موسسه تحقیقات خاک و آب

انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی

پژوهش‌های خاک

http:// www.srjournal.areeo.ir

الف / جلد ۳۶ / شماره۴ سال ۱۴۰۱

ISSN: 2228 -7124

عنوان | فهرست | صفحه

بررسی تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی ۳۳۵
ساره پزشک، محمدجعفر ملکوتی، محمدمهدی طهرانی و لیلا رضاخانی

ارزیابی کاربرد نیترات کلسیم بر خصوصیات رشدی نهال ژنوتیپ‌های انتخابی انار در شرایط شور ۳۴۹
علی مومن‌پور، ساره صباحی، اعظم جعفری و مصطفی شیرمردی

ارزیابی شاخص های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه اسموت‌فلت‌سویل
در خاک‌های آهکی ۳۶۹
علی اسدی کنگرشاهی و نگین اخلاقی امیری

اثر کاربرد گوگرد بر شاخص‌های رشد نهال نارنج و برخی ویژگی‌های یک خاک غیرآهکی ۳۸۹
طاهره رئیسی و احسان کهنه

بررسی پراکنش مکانی کربن آلی خاک در منطقه فندوقلو استان اردبیل ۴۰۵
مهران بهتری، مهدی نادری خوراسگانی و احمد کریمی

بررسی کیفیت خاک در بخشی از اراضی کوهین استان قزوین ۴۲۷
فریدون سرمدیان و سجاد تیموری بردیانی

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات خاک و آب **انجمن علوم خاک ایران**

نشریه علمی

پژوهش‌های خاک

جلد 36 شماره (4)

1401

صاحب امتیاز: موسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

به استناد نامه شماره 3/11/3760 مورخ 1389/3/16 اعتبار علمی پژوهشی نشریه پژوهش‌های خاک تمدید شده است

مدیر مسؤول: **دکتر هادی اسدی رحمانی** **رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

سردبیر: **دکتر حمید سیادت** **استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر محمد بای بوردی	**مدرس دانشگاه**
دکتر حسین بشارتی	**استاد موسسه تحقیقات خاک و آب**
دکتر محمدرضا بلالی	**استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب**
دکتر کامبیز بازرگان	**دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب**
دکتر حسن توفیقی	**دانشیار دانشگاه تهران**
دکتر غلامحسین حق نیا	**استاد دانشگاه فردوسی مشهد**
دکتر کاظم خاوازی	**استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب**
دکتر محمدحسن روزیطلب	**دانشیار پژوهش سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی**
دکتر امیر فتوت	**استاد دانشگاه فردوسی مشهد**
دکتر منوچهر گرجی	**استاد دانشگاه تهران**
دکتر عزیز مؤمنی	**دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب**
دکتر محمدرضا نیشابوری	**استاد دانشگاه تبریز**

ویراستار انگلیسی: ***دکتر حمید سیادت***

تایپ و صفحه آرایی: **کبری علی نژاد**

تعداد انتشار در سال: **چهار شماره**

ایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش‌های خاک : **www.srjournal.areeo.ir**

ایگاه الکترونیکی موسسه تحقیقات خاک و آب: **www.swri.ir**

ایگاه الکترونیکی انجمن علوم خاک ایران: **www.soiliran.org**

درس الکترونیکی دفتر مجله: **majalehsoil@yahoo.com**

ین نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:

ایگاه استنادی علوم جهان اسلام (**ISC**): **www.isc.gov.ir**

همچنین در پایگاه (**ISC**) از ضریب تأثیر (**IF**) برخوردار می‌باشد

ایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: **www.sid.ir**

ایگاه سیویلیکا **www.civilica**

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعداز رزکان نو، بلوار امام خمینی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: 3177993545

تلفن و نمابر: 36208796 (026) ***آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: www.srjournal.areeo.ir***

عنوان | فهرست | صفحه

بررسی تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی 335
ساره پزشک، محمدجعفر ملکوتی، محمدمهدی طهرانی و لیلا رضاخانی

ارزیابی کاربرد نیترات کلسیم بر خصوصیات رشدی نهال ژنوتیپ‌های انتخابی انار در شرایط شور 349
علی مومن‌پور، ساره صباحی، اعظم جعفری و مصطفی شیرمردی

ارزیابی شاخص های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه اسموت‌فلت‌سویل
در خاک‌های آهکی 369
علی اسدی کنگرشاهی و نگین اخلاقی امیری

اثر کاربرد گوگرد بر شاخص‌های رشد نهال نارنج و برخی ویژگی‌های یک خاک غیرآهکی 389
طاهره رئیسی و احسان کهنه

بررسی پراکنش مکانی کربن آلی خاک در منطقه فندوقلو استان اردبیل 405
مهران بهتری، مهدی نادری خوراسگانی و احمد کریمی

بررسی کیفیت خاک در بخشی از اراضی کوهین استان قزوین 427
فریدون سرمدیان و سجاد تیموری بردیانی

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

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

2- 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.

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

4- 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 آزمایش هایی است که بیش از 3 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

نحوۀ نگارش مقاله

1- **مقاله حداکثر در 15 صفحۀ A4 با فاصلۀ خطوط 1/5 و حاشیه‌های 3 سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.**
2- **نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازۀ آنها مطابق جدول(1) استفاده شود.**
3- **پیش از نقطه (.) و کاما (،) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.**
4- **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 1- نوع قلم و اندازه

موقعیت استفاده	نام قلم	اندازه قلم
عنوان مقاله	Nazanin پر رنگ	14
متن مقاله	Nazanin	12
عناوین بخش های 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 شکل ها و منابع	Nazanin	11
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازۀ فارسی در هر موقعیت

نویسنده(گان) موظف هستند حداکثر 15 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 300 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 فایل-های پیشنیاز 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 20 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 300 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 6-3 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 دربرگیرندهٔ 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 کمیّت آن ستون باشد. اگر همهٔ 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●■▲ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمهٔ شکل و شمارهٔ 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 پیش بینی 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 **50** کلمه باشد.

فهرست منابع

شیوهٔ 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 ، 1389)

..... نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، 2010)

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 اوّل نام اوّلین نویسنده و سپس اوّل 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 نویسنده ای 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 (1382) گزارش کردند...
اسمیت (2002) گزارش کرد ...
اسمیت و جونز (2002) گزارش کردند...
اسمیت و همکاران (2002) 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.

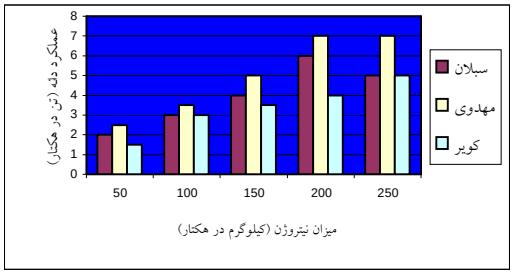
جدول نامناسب

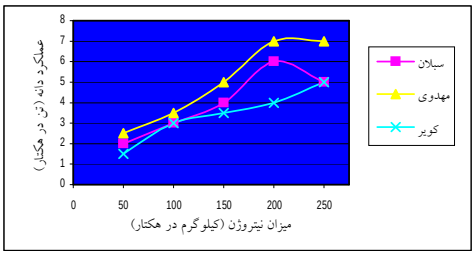
بافت	*Mgexch*	*Kavail.*	*Pavail*	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m-1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/2	0-30
لومی رسی	305	295	0/6	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	332	0/5	0/21	33	9/5	/8 7	60-90

جدول مناسب

بافت	Mg_{ex}	K_{av}	P_{av}	OC (%)	TNV (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	عمق (cm)
	($mg.kg^{-1}$)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/3	0-30
لومی رسی	305	295	/60	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	232	/50	0/21	33	9/5	7/8	60-90

نامناسب

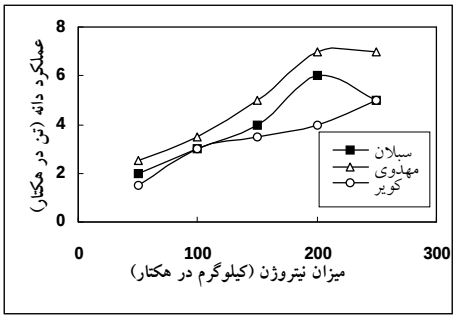




مناسب

نامناسب

مناسب



فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب ..... نویسنده مسئول مقاله زیر:

- **سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود**

موارد زیر را به آگاهی می رسانم:

