
NS: شبیه‌سازی شده، Obs: مشاهده شده



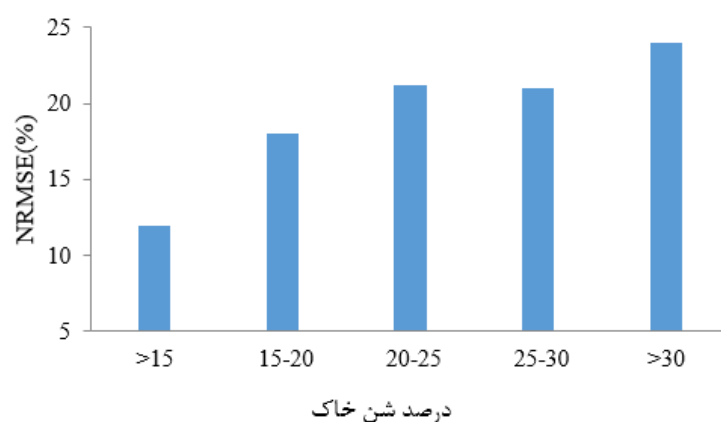
شکل ۷- مقدار زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) در کلاس‌های مختلف درصد شن بافت خاک
NS: شبیه‌سازی شده، Obs: مشاهده شده



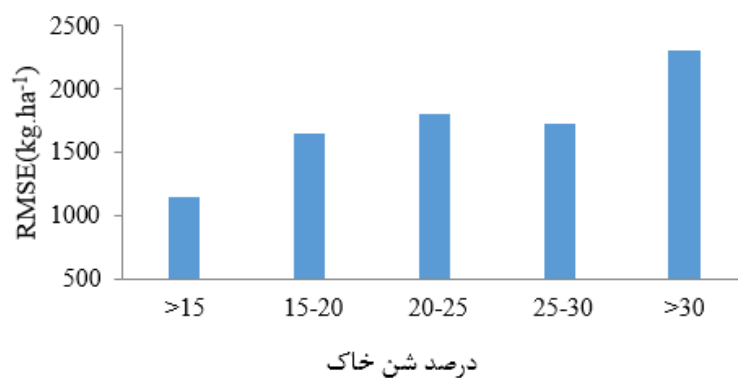
شکل ۸- تغییر در شاخص NRMSE در برآورد عملکرد در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



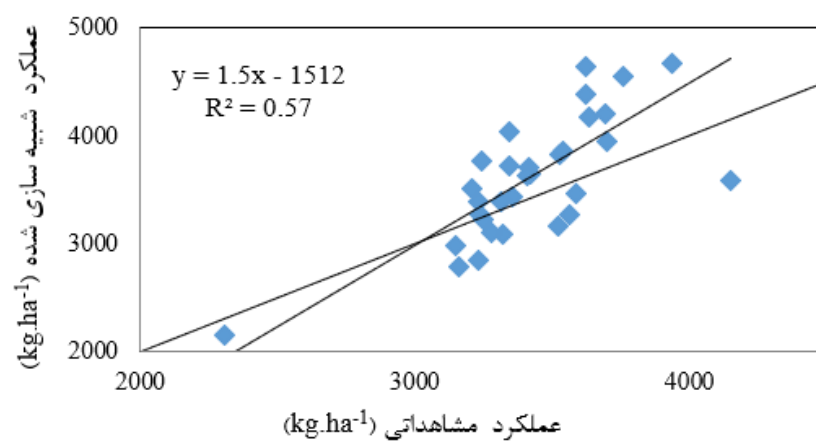
شکل ۹- تغییر در شاخص RMSE در برآورد عملکرد در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



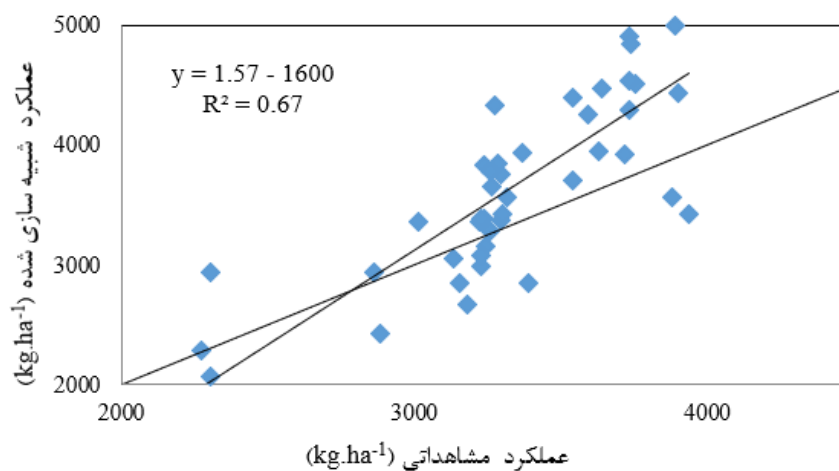
شکل ۱۰- تغییر در شاخص NRMSE در برآورد زیست‌توده در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



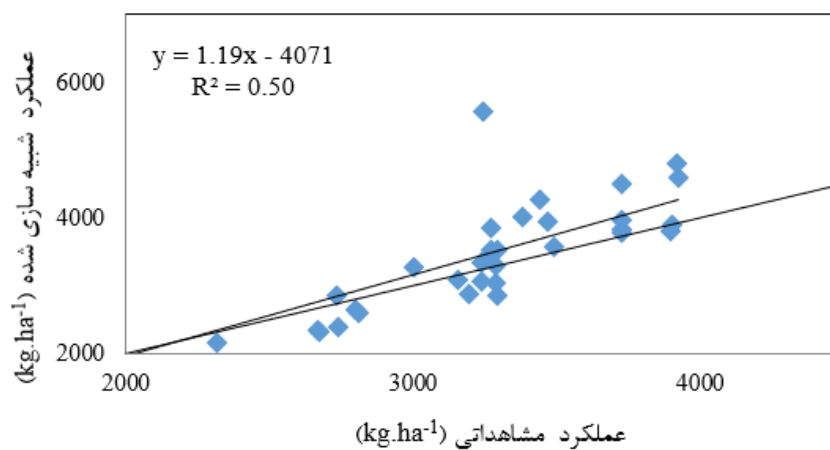
شکل ۱۱- تغییر در شاخص RMSE در برآورد زیست‌توده در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



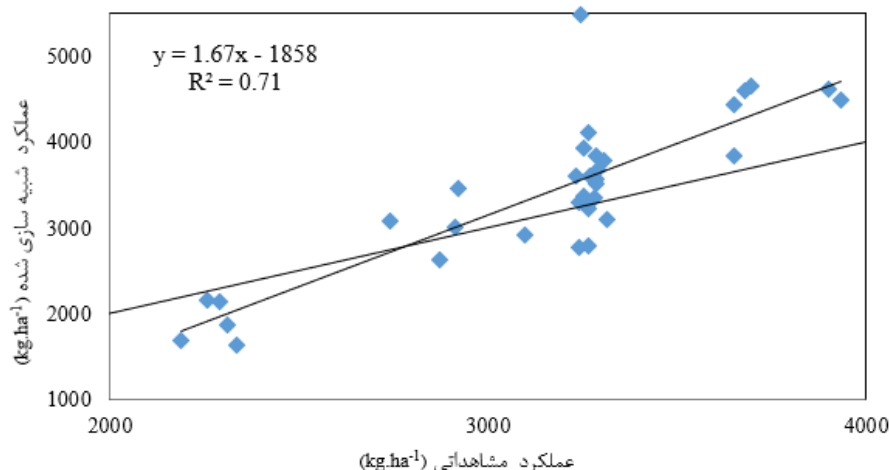
شکل ۱۲- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گروه شن ۰-۱۵ درصد



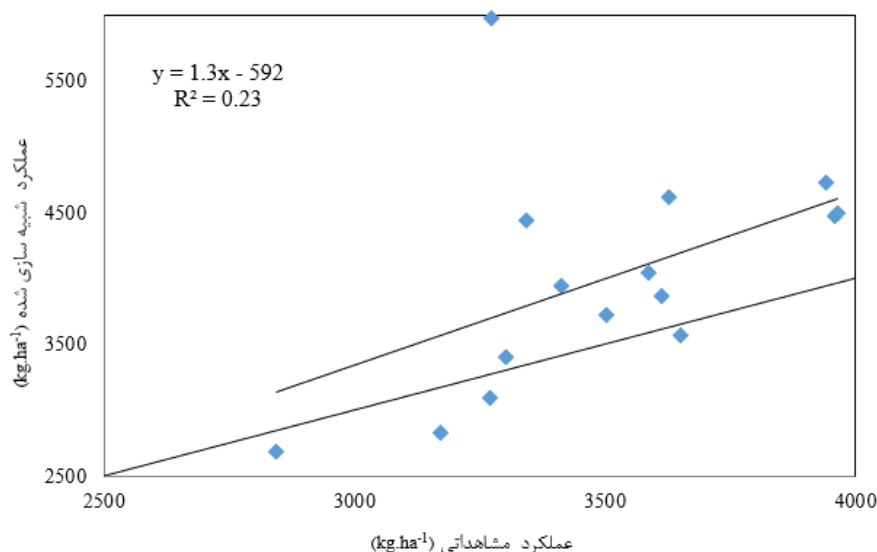
شکل ۱۳- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گروه درصد شن ۱۵-۲۰



شکل ۱۴- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گروه درصد شن ۲۰-۲۵



شکل ۱۵- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گروه درصد شن ۲۵-۳۰



شکل ۱۶- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گروه درصد شن ۳۰-۴۰

نتیجه‌گیری

در این پژوهش صحت مدل DSSAT پس از واسنجی و اعتبارسنجی در سطح کوچک (مقیاس مزرعه)، با استفاده از اطلاعات ۱۱۰ شالیزار برنج در شهرستان صومعه‌سرا (مقیاس ناحیه) بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل از توانایی بالایی در برآورد عملکرد و زیست‌توده برنج در سطح کوچک برخوردار است، اما در سطح وسیع (مقیاس ناحیه) از میزان صحت آن به خصوص در مقادیر کمینه و بیشینه کاسته می‌شود. این کاهش صحت به عوامل مختلفی بستگی دارد که بافت خاک و درصد شن یکی از

آن‌هاست. به گونه‌ای که به ازای افزایش مقدار شن در خاک، دقت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده توسط مدل کاهش می‌یابد. کمترین مقدار خطا یا به عبارت دیگر بالاترین صحت مدل در گروه شن ۱۵-۰ درصد و بالاترین خطا و کمترین صحت مدل در گروه درصد شن بالای ۳۰ درصد مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد صحت مدل بیشتر تحت تأثیر تغییرات عوامل مؤثر ورودی می‌باشد و در صورت وجود این تغییرات، کوچک یا بزرگ بودن سطح یا مقیاس مطالعه نقشی در کاهش خطا یا افزایش صحت ندارد.

فهرست منابع

۱. دلقندی، م.، اندرزیان، ب.، برومندنسب، س.، مساح بوانی، ع. و جواهری، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه DSSAT 4.5 در شبیه‌سازی رشد، عملکرد مراحل فنولوژی گندم در شرایط مدیریت‌های مختلف تخصیص آب در مزرعه: مطالعه موردی: شهرستان اهواز. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۱): ۸۲-۹۱.
۲. دواتگر، ن. ۱۳۸۹. پیش‌بینی عملکرد گیاه برنج در شرایط محدودیت آب با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه در مقیاس ناحیه‌ای. پایان‌نامه دکتری خاکشناسی دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز.
۳. رضایی، م. ۱۳۸۷. گزارش نهایی طرح بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد برنج رقم محلی هاشمی. انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.
۴. رضایی، م. ۱۳۹۱. بررسی برهمکنش سطوح مختلف زئولیت و آبیاری تناوبی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.
۵. رضایی، م. و نحوی، م. ۱۳۸۲. اثر دور آبیاری بر مقدار مصرف آب و عملکرد برنج در گیلان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۸۳، ۲۳۳-۲۴۰.
6. Amiri, E., Rezaei, M., Bannayan, M. and Soufizadeh, S. 2013. Calibration and evaluation of CERES rice model under different nitrogen-and water-management options in semi-mediterranean climate condition. *Communications in soil science and plant analysis*, 44(12): 1814-1830.
7. Amiri, E., Rezaei, M., Rezaei, E.E. and Bannayan, M. 2014. Evaluation of Ceres-Rice, Aquacrop and Oryza2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. *Journal of Plant Nutrition*, 37(11): 1749-1769.
8. Bouman, B.A.M., Van Keulen, H., Van Laar, H.H. and Rabbinge, R. 1996. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agricultural systems*, 52(2-3): 171-198.
9. De Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., van Kraalingen, D., Supit, I., van der Wijngaart, R. and van Diepen, K. 2019. 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agricultural systems*, 168: 154-167.
10. Dettori, M., Cesaraccio, C., Motroni, A., Spano, D. and Duce, P. 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. *Field crops research*, 120 (1): 179-188.
11. Dhillon, M.S., Dahms, T., Kuebert-Flock, C., Rummler, T., Arnault, J., Steffan-Dewenter, I. and Ullmann, T. 2023. Integrating random forest and crop modeling improves the crop yield prediction of winter wheat and oil seed rape. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 1010978.
12. Faivre, R., Leenhardt, D., Voltz, M., Benoit, M., Papy, F., Dedieu, G. and Wallach, D. 2009. Spatializing crop models. In: Lichtfouse, E., et al. (Eds.), *Sustainable Agriculture*. Springer, Berlin, Germany, 686-705.
13. Fry, J., Guber, A.K., Ladoni, M., Munoz, J.D. and Kravchenko, A.N. 2017. The effect of up-scaling soil properties and model parameters on predictive accuracy of DSSAT crop simulation model under variable weather conditions. *Geoderma*, 287: 105-115.
14. Ge, J., Yu, Z., Gong, X., Ping, Y., Luo, J. and Li, Y. 2023. Evaluation of Irrigation Modes for Greenhouse Drip Irrigation Tomatoes Based on AquaCrop and DSSAT Models. *Plants*, 12(22): 3863.

15. He, Y., Hou, L., Wang, H., Hu, K. and McConkey, B. 2014. A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rain-fed condition. *Scientific reports*, 4(1): 5736.
16. Huang, J., Sedano, F., Huang, Y., Ma, H., Li, X., Liang, S., Tian, L., Zhang, X., Fan, J. and Wu, W. 2016. Assimilating a synthetic Kalman filter leaf area index series into the WOFOST model to improve regional winter wheat yield estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216: 188-202.
17. Jamieson, P.D., Porter, J.R., Goudriaan, J., Ritchie, J.V., Van Keulen, H. and Stol, W. 1998. A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crops Research*, 55(1-2): 23-44.
18. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4): 235-265.
19. Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N., Meinke, H., Hochman, Z. and McLean, G. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 267-288.
20. Khan, A., Stöckle, C.O., Nelson, R.L., Peters, T., Adam, J.C., Lamb, B., Chi, J. and Waldo, S. 2019. Estimating biomass and yield using metric evapotranspiration and simple growth algorithms. *Agronomy journal*, 111(2), 536-544.
21. Kosamkar, P.K. and Kulkarni, D.V. 2019. Agriculture crop simulation models using computational intelligence. *International Journal of Computer Engineering and Technology*, 10(3).
22. Negm, L.M., Youssef, M.A., Skaggs, R.W., Chescheir, G.M. and Kladienko, E.J. 2014. DRAINMOD-DSSAT simulation of the hydrology, nitrogen dynamics, and plant growth of a drained corn field in Indiana. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(8), 04014026.
23. Ojeda, J.J., Rezaei, E.E., Remenyi, T.A., Webber, H.A., Siebert, S., Meinke, H., Webb, M.A., Kamali, B., Harris, R.M., Kidd, D.B. and Mohammed, C.L. 2021. Implications of data aggregation method on crop model outputs–The case of irrigated potato systems in Tasmania, Australia. *European Journal of Agronomy*, 126, 126276.
24. Ovando, G., Sayago, S. and Bocco, M. 2018. Evaluating accuracy of DSSAT model for soybean yield estimation using satellite weather data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 138, 208-217.
25. Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Rumbaur, C. and Taka C.J. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: a comparison of eight crop growth models. *European Journal of Agronomy*. 35, 103–114.
26. Refsgaard, J. C., Van der Sluijs, J. P., Brown, J. and Van der Keur, P. 2006. A framework for dealing with uncertainty due to model structure error. *Advances in water resources*, 29(11), 1586-1597.
27. Reynolds, M., Kropff, M., Crossa, J., Koo, J., Kruseman, G., Molero Milan, A., Rutkoski, J., Schulthess, U., Sonder, K., Tonnang, H. and Vadez, V. 2018. Role of modelling in international crop research: overview and some case studies. *Agronomy*, 8(12), 291.
28. Salamon, P., and Feyen, L. 2009. Assessing parameter, precipitation, and predictive uncertainty in a distributed hydrological model using sequential data assimilation with the particle filter. *Journal of Hydrology*, 376 (3-4), 428-442.

29. Salmerón, M., Cavero, J., Isla, R., Porter, C.H., Jones, J.W. and Boote, K.J. 2014. DSSAT nitrogen cycle simulation of cover crop–maize rotations under irrigated Mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 106(4), 1283-1296.
30. Satir, O. and Berberoglu, S. 2016. Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. *Field Crop Research*, 192, 134–143.
31. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.
32. Stöckle, C.O., Donatelli, M. and Nelson, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 289-307.
33. Thorp, K.R., Batchelor, W.D., Paz, J.O., Kaleita, A.L. and DeJonge, K.C. 2007. Using cross-validation to evaluate CERES-Maize yield simulations within a decision support system for precision agriculture. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1467-1479.
34. Van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, 44 (5), 892-898.
35. Van Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Van Keulen, H., Kropff, M. J., Bastiaans, L., & Goudriaan, J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 201-234.
36. Woli, P., Rouquette Jr, F. M., & Long, C. R. 2019. Investigating DSSAT: Bermudagrass response to nitrogen as influenced by soil and climate. *Agronomy Journal*, 111(4), 1741-1751.
37. Yang, J.M., Yang, J.Y., Dou, S., Yang, X.M., Hoogenboom, G. 2013. Simulating the effect of long-term fertilization on maize yield and soil C/N dynamics in northeastern China using DSSAT and CENTURY-based soil model. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 95, 287–303.
38. Zhang, Q., Shi, L., Holzman, M., Ye, M., Wang, Y., Carmona, F. and Zha, Y. 2019. A dynamic data-driven method for dealing with model structural error in soil moisture data assimilation. *Advances in Water Resources*, 132, 103407.