1. **کلیه تهیه کنندگان مقاله از ارسال آن به دفتر مجله شما آگاهند**
2. **مقاله قبلاً در هیچ مجله داخلی و خارجی منتشر نشده است**
3. **مقاله تا زمان پایان بررسی در آن مجله به مجله دیگری ارسال نخواهد شد.**
4. **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 چهارم‌مقاله**

داوران مقالات واصله به دفتر نشریه پژوهش‌های خاک سه ماه چهارم سال 1401

دکتر حجت امامی	1 مقاله	دکتر عزیز مجیدی	1 مقاله
دکتر علی اسدی کنگرشاهی	1 مقاله	دکتر محمد حسین مهدیان	2 مقاله
دکتر هادی اسدی رحمانی	1 مقاله	دکتر منصور معیری	1 مقاله
دکتر مجید بصریت	1 مقاله		
دکتر حسین بشارتی	1 مقاله		
دکتر زلفی باوریانی	1 مقاله		
دکتر علی چراتی	1 مقاله		
دکتر میر سید حسینی	1 مقاله		
دکتر یعقوب حسینی	2 مقاله		
دکتر هوشنگ خسروی	1 مقاله		
دکتر عبدالمحمد دریاشناس	1 مقاله		
دکتر فرهاد دهقانی	1 مقاله		
دکتر طاهره رئیسی	1 مقاله		
دکتر محسن سیلسپور	3 مقاله		
دکتر محمد مهدی طهرانی	1 مقاله		
دکتر سعید غالبی	1 مقاله		
دکتر محی الدین گوشه	1 مقاله		
دکتر فرهاد مشیری	1 مقاله		
دکتر مهرزاد مستشاری	1 مقاله		

نشریه علمی پژوهش‌های خاک / الف / جلد 36 / شماره 4 / 1401

بررسی تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی

ساره پزشک[1]، محمدجعفر ملکوتی، محمدمهدی طهرانی و لیلا رضاخانی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ **PezeshkSareh1987@Gmail.com**

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ **mjmalakouti@modares.ac.ir**

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **mtehrani2000@yahoo.com**

محقق بخش تحقیقات شیمی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **leila.rezakhani@yahoo.com**

ص **335 - 347**

دریافت: **1401/2/19** و پذیرش: **1401/12/9**

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب کرج به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی 95-1394 اجرا گردید. عامل اصلی آبیاری در دو سطح آبیاری کامل و تنش (40 % کمتر از نیاز آبی گیاه)، عامل فرعی شامل محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم در سه سطح (صفر، 2/5 و 5 کیلوگرم در هکتار)، در سه مرحله‌ی ساقه-روی، ظهور سنبله و مرحله‌ی خمیری شدن و مصرف خاکی سیلیکات‌پتاسیم در دو سطح (صفر و 20 کیلوگرم در هکتار) در مرحله‌ی ساقه‌روی بود. نتایج نشان داد که کاربرد سیلیکات پتاسیم (مصرف خاکی و محلول‌پاشی) موجب افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم شد. کاهش آبیاری از 100% به 60% نیاز آبی گندم موجب کاهش عملکرد دانه گندم به مقدار 8/3% شد ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم این کاهش را جبران نمود به‌طوری که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه گندم با محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، 30/6% نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی بدست آمد و محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، موجب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار 31% نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم شد. از این رو با توجه به نتایج بازده اقتصادی در مقایسه با عرف کشاورزان می‌توان توصیه کرد که در شرایط تنش خشکی، از محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار طی مراحل رشد گندم استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، سیلیکات‌پتاسیم، گندم رقم سیوند

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی است و مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (نژاداحمدی و همکاران، 2013). تنش خشکی به‌طور میانگین سبب کاهش 50 درصدی عملکرد دانه گیاهان زراعی در جهان می‌شود (حیدری و کریمی، 2014). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کم بودن و توزیع غیریکنواخت بارندگی از سالی به سال دیگر، عملکرد سال‌های متوالی نوسانات فراوانی نشان می‌دهد. علاوه بر آن زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق، سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان می‌شود (مقصودی، 1395). نواحی تحت تنش به نواحی گفته می‌شود که میزان بارندگی سالانه آن‌ها کمتر از 500 میلی‌متر باشد (محمودی و همکاران، 1385). کشور ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک کره زمین، با مشکل کم‌آبی مواجه است و با متوسط نزولات 240 میلی‌متر در سال (یک سوم متوسط بارندگی جهان)، طبق تعریف آمبرژه، جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد و سالانه خسارات زیادی را از کمبود آب در بخش کشاورزی متحمل می‌شود (مقصودی، 1395).

رشد فزاینده جمعیت و نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی و محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی مسئله‌ی کم‌آبی را به‌گونه‌ای بسیار جدی فراروی کشور قرار داده است (پورمراد و همکاران، 1397). لذا تنش خشکی بایستی همواره به عنوان یکی از چالش‌های مهم تولید محصولات کشاورزی، مد نظر قرار بگیرد. به نظر می‌رسد که در شرایط کمبود آب، کاربرد و تنظیم غلظت برخی از عناصرغذایی می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش خشکی مؤثر باشد و زمینه سازگاری گیاه را فراهم آورد. تغذیه صحیح گیاه یکی از راهکارهای کاهش اثرهای زیان‌بار تنش‌ها است و نقش فراوانی در جلوگیری از کاهش عملکرد دارد. در همین ارتباط، نقش برخی عناصر نظیر سیلیسیم مورد توجه برخی متخصصین تغذیه گیاهی قرار گرفته است (صالح و همکاران، 1394; رضاخانی و همکاران، 2019). سیلیسیم دومین عنصر از لحاظ فراوانی در سطح کره زمین است و غلظت آن در محلول خاک از 0/01 تا 1/99 میلی‌مول در لیتر نوسان می‌کند (کرملاچعب و همکاران، 1392). گیاه گندم با هر بار کاشت در فصل رویشی حدود 50 تا 150 کیلوگرم سیلیسیم در هر هکتار از خاک برداشت می‌کند (بارکر و پیلبیم، 2007). بنابراین لازم است تا سیلیسیم برداشت شده از خاک جبران گردد. بررسی‌ها نشان داده است که سیلیسیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گیاه گندم و سورگوم به‌ویژه در مواقعی که گیاه در معرض تنش باشد، نقش مهمی دارد (رضاخانی و همکاران، 2019، 2020).

گنگ و همکاران (2008) در مورد اثر سیلیسیم در دفاع از گندم در برابر تنش اکسیداتیو تحت تنش خشکی نشان دادند که استفاده از سیلیسیم، پتانسیل آب گیاهان را در مرحله‌ی پرشدن دانه افزایش می‌دهد. با کاهش مقدار عوامل تنش اکسیداتیو نظیر پراکسیدهیدروژن، تحمل گیاه به تنش خشکی افزایش می‌یابد. سودمندی سیلیسیم در تحمل تنش خشکی در غلات مربوط به فعالیت بیشتر H^+-ATPas موجود در غشا و جذب بیشتر یون پتاسیم، افزایش غلظت داخل سلولی آن و جذب و نگهداری آب می‌باشد (کایا و همکاران، 2006). نتایج تحقیق طهرانی و همکاران (1401) بر اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر گیاه گندم رقم چمران در یک خاک آهکی با بافت لوم رسی سیلتی و با مقدار سیلیسیم قابل جذب 52 میلی‌گرم در کیلوگرم تحت شرایط تنش خشکی (60 درصد نیاز آبی) در استان هرمزگان، نشان داد که مصرف خاکی 20 کیلوگرم سیلیکات پتاسیم در هکتار، موجب افزایش 16 درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به عدم کاربرد سیلیکات پتاسیم شد. نتایج تحقیق کرملاچعب و همکاران (1393) بر روی اثر مصرف سیلیکات پتاسیم

بر عملکرد گندم رقم چمران در شرایط تنش خشکی در استان خوزستان، نشان داد که مصرف 30 کیلوگرم در هکتار سیلیکات پتاسیم، سبب افزایش عملکرد دانه گندم به مقدار 14 درصد شد. مقصودی و امام (1395) در پژوهش مزرعه‌ای که بر روی واکنش ارقام گندم نان به محلول‌پاشی 6 مولار سیلیکات سدیم در شرایط تنش خشکی بعد از گلدهی انجام دادند، نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، ارتفاع بوته و طول سنبله شد و محلول‌پاشی سیلیسیم موجب افزایش 16 درصدی عملکرد دانه شد. مهرگان و همکاران (1397) گزارش کردند که در گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) کاربرد سیلیسیم اثرات تنش خشکی را تعدیل کرد، به‌طوری‌که در همه سطوح خشکی تیمار سیلیسیم از منبع سیلیکات‌پتاسیم به‌ویژه با غلظت دو میلی‌مولار باعث افزایش رشد، وزن خشک گیاه و شاخص مقاومت به تنش شد. پارساپور و همکاران (1398) با بررسی تأثیر محلول-پاشی برگی سیلیسیم در شرایط تنش خشکی، نشان دادند که حضور سیلیسیم و به‌خصوص ذرات نانو نقش چشمگیری در بهبود عملکرد دانه گندم و همچنین توزیع مجدد مواد فتوسنتزی داشت. لی و همکاران (2007) اثر سیلیسیم را بر رشد گیاه ذرت تحت شرایط خشکی در گلخانه مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند تحت شرایط تنش ملایم و شدید، مصرف سیلیسیم باعث افزایش عملکرد گردید.