مقایسه متغیرهای زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک با دو کاربری زراعی و جنگلی (سرو زربین) در رامیان استان گلستان

اکرم احمدی^{۱*} , محمد متینی زاده^۲, سپیده زوار^۳, سعید شعبانی^۴, محمد کریم مقصودلو^۵, حسین قربانی^۶,

ملیحه بهشتیان^۷, علیرضا ربیع زاده^۸, طاهره علیزاده^۹, الهام نوری^{۱۰}, حسن فرامرزی^{۱۱} و مریم سبطی^{۱۲}

^۱ استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان،

ایران. ایمیل: Ahmadi.1870@gmail.com

^۲ دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^{۳،۵،۷} محقق، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

^{۴،۸،۹} محقق، بخش تحقیقات آب و خاک، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

^{۱۰،۱۱} کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^{۱۲} دکتری جنگلداری، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۷/۲ و پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶

چکیده

سرو گونه زربین به‌عنوان یکی از گونه‌های درختی با ارزش در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی و تعادل اکوسیستم‌های جنگلی ایفا می‌کند. از این رو، بررسی ویژگی‌های خاک در ذخیره‌گاه زربین به‌دلیل نقش آن در حفظ تنوع زیستی و کیفیت خاک ضروری است. از آنجایی که تغییر کاربری و تخریب اراضی اثراتی بر روی ویژگی‌های خاک دارند و با توجه به اهمیت این موضوع، هدف از پروژه حاضر بررسی متغیرهای زیستی و فیزیکی و شیمیایی خاک در توده زربین رامیان و خاک زراعی بود. این پژوهش در دو قطعه یک هکتاری در زمین زراعی و توده زربین انجام شد که شامل ثبت اطلاعات عمومی و حفر پروفیل برای بررسی افق‌های خاک بود. نمونه‌برداری از خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر زیر تاج درختان انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اندازه‌گیری گردید. بررسی داده‌های زیستی خاک توده زربین و خاک زمین زراعی با استفاده از آزمون آماری تی تست مستقل نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در تنفس پایه و نیتریفیکاسیون بین این دو نوع خاک است، به‌طوری‌که میزان تنفس پایه و نیتریفیکاسیون در توده زربین (به ترتیب $4/33 \text{ (mg CO}_2\text{.g}^{-1} \text{ dm.24 h}^{-1})$ و $714/1 \text{ (g N.g}^{-1} \text{ dm.}^3 \text{ h}^{-1})$) بیشتر از خاک زراعی (به ترتیب $2/99 \text{ (mg CO}_2\text{.g}^{-1} \text{ dm.24 h}^{-1})$ و $454/35 \text{ (g N.g}^{-1} \text{ dm.5h}^{-1})$) بود. با این حال، تفاوت معنی‌داری در بیوماس میکروبی و تنفس برانگیخته مشاهده نشد. نتایج نمونه‌های جمع‌آوری شده از سطح عرصه نشان داد که در خاک زراعی $4/8$ (فسفر $23/42$ میلی‌گرم در کیلوگرم)، و پتاسیم $275/2$ میلی‌گرم در کیلوگرم، سیلت $57/6$ (رس 29) بیشتر از خاک توده زربین $6/58$ (فسفر $10/54$ میلی‌گرم در کیلوگرم، پتاسیم $163/8$ میلی‌گرم در کیلوگرم، سیلت $41/2$ و رس $4/8$) است، در حالی که خاک توده زربین دارای هدایت الکتریکی $1/36$ دسی‌زیمنس بر متر، روی $1/57$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شن 54 (بیشتری در مقایسه با خاک زراعی (هدایت الکتریکی $0/41$ دسی‌زیمنس بر متر، روی $1/07$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شن 13) بود. هر دو نوع خاک در رده اینسپتی‌سول قرار داشتند. کاربری زمین اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشت که این اثرات را توسط گونه‌های غالب که لاشریزه و ترشحات ریشه‌ای متنوع تولید می‌کنند، اعمال کرده و در نتیجه اندازه و فعالیت جوامع میکروبی خاک و همچنین عناصر آلی و معدنی خاک را تنظیم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ذخیره‌گاه سرو زربین، کاربری اراضی، مدیریت خاک، اینسپتی‌سول

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: Ahmadi.1870@gmail.com

مقدمه

سرو گونه زربین (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*) از جمله گونه‌های درختی با ارزش در جنگل‌های هیرکانی ایران است که با دارا بودن ویژگی‌های اکولوژیکی و اقتصادی، نقش بسزایی در حفظ تنوع زیستی و تعادل اکوسیستم‌های جنگلی ایفا می‌کند. ذخیره‌گاه زربین رامیان به عنوان یک منطقه حفاظت‌شده است که به منظور حفظ این گونه و اکوسیستم‌های مرتبط با آن به عنوان ذخیره‌گاه معرفی شده است. این ذخیره‌گاه به دلیل شرایط محیطی خاص و تنوع زیستی بالا، محلی مناسب برای مطالعه ویژگی‌های خاک و تأثیرات آن بر رشد و توسعه زربین به شمار می‌آید (Vahedi, 2017). با توجه به اینکه، زربین می‌تواند به بهبود کیفیت خاک و جلوگیری از فرسایش کمک کند، این امر اهمیت حفاظت از چنین ذخیره‌گاه طبیعی را دو چندان می‌کند (Jourgholami et al., 2019).

مطالعات خاک در جنگل برای درک سلامت و پایداری این اکوسیستم منحصر به فرد بسیار مهم است. بررسی ویژگی‌های خاک برای ارزیابی تأثیر عوامل مختلف مانند عوامل اقلیمی و شیوه‌های مدیریت جنگل بر سلامت و بهره‌وری کلی جنگل ضروری است. مطالعات خاک به ارزیابی خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک کمک می‌کند که برای حفظ سلامت خاک و حمایت از رشد گیاه ضروری هستند. همچنین، بررسی ویژگی‌های خاک می‌تواند به ارزیابی تأثیر فعالیت‌های بهره‌برداری چوب از جنگل (مانند لغزش، فشردگی و تخلخل خاک) کمک کند. از این اطلاعات می‌توان برای بهینه‌سازی شیوه‌های بهره‌برداری چوب و به حداقل رساندن اثرات منفی آن بر سلامت خاک استفاده کرد. از طرفی، مطالعه مشخصه‌های خاک می‌تواند به درک تأثیر عوامل محیطی بر ویژگی‌های خاک و شناسایی مناطقی که نیاز به بازسازی دارند کمک کند. علاوه بر این، ارزیابی دقیق ویژگی‌های خاک برای ارزیابی کیفیت خاک و تعیین شیوه‌های مدیریت مناسب برای تولید جنگل‌های پایدار ضروری است. این اطلاعات

می‌تواند به توسعه استراتژی‌های مدیریت جنگل پایدار و کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی کمک کند. علاوه بر این موارد، بررسی خاک می‌تواند به درک نقش جنگل هیرکانی در حفظ خدمات اکوسیستم مانند ترسیب کربن، حفظ آب و چرخه مواد مغذی کمک کند. این اطلاعات می‌تواند برای توسعه استراتژی‌های حفاظت و ارتقای پایداری محیط مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی، با درک تأثیر عوامل مختلف و مطالعه آن‌ها بر ویژگی‌های خاک، می‌توانیم استراتژی‌هایی برای کاهش اثرات منفی و ترویج شیوه‌های مدیریت پایدار جنگل ایجاد کنیم (Picchio et al., 2019a & 2019b). روش‌های مطالعه خاک عمدتاً بر برداشت نمونه خاک و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک و حفر پروفایل متمرکز است (Vahedi, 2017). مطالعات بسیاری بر روی تأثیرات پوشش گیاهی بر خاک انجام گرفته است که از جمله می‌توان به مطالعه Mohr و همکاران (۲۰۰۵) و Chiti و همکاران (2007) اشاره نمود که طبق نتایج ایشان پوشش و حتی ترکیب گونه‌ای بر کیفیت خاک اثر می‌گذارد. همچنین، Allam و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات در کیفیت فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک را پس از دو دهه تبدیل خاک جنگلی به زمین کشاورزی مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج ایشان، تبدیل خاک جنگل به کشاورزی موجب تغییر در اکوسیستم می‌شود به طوری که تغییر pH و کاهش مواد آلی اتفاق می‌افتد. همچنین موجب کاهش خواص زیستی همچون تنفس پایه و زیست توده میکروبی می‌شود.

درکل، فرض پژوهش این است که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت کاربری‌های مختلف، متفاوت است. شناخت بهتر تأثیر پوشش گیاهی بر خاک و علل ایجاد تغییرات در خاک موجب پیش‌بینی دقیق‌تر اثر پوشش گیاهی بر اکوسیستم و مدیریت بهینه آنها برای مدیران و برنامه‌ریزان می‌شود. لذا، این پژوهش به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و همچنین زیستی خاک در یک منطقه با دو کاربری متفاوت جنگل و

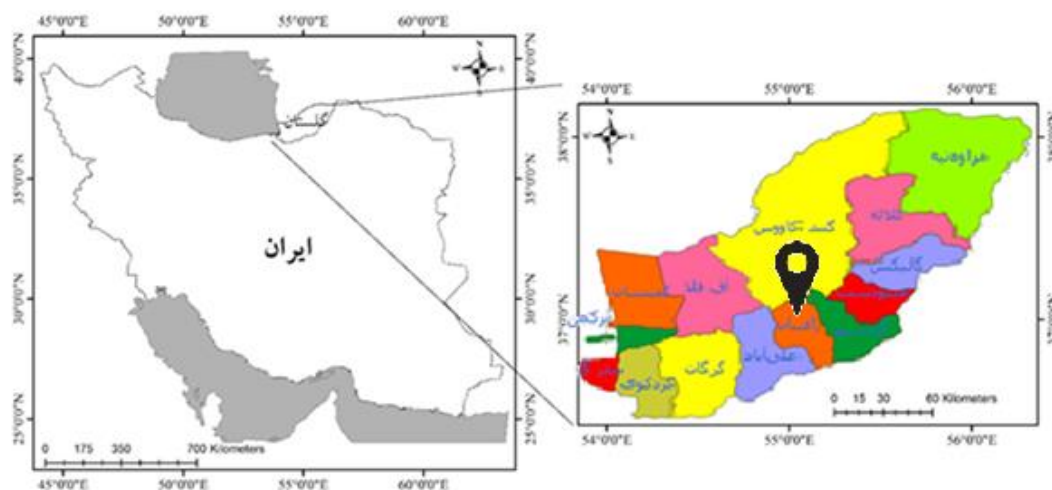
و $36^{\circ}02'$ تا $37^{\circ}01'$ عرض شمالی می‌باشد. در هنگام نمونه‌برداری، آمار عمومی شامل مختصات، شرایط فیزیوگرافی شیب، ارتفاع و جهت برداشت ثبت شد. محدوده ارتفاعی ذخیره‌گاه ۸۵۵-۳۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. میزان دمای متوسط سالیانه $17/75$ درجه سانتیگراد و میانگین بارندگی سالانه آن ۶۸۸ میلی‌متر است. طبق طبقه‌بندی آمبرژه اقلیم منطقه نیمه مرطوب گرم تا معتدل می‌باشد. لازم به ذکر است که شیب جنگل زربین در قسمت نمونه‌گیری شده بالای ۱۵ درصد و در زمین زراعی کمتر از ۵ درصد بود.

زمین زراعی طراحی شده است به‌طوری‌که هر دو در یک منطقه است و زمین زراعی در اثر تغییر کاربری و تبدیل جنگل به زمین زراعی ایجاد شده است

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه: این پژوهش در یک قطعه

به وسعت یک هکتار (100×100 متر) در جنگل سرو زربین رامیان، و یک زمین زراعی یک هکتاری در مجاورت همان جنگل زربین در رامیان استان گلستان انجام شد (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی منطقه $55^{\circ}02'$ تا $55^{\circ}10'$ طول شرقی



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه، ذخیره‌گاه زربین رامیان

حفر پروفیل

به منظور بررسی و نمونه برداری افق‌ها و لایه‌های خاک، در هر یک از قطعات نمونه و در محلی که معرف آن قطعه باشد، اقدام به حفر گودال به ابعاد ۱×۲ و به عمق حدود ۱/۵ تا ۲ متر شد. پروفیل هر یک از گودال‌های حفر شده طبق روش استاندارد (Schoeneberger et al., 2012). بررسی، تشریح و از هر یک از افق‌های خاک نمونه برداری شد. برخی ویژگی‌های بصری (مطابق دستورالعمل اجرایی) و فیزیکی و شیمیایی نیز اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نمونه برداری در عمیق عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر در زیر تاج درختان (در فاصله میان تنه تا لبه انتهایی تاج) در جهت شرق درخت برداشت شد. در هر دو قطعه نمونه بصورت کاملاً پراکنده نمونه برداری انجام شد، بطوری که کل قطعه نمونه را پوشش دهد. در هر کدام به طور تصادفی ۱۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر برداشت و هر سه نمونه خاک در هر قطعه نمونه به خوبی مخلوط و به یک نمونه ترکیبی برای هر کدام تبدیل شد (پنج نمونه خاک برای توده زربین و پنج نمونه خاک برای زمین زراعی). مختصات هر نمونه به منظور تهیه نقشه نمونه برداری ثبت شد. بلافاصله پس از نمونه برداری، بخشی از نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلاستیکی و بخش دیگر در یخدان نگهداری و برای تجزیه و تحلیل بعدی به آزمایشگاه منتقل و در یخچال پنج درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در خصوص نمونه‌های خاک زراعی نیز به همین ترتیب عمل شد و لازم به ذکر است که مزرعه شخم خورده و بدون محصول و آماده کشت بود.

سنجش ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی

خاک و شاخص کیفیت خاک

پس از جدا کردن کلوخه‌های خاک برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک و همچنین جدا کردن ریشه‌ها و اجزای دیگر گیاه، بقیه خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متر رد شده و به دو زیرنمونه تقسیم شدند. یک نمونه برای اندازه‌گیری فعالیت میکروبی خاک نمونه‌ها بر روی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند و سپس در دمای پنج درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و دومین زیرنمونه برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی خاک هوا خشک شد. آزمایش‌های فیزیکی خاک شامل تعیین درصد رطوبت نسبی تعیین جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و حقیقی خاک به روش پیکنومتری و بافت به روش هیدرومتری (Gee and Orr, 2002). بود. آزمایش‌های شیمیایی شامل اسیدیته با دستگاه pH متر (نسبت ۱ به ۲/۵)، هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت سنج الکتریکی، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (Walkley and Black, 1934)، نیتروژن کل با روش کج‌دال (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982) با دستگاه اسپکتروفتومتری، پتاسیم، کلسیم، سدیم، منیزیم، منگنز، آهن، روی قابل دسترس غذایی به روش استات آمونیوم با دستگاه جذب اتمی (Lindsay and Norvell, 1978)، اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های زیستی نیز شامل زی‌توده میکروبی کربن، تنفس پایه، تنفس برانگیخته و پتانسیل نیتریفیکاسیون بود. برای اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن خاک از روش Fumigation استفاده شد (Sparling and West, 1988). از شاخص‌های زیستی خاک، تنفس میکروبی پایه به روش جمع‌آوری CO₂ آزاد شده در هیدروکسید سدیم و تیتراسیون برگشتی مقدار بتاقیمانده آن با استید کلریدریک (Anderson, 1982) و تنفس برانگیخته به روش (Alef and Nannipieri, 1995) انجام گرفت. اندازه‌گیری

پتانسیل نیتریفیکاسیون از روش ارایه شده توسط (1985) Berg and Rosswall انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگراف-اسمیرنوف تایید و سپس، از آزمون تی مستقل برای مقایسه دو جامعه مورد بررسی استفاده شد. تمامی آنالیزها به وسیله نرم افزار SPSS انجام شد. نمودارهای حاصله در نرم افزار اکسل رسم شدند.

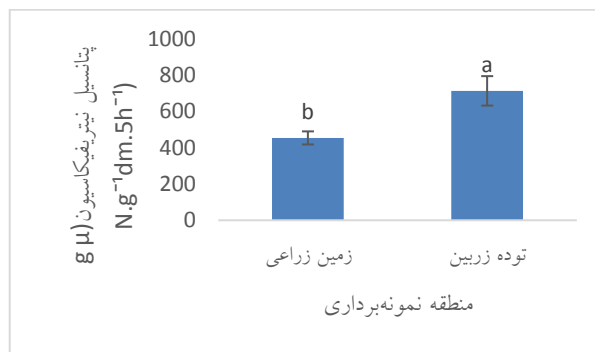
نتایج و بحث

مقایسه متغیرهای زیستی در توده زربین و خاک زراعی

نتایج بررسی نرمالیت داده‌های زیستی (تنفس پایه خاک، تنفس برانگیخته، بیوماس میکروبی و پتانسیل نیتریفیکاسیون خاک) در توده زربین و خاک زراعی حاکی از نرمال بودن داده‌های خاک توده زربین و همچنین زمین زراعی در منطقه رامیان بود ($P \geq 0.05$).

نتایج حاکی از وجود تفاوت معنی دار بین داده‌های تنفس پایه و پتانسیل نیتریفیکاسیون در نمونه‌های خاک توده زربین و خاک مزرعه بود ($P \leq 0.01$) ولی تفاوت معنی داری در دو متغیر بیوماس میکروبی و تنفس برانگیخته مشاهده نشد ($P \geq 0.05$). باتوجه به نتایج، میزان تنفس پایه ($P \leq 0.01$) و میزان نیتریفیکاسیون ($P \leq 0.01$) در توده زربین بیشتر از خاک مزرعه بود (شکل ۲ و ۳). تنفس پایه تخمینی از کل فعالیت میکروبی در خاک را ارائه می دهد که هم کمیت و هم کیفیت منابع کربن را منعکس می کند (Jourgholami et al., 2019).

تنفس پایه بالاتر در توده زربین نشان دهنده تجزیه سریع تر مواد آلی است و مواد مغذی را برای تحریک میکروارگانیسم‌های هتروتروف در دسترس تر می سازد (Jourgholami et al., 2019; McKinley & Rice, 2008; Nunes et al., 2018). علاوه بر این، نرخ های نیتریفیکاسیون بالاتر مشاهده شده در توده های زربین نشان دهنده فرآیند چرخه نیتروژن فعال تر در مقایسه با زمین زراعی است (Jourgholami et al., 2019; McKinley & Rice, 2008; Nunes et al., 2018). نیتریفیکاسیون یک مرحله مهم در چرخه نیتروژن است، جایی که آمونیوم به نترات تبدیل می شود و نیتروژن را برای جذب گیاه بیشتر در دسترس می کند (McKinley & Rice, 2008).



شکل ۳- مقایسه داده‌های میزان پتانسیل نیتروژن فیکاسیون در توده زربین و خاک زراعی



شکل ۲- مقایسه داده‌های میزان تنفس پایه در توده زربین و خاک زراعی

همچنین، توده زربین دارای رسانایی الکتریکی بالاتر و سطوح روی بالاتری در مقایسه با خاک زراعی بودند.

در خصوص بافت خاک، نتایج حاکی از آن است که خاک زمین‌های کشاورزی دارای محتوای سیلت و رس بالاتری هستند، در حالی که توده‌های زربین دارای محتوای شن بالاتری هستند اگرچه در پژوهش حاضر قطعه مورد مطالعه، زمین تغییر کاربری یافته به زمین زراعی است این نتیجه مشاهده شد. بافت ریزتر خاک تحت پوشش توده‌های گیاهی ممکن است به اثر تثبیت‌کنندگی ریشه درختان و تجمع مواد آلی مرتبط باشد که می‌تواند تجمع ذرات خاک، مواد آلی و میکروارگانیسم‌ها در خاک را بهبود بخشد و فرسایش را کاهش دهد (Idris & Osman, 1994; Jourgholami et al., 2019). ریشه‌های درختان با ایجاد کانال‌هایی در خاک و تولید مواد آلی، به تثبیت ساختار خاک کمک کرده و باعث می‌شوند که ذرات خاک بهتر کنار هم قرار گیرند. همچنین، مواد آلی حاصل از تجزیه بقایای گیاهی به عنوان سوسترا برای میکروارگانیسم‌ها عمل کرده و فعالیت‌های بیولوژیکی را افزایش می‌دهند. این فرایند نه تنها کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد بلکه ظرفیت آن برای نگهداری آب و مواد مغذی را افزایش داده و در نهایت منجر به کاهش فرسایش می‌شود. در مقابل، خاک‌های

مقایسه متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک در توده زربین و خاک زراعی

بررسی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک توده زربین در مقایسه با خاک زراعی با استفاده از آزمون تی مستقل انجام گرفت. نتایج (جدول ۱ و ۲) حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین داده‌های pH، هدایت الکتریکی، عناصر فسفر، پتاسیم، روی، میزان شن، سیلت و رس در نمونه‌های خاک توده زربین و خاک مزرعه بود ($P \leq 0.01$) ولی تفاوت معنی‌داری در متغیرهای نیتروژن، کربن آلی، درصد آهک، درصد ماده آلی، عناصر منگنز و مس مشاهده نشد ($P \geq 0.05$). باتوجه به نتایج (شکل ۴ تا ۱۱)، میزان pH ($P \leq 0.01$) و میزان فسفر ($P \leq 0.05$)، پتاسیم ($P \leq 0.01$) سیلت ($P \leq 0.01$) و درصد رس ($P \leq 0.01$) در خاک زمین زراعی بیشتر از توده زربین بود ولی میزان هدایت الکتریکی ($P \leq 0.01$)، عنصر روی ($P \leq 0.05$) و شن ($P \leq 0.01$) در توده زربین بیشتر از زمین زراعی بود (شکل ۴ تا ۱۱). pH ممکن است به تجزیه لاشبرگ و بستر نسبت داده شود که اسیدهای آلی می‌توانند pH خاک را تحت تاثیر قرار دهند (Jourgholami et al., 2019; Nunes et al., 2018).

و نیتروژن می‌تواند به دلیل اثرات متعادل‌کننده عوامل مختلف باشد، مانند ورودی مواد آلی از لاشریزه درختان زربین و از دست دادن بالقوه مواد آلی در زمین‌های کشاورزی به دلیل روش‌های خاک‌ورزی و کشت (Idris & Osman, 1994; Jourgholami et al., 2019). به‌طورکلی، تحقیقات بیشتری برای روشن شدن کامل این موضوع مورد نیاز است. به منظور درک مکانیسم‌هایی که تفاوت‌های مشاهده شده در خواص خاک بین توده زربین و زمین زراعی را هدایت می‌کنند، لازم است عواملی مانند شیوه‌های مدیریت زمین، مواد اولیه خاک و شرایط آب و هوایی با جزئیات بیشتری بررسی شوند تا درک جامعی از الگوهای مشاهده شده حاصل شود.

اراضی تغییر کاربری یافته همچون زمین‌های کشاورزی ممکن است اختلالات بیشتری را تجربه کرده باشند، مانند خاک‌ورزی که می‌تواند دانه‌های خاک را تجزیه کند و منجر به بافت ریزتر شود (Idris & Osman, 1994; Jourgholami et al., 2019).

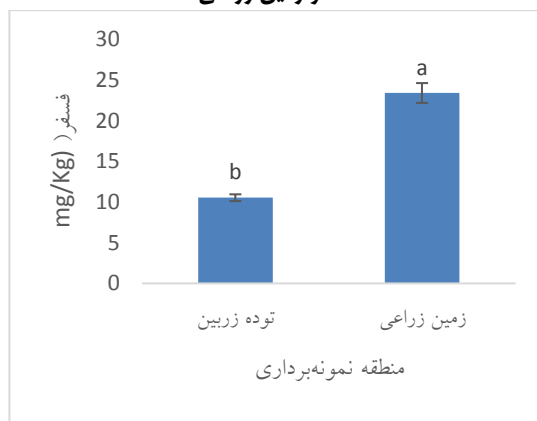
بررسی مواد آلی خاک و نیتروژن نشان داد که تفاوت معنی‌داری در ماده آلی و نیتروژن خاک بین توده زربین و زمین زراعی وجود ندارد (Idris & Osman, 1994; Jourgholami et al., 2019). این نشان می‌دهد که سطوح کلی کربن آلی و نیتروژن علی‌رغم تفاوت‌ها در سایر خصوصیات خاک ممکن است در دو نوع کاربری اراضی مشابه باشد. عدم وجود تفاوت معنی‌دار در ماده آلی



شکل ۵- مقایسه داده‌های هدایت الکتریکی در خاک توده زربین و زمین زراعی



شکل ۴- مقایسه داده‌های pH در خاک توده زربین و زمین زراعی



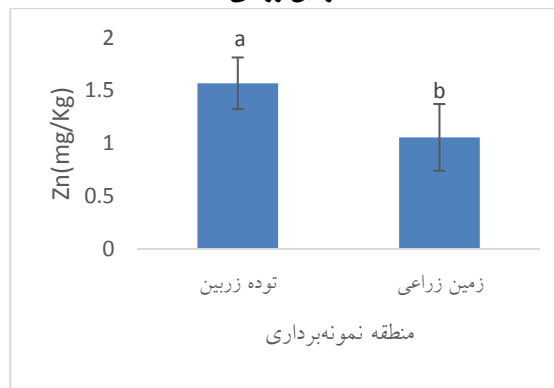
شکل ۷- مقایسه داده‌های میزان فسفر در خاک توده زربین و زمین زراعی



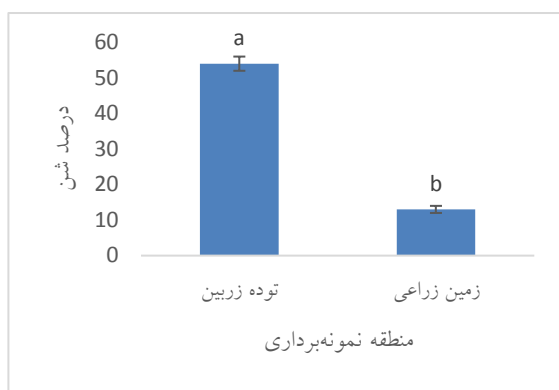
شکل ۶- مقایسه داده‌های میزان پتاسیم در خاک توده زربین و زمین زراعی



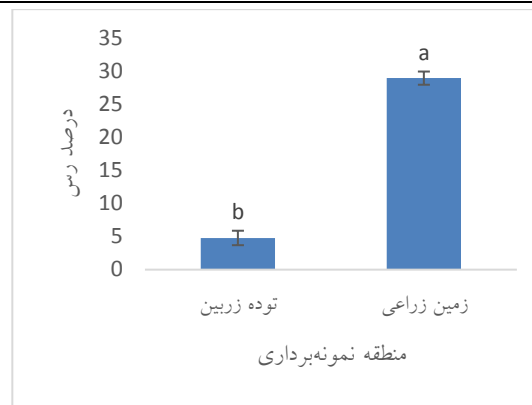
شکل ۹- مقایسه داده‌های میزان سیلیت در خاک توده زربین و زمین زراعی



شکل ۸- مقایسه داده‌های میزان روی در خاک توده زربین و زمین زراعی



شکل ۱۱- مقایسه داده‌های درصد شن در خاک توده زربین و زمین زراعی



شکل ۱۰- مقایسه داده‌های درصد رس در خاک توده زربین و زمین زراعی

هستند، اما هنوز فاقد ویژگی‌های مشخصه سایر راسته‌های خاک هستند (Buol et al., 2011).

خاک توده زربین به عنوان Calcixerepts معمولی طبقه‌بندی شدند، در حالی که خاک‌های مزرعه به عنوان Calcixerepts طبقه‌بندی شدند (Schoeneberger et al., 2014). کلسیکس‌رپت‌ها، اینسپیتی سول‌هایی هستند که دارای افق کلسیمی (انباشت کربنات کلسیم) یا افق پتروکلسیک (سیمان شده توسط کربنات کلسیم) در ۱۰۰ سانتی‌متر از سطح خاک هستند (Schoeneberger et al., 2014). این خاک‌ها معمولاً دارای رژیم رطوبتی خاک زریک هستند، به طوری که رطوبت برای رشد گیاه در طول فصل سردتر سال و خشک‌تر در فصل گرم‌تر در دسترس است (Schoeneberger et al., 2014).

شباهت‌های طبقه‌بندی خاک بین توده زربین و زمین‌های کشاورزی نشان می‌دهد که مواد اولیه و عوامل محیطی، مانند آب و هوا و توپوگرافی، در این دو نوع کاربری زمین قابل مقایسه هستند (Buol et al., 2011; Schoeneberger et al., 2014). با این حال، تفاوت در خواص خاک، مانند آنچه در نتایج قبلی گزارش شده است، ممکن است همچنان به دلیل تأثیر پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریت زمین وجود داشته باشد (جورغلامی و هم‌کاران، ۲۰۱۹؛ Nunes و هم‌کاران، ۲۰۱۸). مدیران

آنالیز داده‌های پروفیل خاک در توده زربین و زمین زراعی

نتایج تشریح پروفیل خاک در دو کاربری جنگلی و خاک زراعی نشان داد که رده‌بندی خاک زراعی Calcixerepts و توده زربین Typic Calcixerepts بود و هر دو رده Inceptisol بودند. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق‌های دو پروفیل نشان داد که بافت خاک زربین لوم شنی و خاک زراعی لوم رسی سیلتی می‌باشد. نتایج آزمایش خاک پروفیل نشان داد میزان درصد آهک در کاربری زراعی بالاتر از کاربری جنگل سوزنی برگ (توده زربین) می‌باشد. همچنین، درصد کربن آلی خاک زمین زراعی بیشتر از توده زربین می‌باشد اگر چه این میزان در نمونه‌های مختلف که از عرصه گرفته شده و بصورت میانگین بیان شده است غیرمعنی‌دار است. میزان ازت کل، پتاسیم، منگنز قابل جذب، قابل جذب، مس قابل جذب و آهن در خاک با کاربری زراعی بیشتر از کاربری جنگلی زربین است لازم به ذکر است که در خصوص فسفر در پروفیل زراعی نتایج کمتری نسبت به زربین نشان داد که احتمالاً بدلیل یکنواخت نبودن ترکیب خاک در زمین تغییر کاربری یافته است (جدول ۱ و ۲). Inceptisols خاک‌های نسبتاً جوانی هستند که درجه هوازدگی و توسعه متوسطی دارند و حداقل توسعه افق را نشان می‌دهند و از طرفی توسعه یافته‌تر از Entisols

زمین هنگام تصمیم‌گیری در مورد انتخاب محصول، آبیاری و اصلاح خاک باید این ویژگی‌های خاک را در نظر بگیرند. لازم به ذکر است که تحقیقات بیشتری برای درک کامل مفاهیم طبقه‌بندی خاک و ویژگی‌های آن برای استفاده و مدیریت زمین در توده‌های چوب درخت و زمین‌های کشاورزی مورد نیاز است. عواملی مانند عمق خاک، ظرفیت نگهداری آب و وضعیت عناصر غذایی باید با جزئیات بیشتری بررسی شوند تا ارزیابی جامعی از مناسب بودن خاک برای کاربری‌های مختلف زمین ارائه شود.

به‌طور کلی می‌توان اذعان داشت که تفاوت در خواص خاک بین دو سیستم کاربری اراضی را می‌توان به عوامل متعددی از جمله تأثیر پوشش گیاهی غالب، شیوه‌های مدیریت و زمان پس از اختلال بویژه در زمین کشاورزی همچون شخم زدن و غیره نسبت داد. زربین یک گونه درخت همیشه سبز است که می‌تواند از طریق

ریزش بستر، ترشحات ریشه و برهمکنش با بیوتای خاک بر خواص خاک تأثیر بگذارد (Augusto, et al., 2002). در مقابل، خاک‌های کشاورزی اغلب تحت اعمال مدیریت شدیدی مانند خاک‌ورزی، کاربرد کود و حذف محصول قرار می‌گیرند که می‌تواند به طور قابل توجهی خواص خاک را تغییر دهد. کربن آلی، مواد مغذی و خاک رس بالاتر در خاک کشاورزی ممکن است نتیجه این شیوه‌های مدیریتی باشد، اما همچنین ممکن است نشان‌دهنده مشخصات خاک توسعه‌یافته‌تر در مقایسه با Inceptisol نسبتاً جوان در زیر درخت زربین باشد (Lal, 2015).

این یافته‌ها اهمیت در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص خاک سیستم‌های مختلف کاربری زمین را هنگام مدیریت و حفظ این محیط‌ها برجسته می‌کند. سطوح بالاتر مواد مغذی در خاک کشاورزی ممکن است به بهره‌وری کلی آن کمک کند، اما در صورت عدم مدیریت پایدار ممکن است مستعد کاهش مواد مغذی و فرسایش باشد.

جدول ۱- نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی حفر پروفیل در منطقه جنگلی زربین رامیان

بافت	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	عمق (cm)	رنگ	افق	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	ساختمان	ازت کل	درصد کربن آلی	درصد آهک	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت
Si-L	42	56	2	0-25	10YR4/3	A	0.81	2abk	0.20	2.09	27.5	14.3	127	12.32	10.84	2.34	0.66
Si-L	46	50	4	25-45	10YR6/4	BK1	0.86	1abk	0.23	2.31	28	10.5	142	10.50	11.25	2.02	0.75
Si-L	44	52	4	45-75	10YR6/4	BK2	0.92	1abk	0.24	2.44	28.5	9.2	156	9.12	12.04	1.86	0.68
Si-L	42	52	6	75-140	10YR6/4	BCK	0.96	1abk	0.22	2.15	29.5	7.4	168	8.16	12.6	1.44	0.62

جدول ۲- نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی حفر پروفیل در منطقه زراعی رامیان

بافت	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	عمق (Cm)	S.P %	pH	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	درصد کربن آلی	درصد آهک	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت	CEC (cmol kg ⁻¹)	BD (gr/cm ³)
Si-C-L	14	58	28	0-24	51.2	7.6	0.7	2.40	1.5	5.3	154	28	58	14	Si-C-L	29.0	1.60
Si-C-L	12	58	30	24-32	57.6	7.5	0.7	1.26	1.0	4.6	141	30	58	12	Si-C-L	29.4	1.78
L	24	50	26	32-55	54.4	7.8	0.5	0.67	19.3	2.2	78	26	50	24	L	23.0	1.38
Si-L	24	54	22	55-82	54.7	7.9	0.4	0.55	21.8	2.7	84	22	54	24	Si-L	22.0	1.47
Si-L	24	54	22	82-110	54.2	8.1	0.3	0.50	22.8	2.4	78	22	54	24	Si-L	21.0	1.40
Si-L	24	56	20	110-150	53.0	8.0	0.5	0.50	22.3	2.6	72	20	56	24	Si-L	20.4	1.48

نتیجه گیری

مقایسه خاک توده زربین و زمین زراعی: نتایج

این مطالعه نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک توده زربین و خاک زمین زراعی به طور قابل توجهی متفاوت است. خاک زراعی دارای مقادیر بیشتری از pH، فسفر، پتاسیم، سیلت و درصد رس نسبت به خاک زربین است، در حالی که توده زربین هدایت الکتریکی، مقادیر روی و شن بیشتری را دارا می‌باشد. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تأثیرات پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریت زمین باشد. هر دو نوع خاک در رده اینسپتی سول قرار دارند، که نشان‌دهنده جوان بودن آنها و درجه هوازگی متوسط است. این یافته‌ها بر اهمیت توجه به ویژگی‌های خاک در مدیریت تأکید می‌کند. علاوه بر این، وجود سطوح بالاتر مواد مغذی در خاک زراعی، در صورت عدم مدیریت پایدار، ممکن است منجر به کاهش

مواد مغذی و فرسایش خاک شود. بنابراین، برای بهبود بهره‌وری و حفظ منابع خاک، ضروری است که مدیران زمین به این ویژگی‌ها توجه کنند و تحقیقات بیشتری در زمینه مدیریت پایدار، تأثیرات پوشش گیاهی، آموزش کشاورزان و توسعه فناوری‌های نوین تحقیقات بیشتری انجام دهند.

تشکر و قدردانی

از زحمات جناب آقای مهندس پارسایی معاونت محترم مالی و پشتیبانی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان و آقای مهندس پارسامهر ریاست محترم بخش منابع طبیعی و آبخیزداری مرکز گلستان به جهت کمک‌ها، هماهنگی‌ها و راهنمایی‌های ایشان، تشکر و قدردانی گردد. همچنین، از زحمات جناب آقای مهندس علیرضا احمدی که در مراحل اجرای این پروژه همکاری داشتند، قدردانی می‌گردد.