هر عاملی که عملکرد را افزایش دهد، کارایی مصرف آب را نیز افزایش می‌دهد. به همین ترتیب هر عاملی که تبخیر و تعرق را کاهش دهد و تأثیر نامطلوب زیادی بر عملکرد نداشته باشد، کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (هاشمی دزفولی و همکاران، 1374). عملکرد دانه و بازده مصرف آب، رابطهٔ مستقیم دارند .افزایش عملکرد دانه موجب افزایش بازده مصرف آب خواهد شد (نباتی، 1383). سیلیسیم به جهت تأثیر مستقیمی که بر بهبود وضعیت جذب و انتقال آب در آوندها دارد، موجب افزایش کارایی مصرف آب خواهد شد (ما و یاماجی، 2006). نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که کاربرد سیلیسیم کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد به طوریکه سیلیسیم در دیواره‌های سلولی اپیدرم در هر دو سطح برگ تجمع می‌یابد. در نتیجه تلف شدن آب از کوتیکول کاهش می‌یابد. هم‌چنین هنگامی‌که تعرق زیاد است از فروریختن آوندها جلوگیری می‌نماید. علاوه بر این، سیلیسیم از شدت تعرق گیاه نیز می‌کاهد. یکی از علت‌های کاهش بازده مصرف آب تلفات آب از طریق روزنه‌های باز برای گیاهانی است که از اتمسفر اطراف، CO_2 جذب می‌کنند. سیلیسیم از طریق افزایش هدایت CO_2 (شن و همکاران، 2010) و صرفه‌جویی در تلفات آب با تغییر در پاسخ روزنه‌ای و جبران آب از دست رفته از برگ‌ها با تسهیل جذب و انتقال آب بر این معضل غلبه می‌کند (هاتوری و همکاران، 2007). سیلیسیم با جلوگیری از تلفات آب در اطراف روزنه و اصلاح خواص فیزیکی دیواره‌ی سلول‌های نگهبان بر هدایت روزنه‌ای اثر می‌گذارد (یوئنو و آگاریا، 2005). هم‌چنین ماهیت آبدوستی سیلیسیم می‌تواند به حفظ آب در برگ‌ها کمک کند (رومرو آراندا و همکاران، 2006) و از سوی دیگر به شکل یک مانع، از دست دادن آب از طریق کوتیکول را بوسیله‌ی کریستال‌های ذخیره شده در سلول-های اپیدرمی کاهش دهد (ترنهولم و همکاران، 2004).

رسوب سیلیسیم در ریشه‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها موجب استحکام دیواره‌ی سلولی و کاهش تعرق کوتیکولی می‌شود، بنابراین مقاومت به تنش خشکی را افزایش می‌دهد (ما و یاماجی، 2006). بنابراین اثرهای مفید سیلیسیم با تنزل بیش از حد آب توسط تعرق (ساوانت و همکاران، 1999) یا با رسوب کریستال‌های سیلیکات در زیر سلول‌های اپیدرمی برگ‌ها و ساقه‌ها (ترنهولم و همکاران، 2004) ارتباط دارد که می‌تواند تلفات آب از طریق کوتیکول را کاهش دهد. با توجه به افزایش جمعیت جهان تا سال 2050 میلادی و نیاز غذایی بیشتر، افزایش تولید در واحد سطح گندم که یکی از اساسی‌ترین و مهم‌ترین منابع تغذیه در کشور به شمار

می‌رود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (صیادی و همکاران، 1398). از آنجا که مطالعات در زمینه کاهش آب مصرفی و یافتن راه‌حل مناسب برای جبران آن در مزارعی که با مشکل کم‌آبی مواجه هستند، مورد توجه کمی قرار گرفته است، لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی (1395-1394) در مزرعه‌ی تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در 15 کیلومتری شهر کرج با موقعیت جغرافیایی 50 درجه و 57 دقیقه طول شرقی و 35 درجه و 45 دقیقه عرض شمالی با ارتفاع 1280 متری از سطح دریا، میانگین بارندگی سالانه 252 میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه 13/4 درجه سانتی‌گراد به صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار با کشت گندم رقم سیوند (Sivand) (موسسه اصلاح بذر و تهیه نهال) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل، فاکتور اصلی رژیم آبیاری در دو سطح آبیاری کامل (100 درصد نیاز آبی گندم) و تنش (40 درصد کمتر از نیاز آبی به‌صورت کاهش ساعت آبیاری در هر دوره) و فاکتور فرعی شامل شش تیمار، شاهد (F_0H_0)، مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سیلیکات‌پتاسیم (F_0H_{20})، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار ($F_{2.5}H_0$)، محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار به‌همراه مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار ($F_{2.5}H_{20}$)، محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با غلظت پنج در هزار (F_5H_0) و محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با غلظت پنج در هزار به‌همراه مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار (F_5H_{20}) بود. سیلیکات‌پتاسیم (سیلیسیم 30 و پتاسیم 15 درصد) به‌صورت محلول‌پاشی در سه مرحله‌ی ساقه‌روی، ظهور سنبله و مرحله‌ی خمیری شدن و به‌صورت مصرف خاکی در مرحله‌ی ساقه‌روی مورد استفاده قرار گرفت. برای خنثی بودن اثر پتاسیم، کود کلرور پتاسیم به کرت‌های شاهد در حالت تنش و آبیاری کامل داده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل کاشت اندازه‌گیری شد (جدول 1).

جدول 1- ویژگی‌های خاک مزرعه مؤسسه تحقیقات خاک و آب در عمق 30-0 سانتیمتری

بافت خاک	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	SP	O.C	P	K	Mn	Fe	Zn	Cu	B	Si
			درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم (شکل قابل جذب)							
لوم	1/55	7/7	30/35	0/72	14/2	273	15/6	4/38	1/92	1/58	0/62	34

آب مورد استفاده برای آبیاری مزرعه با اسیدیته 7/51 و هدایت الکتریکی برابر با 390 میکرو زیمنس بر سانتی‌متر کیفیت مطلوبی برای استفاده داشت. زمین محل مورد آزمایش در طول سال قبل آیش بود. دوره‌های آبیاری بر اساس آمارهای پیش‌بینی هواشناسی و رطوبت خاک مشخص شد. آبیاری با سیستم آبیاری قطره‌ای با فشار و دبی مشخص نازل‌ها انجام شد. تنش از اواسط فروردین ماه به‌صورت اختلاف ساعت آبیاری نسبت به آبیاری کامل اعمال شد. اعمال تنش آبی با تنظیم دبی آب مصرفی در هر نوبت آبیاری به کمک پارشال فلوم در ورودی آب به هر کرت و با توجه به مشخص بودن میزان نیاز آبی گندم در محل اجرای تحقیق بود. پس از اتمام دوره رشد گیاه، میزان تبخیر و تعرق و نیاز آبی بر اساس معادله پنمن منتیث فائو (FAO Penman-Monteith equation) به‌صورت دقیق توسط نرم‌افزار Cropwat برآورد شد و با مقدار آب داده

شده به مزرعه مقایسه شد و درصد اعمال تنش به‌صورت دقیق محاسبه شد (جدول 2).