References

1. Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press.
2. Allam, A., Zouidi, M., Kefifa, A., Borsali, H., Aouadj, S. A., Negrichi, S., Farnet da Silva, A. M., & Rébufa, C. (2023). Changes in soil physico-chemical and biological quality after two decades of forest soil conversion to agricultural land. *Zemdirbyste-agriculture*. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.001>
3. Anderson, J. P. E. (1982). Soil respiration. In A. L. Page & R. H. Miller (Eds.), Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties. *American Society of Agronomy*, 831-871.
4. Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D. & Rothe, A. (2002) 'Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility', *Annals of Forest Science*, 59(3), pp. 233-253.
5. Berg, P., & Rosswall, T. (1985). Ammonium oxidizer number, potential and actual oxidation rates in two Swedish arable soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1, 131-140.
6. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen Total. P 1085-1122, In: D.L. Sparks et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd ed., ASA and SSSA, Madison, WI.
7. Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C. & McDaniel, P.A. (2011) 'Soil genesis and classification', 6th edn. Wiley-Blackwell.
8. Chiti, T. A., Certini, A., Puglisi, A., Sanesi, C., Capperucci, C., & Forte, C. (2007). Effects of associating a N-fixer species to monotypic oak plantations on the quantity and quality of organic matter in minesoils. *Geoderma*, 138, 162-169.
9. Gee, G. W., & Orr, D. (2002). Particle-size analysis. In Soil science society of America. *Madison*, 255-293.
10. Idris, M. & Osman, A.H. (1994) 'The natural environment of *Cupressus sempervirens* in Greece as a basis for its use in the Mediterranean region', *Forest Ecology and Management*, 68(2-3), pp. 227-232. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90048-5)
11. Jourgholami, M., Ghassemi, T. & Labelle, E.R. (2019) 'Soil physio-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation', *Ecological Indicators*, 101, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.003>
12. Lal, R. (2015) 'Restoring soil quality to mitigate soil degradation', *Sustainability*, 7(5), pp. 5875-5895.
13. Lindsay, W.L., & Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA test for zinc, Iron , manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428.
14. McKinley, D.C. & Rice, C.W. (2008) 'Conversion of grassland to coniferous woodland has limited effects on soil nitrogen cycle processes', *Soil Biology and Biochemistry*, 40(10), pp. 2627-2633. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.07.006>
15. Mohr, D., Simon, M., & Topp, W. (2005). Stand composition affects soil quality in oak stands on reclaimed and natural sites. *Geoderma*, 129, 45-53.
16. Nunes, M.R., van Es, H.M., Schindelbeck, R., Ristow, A.J. & Ryan, M. (2018) 'No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield', *Geoderma*, 328, pp. 30-43. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031>
17. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. & Dean, L.A. (1954) 'Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate', *United States Department of Agriculture Cir.*
18. Picchio, R., Tavankar, F., Nikooy, M., Pignatti, G., Venanzi, R. & Lo Monaco, A. (2019b) 'Morphology, growth and architecture response of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and maple tree (*Acer velutinum* Boiss.) seedlings to soil compaction stress caused by mechanized logging operations', *Forests*.
19. Picchio, R., Venanzi, R., Tavankar, F., Luchenti, I., Iranparast Bodaghi, A., Latterini, F., Nikooy, M., Di Marzio, N. & Naghdi, R. (2019a) 'Changes in soil parameters of forests after windstorms and timber extraction', *European Journal of Forest Research*, pp. 1-14.

20. Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler, E. & Margasin, R. (1996) 'Methods in soil biology'. Berlin: Springer.
21. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A. & Benham, E.C. (2012) Field book for describing and sampling soils. Lincoln: Natural Resources Conservation Service-National Soil Survey Center.
22. Sparling, G. P., & West, A. W. (1988). A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and ^{14}C labelled cells. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(3), 337-343.
23. Vahedi, A.A. (2017) 'Monitoring soil carbon pool in the Hyrcanian coastal plain forest of Iran: Artificial neural network application in comparison with developing traditional models', *Catena*, 152, pp. 182-189.
24. Walkley, A. & Black, I.A. (1934) 'An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method', *Soil Science*, 37, pp. 29-38.

تهیه نقشه رقومی اجزاء بافت خاک با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون کریجینگ و

کریجینگ باقی مانده شبکه عصبی

محمد شهبازی^{*۱} , محمد رضا پهلوان راد^۲، معصومه دلبری^۳ و پیمان افراسیاب^۴

۱- محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سیستان، زابل، ایران. m.shahriari@areeo.ac.ir

۲- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، گلستان، گرگان، ایران. pahlavanrad@gmail.com

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران. masoome.delbari@uoz.ac.ir

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران. p-afraasib@yahoo.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱۹ و پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

چکیده

هدف از انجام این پژوهش تهیه نقشه رقومی اجزاء بافت خاک اراضی کشاورزی دشت سیستان با وسعت ۱۳۰۰ کیلومتر مربع با استفاده از مدل‌های رگرسیون کریجینگ و مدل ترکیبی رگرسیون کریجینگ و کریجینگ باقی مانده شبکه عصبی مصنوعی (RKNNRK) می‌باشد. برای این منظور، تعداد ۱۶۰ نمونه لایه سطحی (۰-۳۰ cm) از سری‌های مختلف خاک گرفته شد و درصد اجزاء بافت خاک در آزمایشگاه اندازه گیری گردید قبل از مدل سازی، اجزاء بافت خاک با استفاده از تابع لگاریتمی (alr) تبدیل شدند. از تصاویر باندهای ۱ تا ۸ ماهواره لندست ۸ و شاخص‌های پوشش گیاهی، روشنایی، درصد رس و اندازه ذرات خاک به عنوان متغیرهای کمکی برای درون‌یابی اجزاء بافت خاک استفاده گردید. ۸۰٪ داده‌ها برای پیش‌بینی و ۲۰٪ برای اعتبارسنجی اختصاص یافت. نتایج نشان داد که جزء رس خاک هم‌بستگی مکانی متوسط و اجزاء سیلت و شن خاک ساختار مکانی قوی دارند. مدل‌های بیشترین انطباق را با نیم‌تغییرنمای تجربی با هر سه جزء شن، سیلت و رس خاک و اجزاء تبدیل شده بافت خاک شامل $Silt_{alr}$ و $Clay_{alr}$ دارد. همچنین داده‌های $Silt_{alr}$ و $Clay_{alr}$ نیز از هم‌بستگی مکانی قوی در منطقه مورد مطالعه برخوردار بودند. نتایج نشان داد که روش RKNNRK با آماره RMSE برابر ۱۵٪، ۳۰٪/۱۴ و ۷/۱۸٪ به ترتیب برای اجزاء شن، سیلت و رس خاک دقت بالاتری در پیش‌بینی اجزاء بافت خاک در مقایسه با مدل رگرسیون کریجینگ داشت. بطوریکه این مقادیر به ترتیب ۱۰٪، ۱۰/۶٪ و ۳/۵٪ نسبت به مقادیر متناظر آن در روش رگرسیون کریجینگ کاهش داشت. بنابراین روش RKNNRK در تلفیق با داده‌های سنجش از دور بر دقت پیش‌بینی نقشه های رقومی اجزاء بافت خاک افزود و به عنوان یک روش مناسب قابل توصیه می‌باشد.

واژه های کلیدی: اجزاء بافت خاک، تغییرات مکانی، سنجش از دور، متغیر کمکی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.shahriari@areeo.ac.ir

مقدمه

تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باعث تغییرپذیری تولید می‌گردد (فائو، ۲۰۲۲). بافت خاک از جمله فاکتورهای مؤثر بر بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، فعالیت‌های کشاورزی، کیفیت آب و حفاظت از محیط‌زیست است (Amirian-Chakan و همکاران، ۲۰۱۹؛ Dunkl و Ließ، ۲۰۲۰؛ Mgohele و همکاران، ۲۰۲۴) که مقدار نگهداری آب و عناصر غذایی، نفوذپذیری، تهویه، مقدار کربن آلی (Azizi و همکاران، ۲۰۲۳؛ Li و همکاران، ۲۰۲۳)، تخلخل و پیش‌بینی پارامترهای هیدرولیکی خاک نظیر نقطه پژمردگی، ظرفیت زراعی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Akpa و همکاران، ۲۰۱۴؛ Vaudour و همکاران، ۲۰۱۹؛ Zheng و همکاران، ۲۰۲۳)؛ بنابراین کمبود اطلاعات در مورد اجزاء بافت خاک منجر به مدیریت نامناسب خاک، فعالیت‌های کشاورزی و محیط‌زیستی خواهد شد (Keshavarzi و همکاران، ۲۰۲۲؛ Zeraatpisheh و همکاران، ۲۰۱۹). این موضوع در دشت‌های سیلابی به دلیل تغییرات زیاد اجزاء بافت خاک (پهلوان راد و همکاران، ۲۰۱۸ و Wälder و همکاران، ۲۰۰۷) اهمیت مضاعفی دارد. تهیه نقشه‌های بافت خاک در مقیاس بزرگ و به‌ویژه در دشت‌های آبرفتی به علت نیاز به برداشت نمونه بیشتر، وقت‌گیر، پرهزینه و نیاز به تجهیزات خاص و تکنسین‌های ماهر دارد؛ لذا از یک‌طرف با افزایش هزینه‌ها و صرف زمان زیاد روبرو است و از سویی دیگر نقشه‌های تولید شده دقت و جزئیات کمتری از نحوه پراکنش مکانی اجزاء بافت را تشریح می‌کند (Dornik و همکاران، ۲۰۲۳؛ Dhiman و همکاران، ۲۰۲۲؛ Mallah و همکاران، ۲۰۲۲)؛ بنابراین یافتن راه‌حلی که علاوه بر کاهش هزینه‌ها و مدت‌زمان انجام کار از دقت کافی نیز برخوردار باشد، دارای اهمیت است. تولید نقشه‌های مکانی خصوصیات خاک با تأکید بر داده‌های سنجش‌ازدور به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان راهکاری سودمند برای تولید نقشه

پیوسته خصوصیات خاک بادقت بالا و هزینه و زمان کمتر توصیه شده است (Chagas و همکاران، ۲۰۱۶؛ Ben-Dor و همکاران، ۲۰۰۸؛ Zhou و همکاران، ۲۰۲۰؛ Wu و همکاران، ۲۰۱۹؛ Poggio و Gimona، ۲۰۱۷).

در روش‌های تولید نقشه‌های پیوسته خصوصیات خاک نظیر اجزاء بافت خاک برای یافتن ارتباط بین متغیرها و خصوصیت خاک از روش‌های مختلفی نظیر شبکه عصبی^۱، روش‌های هیبریدی زمین آماری^۲، درخت تصمیم^۳ و سایر مدل‌ها استفاده می‌شود. مدل‌های هیبریدی زمین آماری روش‌های جدیدی هستند که در سال‌های اخیر برای مدل‌کردن تغییرات غیرخطی متغیرهای مکانی خصوصیات خاک‌ها ارائه شده‌اند. این مدل‌ها از ترکیب روش‌های زمین آماری و شبکه عصبی مصنوعی به وجود می‌آیند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل ترکیبی رگرسیون کریجینگ با کریجینگ باقی‌مانده شبکه عصبی^۴ (RKNNRK) و مدل رگرسیون کریجینگ اشاره کرد (Padarian و همکاران، ۲۰۱۲؛ Song و همکاران، ۲۰۱۷؛ Tarasov و همکاران، ۲۰۱۷).

Padarian و همکاران (۲۰۱۲) الگوی توزیع کربن آلی خاک را در خاک‌های چایل با استفاده از روش‌های زمین آماری کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، کریجینگ معمولی با واریوگرام محلی و کریجینگ باقی‌مانده شبکه عصبی^۵ (NNRK) بررسی کردند که همه مدل‌ها نتایج آماری خوبی را ارائه دادند.

Dai و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات مکانی کربن آلی خاک را با استفاده از روش ترکیبی باقی‌مانده کریجینگ معمولی با شبکه عصبی (ANN-kriging)، شبکه عصبی و وزن دهی عکس فاصله^۶ (IDW) در منطقه‌ای مسطح درکشور چین پیش‌بینی کردند و نتیجه گرفتند که دقت روش ترکیبی باقی‌مانده کریجینگ معمولی با شبکه عصبی

1-Artificial Neural Network

2-Hybrid Geostatistics

3-Dicision Tree

4 - Regression Kriging And Neural Network Residual Kriging

5 - Neural Network Residual Kriging

6 - Invers Distance Weighting

(ANN-kriging) در مقایسه با سایر روش‌های زمین‌آماري بیشترین است.

Mirzaee و همکاران (۲۰۱۶) بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک را با استفاده از داده‌های سنجش از دور در منطقه سلین در شمال آذربایجان شرقی ایران انجام دادند که در این مطالعه از مدل‌های زمین‌آماري و مدل‌های هیبریدی استفاده شد و نتیجه گرفتند که مدل‌های هیبریدی شامل کریجینگ ساده با رگرسیون^۱، کریجینگ معمولی با رگرسیون^۲، کریجینگ ساده با شبکه عصبی^۳ و کریجینگ معمولی با شبکه عصبی^۴ نتیجه واقعی‌تری نسبت به مدل‌های زمین‌آماري شامل کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کوکریجین ارائه کردند.

Song و همکاران (۲۰۱۷) پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک در منطقه‌ای در شرق چین را با استفاده از روش‌های هیبریدی و کریجینگ معمولی انجام دادند و نتیجه گرفتند که دقت پیش‌بینی مدل^۵ ELMOK در مقایسه با سایر روش‌ها افزایش یافته است.

Zhang و همکاران (۲۰۱۳) به درون‌یابی مکانی بافت خاک با استفاده از کریجینگ ترکیبی و رگرسیون کریجینگ با در نظر گرفتن ویژگی‌های ترکیبی داده‌ها و متغیرهای کمکی پرداختند. هدف آنها مقایسه عملکرد روش مکانی پیش‌بینی بافت خاک با توجه به ویژگی‌های داده‌های ترکیبی و متغیرهای کمکی بودند. پیش‌بینی مدل با استفاده از روش ترکیبی کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار بود و آن‌ها نتیجه گرفتند که در صورت انتخاب متغیرهای مناسب به‌عنوان متغیر کمکی، پیش‌بینی تغییرات مکانی بافت خاک منطقی خواهد بود.

Tarasov و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات مکانی آلودگی خاک‌های سطحی در کشور روسیه را با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و کریجینگ باقی‌مانده^۶

(GRNNRK) بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل‌های GRNNRK و MLPRK^۷ دارای بهترین دقت پیش‌بینی در مقایسه با مدل‌های MLP^۸ و GRNN^۹ بودند.

مروزی بر مطالعات پیشین نبود یا کمبود مطالعات در زمینه کاربرد مدل‌های هیبریدی را در بررسی پراکنش مکانی خصوصیات فیزیکی خاک‌ها در دشت‌های سیلابی و در مقیاس منطقه‌ای نشان می‌دهد. این تحقیق باهدف پیش‌بینی الگوی تغییرات مکانی اجزاء بافت خاک اراضی کشاورزی دشت سیستان واقع در شمال استان سیستان و بلوچستان و جنوب شرقی ایران با استفاده از روش هیبریدی RKNRK می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل اراضی کشاورزی دشت سیستان واقع در شمال استان سیستان و بلوچستان در محدوده جغرافیایی ۶۰/۲۵ درجه تا ۶۱/۸۳ درجه طول شرقی و ۳۰/۰۸ درجه تا ۳۱/۴۶ درجه عرض شمالی با مساحت ۱۳۰۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱). آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن، آب و هوای گرم و خشک با میانگین دراز مدت سالیانه بارش، درجه حرارت و تبخیر و تعرق پتانسیل به ترتیب ۵۵ میلیمتر، ۲۱/۷ درجه سانتی گراد و ۴۵۰۰ میلیمتر می‌باشد. کاربری اراضی منطقه زمین‌های بایر، مرتع، جنگل‌کاری، زمین‌های کشاورزی، مجموعه‌های آبی و شن‌زار است. اراضی دشت نسبتاً مسطح بوده و از لحاظ ژئومورفولوژی دشت آبرفتی متأثر از رسوبات انشعابات رودخانه هیرمند می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب اریدیک و هایپرترمیک است. اراضی محدوده دارای شیب بسیار جزئی بوده و فاقد پستی و بلندی قابل ملاحظه‌ای است. تنها منبع آب سطحی موجود در این منطقه، رودخانه هیرمند و رودخانه‌های

7 - Multi-Layer Perceptron Residual Kriging

8 - Multi-Layer Perceptron

9 - Generalized Regression Neural Network

1 - Regression-Simple Kriging

2 - Regression-Ordinary Kriging

3 - Artificial Neural Network-Simple Kriging

4 - Artificial Neural Network-ordinary Kriging

5 - Extreme Learning Machine-Ordinary Kriging

6 - Generalized Regression Neural Network Residual Kriging

منشعب از آن است که از کوه‌های هندوکش در افغانستان سرچشمه گرفته و حوزه آبریز وسیعی را شامل می‌شود (پهلوان‌راد و همکاران، ۲۰۲۰).

نمونه‌برداری‌ها و متغیرهای کمکی

در این تحقیق بر اساس روش تصادفی طبقه‌بندی شده در سری‌های مختلف خاک تعداد ۱۶۰ نقطه انتخاب گردید و سپس نمونه برداری‌ها از لایه سطحی خاک (۰-۳۰ cm) انجام شد. شکل (۱) موقعیت نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد. درصد اجزاء بافت خاک از روش هیدرومتری و مطابق با استاندارد بین‌المللی خاکشناسی تعیین گردید. همچنین از داده‌های سنجش از دور تصویر ماهواره لندست ۸ شامل تصاویر باندهای ۱ تا ۸ و شاخص‌های پوشش گیاهی^۱ (NDVI)، شاخص روشنایی^۲، اندازه ذرات خاک^۳ (GSI) و شاخص رس^۴ (جدول ۱) به عنوان متغیرهای کمکی برای میان‌یابی اجزاء بافت خاک کمک گرفته شد. بدین منظور تصویر ماهواره لندست در سطح L1T که بالاترین سطح تصاویر ماهواره لندست از نظر کیفیت، تصحیحات هندسی و رادیومتریکی دارد، انتخاب شد برای انجام تصحیحات هندسی از نقشه آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، جاده‌ها و سایر نقاط ثابت موجود در منطقه استفاده شد و مطابق راهنمای استفاده از تصاویر لندست ۸ تصحیحات رادیومتری و اتمسفری در نرم افزار ENVI3.5 انجام شد. بعد از آماده‌سازی تصاویر باندهای مختلف و انجام محاسبات مربوطه، موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده زمینی بر روی تصاویر در محیط نرم‌افزار Arc Gis10.5 منتقل و ارزش رقومی^۵ (DN) هر پیکسل مرکزی استخراج و از آنها به عنوان متغیر مستقل و داده‌های اندازه‌گیری شده اجزاء بافت خاک به عنوان متغیر وابسته استفاده شد.