جدول 2- میزان آب آبیاری و نیاز آبی گیاه

برآورد نیاز آبی توسط نرم‌افزار نت وات (m^3)	آبیاری	میزان آب آبیاری (m^3)	نیاز آبی محل موردنظر توسط نرم‌افزار کراپ وات (m^3)	درصد آبیاری نسبت به نیاز آبی
3800	معمولی	3315/72	2957	-
	تنش	1901/97		64/3

بر اساس نتایج تجزیه‌ی خاک و نیاز تغذیه‌ای گندم، 300 کیلوگرم در هکتار کود اوره گرانول به‌صورت سرک در سه تقسیط، 100 کیلوگرم در هکتار مونوپتاسیم فسفات، 100 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و 100 کیلوگرم در هکتار کود کامل میکرو به‌صورت مصرف خاکی همراه با آب آبیاری و هم‌چنین محلول‌پاشی کود مونوپتاسیم فسفات با غلظت 6 در هزار در مرحله ساقه‌روی بر روی تمامی کرت‌های آزمایشی به‌صورت یکسان اعمال شد. هر کرت دارای 9 خط کشت با ابعاد دو در دو مترمربع با فاصله یک متر بین تکرارها بود. چند نوبت وجین علف به‌صورت دستی بر روی تمامی کرت-های آزمایشی انجام گرفت. در طی فصل رشد کلیه مراقبت‌های لازم صورت گرفت. برداشت نهایی در مرحله رسیدگی کامل دانه‌ها با حذف 30 سانتی‌متر از هر طول و عرض کرت از سطحی حدود 2 مترمربع (5 خط کشت) انجام شد. صفات شامل عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی اندازه-گیری شد. همچنین کارایی مصرف آب (WUE)[1] (عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم به ازای واحد آب مصرفی بر حسب مترمکعب) محاسبه شد. برای تجزیه‌ی آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل فاکتور آبیاری (تنش خشکی) و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و بر وزن هزاردانه و کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما بر صفات طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و ارتفاع اندام هوایی معنی‌دار نبود (جدول 3).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاهش آبیاری از 100 درصد به 60 درصد نیاز آبی گندم، موجب کاهش عملکرد دانه گندم به مقدار 8/3 درصد شد ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم، کاهش عملکرد را جبران نمود به‌طوری که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه با کاربرد سیلیکات پتاسیم 30/6 درصد افزایش یافت و بیشترین مقدار عملکرد دانه معادل (8100 کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم بدست آمد و با تیمارهای ($F_{2.5}H_{20}$ و F_0H_{20}) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط بدون تنش نیز کاربرد سیلیسیم موجب افزایش عملکرد دانه گندم به مقدار 18/3 درصد شد (جدول 4). مقدار افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی بیشتر بود. عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی در تیمارهای مصرف سیلیکات پتاسیم شامل ($F_{2.5}H_0$ و F_0H_{20} و F_5H_0 و $F_{2.5}H_{20}$)، با عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل (F_0H_0 و F_5H_{20}) در یک گروه آماری قرار گرفت.

1. Water use efficiency

جدول 3-تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پارامترهای اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد دانه	وزن هزاردانه	طول خوشه	ارتفاع اندام هوایی	تعداد دانه در خوشه	کارایی مصرف آب
تکرار	2	34614^{ns}	1/72^{ns}	0/015^{ns}	3/02^{ns}	0/66^{ns}	0/017^{ns}
تنش خشکی (A)	1	3850312**	39/70*	0/010^{ns}	131/25**	0/01^{ns}	2265**
خطا (A)	2	555239**	2/20^{ns}	0/011^{ns}	29/35^{ns}	0/39^{ns}	0/371**
سیلیکات پتاسیم (B)	5	1895875**	21/96**	0/206**	86/93**	10/58**	0/097**
تنش خشکی×سیلیکات پتاسیم	5	305741*	22/94**	0/002^{ns}	8/44^{ns}	0/42^{ns}	0/119**
خطا (B)	18	79805	5/07	0/18	8/67	0/49	0/011
ضریب تغییرات%	-	3/60	5/16	1/53	2/76	1/36	3/4

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال 5% و 1%

جدول 4- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد دانه گندم

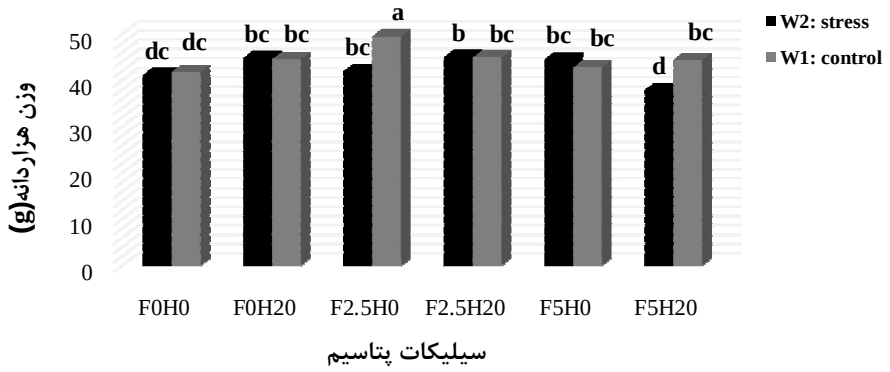
سطوح آبیاری	سیلیکات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
100% نیاز آبی	F_0H_0	7200c
	$F_{2.5}H_0$	8466a
	F_5H_0	8516a
	F_0H_{20}	8233a
	$F_{2.5}H_{20}$	8383a
	F_5H_{20}	7900ab
60% نیاز آبی	F_0H_0	6200d
	$F_{2.5}H_0$	7066c
	F_5H_0	8100ab
	F_0H_{20}	7900ab
	$F_{2.5}H_{20}$	8083ab
	F_5H_{20}	7466bc

نتایج تحقیق حقیقت‌نیا و طهرانی (1398) بر رشد گندم رقم شیرودی در یک خاک آهکی با مقدار سیلیسیم قابل جذب 19/8 میلی‌گرم در کیلوگرم تحت شرایط تنش خشکی (60 درصد نیاز آبی) در استان فارس، نشان داد که مصرف خاکی 20 کیلوگرم سیلیکات پتاسیم در هکتار و محلول‌پاشی 5 کیلوگرم سیلیکات پتاسیم در هکتار، موجب افزایش به‌ترتیب 8/5 و 10 درصدی عملکرد دانه گندم شد. کاربرد سیلیسیم با افزایش شاخص افت دمای سایه‌انداز گیاهی و یا به عبارتی کاهش دمای سایه‌انداز گیاهی منجر به بهبود اجزای عملکرد و در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی می‌گردد (مقصودی و امام، 1395). در تحقیقی محلول-پاشی 1/5 میلی‌مولار از این کود، عملکرد دانه را به نسبت محلول‌پاشی یک میلی‌مولار و عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب 5/74 و 11/80درصد افزایش داد (خواجه و همکاران، 2015). کاربرد سیلیسیم در گلرنگ باعث افزایش معنی-داری عملکرد دانه شد به‌طوری‌که با افزایش سیلیسیم از صفر به 2 میلی‌مولار، عملکرد دانه 8/3 درصد افزایش یافت (امیری و همکاران، 2014). تغذیه بهینه سیلیسیم سبب افزایش رشد و تولید حجمی و وزنی ریشه‌ها می-شود که در نهایت سطح کل جذب‌کننده عناصر افزایش می‌یابد (یوسفی و اثنی عشری، 1396). کاربرد سیلیسیم

در غلات موجب افزایش مقدار محصول و افزایش درصد پر شدن دانه می‌شود که از این طریق باعث افزایش عملکرد می‌گردد (فلاح و همکاران، 2004). سیلیسیم تحت شرایط تنش، باعث افزایش عملکرد در گندم، ذرت و برنج می‌گردد (لی و همکاران، 2007; گنگ و چن، 2012). همچنین در تحقیقی کاربرد سیلیسیم موجب بهبود و افزایش عملکرد دانه ارقام گندم گردید و بیشترین تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیسیم در شرایط تنش خشکی 40 درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و افزایش 16 درصدی عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد به همراه داشت، که با نتایج گرفته شده از این تحقیق مطابقت دارد (مقصودی و امام، 1395).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد سیلیکات پتاسیم در هر دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش، موجب افزایش وزن هزاردانه گندم نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم شد به‌طوریکه بیشترین مقدار وزن هزاردانه (49/5 گرم) مربوط به محلول‌پاشی با غلظت 2/5 در هزار سیلیکات‌پتاسیم ($F_{2.5}H_0$) در شرایط آبیاری کامل (عدم تنش خشکی) بود که سبب افزایش 18/53درصدی وزن هزاردانه نسبت به شاهد خود شد (شکل 1). در شرایط تنش خشکی وزن هزاردانه گندم با کاربرد خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سیلیکات پتاسیم و محلول‌پاشی 2/5 در هزار سیلیکات پتاسیم ($F_{2.5}H_{20}$)، به مقدار 9/5 درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. همچنین تنها در این سطح از کاربرد سیلیکات پتاسیم در شرایط 60 درصد نیاز آبی، مقدار وزن هزاردانه بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود.