۱ - Normalized Difference Vegetation Index

۲ - Brightness Index

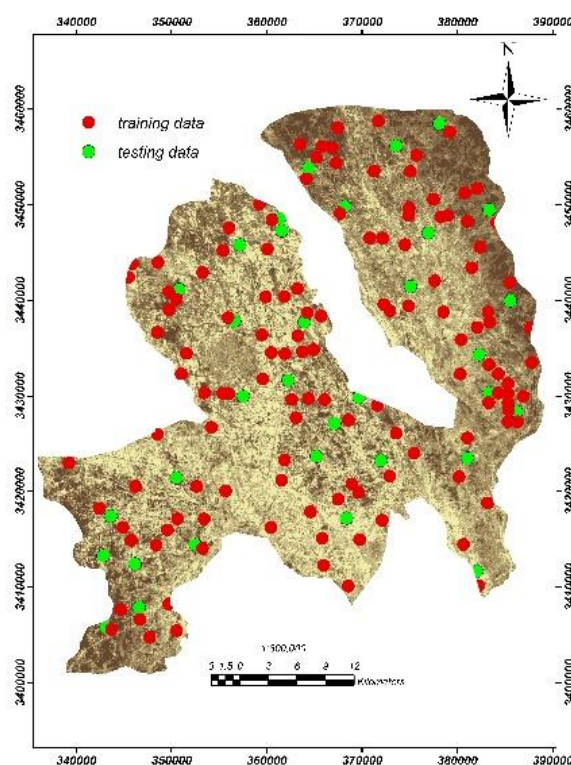
۳ - Grain Size Index

۴ - Clay Index

۵ - Digital Number

جدول ۱- مشخصات متغیرهای کمکی مورد استفاده برای پیش بینی اجزاء بافت خاک

منبع	تعریف	متغیرهای محیطی
	coastal	Band 1
	Blue Band	Band 2
	Green Band	Band 3
	Red Band	Band 4
	NIR Band	Band 5
	SWIR Band	Band 6
	SWIR Band	Band 7
	Panchromatic Band	Band 8
	Ratio Red and Green Bands	Band 4 / Band 3
	Ratio Red and Panchromatic Bands	Band 4 / Band 8
Metternich and zinck (2003)	$((Red)^2 + (NIR)^2)^{0.5}$	Brightness index
Xiao et al (2006)	$(Red-Blue) / (Red+Blue+Green)$	Grain Size Index (GSI)
Boettinger et al (2008)	$(NIR-Red) / (NIR+Red)$	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
Boettinger et al (2008)	Ratio Band 6 and Band 8	Clay Index



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری شده

تبدیل داده‌های اجزاء بافت خاک

داده‌های بافت خاک به دلیل اینکه مجموع درصد‌های اجزاء آن شامل درصد‌های رس، شن و سیلت برابر با ۱۰۰ است به عنوان رایج‌ترین داده ترکیبی^۱ خاک

محسوب می‌شود. داده مرکب داده‌ای است که دارای چند جزء غیر منفی است که مجموع آنها برابر با واحد است یکی از مشکلات برآورد این گونه داده‌ها این است که اگر هر جزء به طور جداگانه برآورد شود، تضمینی وجود ندارد که مجموع اجزاء برآوردی برابر با ۱۰۰ شود (Lark و Bishop، ۲۰۰۷؛ Adhikari و همکاران، ۲۰۱۳؛

۱ - Compositional Data

در این تحقیق با استفاده از بسته نرم‌افزاری Codapack داده‌های اجزاء بافت خاک به دو جزء مطابق با روابط (۳) و (۴) تبدیل گردید:

$$clay_{alr} = \ln \frac{clay}{sand} \quad (3)$$

$$silt_{alr} = \ln \frac{silt}{sand} \quad (4)$$

مدل‌سازی‌ها

روش رگرسیون کریجینگ (RK)

این روش شامل یک مدل رگرسیونی (رابطه رگرسیونی بین متغیرهای کمکی و اجزاء بافت خاک) و کریجینگ (برای پیش‌بینی مکانی باقی‌مانده‌های مدل رگرسیونی) بوده و با استفاده از روابط ۵ و ۶ تعریف می‌شود (Odeh و همکاران، ۲۰۰۳):

$$Z_{RK} * (u_i) = m(u_i) + e(u_i) \quad (5)$$

$$Z_{RK} * (u_i) = \sum_{k=1}^p \beta_k q_k(u_i) + \sum_{j=1}^n w_j(u_i) e(u_i), \quad q_k(u_i) \in [1; 1], \quad w_j(u_i) \in [1; 1] \quad (6)$$

که در این رابطه $Z_{RK}(u_i)$ مقدار پیش‌بینی شده در نقطه u ، $m(u_i)$ بخش قطعی روند، β_k ضرایب مدل روند، $q_k(u_i)$ پیش‌بینی‌کننده‌ها، $w_j(u_i)$ وزن‌های کریجینگ هستند که با استفاده از تابع نیم تغییرنما تعیین شده و $e(u_i)$ باقی‌مانده از رگرسیون در نقطه u_i است.

باتوجه به اینکه رابطه بین متغیرهای کمکی و اجزاء بافت خاک یک رابطه غیرخطی است. برای پیدا کردن ارتباط بین متغیرهای کمکی و داده‌های اجزاء بافت خاک از رگرسیون درختی استفاده شد. به‌طور کلی روش رگرسیون طی مراحل زیر ایجاد شده است. ۱) ایجاد رگرسیون درختی بین متغیرهای کمکی و اجزاء بافت خاک (۲) پیش‌بینی اجزاء بافت خاک با استفاده از مدل رگرسیون درختی (۳) محاسبه باقی‌مانده‌ها و تخمین باقی‌مانده‌ها با استفاده از روش کریجینگ. تخمین‌های نهایی از حاصل جمع مقادیر پیش‌بینی مدل رگرسیون درختی (مرحله ۲) و

(Aitchison، ۱۹۸۶). تاکنون و در روش‌های معمول و متداول برآورد داده‌های بافت خاک مرکب بودن آن در نظر گرفته نشده است که در نتیجه یا مجموع اجزاء برآوردی برابر با ۱۰۰ نمی‌شود و یا دو جزء برآورد شده و سپس جزء سوم از اختلاف دو جزء برآوردی از ۱۰۰ محاسبه می‌شود که در این حالت نیز با وجود اینکه مجموع جزءهای پیش‌بینی برابر ۱۰۰ می‌شود ولی بسته به اینکه کدام دو جزء ابتدا برآورد گردد، نتایج متفاوتی حاصل می‌شود (Lark و Bishop، ۲۰۰۷). لذا با توجه به اینکه در یک داده‌های بافت خاک نسبت‌های رس، سیلت و شن مستقل از هم نیستند و حداقل یک همبستگی منفی بین دو جزء وجود دارد، لذا برآورد اجزاء بافت خاک به طور جداگانه و بدون در نظر گرفتن این همبستگی منطقی نیست (Odeh و همکاران، ۲۰۰۳). از راهکارهای حل این‌گونه مسائل تبدیل داده‌ها قبل از پیش‌بینی است (Aitchison، ۱۹۸۶). روش‌های مختلفی برای تبدیل داده‌ها وجود دارد که اکثراً روش‌های لگاریتمی هستند (Shi و Wang، ۲۰۱۷). تبدیل لگاریتمی alr رایج‌ترین تبدیل برای پیش‌بینی اجزاء بافت خاک در مدل‌های رگرسیونی (Aitchison و همکاران، ۲۰۱۴؛ Huang و همکاران، ۲۰۱۴) و مدل‌های زمین‌آماري (Dobarco و همکاران، ۲۰۱۶؛ Odeh و همکاران، ۲۰۰۳) است. تبدیل alr بر روی یک داده ترکیبی (z) با تعداد (D) جزء با استفاده از رابطه (۱) و (۲) اعمال می‌شود (Aitchison، ۱۹۸۶):

$$alr(z) = \left(\ln \frac{z_1}{z_2} \dots \ln \frac{z_{D-1}}{z_D} \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^D z_i = 1 \quad z = [1 \dots D] \\ z = \frac{\exp(w)}{j^T \exp(w)} \quad (2)$$

که $w = [x^T, 0]^T$ و j یک بردار و D برابر تعداد اجزاء داده ترکیبی است.

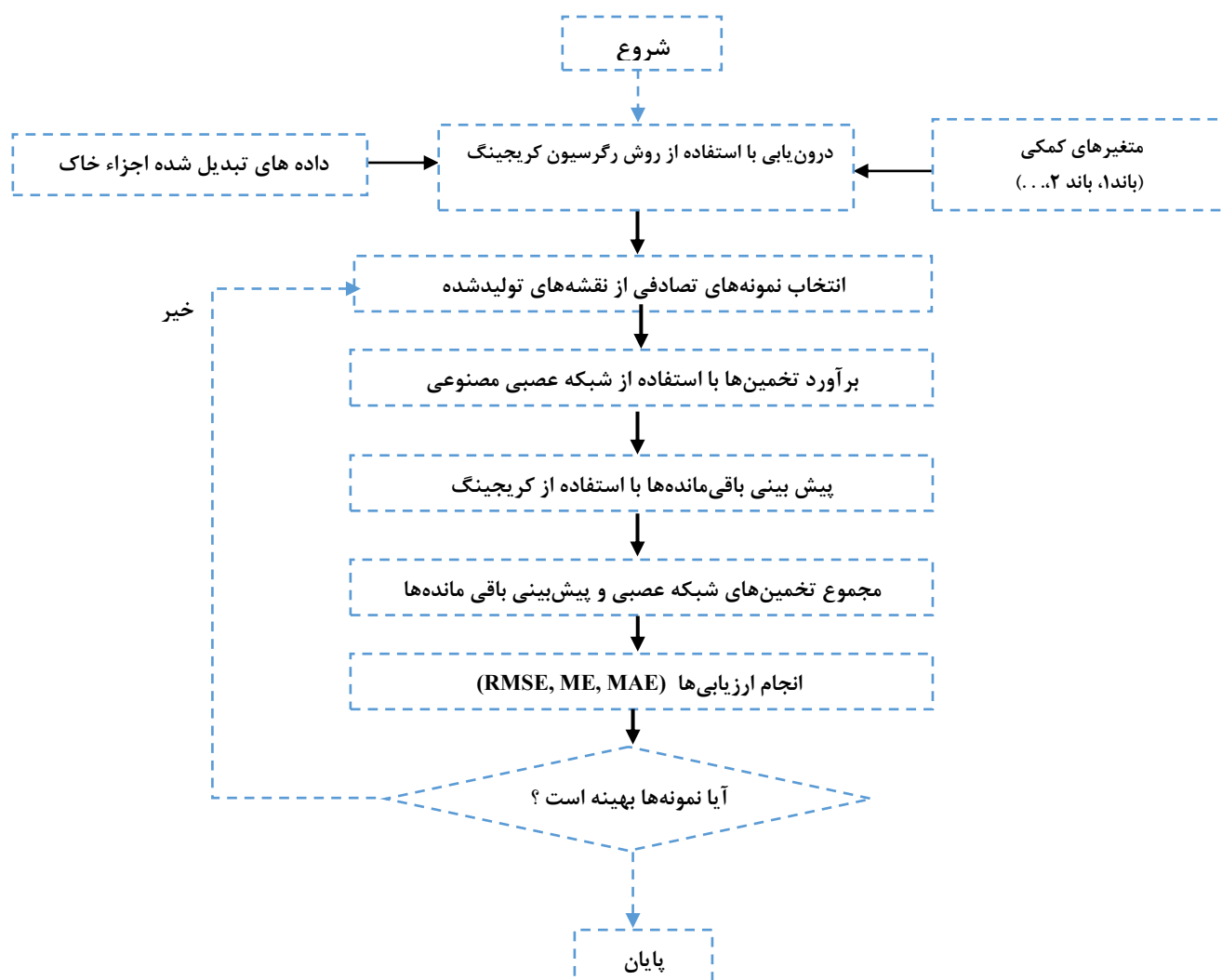
مقادیر برآورد شده باقی‌مانده‌ها (مرحله ۳) حاصل می‌شود.

روش ترکیبی رگرسیون کریجینگ و باقی‌مانده

شبکه عصبی مصنوعی

این روش یک مدل درونیابی مکانی است که ترکیبی از روش رگرسیون کریجینگ، شبکه‌های عصبی مصنوعی و کریجینگ باقی‌مانده است. در واقع این مدل تنها از داده‌های مشاهده‌ای به‌عنوان داده‌های آموزش استفاده نمی‌کند، بلکه از داده‌هایی که به‌صورت تصادفی از نقشه‌های میان‌یابی شده توسط روش رگرسیون کریجینگ استخراج شده است، نیز برای تخمین روند مکانی استفاده می‌کند. این مدل شامل یک الگوریتم‌های چهارمرحله‌ای است. مرحله‌ی اول شامل میان‌یابی مکانی با استفاده از رگرسیون کریجینگ است. مرحله‌ی دوم شامل نمونه‌برداری تصادفی از نقشه‌ی درونیابی شده است. مرحله‌ی سوم شامل تخمین روند مکانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است و مرحله‌ی چهارم شامل درونیابی باقی‌مانده‌ها با استفاده از روش کریجینگ است و تخمین‌های نهائی با جمع روند مکانی و باقی‌مانده‌ها به دست می‌آیند.

کل فرایند آن‌قدر تکرار می‌شود تا تعداد بهینه نمونه برای مدل‌کردن روند مکانی پیدا شود و تعداد بهینه نمونه بر اساس شاخص‌های ارزیابی تعیین می‌شود. در این مطالعه ابتدا از نقشه‌های تهیه شده داده‌های پیش‌بینی به روش رگرسیون کریجینگ نمونه‌های ۱۰۰، ۲۵۰، ۴۰۰، ۶۵۰، ۹۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۵۵۰تایی با استفاده از نرم‌افزار Arc Gis 10.5 انتخاب شدند با استفاده از نرم‌افزار Matlab 2015b شبکه عصبی مناسب پیاده‌سازی شد. محاسبه باقی‌مانده‌ها و میان‌یابی آن‌ها در روش کریجینگ با استفاده از نرم‌افزار GS^+ انجام شد و مقدار نهایی از حاصل جمع مقادیر پیش‌بینی باقی‌مانده‌ها و روند تخمین زده شده با شبکه عصبی به دست می‌آید. برای یافتن تعداد نمونه بهینه این فرایند برای تمام نمونه‌ها ادامه یافت تا زمانی که معیارهای ارزیابی یکسانی حاصل شود. الگوریتم مراحل انجام روش RKNNRK در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- فلوچارت روش RKNNRK

نتایج و بحث

تحلیل‌های آماری

بوده که بیانگر ناهمگنی بافت خاک منطقه می‌باشد. میانگین مقدار شن و سیلت خاک ۳۸ و ۴۳ درصد و میانگین مقدار رس خاک ۲۰ درصد است که بیانگر بافت متوسط خاک در منطقه می‌باشد. مشابه درصد اجزاء بافت خاک متغیرهای کمکی مورد استفاده نیز مورد تحلیل‌های آماری قرارگرفت که نتایج بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری در داده‌ها وجود ندارد. همه متغیرهای کمکی

معیارهای ارزیابی

در این تحقیق برای بررسی دقت و ارزیابی مدل، داده‌ها به دودسته داده‌های آموزش و داده‌های آزمون تقسیم شدند، ۸۰ درصد به داده‌های آموزش و ۲۰ درصد به داده‌های آزمون اختصاص یافتند. مدل‌سازی بر روی داده‌های آموزش صورت‌گرفته و ارزیابی داده‌های آزمون بر اساس معیار ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و معیارهای MBE و MAE انجام شد.

به جز شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با ۳۲ درصد و شاخص اندازه ذرات خاک (GSI) با ۱۱۳ درصد، دارای ضریب تغییرات اندکی می‌باشند. که بیانگر همگن بودن متغیرهای کمکی مورد استفاده است. بررسی مقادیر چولگی داده‌ها نشان می‌دهد که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار هستند. مقادیر چولگی برای داده‌های شن و رس مثبت و برای سیلت خاک منفی بوده که این ناهمگنی در تغییرات مکانی این اجزاء می‌باشد (Delbari و همکاران، ۲۰۱۱؛ Mitran و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین بررسی خلاصه مشخصات آماری داده‌های تبدیل شده اجزاء بافت خاک (جدول ۳) بیانگر تغییرات زیاد $Clay_{alr}$ و $Silt_{alr}$ در منطقه است.

جدول ۲- خلاصه آماری داده‌های پیش‌بینی و اعتبارسنجی اجزاء بافت خاک

خصوصیت	داده‌های پیش‌بینی					داده‌های آزمون				
	انحراف	ضریب	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف	ضریب	میانگین	حداکثر	حداقل
	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
Clay	۴۵	۹	۲۱	۴۰	۶	۵۱	۱۰	۲۰	۴۸	۴
Silt	۳۳	۱۴	۴۳	۷۶	۷	۳۵	۱۵	۴۳	۷۹	۲
Sand	۵۳	۱۹	۳۶	۸۲	۱۰	۵۳	۲۰	۳۸	۹۱	۶

جدول ۳- خلاصه مشخصات آماری داده‌های تبدیل شده اجزاء بافت خاک

متغیر	داده‌های پیش‌بینی			داده‌های آزمون		
	انحراف	ضریب	میانگین	انحراف	ضریب	میانگین
$Clay_{alr}$	-۳/۱۲	۱/۸۹	-۰/۶۰	۱/۰۶	-۲/۵۹	۱/۳۶
$Silt_{alr}$	-۲/۹۰	۲/۴۰	-۰/۲۳	-۰/۹۸	-۲/۴۶	۱/۷۶

جدول ۴ - خلاصه آماری داده‌های پیش‌بینی و آزمون متغیرهای کمکی

متغیرهای کمکی	داده‌های اعتبارسنجی			داده‌های پیش‌بینی		
	ضریب	انحراف	میانگین	ضریب	انحراف	میانگین
Band 1	۱۰	۸	۸۰	۱۰	۸	۷۹
Band 2	۱۳	۱۰	۸۱	۱۲	۱۰	۸۰
Band 3	۱۶	۱۳	۸۰	۱۵	۱۲	۷۹
Band 4	۱۸	۱۴	۷۸	۱۷	۱۳	۷۷
Band 5	۱۵	۹	۵۹	۱۴	۸	۵۹
Band 6	۱۵	۲	۱۶	۱۴	۲	۱۶
Band 7	۱۷	۱	۵	۱۶	۱	۵
Band 8	۱۷	۱۳	۸۰	۱۷	۱۳	۷۹
Band 4 / Band 3	۳	-۰/۰۳	-۰/۹۶	۳	-۰/۰۳	-۰/۹۶
Band 4 / Band 8	۵	-۰/۰۵	-۰/۹۷	۳	-۰/۰۳	-۰/۹۷
Brightness	۱۶	۱۶	۹۷	۱۶	۱۵	۹۷
GSI	۱۲۵	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۱۱۳	-۰/۰۲	-۰/۰۲
NDVI	۳۳	-۰/۰۴	-۰/۱۴	۳۲	-۰/۰۴	-۰/۱۳
clay index	۶	-۰/۰۱	-۰/۲	۶	-۰/۰۱	-۰/۲

رابطه بین داده‌های سنجش‌ازدور (متغیرهای کمکی) و اجزاء بافت خاک

در جدول (۵) ضریب همبستگی پیرسون بین اجزاء بافت خاک شامل شن، سیلت و رس خاک و متغیرهای کمکی نشان داده شده است. نتایج بیانگر این است که شن خاک با همه متغیرهای کمکی به‌جز نسبت باند ۴ به باند ۸ همبستگی معنی‌داری دارد. بیشترین و کمترین همبستگی داده‌های شن خاک مربوط به باند ۸ برابر ۰/۳۳۸- و شاخص پوشش گیاهی برابر با ۰/۲۱ می باشد. chagas و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که شن خاک با باند ۱ و نسبت باند ۵ به باند ۷ تصاویر ماهواره لندست ۷ رابطه معنی‌داری دارد و همچنین carvalho junior و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود یافتند که شن خاک با شاخص پوشش گیاهی، نسبت باند ۳ به باند ۷ و نسبت باند ۵ به باند ۷ تصاویر ماهواره لندست ۵ رابطه معنی‌داری ندارد. همچنین liao و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که شن خاک با باندهای ۲ تا ۵ و باند ۷ تصویر ماهواره لندست ۷ رابطه همبستگی معنی‌دار مثبت دارد.