نتایج تحقیق مقصودی و امام (1395) نشان داد که وزن هزاردانه گندم تحت تأثیر معنی‌دار تنش خشکی 60 و 40 درصد ظرفیت زراعی قرار گرفت، محلول‌پاشی سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار 14/52 و 19/21 درصدی وزن هزاردانه به ترتیب در شرایط تنش ملایم و شدید در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داد که کاربرد سیلیسیم در برنج باعث افزایش وزن هزاردانه گردید که این افزایش بیشتر به خاطر جایگزینی این عنصر در پالئا (درون پوشینه) و لما (برون پوشینه) بوده است. سیلیسیم هم‌چنین از طریق انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی سبب افزایش وزن هزاردانه می‌شود (خدابنده‌لو و همکاران، 1393).



شکل 1- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر وزن هزاردانه گندم

F: محلول پاشی سیلیکات پتاسیم

H: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم

F_0H_0: شاهد (بدون مصرف سیلیکات پتاسیم)

F_0H_{20}: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

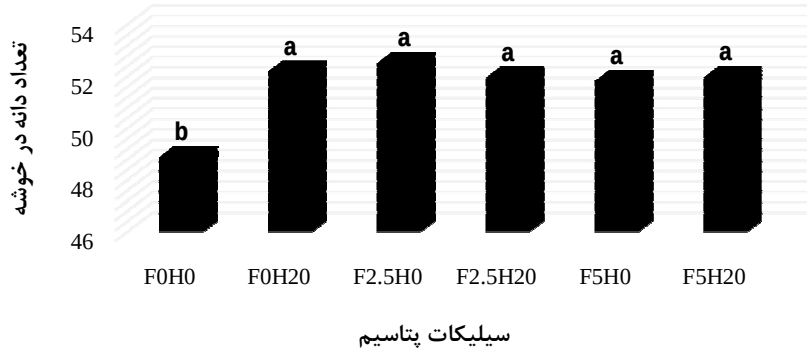
$F_{2.5}H_0$: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار

$F_{2.5}H_{20}$: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار و مصرف خاکی 20 کیلوگرم بر هکتار

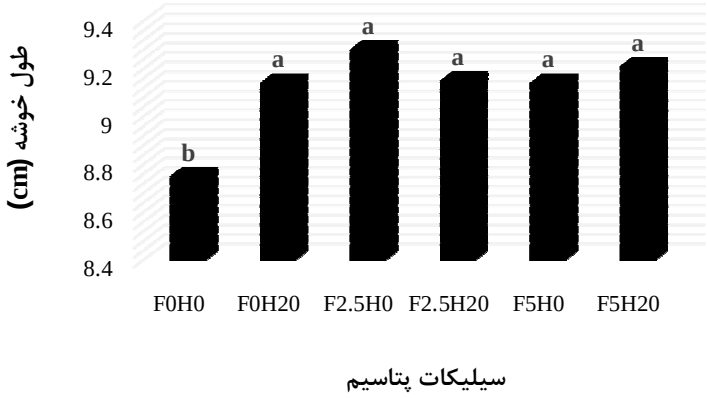
F_5H_0: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 5 در هزار

F_5H_{20}: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار و مصرف خاکی با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

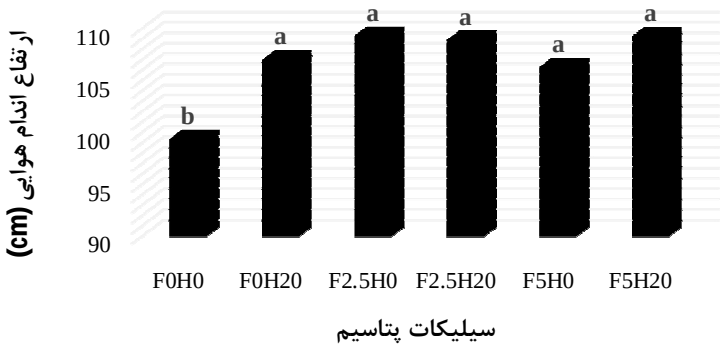
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سیلیکات پتاسیم بر تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد سیلیسیم (مصرف خاکی و محلول‌پاشی) موجب افزایش تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد سیلیسیم) شد. در بین باقی تیمارها اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد (شکل 2 و 3 و 4).



شکل 2- مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد سیلیکات پتاسیم بر تعداد دانه در خوشه گندم



شکل 3- مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد سیلیکات پتاسیم بر طول خوشه گندم



شکل 4- مقایسه میانگین اثر اصلی سیلیکات پتاسیم بر ارتفاع اندام هوایی گندم

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی، کارایی مصرف آب با کاربرد سیلیکات پتاسیم نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. بیشترین کارایی مصرف آب از محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم در شرایط 60 درصد نیاز آبی گندم بدست آمد و با تیمار مصرف خاکی 20 کیلوگرم در هکتار سیلیکات پتاسیم به همراه محلول‌پاشی 2/5 در هزار سیلیکات پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول 5).

پژوهش‌های زیادی انجام شده است که نشان می‌دهد با کاهش مصرف آب و اعمال تنش خشکی، علیرغم کاهش معنی‌دار عملکرد محصول، کارایی مصرف آب یعنی تولید به ازای واحد آب مصرفی، افزایش پیدا می‌کند (وارگا و همکاران، 2015؛ جعفری و همکاران، 1397)، هرچند در برخی پژوهش‌ها نیز تنش خشکی، کاهش کارایی مصرف آب را بدنبال داشته است (رحیمی و همکاران، 1398). در تحقیقی که توسط خدابنده‌لو و همکاران (1393) در گیاه ارزن انجام شد نتایج نشان داد که مصرف سیلیسیم همراه آب آبیاری به همراه محلول-پاشی سیلیسیم و تیمار عدم مصرف آن که به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند، دارای بیشترین و کمترین بازده مصرف آب بودند. سیلیسیم میزان جذب یون سدیم و کلسیم را در ریشه و بخش هوایی کاهش می‌دهد. کاهش جذب سدیم در تیمارهای سیلیسیم به دلیل اثر ممانعتی سیلیسیم بر میزان تعرق گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. در مجموع، مصرف عنصر سیلیسیم ضمن کاهش اثر منفی تنش کم آبی در گیاه، موجب افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد (رضوی، 1385؛ امیری‌نژاد، 1391). نتایج آزمایش‌های محمدنیا و همکاران (1397) بر روی ریحان، همچنین فراهانی و همکاران (1400) بر روی گل محمدی نیز نشان داد که کاربرد سیلیکات‌پتاسیم باعث افزایش کارایی مصرف آب شد، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

جدول 5-کارایی مصرف آب تحت دو رژیم آبیاری 60 و 100 درصد نیاز آبی گندم

سطوح آبیاری	سیلیکات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
100% نیاز آبی 3316 مترمکعب در هکتار	F_0H_0	7200c	2/17f
	$F_{2.5}H_0$	8466a	2/55e
	F_5H_0	8516a	2/56e
	F_0H_{20}	8233a	2/48e
	$F_{2.5}H_{20}$	8383a	2/53e
	F_5H_{20}	7900ab	2/38ef
60% نیاز آبی 1902 مترمکعب در هکتار	F_0H_0	6200d	3/26d
	$F_{2.5}H_0$	7066c	3/72c
	F_5H_0	8100ab	4/27a
	F_0H_{20}	7900ab	4/15ab
	$F_{2.5}H_{20}$	8083ab	4/25a
	F_5H_{20}	7466bc	3/92bc

F: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم

H: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم

F_0H_0: شاهد (بدون مصرف سیلیکات پتاسیم)

F_0H_{20}: مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

$F_{2.5}H_0$: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار

$F_{2.5}H_{20}$: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 2/5 در هزار و مصرف خاکی 20 کیلوگرم بر هکتار

F_5H_0: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 5 در هزار

F_5H_{20}: مصرف توأم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار و مصرف خاکی با غلظت 20 کیلوگرم بر هکتار