نتایج نشان داد که جزء سیلت خاک با متغیرهای کمکی باندهای ۱ تا ۵ و باند ۸ و شاخص روشنایی رابطه هم بستگی متوسطی دارد و با بقیه پارامترهای کمکی رابطه همبستگی ضعیفی دارد. (جدول ۴) همچنین سیلت با نسبت باند ۴ به باند ۸ رابطه معنی‌داری ندارد. Chagas و همکاران (۲۰۱۶) رابطه همبستگی غیرمعنی‌دار بین داده های سیلت و باندهای ۱ و ۲ و نسبت باند ۵ به باند ۷ تصاویر ماهواره لندست ۷ گزارش کردند. Sauza junior و همکاران (۲۰۱۱) نیز همبستگی بالایی بین سیلت و باندهای ۱ تا ۸ تصاویر ماهواره ASTER گزارش دادند. همچنین همبستگی پایین سیلت با متغیرهای مطالعه شده توسط Islam و همکاران (۲۰۰۳) و weterlined و Stenberg (۲۰۱۰) گزارش شده است. همچنین liao و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که سیلت خاک با باند های ۲ تا ۵ و باند ۷ تصویر ماهواره لندست ۷ رابطه هم

بستگی معنی دار منفی دارد بطوریکه بیشترین مقدار آن با باند ۷ و به مقدار ۰/۴۵۳- می‌باشد. برای جزء رس خاک بالاترین ضریب هم بستگی به مقدار ۰/۲۶ مربوط به باند ۸ و کمترین آن مربوط به شاخص پوشش گیاهی برابر ۰/۱۶ برآورد شده است (جدول ۵). Chagas و همکاران (۲۰۱۶) رابطه همبستگی بین متغیرهای کمکی با رس را مشابه شن گزارش دادند. carvalho junior و همکاران (۲۰۱۴) رابطه معنی‌داری بین رس و شاخص پوشش گیاهی، نسبت باند ۳ به باند ۲ و نسبت باند ۵ به باند ۷ گزارش کردند و رابطه غیرمعنی داری با نسبت باند ۳ به باند ۷ تصاویر ماهواره لندست ۵ گزارش دادند. همچنین liao و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که رس خاک با باندهای ۱ تا ۵ و باند ۷ تصویر ماهواره لندست ۷ رابطه همبستگی معنی‌دار منفی دارد.

جدول ۵- ضریب هم‌بستگی بین اجزاء بافت خاک و متغیرهای کمکی

متغیرهای کمکی	اجزای بافت خاک					
	رس		سیلت		شن	
	P	r	p	r	p	r
Band 1	۰/۰۰۳	۰/۲۳۲	.	۰/۲۷۵	< ۰/۰۰۰۱	-۰/۳۲
Band 2	۰/۰۰۳	۰/۲۳۷	.	۰/۲۷۷	< ۰/۰۰۰۱	-۰/۳۲۳
Band 3	۰/۰۰۲	۰/۲۴۳	.	۰/۲۷۲	< ۰/۰۰۰۱	-۰/۳۲۳
Band 4	۰/۰۰۱	۰/۲۴۹	.	۰/۲۷۳	< ۰/۰۰۰۱	-۰/۳۲۶
Band 5	۰/۰۰۷	۰/۲۱۰	۰/۰۰۳	۰/۲۲۹	.	-۰/۲۷۷
Band 6	۰/۰۱۳	۰/۱۹۶	۰/۰۰۸	۰/۲۰۸	۰/۰۰۱	-۰/۲۵۴
Band 7	۰/۰۵۱	۰/۱۵۴	۰/۰۲۶	۰/۱۷۶	۰/۰۰۷	-۰/۲۱۱
Band 8	۰/۰۰۱	۰/۲۵۸	.	۰/۲۸۳	< ۰/۰۰۰۱	-۰/۳۳۸
Band 4 / Band 3	۰/۰۱۵	۰/۱۹۲	۰/۰۲۵	۰/۱۷۶	۰/۰۰۴	-۰/۲۲۴
Band 4 / Band 8	۰/۲۰۴	۰/۱۰۱**	۰/۲۵	۰/۰۹۱**	۰/۱۵۷	-۰/۱۱۳**
Brightness index	۰/۰۰۲	۰/۲۴	۰/۰۰۱	۰/۲۶۲	< ۰/۰۰۰۱	-۰/۳۱۵
GSI	۰/۰۰۵	۰/۲۱۹	۰/۰۰۹	۰/۲۰۷	۰/۰۰۱	-۰/۲۶۳
NDVI	۰/۰۳۷	-۰/۱۶۵	۰/۰۲۵	۰/۱۷۶	۰/۰۰۸	۰/۲۰۹
clay index	۰/۰۱	-۰/۲۰۳	۰/۰۰۹	۰/۲۰۶	۰/۰۰۱	۰/۲۵۲

** در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار نیست.

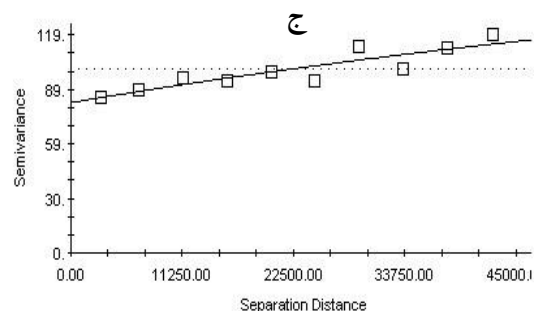
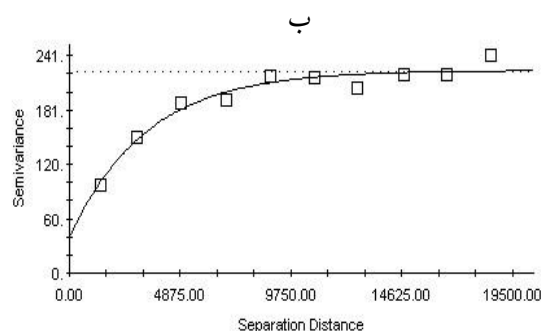
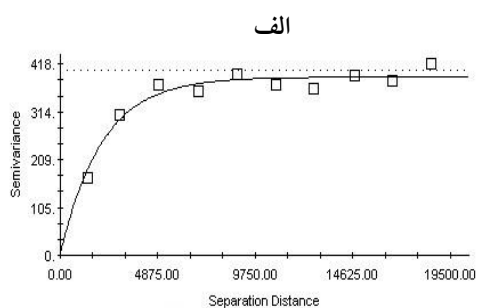
تحلیل هم‌بستگی مکانی اجزاء بافت خاک

برای بررسی میزان هم‌بستگی مکانی اجزاء بافت خاک، نیم تغییرنمای تجربی اجزاء شن، سیلت و رس خاک با استفاده از نرم افزار GS⁺ برازش داده شد (Robertson, 2000). نیم تغییرنمای تجربی اجزاء بافت خاک در شکل (۳) و نتایج در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که جزء رس خاک از هم‌بستگی مکانی متوسطی در منطقه برخوردار است که با نتایج مطالعات دلبری و همکاران در سال ۲۰۱۱ همخوانی دارد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نیم تغییرنما برای سیلت خاک برابر ۱۷/۵ درصد بوده که بیانگر ساختار مکانی قوی است. Liao و همکاران در سال ۲۰۱۳ در جریان پیش‌بینی تغییرات مکانی اجزاء بافت خاک با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور ماهواره لندست یک ساختار مکانی متوسطی برای جزء سیلت گزارش دادند. همچنین زارعیان و همکاران در سال ۱۳۹۳ برای جزء سیلت خاک پیوستگی مکانی قوی گزارش کردند. در منطقه مورد مطالعه شن خاک ساختار مکانی قوی (۵/۰ درصد) دارد. دلبری و همکاران در سال ۲۰۱۱ و Liao و همکاران در سال ۲۰۱۳ و Mitran و همکاران در سال ۲۰۱۰ ساختار

مکانی قوی برای جزء شن خاک گزارش دادند. زارعیان و همکاران هم در سال ۱۳۹۳ برای جزء شن خاک وابستگی مکانی متوسطی گزارش کردند. مدل نمایی بیشترین انطباق را با نیم تغییرنمای تجربی اجزاء بافت خاک دارند. Mitran و همکاران در سال ۲۰۱۹ مدل گوسی را بهترین نیم تغییرنمای تجربی گزارش دادند. زارعیان همکاران در سال ۱۳۹۳ مدل نمایی و کروی را بهترین مدل گزارش کردند. Sokari و همکاران در سال ۲۰۱۳ مدل نمایی را بهترین مدل نیم تغییرنمای تجربی گزارش کردند. همچنین برای داده‌های تبدیل شده بافت خاک (جدول ۶) مدل نمایی بیشترین انطباق را با نیم تغییرنمای تجربی Silt_{alr} و Clay_{alr} دارد. ساختار مکانی Silt_{alr} و Clay_{alr} قوی برآورد شده است. درمورد نیم تغییرنمای داده‌های تبدیل شده بافت خاک مطالعات چندانی در دسترس نمی‌باشد.

جدول ۶- مشخصات بهترین مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای (Co)	آستانه (Co+C)	شعاع تأثیر (m)	(Co)/ (Co+C)	ساختمان مکانی	R ²	RSS
Sand	نمایی	۲	۳۸۹/۹	۳۹۲۸	۰/۵	قوی	۰/۹۴	۲۹۲۸
Silt	نمایی	۳۹/۳	۲۲۴/۵	۳۳۸۰	۱۷/۵	قوی	۰/۹۵	۷۷۳
Clay	نمایی	۱۷۴/۳	۸۱/۷	۱۰۱۰۰	۴۸/۶	متوسط	۰/۸۸	۲۱۶
Silt _{alt}	نمایی	۰/۱	۰/۹۱	۷۶۲۰	۰/۱۱	قوی	۰/۷۷	۰/۰۷۵
Clay _{alt}	نمایی	۰/۰۰۱	۱	۶۰۹۰	۰/۱	قوی	۰/۸۹	۰/۰۳۲
Re. ^۱ silt _{alt} (RK)	نمایی	۰/۱	۰/۴۷	۱۳۱۰۰	۲۱	قوی	۰/۶۷	۰/۰۱۷
Re. Clay _{alt} (RK)	نمایی	۰/۲۸	۰/۵۷	۱۱۱۰۰	۴۹	متوسط	۰/۶۲	۰/۰۱۳
Re. silt _{alt} (RKNNRK)	کروی	۰/۰۰۱	۰/۱۱	۶۳۱۰	۰/۰۹	قوی	۰/۹۹	۰/۰۰۰۳
Re. Clay _{alt} (RKNNRK)	کروی	۰/۰۰۰۱	۰/۱۴	۶۲۸۰	۰/۰۷	قوی	۰/۹۹	۰/۰۰۰۴



شکل ۳- نیم تغییرنمای تجربی (مربعات توخالی) و مدل برازش شده (خط ممتد) (الف) شن، (ب) سیلت، (ج) رس (محور xها، فاصله بر حسب متر و محور yها، نیم تغییرنما بر حسب توان دو درصد است)

ارزیابی روش‌ها

روش رگرسیون کریجینگ

مشخصات بهترین مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی باقی مانده داده‌های تبدیل شده در جدول (۶) ارائه شده است. بر اساس نتایج مدل نمایی بیشترین انطباق را با نیم تغییرنمای تجربی باقی مانده‌ها داشته است و ساختار مکانی باقی مانده‌های $Silt_{alr}$ قوی برآورد شد. ساختار مکانی باقی مانده‌های $Clay_{alr}$ (۴۹ درصد) متوسط است. همچنین خلاصه نتایج ارزیابی روش رگرسیون کریجینگ برای داده‌های آزمون در جدول (۷) نشان داده شده است. مقدار RMSE جزء شن برابر ۱۶/۵۶ درصد برآورد شده است. همچنین مقادیر ME و MAE برابر ۱/۳۳- و ۱۳/۶۰ درصد برآورد شده است. بررسی مقادیر ضریب خطا داده‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد که این روش در پیش‌بینی مقادیر شن بیش برازش داشته است. مقدار

RMSE سیلت خاک به ترتیب برابر ۱۵/۸۱ درصد است. مقادیر ضریب خطا داده‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد که این روش در پیش‌بینی مقادیر سیلت بیش برازش داشته است. نتایج مقدار RMSE جزء رس خاک برابر ۷/۴۳ برآورد شده است. همچنین مقدار ME و MAE برابر ۰/۵۸ و ۹/۱۱ درصد است. مقادیر ضریب خطا داده‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد که این روش برای پیش‌بینی مقادیر رس کم برازش داشته است. در بررسی انجام شده توسط Akpa و همکاران در سال ۲۰۱۴ مقدار رس و سیلت در همه لایه‌ها بیش برازش و مقدار شن کم برازش داشته است. در مطالعه Adhikari و همکاران در سال ۲۰۱۳ مقدار رس را در همه لایه‌ها به جز لایه چهارم بیش برازش و در سه لایه خاک کم برازش، مقدار شن درشت در همه لایه‌ها و مقدار شن ریز در همه لایه‌ها به جز لایه سوم بیش برازش داشته است.

جدول ۷- نتایج ارزیابی روش رگرسیون کریجینگ

متنیر	RMSE	MAE	ME
Sand	۱۶/۵۶	۱۳/۶۰	-۱/۳۳
Silt	۱۵/۸۱	۱۲/۸۱	۱/۳۹
Clay	۷/۴۳	۹/۱۱	۰/۵۸

ارزیابی روش رگرسیون کریجینگ و کریجینگ

باقی مانده شبکه عصبی

مشخصات بهترین نیم تغییرنمای تجربی برای داده‌های باقی مانده‌ها در جدول (۶) نشان داده شده است. ساختار مکانی مقادیر باقی مانده‌ها در این روش برای هر دو جزء $Silt_{alr}$ و $Clay_{alr}$ قوی برآورد شده است. بر اساس نتایج مدل کروی بیشترین انطباق را با نیم تغییرنمای تجربی باقی مانده‌ها داشته است. این روش به دلیل در نظر گرفتن تعداد بیشتری از داده‌ها برای درون‌یابی و مدل سازی روندها، دقت مناسبی برای پیش‌بینی اجزاء بافت خاک داشته است بطوریکه ضریب R^2 مدل برای دو جزء $Silt_{alr}$ و $Clay_{alr}$ به ۰/۹۹ افزایش یافته و همچنین مقدار RSS برای هر دو جزء مذکور کاهش محسوسی (۰/۰۰۰۳)

تا ۰/۰۰۰۴) داشته است. نتایج ارزیابی این روش در جدول (۸) نشان می‌دهد که مقدار RMSE برای اجزاء شن، سیلت و رس خاک برای داده‌های آزمون به ترتیب برابر ۱۵/۰۴، ۱۴/۳۰ و ۷/۱۸ درصد می باشد و مقادیر RMSE برای داده‌های پیش‌بینی ۸/۸۶، ۶/۰۳ و ۴/۸۹ برآورد شده است. پهلوان راد و اکبری مقدم (۲۰۱۸) مقدار RMSE را برای اجزاء شن، سیلت و رس خاک با استفاده از روش جنگل تصادفی به ترتیب ۲۱/۴، ۱۷/۴۵ و ۶/۰۲ درصد برآورد کردند. مقایسه مقادیر RMSE داده‌های پیش بینی و اعتبارسنجی نشان دهنده تفاوت این مقادیر با هم می باشد این تفاوت به دلیل تغییرات زیاد اجزاء بافت خاک در منطقه مورد مطالعه می باشد. محققین دیگر نیز در مطالعات خود نتایج مشابهی گزارش کردند. (پهلوان راد و همکاران، ۲۰۱۸؛ walder و همکاران ۲۰۰۸). بررسی

مقادیر ضریب ME بیانگر این است که این مدل در پیش‌بینی مقادیر شن و سیلت خاک بیش‌برازش و در پیش‌بینی رس کم‌برازش داشته است.

جدول شماره ۸- خلاصه نتایج ارزیابی روش RKNNRK

متغیر	داده‌های پیش‌بینی			داده‌های آزمون		
	RMSE	ME	MAE	RMSE	ME	MAE
Clay	۴/۸۹	-۰/۰۳	۳/۲۱	۷/۱۸	۰/۱۵	۸/۷۷
Silt	۶/۰۳	۰/۰۵	۴/۲۳	۱۴/۳۰	۱/۰۷	۱۱/۲۴
Sand	۸/۸۶	۰/۰۵	۵/۴۴	۱۵/۰۴	۱/۹۶	۱۲/۸۱