جدول 6- برآورد مقادیر هزینه-فایده

کود سیلیکات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	افزایش عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	قیمت گندم* (ریال)	افزایش درآمد هکتاری (هزار ریال)	هزینه کود (هزار ریال)	میزان سود (هزار ریال)
محلول‌پاشی 2/5	866	115000	99590	5250	94340
محلول‌پاشی 5	1900	115000	218500	10500	208000
مصرف خاکی 20	1700	115000	195500	15000	180500
مصرف خاکی 20+محلول‌پاشی 2/5	1883	115000	216545	20250	196295
مصرف خاکی 20+محلول‌پاشی 5	1266	115000	145590	25500	120090

*قیمت یک کیلو گندم 115000 ریال در سال 1401

نتیجه‌گیری کلی

بر طبق نتایج پژوهش حاضر، کاربرد سیلیکات پتاسیم (مصرف خاکی و محلول‌پاشی) موجب افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه و ارتفاع اندام هوایی گندم شد. کاهش آبیاری از 100 درصد به 60 درصد نیاز آبی گندم، موجب کاهش عملکرد دانه گندم به مقدار 8/3 درصد شد ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم این کاهش را جبران نمود به‌طوری که در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه گندم با محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، 30/6 درصد نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. همچنین موجب افزایش 12/5 درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به شاهد (آبیاری 100 درصـد و عدم کاربرد سیلیسیم) گردید. از این رو در شرایط تنش خشکی می‌توان تا حدودی مصرف بهینه آب را با کاربرد سیلیکات پتاسیم در مزرعه مدیریت نمود. بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی (60 درصد نیاز آبی گندم) بدست آمد و محلول‌پاشی پنج در هزار سیلیکات پتاسیم، موجب افزایش کارایی مصرف آب به مقدار 31 درصد نسبت به عدم کاربرد سیلیسیم شد. به طورکلی مصرف سیلیکات پتاسیم سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم و کارایی مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی شد و توانست اثرات سوء تنش خشکی را کاهش دهد. با توجه به نتایج بازده اقتصادی (جدول 6) در مقایسه با عرف کشاورزان می‌توان توصیه کرد که در شرایط تنش خشکی، از محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت پنج در هزار، طی مراحل رشدی گندم استفاده شود.

فهرست منابع

1. پارساپور، ع.، ع، بخشنده.، م.ح، قرینه.، ح، فیضی.، و م.ر، مرادی تلاوت. 1398. تأثیر محلول‌پاشی برگی و سیلیسیم دی اکسیدنانو و غیرنانو بر عملکرد و توزیع مجدد ماده خشک گندم در شرایط تنش خشکی. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. 12(2): 388-377.
2. پورمراد، م.، م.ج، ملکوتی.، و م.م، طهرانی. 1397. بررسی اثر اسیدهیومیک و اسیدفولویک بر روی عملکرد گندم و کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی).32(5):977-985.
3. حقیقت‌نیا، ح.، و م.م، طهرانی. 1398. بررسی تأثیر سیلیکات پتاسیم بر گندم رقم شیرودی تحت شرایط تنش خشکی. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. زنجان.
4. خدابنده‌لو، ش.، ع، سپهری.، گ، احمدوند.، و الف.ح، کشتکار. 1393. اثر مصرف سیلیکون برعملکرد دانهٔ ارزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی. مجله به‌زراعی کشاورزی. 16(2):399-416.
5. صالح، ج.، ن، نجفی.، و ش، اوستان. 1394. تأثیر مصرف سیلیسیم بر رشد، ترکیب شیمیایی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط شور. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 72. صفحات 229-240.
6. صیادی، ف.، م، سعیدی.، س، جلالی هنرمند.، ش، ساسانی.، و م.الف، قبادی. 1398. اثر تنش کم‌آبی انتهای فصل بر خصوصیات فیزیولوژیکی منابع جاری، ذخیره‌ای و ظرفیت تولیدی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) مناطق معتدله. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. 11(2): 723-737.
7. طهرانی، م.م.، ل، رضاخانی. 1401. بررسی تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گندم و کارایی کود و آب در شرایط تنش خشکی. گزارش نهایی با شماره فروست 62096. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

8. فراهانی، ح.، ن، ساجدی.، ح، مدنی.، م، چنگیزی.، و م.ر، نائینی. 1400. تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم برکارایی مصرف آب، خصوصیات عملکردی و عملکرد اسانس گیاه گل محمدی (*Rosa damascena* Miller) در شرایط تنش کمبود آب. نشریه علوم باغبانی ایران. 52(1):171-182.

9. کرملاچعب، ع.، م.ح، قرینه.، ع، بخشنده.، م.ر، مرادی تلاوت.، و ق، فتحی. 1392. تأثیر کاربرد سیلیسیم بر صفات فیزیولوژیکی و رشد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی آخر فصل. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. 5 (4): 433-442.

10. محمدنیا، ر.، ع، رضایی‌نژاد.، و ص، بهرامی‌نژاد. 1397. تأثیر دور آبیاری و کاربرد سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). نشریه علوم باغبانی ایران. 49(1):37-45.

11. مقصودی، ک.، و ی، امام. 1395. واکنش ارقام گندم نان به برگ‌پاشی سیلیسیم در شرایط تنش خشکی بعد از گلدهی. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 6(19): 1-13.

12. مهرگان، ب.، ص، موسوی‌فرد.، و ع، رضایی‌نژاد. 1397. تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) تحت تنش خشکی. نشریه به‌زراعی کشاورزی. 20(1): 299-314.

13. نباتی، ج. 1383. اثر فواصل آبیاری بر خصوصیات زراعی، مورفولوژیکی و کیفی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. پایان نامه کارشناسی ارشد.

14. هاشمی‌دزفولی، الف.ل.، ع، کوچکی.، و م، بنیان اول. 1374. افزایش عملکرد گیاهان زراعی (تألیف ان. کا. فاجریا.)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ اول.

15. یوسفی، ر.، و م، اثنی‌عشری. 1396. تأثیر میکرو و نانوذرات سیلیسیم بر غلظت عناصر پرمصرف، کم‌مصرف و میزان سیلیسیم گیاه توت‌فرنگی در شرایط کشت بدون خاک. نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. 8(1):57-71.

16. یوسفی، م.، ش، انتشاری.، م، سعادتمند. 1393. بررسی تأثیر تیمار سیلیسیم بر برخی خصوصیات ریخت‌شناسی، تشریحی و فیزیولوژیک گاوزبان ایران. نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال پنجم، شماره 18.

17. Barker, A.V., and D.J, Pilbeam. 2007. Hand book of Plant Nutrition. CRC Press. New York, USA.

18. Gong, H., and K, Chen. 2012. The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. Acta Physiologiae Plantarum. 34: 1589-1594.

19. Hattori, T., K, Sonobe., S, Inanaga., P, An., W, Tsuji., H, Araki., A.E, Eneji., and S, Morita. 2007. Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. Environmental and Experimental Botany. 60: 177-182.

20. Heidari, M., and V, Karami. 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 13(1): 9-13.

21. Kaya, C., L. Tuna., and D, Higgs. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. Journal of Plant Nutrition. 29: 1469-1480.

22. Li, Q.F., C.C, Ma., and Q.L, shang. 2007. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 18(3): 531-536.

23. Ma, J., and N, Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science 11: 392-397.

24. Nezhadahmadi, A., Z.H, Pradhan., and G, Faruq. 2013. Drought tolerance in wheat. The Scientific World Journal. 12 pp.
25. Rafi, M.M., and E, Epstein., R.H, Falk. 1997. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Physiology. 151: 497.
26. Rezakhani, L., B, Motesharezadeh., M.M, Tehrani., H, Etesami., and H, Mirseyed Hosseini. 2019. Phosphate–solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source. Ecotoxicology and Environmental Safety.173:504-513.
27. Rezakhani, L., B, Motesharezadeh., M.M, Tehrani., H, Etesami., and H, Mirseyed Hosseini. 2020. Effect of Silicon and Phosphate-Solubilizing Bacteria on Improved Phosphorus (P) Uptake Is Not Specific to Insoluble P- Fertilized Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Plants. Journal of Plant Growth Regulation. 39 (1): 239-253. doi:10.1007/s00344-019-09978-x
28. Romero-Aranda, M.R., O, Jurado., and J, Cuartero. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Plant Physiology. 163: 847-855.
29. Savant, N.K., G.H, Snyder., and L.E, Datnoff. 1999. Silicon management and sustainable rice production. In: advances in agronomy. V. 58. D. L. Sparks ed. Academic press, San Diego. Ca. Pp. 151-199.
30. Shen, X., Y, Zhoua., L, Duana., Z, Li., A.E, Eneji., and J, Li. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. Journal of Plant Physiology. 167: 1248-1252.
31. Trenholm, L.E., L.E, Datnoff., and R.T, Nagara. 2004. Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustine grass. Hort Technology. 14:487-490.
32. Ueno, O., and S, Agarie. 2005. Silica deposition in cell walls of the stomatal apparatus of rice leaves. Plant Production Science. 8:71-73.

ارزیابی اثر نیترات کلسیم بر ویژگی های رشد نهال ژنوتیپ‌های انتخابی انار در شرایط شور

علی مومن‌پور[1]، ساره صباحی، اعظم جعفری و مصطفی شیرمردی

استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران؛ a.momenpour@areeo.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، یزد، ایران؛ sa.sabahi@yahoo.com

استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، یزد، ایران؛ jafari.azam@yahoo.com

استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، یزد، ایران؛ Shirmardi.m@yahoo.com

ص 349 - 367

دریافت: 1401/9/10 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

به‌منظور ارزیابی کاربرد نیترات کلسیم بر برخی از ویژگی‌های رشد ژنوتیپ‌های انتخاب شده انار در شرایط شور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با دو عامل ژنوتیپ و رقم در شش سطح (پوست سیاه اردکان، چاه افضل، نرک لاسجرد سمنان، وحشی بابلسر،ملس یزدی و رباب نیریز) و تیمار نیترات کلسیم در سه سطح شاهد(0)، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار در سه بلوک و در هر بلوک با 3 تکرار و در مجموع با 162 درخت در شوری ثابت آب آبیاری 0/5±9 دسی زیمنس برمتر در سال 1399-1398 در ایستگاه چاه افضل مرکز ملی تحقیقات شوری، انجام شد. نتایج نشان داد که نوع ژنوتیپ و سطح نیترات کلسیم بر تغییرات صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و غلظت عناصر غذایی به طور معنی‌داری مؤثر است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین و کمترین درصد نکروزه‌گی (12% و 2%)، نسبت سطح برگ (1845 و 879 میلی‌متر مربع برگرم وزن خشک)، محتوی رطوبت نسبی (80/8% و 52/4%)، کلروفیل کل (11/4 و 6/45 میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، محتوی پتاسیم (0/378% و 0/322%) و کمترین و بیشترین محتوی سدیم (1/88% و 2/75%)، محتوی نشت یونی (14/85% و 30/02%) و نسبت سدیم به پتاسیم (0/118 و 0/197) به ترتیب در ژنوتیپ‌های چاه افضل و با کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم و رقم رباب نیریز بدون کاربرد نیترات کلسیم مشاهده شد. ژنوتیپ چاه افضل از طریق حفظ خصوصیات رشدی خود و افزایش جذب پتاسیم در مقابل سدیم، شرایط رشدی مناسبتری نسبت به سایر ژنوتیپ های مطالعه شده در این تحقیق از خود نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار از نیترات کلسیم در ابتدای فصل رشد به طور معنی-داری موجب بهبود خصوصیات رشدی و کاهش اثرات مخرب سدیم در تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد. لذا توصیه می‌شود با توجه به میزان شوری آب و خاک باغات، از این ترکیب در ابتدای فصل رشد استفاده گردد.

واژه های کلیدی: آب‌های شور، نسبت سدیم به پتاسیم، پایه انار، ژنوتیپ چاه افضل

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: یزد، مرکز ملی تحقیقات شوری.

مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum* L گیاهی مثمر از تیره انار (*Punicacea*) می‌باشد که آن را بومی ایران و کشورهای همسایه می‌دانند. با توجه به خواص ارگانولپتیکی (*Organoleptic*) میوه انار و مزایای آن برای سلامتی انسان، مصرف انار در دهه‌های اخیر به طور قابل توجهی افزایش یافته است (رودریگز و همکاران، 2016). بر اساس آخرین داده‌های فائو و وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت انار در جهان بیش از 300 هزار هکتار می‌باشد که کشور ایران با دارا بودن سطح زیرکشت حدود 75 هزار هکتار و میزان تولید سالیانه یک میلیون و 98 هزار تن، مقام اول تولید و صادرات آن را در جهان به خود اختصاص داده است (احمدی و همکاران، 1397). یکی از ضروریات توسعه کمی و کیفی محصول انار معرفی ارقام و ژنوتیپ‌های مناسب و سازگار آن با شرایط اقلیمی، آبی و خاکی هر منطقه می‌باشد و از آنجا که کشت و پرورش عمده درختان انار در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور صورت می‌پذیرد و در این مناطق مسأله خشکی به همراه شوری آب و خاک بسیار قابل توجه است (نائینی و همکاران، 2006؛ حیدری شریف‌آباد، 1380). موقعیت جغرافیایی، کمبود نزولات آسمانی، زیاد بودن میزان تبخیر از سطح خاک از دلایل اصلی پتانسیل بالای شوری در این مناطق از لحاظ عوامل طبیعی می‌باشد (ولی‌پور و همکاران، 1387).

در نتیجه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری خاک و آب و کمبود آب به‌عنوان عوامل اصلی کاهش رشد و عملکرد گیاهان به شمار می‌روند. بنابراین استفاده از آب‌های شور به‌منظورتولید محصولات کشاورزی، غیرقابل اجتناب است. در کل با افزایش شوری آب آبیاری بر شوری خاک نیز اضافه می‌شود که آن نیز عوامل دیگری را در رابطه با آب و گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد (اسکیزبرا و همکاران، 2009). یکی از موثرترین راهکارها برای بهره برداری بهتر از منابع خاک و آب شور، شناسایی و انتخاب ارقام متحمل به شوری و استفاده از آن‌ها در مناطق شور است (مانس و تستر، 2008).

تحقیقات نشان داده است، آستانه تحمل به شوری آب آبیاری و خاک برای درختان انار به‌ترتیب 1/8 و 2/7 دسی‌زیمنس –بر متر می‌باشد به‌طوری‌که در شوری 5/4 دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری و 8/4 دسی‌زیمنس بر متر محلول خاک به میزان 50 درصد از عملکرد آن کاسته می‌شود (ماس و هافمن، 1977؛ فیپس، 2003). بنابراین، در انار نیز همانند سایر درختان میوه، انتخاب پایه و پیوندک‌های متحمل، راهبرد بسیار مناسبی به منظور کاهش عوارض ناشی از شوری به‌ویژه در نواحی خشک کشور می‌باشد. در این راستا تحقیقی بر روی 12 ژنوتیپ انتخابی انار (شیشه‌کپ فردوس، ملس یزدی، ملس ساوه، رباب نیریز، گلنار زینتی ساوه، گلنار زینتی سروستان، گلنار زینتی شهداد، نرک لاسجرد سمنان، وحشی بابلسر، پوست سیاه اردکان، چاه افضل و وشیک ترش سراوان) با میانگین شوری خاک در پنج سطح (1/5، 3/8، 6/2، 9/3 و 12/6 دسی‌زیمنس برمتر)، انجام شد.

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، بیشترین آستانه تحمل به شوری در ژنوتیپ‌های چاه افضل، پوست سیاه اردکان و رقم ملس یزدی، به‌ترتیب به میزان (4/90، 4/38 و 4/17 دسی‌زیمنس‌برمتر)، و کمترین مقدار شیب کاهش عملکرد (بر حسب عملکرد ماده خشک تولیدی) در ژنوتیپ‌های چاه افضل، پوست سیاه اردکان و نرک لاسجرد سمنان به‌ترتیب به میزان (2/83، 2/88 و 2/89 درصد)، مشاهده شد. کاهش 50 درصدی عملکرد در ژنوتیپ‌های چاه افضل، پوست سیاه اردکان و نرک لاسجرد سمنان به ترتیب در شوری‌های 22/37، 21/74 و 21/10 دسی‌زیمنس برمتر، مشاهده شد. در پژوهش‌های قبلی گزارش شده بود که در شوری 8/4 دسی‌زیمنس‌بر-متر تا میزان 50 درصد از عملکرد (بیوماس) درختان انارکاسته می‌شود، در حالیکه نتایج این پژوهش نشان داد که در ژنوتیپ‌های چاه افضل، پوست سیاه اردکان و نرک لاسجرد سمنان در شوری 8/4 دسی‌زیمنس بر متر تنها به

ترتیب 10/47، 11/58 و 13/30 درصد از عملکرد کاسته شد (مومن پور و همکاران، 1399).