مقایسه مدل‌ها

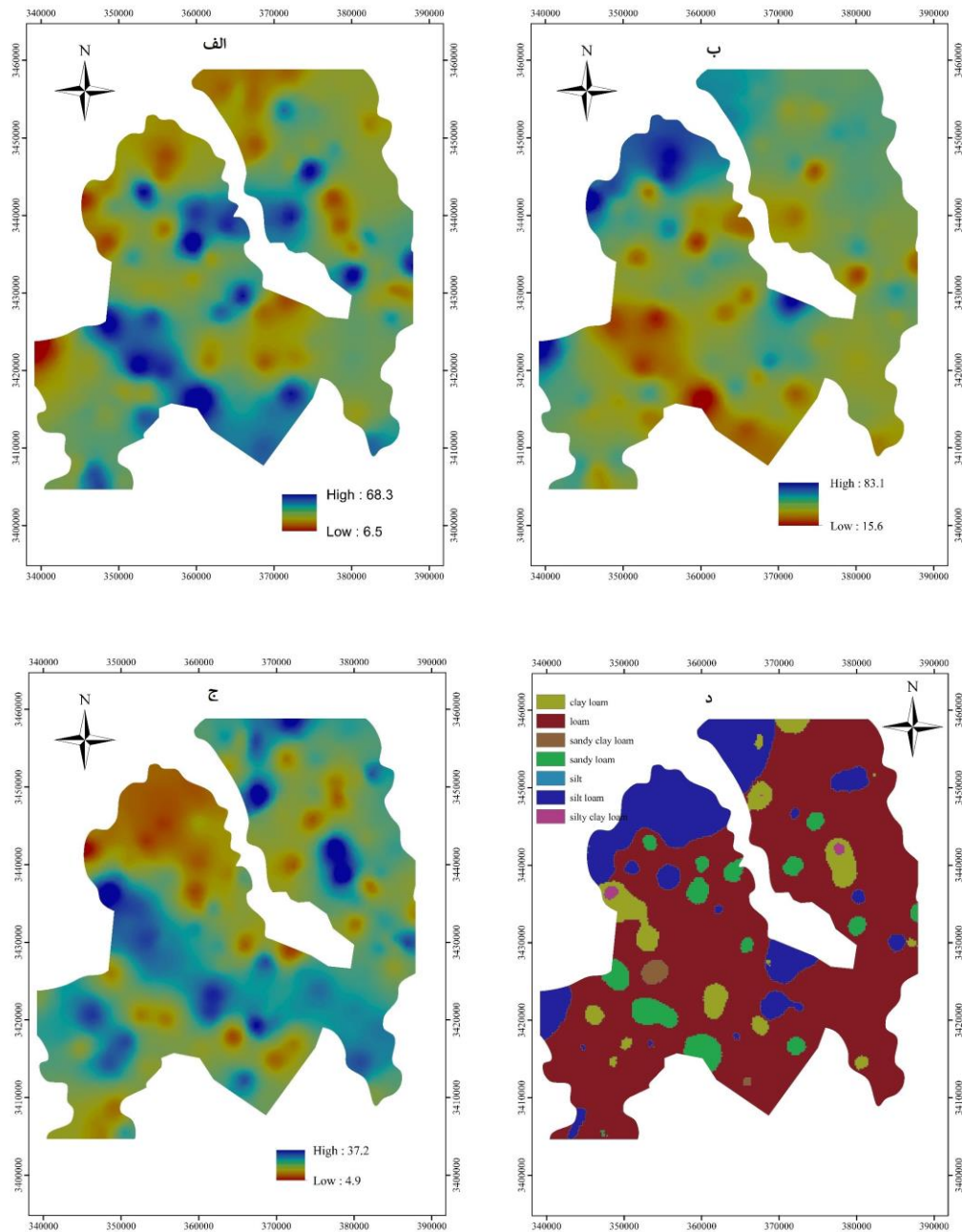
نتایج نشان داد که روش رگرسیون کریجینگ در مقایسه با روش هیبریدی RKNNRK از دقت کمتری در پیش‌بینی اجزاء بافت خاک برخوردار است. در روش رگرسیون کریجینگ مقادیر معیار ارزیابی RMSE نسبتاً بالا می‌باشد. قابلیت اطمینان کمتر این روش می‌تواند به دلیل عواملی از قبیل مسطح بودن منطقه، بزرگ بودن مقیاس مورد مطالعه (Knotters و همکاران ۱۹۹۵) ناهمگنی و غیر یکنواختی زیاد اجزاء بافت خاک در منطقه مورد مطالعه باشد (پهلوان راد و اکبری مقدم ۲۰۱۸؛ Walder و همکاران ۲۰۰۸). همچنین تعداد کم نمونه‌های برداشت شده نیز می‌تواند از جمله عوامل دیگر کمی دقت پیش‌بینی‌ها در این روش باشد. در این ارتباط Carvahio و Junior و همکاران در سال ۲۰۱۴ نیز در رابطه با تعداد و تراکم نمونه‌ها، نتایج مشابهی را گزارش دادند؛ بنابراین توصیه می‌شود برای افزایش دقت مدل‌ها و در نتیجه با بردن دقت نقشه‌های تولیدی ویژگی‌های خاک، تعداد نمونه‌برداری‌های خاک در این مناطق با توجه به مقیاس مورد مطالعه افزایش یابد و همچنین مطالعاتی در خصوص تعیین تعداد نقاط بهینه انجام گردد (پهلوان راد و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به اینکه در این تحقیق در روش رگرسیون کریجینگ از رابطه رگرسیون درختی و در روش RKNNRK از شبکه عصبی مصنوعی برای ارتباط بین متغیرهای کمکی و اجزاء بافت خاک استفاده شده است لذا می‌توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری در روندیابی و پیش‌بینی اجزاء بافت خاک

داشته است. به‌طور کلی نتایج بیانگر این است که روش RKNNRK بهترین عملکرد را در پیش‌بینی اجزاء بافت خاک منطقه مورد مطالعه داشته است؛ بنابراین مدل ترکیبی رگرسیون کریجینگ و کریجینگ باقی‌مانده شبکه عصبی مصنوعی در تلفیق با داده‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان داده‌های کمکی، نقشه‌های مکانی اجزاء بافت خاک یک دشت آبرفتی را در مقیاس بزرگ با دقت قابل‌قبولی پیش‌بینی کرده است. Tarasov و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود دقت بیشتر مدل‌های هیبریدی را در پیش‌بینی آلودگی خاک‌های سطحی کشور روسیه گزارش دادند. همچنین shen و همکاران (۲۰۰۴) سودمند بودن روش باقی‌مانده کریجینگ شبکه عصبی برای پیش‌بینی خصوصیات خاک را در مقیاس بزرگ تأیید کرده‌اند. همچنین Dai و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که مدل هیبریدی ANN-kriging در مقایسه با روش‌های روش وزن‌دهی عکس فاصله و UK دقت بالایی در پیش‌بینی توزیع مکانی محتوی کربن آلی خاک دارد به دلیل اینکه خصوصیات فیزیکی خاک در دشت‌های سیلابی تابع وضعیت رسوب‌گذاری است (پهلوان راد و همکاران، ۲۰۲۰) پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از شاخص‌های که به نحوی به این موضوع مرتبط است نظیر فاصله تا رودخانه‌ها، شبکه انهار و کانال‌ها، نقشه کاربری اراضی به‌عنوان متغیرهای کمکی برای درونیابی و ارزیابی مدل‌ها کمک گرفته شود.

نقشه‌های پیش‌بینی اجزاء بافت خاک

نقشه پراکنش مکانی اجزاء شن، سیلت و رس و بافت خاک در شکل (۴) نشان داده شده است. نقشه رقومی شن نشان می‌دهد که بیشتر اراضی منطقه مورد مطالعه بین ۲۴ تا ۵۶ درصد شن دارند. توزیع مکانی شن خاک (شکل ۳ الف) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار شن در نیمه مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. این اراضی به دلیل قرار گرفتن در حاشیه رودخانه سیستان و رسوب ذرات درشت‌تر شن در آنها سبب شده مقدار شن در آنها بیشتر باشد. پراکنش مکانی سیلت خاک در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است. حدود ۵۱/۱ درصد از سطح مورد مطالعه دارای سیلت ۴۰-۵۰ درصد است. بیشترین مقدار سیلت در بخش‌های شمال شرقی، شرقی و بخش‌های کمی از قسمت غربی منطقه مورد مطالعه را

شامل می‌شود. شکل ۳ (ج) نقشه توزیع مکانی رس خاک را نشان می‌دهد. مقدار رس خاک‌های اراضی مورد مطالعه پایین است بطوریکه ۵۶/۴ درصد اراضی بین ۱۶ تا ۲۴ درصد رس دارند. بیشترین مقدار رس خاک در اراضی نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. بافت خاک Loam مساحت عمده‌ای از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود (شکل ۳ د) به‌طوریکه در مرکز، شمال شرق و جنوب منطقه به مقدار زیاد مشاهده می‌شود. بافت خاک غالب در شمال غرب منطقه بافت Silt Loam بوده که به صورت پراکنده در سایر نقاط نیز به مقدار کم مشاهده می‌شود بافت‌های دیگر مشاهده شده در منطقه شامل Sandy Loam، Clay Loam و Sandy Clay Loam بوده که به صورت پراکنده و محدود در بخش‌های مختلف محدوده مورد نظر یافت می‌شود.



شکل ۴- نقشه رقومی شن (الف)، سیلت (ب)، رس (ج) و بافت خاک (د)

نتیجه‌گیری

در این مطالعه نقشه رقومی اجزاء بافت خاک در اراضی کشاورزی دشت سیستان با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون کریجینگ و کریجینگ باقی‌مانده شبکه عصبی (RKNNRK) انجام شد. از داده‌های سنجش‌ازدور ماهواره لندست ۸ به‌عنوان متغیرهای کمکی در مدل‌سازی ها استفاده شد. نتایج نشان داد که اجزاء شن و سیلت خاک در منطقه مورد مطالعه وابستگی مکانی قوی و رس خاک وابستگی مکانی متوسطی دارند. تحلیل‌های هم‌بستگی نشان داد که جزء شن خاک با متغیرهای کمکی باند های ۲ تا ۸ تصاویر ماهواره لندست ۸ و شاخص اندازه ذرات خاک، شاخص روشنایی و نسبت باند ۴ به باند ۳ تصویر ماهواره لندست ۸ رابطه هم‌بستگی معنی‌دار منفی و با شاخص پوشش گیاهی و شاخص رس رابطه هم‌بستگی معنی‌دار مثبت دارد. همچنین سیلت خاک با متغیرهای کمکی شامل باند ۱ تا باند ۸، شاخص پوشش گیاهی، شاخص اندازه ذرات خاک و شاخص روشنایی تصویر ماهواره لندست ۸ رابطه هم‌بستگی معنی‌دار مثبت و با شاخص رس رابطه هم‌بستگی معنی‌دار منفی دارد. همچنین رس خاک با متغیرهای کمکی باندهای ۱ تا ۵، باند ۸، شاخص اندازه ذرات خاک و شاخص روشنایی رابطه هم‌بستگی معنی‌دار مثبت و با شاخص رس رابطه هم‌بستگی معنی‌دار منفی دارد. روش هیبریدی RKNNRK توانسته است، نقشه‌های رقومی اجزاء بافت خاک را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند بطوریکه مقدار RMSE برآورد شده در مقایسه با روش رگرسیون کریجینگ مقادیر کمتری دارد.

مقادیر RMSE نسبتاً بالا می‌باشد که می‌تواند به دلیل عواملی از قبیل مسطح بودن منطقه، بزرگ بودن مقیاس مورد مطالعه، کم بودن تعداد نقاط نمونه‌برداری، ناهمگنی و غیر یکنواختی اجزاء بافت خاک در منطقه مورد مطالعه و همچنین نوع متغیرهای کمکی مورد استفاده باشد. با توجه به اینکه خصوصیات خاک در دشت‌های سیلابی تابع وضعیت رسوب‌گذاری می‌باشد، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از شاخص‌های که به نحوی به این موضوع مرتبط است نظیر فاصله تا رودخانه ها، شبکه انهار منطقه، نقشه کاربری اراضی به‌عنوان متغیرهای کمکی نیز استفاده شود. همچنین توصیه می‌شود مطالعاتی در خصوص تعیین تعداد نمونه بهینه در این مناطق انجام گردد.

Reference

1. Aitchison, J., 1986. The Statistical Analysis of Compositional Data. Chapman and Hall, London, UK, pp. 416.
2. Akpa, S.I.C., Odeh, I.O.A., Bishop, T.F.A., Hartemink, A.E., 2014. Digital mapping of soil particle size fractions for Nigeria. Soil Sci. Soc. Am. J. 78, 1953–1966.
3. Azizi, K., Garosi, Y., Ayoubi, S., and Tajik, S. 2023. Integration of Sentinel-1/2 and topographic attributes to predict the spatial distribution of soil texture fractions in some agricultural soils of western Iran. Soil Tillage Res. 229, 105681.
4. Amirian-Chakan, A., Minasny, B., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Akbarifazli, R., Darvishpasand, Z., Khordehbin, S., Some practical aspects of predicting texture data in digital soil mapping.
5. Ben-Dor, E., Taylor, R.G., Hill, J., Demattê, J.A.M., Whiting, M.L., Chabrilat, S., Sommer, S., Donald, L.S., 2008. Imaging spectrometry for soil applications. Adv. Agron. 97, 321–392.
6. Boettinger, J.L., Ramsey, R.D., Bodily, J.M., Cole, N.J., Kienast_Brown, S., Nield, S.J., Saundes, A.M., Stum, A.K., 2008. Landsat spectral data for digital soil mapping. In: Hartemink, A.E., McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L. (Eds.), Digital Soil Mapping With Limited Data. Springer science, Australia, pp. 193–203.
7. Carvalho Junior, W., Lagacherie, P., Chagas, C.S., Calderano Filho, B., Bhering, S.B., 2014. A regional-scale assessment of digital mapping of soil attributes in a tropical hillslope environment. Geoderma 232, 479–486.
8. Chagas, C.S., Junior, W.C., Bhering, S.B and Filho, B.C. 2016. Spatial prediction of soil surface texture in a semiarid region using random forest and multiple linear regressions. Catena, 139: 232–240
9. Dobarco, M.R., Orton, T.G., Arrouays, D., Lemerrier, B., Paroissien, J.B., Walter, C., Saby, N.P., 2016. Prediction of soil texture using descriptive statistics and area-to-point kriging in Region Centre (France). Geoderma Regional, 7, 279-292.
10. Dai, F., Zhou, Q., Lv, Z., Wang, X., Liu, G., 2014. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau, Ecological Indicators, 45, 184–194.
11. Dhiman, G., Bhattacharya, J., and Roy, S. 2023. Soil textures and nutrients estimation using remote sensing data in north India - Punjab region. Procedia Comput. Sci. 218, 2041–2048.
12. Dornik, A., Chețan, M. A., Drăguț, L., Dicu, D. D., and Iliuță, A. (2022). Optimal scaling of predictors for digital mapping of soil properties. Geoderma 405, 115453.
13. Dunkl, I., Ließ, M. 2022. On the benefits of clustering approaches in digital soil mapping: An application example concerning soil texture regionalization. 8, 541–558.
14. FAO. 2022. The state of the world's land and water resources for food and agriculture 2021 – systems at breaking point. Rome, Italy: FAO.
15. He, W., Xiao, Z., Lu, Q., Wei, L., Liu, X. Digital Mapping of Soil Particle Size Fractions in the Loess Plateau, China, Using Environmental Variables and Multivariate Random Forest. Remote Sens. 2024, 16, 785.
16. Huang, J., Subasinghe, R., Triantafyllis, J., 2014. Mapping particle-size fractions as a composition using additive log-ratio transformation and ancillary data. Soil Science Society of America Journal 78 (6), 1967-1976.
17. Islam, K., Singh, B., McBratney, A., 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near infrared reflectance spectroscopy. Aust. J. Soil Res. 41, 1101–1114.
18. Keshavarzi, A., del Árbol, M. Á. S., Kaya, F., Gyasi-Agyei, Y., and Rodrigo-Comino, J. 2022. Digital mapping of soil texture classes for efficient land management in the Piedmont plain of Iran. Soil Use Manag. 38 (4), 1705–1735.

19. Lark, R.M., Bishop, T.F.A., 2007. Cokriging particle size fractions of the soil. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 763-774.
20. Liao, K., Xu, S., Wu, J., Zhu, Q., 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. *Soil Sci. Plant Nutr.* 59, 488-500.
21. Li, Q., Hu, Z., Zhang, F., Song, D., Liang, Y., and Yu, Y. 2023. Multispectral remote sensing monitoring of soil particle-size distribution in arid and semi-arid mining areas in the middle and upper reaches of the yellow river basin: a case study of wuhai city, Inner Mongolia autonomous region. *Remote Sens.* 15 (8), 2137.
22. Mgohele R.N., Massawe B.H.J., Shitindi M.J., Sanga HG and Omar M.M. 2024. Prediction of soil texture using remote sensing data. A systematic review. *Front. Remote Sens.* 5:1461537.
23. Mirzaee, S.; Ghorbani-Dashtaki, S.; Mohammadi, J.; Asadi, H.; Asadzadeh, F. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. *Catena* 2016, 145, 118-127.
24. Odeh, I.O., Todd, A.J., Triantafilis, J., 2003. Spatial prediction of soil particle-size fractions as compositional data. *Soil Sci.* 168, 501-515.
25. Mallah, S., Delsouz Khaki, B., Davatgar, N., Scholten, T., Amirian-Chakan, A., Emadi, M., et al. (2022). Predicting soil textural classes using random forest models: learning from imbalanced dataset. *Agronomy* 12 (Issue 11), 2613.
26. Padarian, J., Pérez-Quesada, J. and Seguel, O., 2012. Modelling the distribution of organic carbon in the soils of Chile. In: Minasny B, Malone BP, McBratney AB (eds), *Digital Soil Assessments and Beyond Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping* Taylor and Francis Group, London, pp 329-333
27. Pahlavan-Rad, M.R., K.H. Dahmardeh, M. Hadizadeh, G. Keykha, N. Mohammadnia, M. Gangali, M. Keikha, N. Davatgar, C. Brungard. 2020. Prediction of soil water infiltration using multiple linear regression and random forest in a dry flood plain, eastern Iran. *Catena*, 194(2020) 104715
28. Pahlavan-Rad, M.R., Akbarimoghaddam, A., 2018. Spatial variability of soil texture fractions and pH in a flood plain (case study from eastern Iran). *Catena* 160, 275-281.
29. Poggio, L., Gimona, A. 3D mapping of soil texture in Scotland. *Geoderma Reg.* 2017, 9, 5-16.
30. Robertson, G.P. 2000. *GS+: Geostatistics for the environment sciences*. GS+ User's Guide Version 5: Plainwell, Gamma design software, 200 p.
31. Song, Y.Q., yang, L.A., li, B., Hu, Y.M., wang, A.L., Zho, W., Cui, X.S. and liu, Y.L., 2017. Spatial Prediction of Soil Organic Matter Using a Hybrid Geostatistical Model of an Extreme Learning Machine and Ordinary Kriging. *Sustainability*, 754, 1-17
32. Tarasov, D.A., Buevich, A.G., Sergeev, A.P., Shichkin, A.V., 2017. High variation topsoil pollution forecasting in the Russian Subarctic: Using artificial neural networks combined with residual kriging, *Applied Geochemistry*, xxx, 1-10
33. Vaudour, E., Gomez, C., Fouad, Y., Lagacherie, P. Sentinel-2 image capacities to predict common topsoil properties of temperate and Mediterranean agroecosystems. *Remote Sens. Environ.* 2019, 223, 21-33.
34. Wang, Z., Shi, W., 2017. Mapping soil particle-size fractions: a comparison of compositional kriging and log-ratio kriging. *J. Hydrol.* 546, 526-541.
35. Wu, W., Yang, Q., Lv, J., Li, A., Liu, H. Investigation of remote sensing imageries for identifying soil texture classes using classification methods. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2019, 57, 1653-1663.
36. Xiao, J., Shen, Y., Tateishi, R., Bayaer, W., 2006. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *Int. J. Remote Sens.* 12, 2411-2422.

37. Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Jafari, A., Tajik, S., and Finke, P. 2019. Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. *Geoderma* 338, 445–452.
38. Zhang, SW., Shen, C.Y., Chen, X.Y., Ye, H.C., Huang, Y.F. and Lai, S. 2013. Spatial Interpolation of Soil Texture Using Compositional Kriging and Regression Kriging with Consideration of the Characteristics of Compositional Data and Environment Variables. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(9): 1673-1683.
39. Zheng, M., Wang, X., Li, S., Zhu, B., Hou, J., Song, K. Soil Texture Mapping in Songnen Plain of China Using Sentinel-2 Imagery. *Remote Sens.* 2023, 15, 5351.
40. Zhou, Y., Wu, W., Liu, H. Exploring the Influencing Factors in Identifying Soil Texture Classes Using Multitemporal Landsat-8 and Sentinel-2 Data. *Remote Sens.* 2022, 14, 5571.

Digital Mapping of Soil Texture Fractions Using Regression Kriging and Neural Network Residual Kriging Model

Mohammad Shahriari* , Mohammad Reza Pahlavan-Rad, Masoomeh Delbari, and Peyman Afrasiab

Researcher, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran. m.shahriari@areeo.ac.ir

Associate Professor, Soil and Water Research Department, Golestan, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. pahlavanrad@gmail.com

Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran P.O. masoome.delbari@uoz.ac.ir

Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol Zabol, Iran P.O. p-afrasib@yahoo.com

«Research Article»

Received: October 10, 2024 and Accepted: February 17, 2025

Abstract

The aim of this study was to predict digital mapping of soil texture fractions in agricultural lands of Sistan flood plain at a regional scale (area 1300 km²). A regression kriging (RK) with neural network residual kriging (RKNNRK) was used to examine the relation between auxiliary variables and the soil texture components. Soil texture fractions including percentage of sand, silt, and clay content were measured for 160 soil samples collected from surface layer (0-30 cm) of various soil series in agricultural land of Sistan Plain. The additive log-ratio (alr) transformation was applied to transform texture components prior to prediction. Remotely sensed data including Landsat 8's Band (1-8), NDVI index, brightness index, clay index, grain size index (GSI) were used as auxiliary variables for interpolation of soil texture fractions. 80 % of data was used for prediction and 20 % for validation, while RMSE, ME and MAE were used for evaluation. Results show the values of RMSE of estimating percentage of sand, silt, and clay at validation sites using RKNNRK method were 15 %, 14.3% and 7.18 %, respectively, and the values of RMSE of estimation by a RK model were 10%, 10.6%, and 3.5 % higher than those obtained by RKNNRK model. Both $silt_{alr}$ and $clay_{alr}$ showed a strong exponential-type spatial correlation. A strong spatial correlation was observed for $silt_{alr}$ and $clay_{alr}$. The residuals followed an exponential model of spatial structure for RK, and a spherical structure for RKNNRK. Therefore, RKNNRK model had higher accuracy when combined by remotely sensed data and it was a suitable method for mapping soil texture fractions in flood plain at regional scale.

Keywords: Auxiliary Variables, Neural Network Residual Kriging; Remote sensing; Soil texture fraction; Spatial variation

* - Corresponding authors email: m.shahriari@areeo.ac.ir



Comparison of Biological, Physical, and Chemical Soil Variables in Agricultural and Forest Lands under *Cupressus sempervirens* var. *Horizontalis* in Ramian, Golestan Province

Akram Ahmadi^{1*}, Mohammad Matinizadeh², Sepideh Zavar³, Saeed Shabani⁴,
Mohammad Karim Maghsoodlou⁵, Hossein Ghorbani⁶, Malihe Beheshtian⁷, Alireza
Rabiezadeh⁸, Tahereh Alizadeh⁹, Elham Nouri¹⁰, Hassan Faramarzi¹¹ and Maryam Sabti¹²

^{1, 4} Research Assistant Professor, Natural Resources Research Department, Golestan Province Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran.*Email:

Ahmadi.1870@gmail.com

² Research Associate Professor, Forest Research Department, National Forestry and Pasture Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

^{3, 5, 6} Research expert, Natural Resources Research Department, Golestan Province Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan

^{7, 8, 12} Researchers, Water and Soil Research Department, Golestan Province Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran.

^{9, 10} Research Expert, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

¹¹ PhD in Forestry, Natural Resources and Watershed Organization

«Research Article»

Received: September 23, 2024 and Accepted: March 16, 2025

Abstract

Cupressus sempervirens var. *horizontalis* species, as one of the valuable tree species in the Hyrcanian forests of northern Iran, plays a significant role in maintaining biodiversity and the ecological balance of forest ecosystems. Therefore, investigating soil characteristics in the cypress reserve is essential due to its role in preserving biodiversity and soil quality. Since land use change and land degradation impact soil properties, and given the importance of this issue, the aim of the present project was to examine the biological, physical, and chemical variables of soil in the Ramian cypress stand and adjacent agricultural land. This study was conducted in two one-hectare plots: one in agricultural land and one in the cypress stand. The methodology included recording general information and excavating soil profiles to study soil horizons. Soil samples were collected at a depth of 0–15 cm beneath the tree canopy, and physical, chemical, and biological properties of the soil were measured. Analysis of the biological data using independent t-tests revealed significant differences in basal respiration and nitrification rates between the two soil types. Specifically, basal respiration and nitrification were higher in the cypress stand ($4.33 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ dm} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$ and $1.714 \mu\text{g N} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dm} \cdot 5 \text{ h}^{-1}$), respectively than in the agricultural soil ($2.99 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ dm} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$ and $0.454 \mu\text{g N} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dm} \cdot 5 \text{ h}^{-1}$, respectively). However, there were no significant differences in microbial biomass and substrate-induced respiration between the two soils. Surface soil samples indicated that the agricultural soil had higher pH (7.96), phosphorus (23.42 mg/kg), potassium (275.2 mg/kg), silt (57.6%), and clay (29%) compared to the cypress stand soil (pH 6.58, phosphorus 10.54 mg/kg, potassium 163.8 mg/kg, silt 41.2%, and clay 4.8%). Conversely, the cypress stand soil exhibited higher electrical conductivity (1.36 dS/m), zinc (1.57 mg/kg), and sand content (54%) compared to the agricultural soil (0.41 dS/m, 1.07 mg/kg, and 13%, respectively). Both soils were classified as Inceptisols. Land use had differential effects on the physical and chemical properties of the soil, mediated by the dominant species, which produce diverse litter and root exudates, thereby regulating the size and activity of soil microbial communities as well as the organic and mineral elements of the soil.

Keywords: *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* reservoir, Land use, Soil management, Inceptisol

* - Corresponding author's email: Ahmadi.1870@gmail.com



Evaluation of the Effect of Soil Texture on the Precision of Rice Yield and Biomass Simulation Using the DSSAT Model at a Large Scale

Mojtaba Rezaei¹, Naser Davatgar², Ebrahim Amiri³ and Morteza Kamali⁴

¹ Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, (Email: mrezaei@yahoo.com)

² Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

³ Professor, Water Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

⁴ Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

«Research Article»

Received: March 16, 2025 and Accepted: April 22, 2025

Abstract

Crop growth models have high simulation precision at a small and field scale. However, their application at larger and regional levels significantly decreases model precision. Few studies have investigated the reasons for this phenomenon. The aim of the present study was to investigate the effect of soil texture on the precision of the DSSAT model for predicting rice yield and biomass at a large scale. First, the DSSAT model was calibrated and validated using field data, then, used to predict rice yield and biomass in 110 paddy fields in Soumeh-Sara County, Guilan Province, Iran. The required data was collected from the fields and entered into the model. Evaluation of the model output showed that the absolute error related to the model covered a relatively large range (up to 50%). However, the majority of this error occurred in the range of $\pm 30\%$. Also, the model precision was acceptable for average regional yield values, but the model precision decreased for maximum or minimum yield ranges. The results showed that the precision of the model's simulation of yield and biomass was inversely related to the amount of sand in the soil. The lowest model error, or the highest precision, was observed in the 0-15% sand group, and the highest error and lowest simulation precision were observed in the sand percentage group above 30%.

Keywords: Crop growth model, Model error, Yield in paddy field, Soil sand content

*- Corresponding author's email: mrezaei@yahoo.com



Effects of Integrated Optimal Nutrition on the Yield and Fruit Quality of Olive Trees in Southern Parts of Kerman Province

Javad Sarhadi¹, Saber Heidari^{*2}  and Mehri Sharif³

1-Assistant Prof., Soil and Water Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran. E-mail: javad.sarhadi2009@gmail.com

2- Assistant Prof., Soil and Water Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran. E-mail: s.heydary@areeo.ac.ir

3-Expert, Soil and Water Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran. E-mail: z.sh1394@yahoo.com

«Research Article»

Received: November 11, 2024 and Accepted: March 9, 2025

Abstract

This study evaluated the effects of optimal nutrition on the yield and fruit quality of olive trees in the Jabal Barez highlands, southern Iran, over two growing seasons. The experiment was conducted using a randomized complete block design with three treatments: control (T1), macro-nutrients fertilizers combined with decomposed manure (T2), and treatment 2 with added micronutrients (T3). Traits such as yield, fruit characteristics, and nutrient concentrations in olive leaves were assessed. The results showed that olive yield increased by 50.7% in the first and 72.5% in the second year under T3 compared to T1, indicating the significant role of integrated optimal nutrition in enhancing productivity. Additionally, T3-treated trees demonstrated substantial improvements in fruit size, weight, and concentrations of the major nutrients, including nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). Micronutrient uptakes, particularly iron (Fe), zinc (Zn), and manganese (Mn) were also significantly higher in T3-treated trees. Analyses revealed that the combination of chemical and organic fertilizers with micronutrients had a remarkable positive impact on overall olive productivity and fruit growth. Environmental factors, including rainfall variability and fertilizer residual effects between the two years, influenced the treatment impacts, with a stronger response observed in the second year. These findings underscore the importance of integrated nutrient management (INM) — incorporating organic and chemical fertilizers along with micronutrients — to improve fruit yield and quality. This study provides valuable insights for developing sustainable fertilization strategies for olive orchards in semi-arid regions, promoting the long-term productivity and soil health.

Keywords: Olive cultivation, Chemical fertilizers, Organic fertilizers, Yield improvement, Integrated Nutrient Management

* . Corresponding author's email: s.heydary@areeo.ac.ir



Determining the Critical Limit of Available Potassium for Corn (*Zea mays L.*) in Some Calcareous Soils

Marzieh Barati Zanyani¹^{*}, Alireza Hossienpur², Mohammad Hasan Salehi³
and Azam Jafari⁴

1-Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran.
marziehbarati99@yahoo.com

2-Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran.
alirezahosseinpur1347@gmail.com

3-Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran.
mehsalehi@yahoo.com

4-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman. Kerman, Iran. a.jafari@uk.ac.ir

«Research Article»

Received: March 3, 2025 and Accepted: April 26, 2025

Abstract

The present study, aimed to investigate the potassium status and determine the potassium (K) critical level by Mitscherlich-Bray, Cate-Nelson graphical, and Cate-Nelson variance analysis methods for corn plant (*Zea mays L.*) in some calcareous soils. Soil samples were collected (0-30 cm) from farmlands soils of Shahrekord Plain and selected 15 soil samples for pot experiment. Before planting, the potassium content of the soils was determined by using the of 1 N NH_4OAc , AB- DTPA, 0.1M barium chloride, 0.01M calcium chloride and Mehlich 1 methods. The greenhouse experiment was carried out as a factorial in the form of completely randomized design with two factors (types of soil and potash fertilizer amount) with three replications. At the end of the vegetative period, corn plants were harvested and plant indices including; dry matter weight, K concentration, K uptake, relative yield and plant response were determined. The results of the analysis of variance showed that the main effects of soil type and potassium fertilizer were significant ($p < 0.01$) on dry matter weight, K concentration and uptake. The results showed that different extractants, extracted varying concentrations of potassium. The average K extracted in the soils followed the order: 1N NH_4OAc > AB- DTPA > 0.1 M barium chloride > 0.01 M calcium chloride > Mehlich1. Based on the correlation between potassium extracted, by 1 N NH_4OAc , 0.1M barium chloride and 0.01M calcium chloride with relative yield indices, they can be considered as appropriate extractants for these soils. The results showed that the K critical level by using the Mitscherlich-Bray method in the 1N NH_4OAc , 0.1M barium chloride, and 0.01M calcium chloride were 257.6, 245.8, and 40.3 mg kg^{-1} , respectively. By using the Cate-Nelson graphical method, K critical level in the 1N ammonium acetate, 0.1M barium chloride, and 0.01M calcium chloride were 260, 240, and 43 mg kg^{-1} , respectively, and by using the Cate-Nelson of variance analysis, K critical level in those extractants were 325.5, 265.2, and 53.0 mg kg^{-1} of soil, respectively. The results of this study showed that the K critical level determined using the Cate-Nelson of variance analysis was higher than that of the other two methods.

Keywords: Shahrekord Plain, Cate-Nelson, Mitscherlich-Bray.

* - Corresponding author's email: marziehbarati99@yahoo.com



Analysis of Sugar Beet Nutritional Status in Shahroud County Using the Compositional Nutrient Diagnosis (CND) Method

Jalal Ghaderi^{1*} , Ahmad Akhyani²  and Kamal Khalkhal³ 

1. Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran. Corresponding author's E-mail: ghaderij@yahoo.com
2. Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Semnan (Shahrood) Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Iran. E-mail: AhmadAkhyani@yahoo.com
3. Researcher Expert of Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran. E-mail: kamalkhalkhal@yahoo.com

«Research Article»

Received: February 1, 2025 and Accepted: April 21, 2025

Abstract

Use of leaf nutritional assessments offers a promising approach to determine the mineral status of plants. Tissue analysis is a useful tool for evaluating and optimizing nutrients for sugar beet, using Compositional Nutrient Diagnosis (CND) method. Therefore, this study was conducted over two cropping years (2018-2019) to assess the nutritional status of sugar beet in Semnan Province fields (Shahroud County), Iran. Each year, 30 fields with diverse soil properties were selected from different regions. In this study, high-yield groups in sugar beet fields were distinguished using the CND method through mathematical, statistical approaches, and application of cumulative functions. The results showed that 83.3% and 45% of the fields, respectively, had phosphorus and potassium deficiencies in the soil, with an average yield of 61.1 t/ha across all fields. Based on the average CND indices, the priority order of required nutrients for low-yield fields was determined as N>P>K for macronutrients and Mn>Fe>B>Cu>Zn for micronutrients. Therefore, in order to increase the yield of sugar beet in this province, it is necessary to pay attention to N, Mn, and Fe fertilizers. The findings of this study can be practically applied to enhance yield and improve the quality of sugar beet. The CND method, by considering balanced and imbalanced nutritional conditions as well as nutrient excesses and deficiencies, not only recommends appropriate fertilizer applications, but also prevents fertilizer wastage and financial resource loss. This method revealed that approximately 53.75% of the fields in Shahroud County are in an imbalanced nutritional state due to improper fertilizer management.

Keywords: Plant analysis, Nutrients status, Fertilizer management.

*- Corresponding author's email: ghaderij@yahoo.com



Contents

Subject	Page
Analysis of Sugar Beet Nutritional Status in Shahroud County Using the Compositional Nutrient Diagnosis (CND) Method.....	19
Jalal Ghaderi1 , Ahmad Akhyani and Kamal Khalkhal	
Determining the Critical Limit of Available Potassium for Corn (Zea mays L.) in Some Calcareous Soils.....	20
Marzieh Barati Zanyani, Alireza Hossienpur, Mohammad Hasan Salehi and Azam Jafari	
Effects of Integrated Optimal Nutrition on the Yield and Fruit Quality of Olive Trees in Southern Parts of Kerman Province.....	21
Javad Sarhadi, Saber Heidari and Mehri Sharif	
Evaluation of the Effect of Soil Texture on the Precision of Rice Yield and Biomass Simulation Using the DSSAT Model at a Large Scale.....	22
Mojtaba Rezaei, Naser Davatgar, Ebrahim Amiri and Morteza Kamali	
Comparison of Biological, Physical, and Chemical Soil Variables in Agricultural and Forest Lands under Cupressus sempervirens var. Horizontalis in Ramian, Golestan Province.....	23
Akram Ahmadi, Mohammad Matinizadeh, Sepideh Zavar, Saeed Shabani, Mohammad Karim Maghsoodlou, Hossein Ghorbani, Malihe Beheshtian, Alireza Rabieezadeh, Tahereh Alizadeh, Elham Nouri, Hassan Faramarzi and Maryam Sabti	
Digital Mapping of Soil Texture Fractions Using Regression Kriging and Neural Network Residual Kriging Model.....	24
Mohammad Shahriari, Mohammad Reza Pahlavan-Rad, Masoomah Delbari, and Peyman Afrasiab	

Ministry of Jihad-e-Agriculture
Agricultural Research Education and Extension Organization

Soil and Water Research Institute Soil Science Society of Iran

**Research and Soientific Journal
Iranian Journal of Soil Research**

**Vol. 38, No.4
2025**

***Manager-in-Charge:* Hadi Asadi Rahmani, PhD
Director General, Soil and Water Research Institute
Editor-in-Chief: Hamid Siadat, PhD
Professor (Research), Soil and Water Research Institute**

Editorial Board

Mohammad Bybordi, PhD	University Lecturer
Hossein Besharati, PhD	Professor, Soil and Water Research Institute
Mohammad Reza Balali, PhD	Assistant Professor (Research), Soil and Water Research Institute
Kambiz bazargan, PhD	Associate Professor, Soil and Water Research Institute
Amir Fotovat, PhD	Professor, Ferdowsi University, Mashhad
Manochehr Gorji, PhD	Professor, Tehran University
Gholamhosien Haghnia, PhD	Professor, Ferdowsi University, Mashhad
Kazem Khavazi, PhD	Professor, Soil and Water Research Institute
Aziz Momeni, PhD	Associate Professor, Soil and Water Research Institute
Mohammad R. Neyshaboori, PhD	Professor, Tabriz University
Mohammad H. Roozitalab, PhD	Associate Professor Agricultural Research, Education and Extension Organization
Hassan Towfighi, PhD	Associate Professor, Tehran University

English Editor: Hamid Siadat, PhD
Type and design: Kiana Khomehchi

Address: P. O. Box: 31785-311, Karaj – IRAN
Tel / Fax: 026-36208796
Soil and Water Institute Website: www.swri.ir
Journal Website: www.srjournal.areeo.ir



Soil and Water Research Institute



Soil Science Society of Iran

Iranian Journal of Soil Research

(Soil and Water Sciences)

Volume 38 \ No.4 \ 2025

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject

Page

Analysis of Sugar Beet Nutritional Status in Shahroud County Using the Compositional Nutrient Diagnosis (CND) Method.....19

Jalal Ghaderi1 , Ahmad Akhyani and Kamal Khalkhal

Determining the Critical Limit of Available Potassium for Corn (Zea mays L.) in Some Calcareous Soils.....20

Marzieh Barati Zanyani, Alireza Hossienpur, Mohammad Hasan Salehi and Azam Jafari

Effects of Integrated Optimal Nutrition on the Yield and Fruit Quality of Olive Trees in Southern Parts of Kerman Province.....21

Javad Sarhadi, Saber Heidari and Mehri Sharif

Evaluation of the Effect of Soil Texture on the Precision of Rice Yield and Biomass Simulation Using the DSSAT Model at a Large Scale.....22

Mojtaba Rezaei, Naser Davatgar, Ebrahim Amiri and Morteza Kamali

Comparison of Biological, Physical, and Chemical Soil Variables in Agricultural and Forest Lands under Cupressus sempervirens var. Horizontalis in Ramian, Golestan Province.....23

Akram Ahmadi, Mohammad Matinizadeh, Sepideh Zavar, Saeed Shabani, Mohammad Karim Maghsoodlou, Hossein Ghorbani, Malihe Beheshtian, Alireza Rabiezadeh, Tahereh Alizadeh, Elham Nouri, Hassan Faramarzi and Maryam Sabti

Digital Mapping of Soil Texture Fractions Using Regression Kriging and Neural Network Residual Kriging Model.....24

Mohammad Shahriari, Mohammad Reza Pahlavan-Rad, Masoomeh Delbari, and Peyman Afrasiab