پژوهش‌های انجام یافته نشان می‌دهند که شاخص‌های مورفولوژیک انار و سایر درختان میوه از جمله رشد طولی شاخساره، قطر تنه، ضخامت برگ‌ها و حوزه گسترش ریشه‌ها با افزایش شوری، کاهش می‌یابند که علت این کاهش رشد و عملکرد را معمولاً مربوط به سمیت یونی و تنش خشکی ناشی از افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک دانسته‌اند (نایینی و همکاران، 2005؛ مومن پور و همکاران، a و b 1394؛ مومن پور و ایمانی، 2018؛ مومن پور و همکاران، 2018؛ مومن پور و همکاران، 2022).

در پژوهشی میزان تحمل چند رقم انار به شوری آب آبیاری با هدایت الکتریکی 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس برمتر بررسی و گزارش شد که ارقام انار عکس‌العمل متفاوتی به سطوح مختلف شوری نشان دادند. در این تحقیق انارهای 'ملس یزدی' و 'تب و لرز' تحمل نسبتاً خوبی از خود نشان دادند به‌طوری‌که توانستند شوری 7 دسی‌زیمنس برمتر را تحمل نمایند (اخوتیان اردکانی و همکاران، 2010). جدیدی و همکاران (2020) در آزمایشی میزان تحمل به شوری قلمه‌های یکساله ریشه‌دار شده ارقام انار از جمله، ملس ساوه، ملس اصفهان، رباب قرمز شیراز (رباب) گابری یزد، گابری ترش یزد، زاغ سفید یزد، زاغ ترش یزد و ملس پیشوا را بررسی و گزارش کردند، در سطح شوری 12 دسی‌زیمنس برمتر کمترین ارتفاع گیاه مربوط به رباب و ملس پیشوا و کمترین کاهش رشد در قطر گیاه مربوط به زاغ ترش یزد و گابری یزد مشاهده شد. آن ها همچنین گزارش کردند، در سطوح شوری بالا، مقدار کلروفیل برگ در ارقام انار نسبت به شاهد کاهش یافت و ارقام یزد از جمله گابری یزد، گابری ترش یزد، زاغ سفید یزد و زاغ ترش یزد، تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری داشتند. در تحقیق دیگری جماعتی اردکانی و همکاران (1400) اثر تنش شوری بر روی ژنوتیپ‌های مختلف انار را بررسی و گزارش کردند، نوع ژنوتیپ و سطوح شوری بر تغییرات صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و غلظت عناصر غذایی مؤثر است. در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه شده با افزایش سطح شوری، شاخص‌های مورد مطالعه شامل ارتفاع شاخه، قطر شاخه، تعداد برگ کل، درصد برگ‌های سبز، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوی آب نسبی، شاخص کلروفیل، کلروفیل a، b و کل، کاهش و درصد برگ‌های نکروزه کاهش یافت. درحالیکه درصد برگ‌های ریزش یافته، نسبت وزن تر ریشه به وزن تر اندام هوایی، درصد نشت یونی، درصد سدیم، درصد کلر، و نسبت سدیم به پتاسیم برگ‌ها افزایش یافتند.

علاوه بر نقش نوع پایه و رقم انتخابی در افزایش تحمل به شرایط نامناسب خاک و آب‌های نامتعارف و شور، کلسیم از جمله عناصری است که در بهبود و اصلاح اثرات مخرب سدیم بر رشد نقش به‌سزایی دارد (بایوئلو جیمنز و همکاران، 2003). گزارش شده است، جذب انتخابی یون‌هایی مانند پتاسیم، آهن و روی (Zn) توسط ریشه گیاهان، در صورت وجود میزان مناسبی از کلسیم بهبود یافته و به مقدار بیشتری جذب ریشه گیاه می‌شوند (بایوئلو جیمنز و همکاران، 2003). گزارش شده است که بسیاری از گیاهان حساس به شوری مانند گوجه‌فرنگی و لوبیا به مقدار زیادی کلسیم نیاز دارند و در صورت وجود غلظت مناسبی از کلسیم، مقاومت این گیاهان به شوری بیشتر شده و افزایش در عملکرد آن‌ها مشاهده می‌گردد. زیرا وجود کلسیم در خاک از تجمع سدیم در گیاه جلوگیری می‌کند (بایوئلو جیمنز و همکاران، 2003). برای حصول نتیجه، انتخاب مناسب نمک کلسیم حائز اهمیت می‌باشد. در بیشتر تحقیقات از کلرید، سولفات و نیترات کلسیم برای مقابله با شوری استفاده شده است. نمک‌های کلسیم از دو جنبه با هم تفاوت دارند: 1- میزان حلالیت این نمک‌ها در آب که غلظت‌های متفاوتی از یون کلسیم را در محلول غذایی گیاه فراهم می‌کند. این ویژگی با pH و دما تغییر می‌کند. 2- تفاوت در آنیون آن‌ها که با تأثیر کلسیم بر گیاه تحت تنش ارتباط دارد (بایوئلو جیمنز و همکاران، 2003).

با توجه به نتایج پژوهش‌های قبلی (مومن پور و همکاران، 1399)، ژنوتیپ‌های چاه افضل، پوست سیاه اردکان، نرک لاسجرد سمنان و وحشی بابلسر به عنوان پایه و ارقام ملس یزدی و رباب نیریز به عنوان شاهد جهت انجام آزمایشات و مطالعات تکمیلی و کاشت در ایستگاه چاه افضل با آب و خاک شور انتخاب شدند. لذا این پژوهش در ادامه تحقیقات قبلی و با هدف بررسی خصوصیات رشدی 6 ژنوتیپ انتخابی انار در شرایط آب و خاک شور و ارزیابی کاربرد غلظت‌های مختلف نیترات کلسیم بر ویژگی‌های رشدی آن‌ها انجام پذیرفت.

مواد و روش ها

تهیه موادگیاهی و شرایط آزمایش

به‌منظور ارزیابی کاربرد نیترات کلسیم بر برخی از ویژگی‌های رشدی ژنوتیپ‌های انتخاب شده انار، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با دو عامل ژنوتیپ و رقم در شش سطح ('پوست سیاه اردکان'، 'چاه افضل'، 'نرک لاسجرد سمنان'، 'وحشی بابلسر'، 'ملس یزدی و 'رباب نیریز') و تیمار نیترات کلسیم در سه سطح 0 (شاهد)، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب 30 و 60 گرم به ازای هر درخت)، در سه بلوک و در هر بلوک با 3 تکرار و در مجموع با 162 درخت در شوری ثابت آب آبیاری 9±0/5 دسی زیمنس برمتر در سال 1398-1399 در ایستگاه چاه افضل مرکز ملی تحقیقات شوری، انجام شد. به‌منظور انجام این تحقیق، ابتدا از گیاهان مادری واقع در کلکسیون ذخایر ژنتیکی انار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، قلمه-های خشبی به طول 27±3 سانتی‌متر و قطر 10±1 میلی-متر در دهه سوم بهمن ماه 1396 تهیه شد (اخوتیان و همکاران، 2010). همچنین به منظور تکثیر ژنوتیپ چاه افضل، قلمه‌گیری از یکی از درختان شناسایی شده در این منطقه که تحت شرایط آب و خاک شور رشد کرده بود و دارای وضعیت مطلوبی از نظر رشد رویشی و کمیت و کیفیت میوه داشت، هم‌زمان با سایر ژنوتیپ‌های مطالعه شده انجام شد. سپس قلمه‌ها به مدت پنج ثانیه در محلول ایندول بوتریک اسید با غلظت 2500 میلی‌گرم در لیتر قرار گرفتند و در کیسه‌های پلاستیکی حاوی ماسه کشت و پس از آن نهال‌های یک ساله ریشه‌دار شده کاملا یکنواخت و یک اندازه از نظر طول و قطر انتخاب و در اوایل بهمن ماه 1397به مزرعه انتقال داده شدند و با فاصله کشت 2*3 (2 متر روی ردیف و 3 متر بین ردیف ها) کشت شدند (اخوتیان و همکاران، 2010). از هر ژنوتیپ 36 نهال در مزرعه کشت گردید که از بین آن ها 27 نهال دو ساله برای هر ژنوتیپ که دارای وضعیت رشدی مناسبتری بودند، جهت اعمال تیمارها و یادداشت برداری انتخاب شدند. در تمامی طول دوره آزمایش، به طور منظم تمامی علف‌های هرز و پاجوش‌ها حذف می‌شدند.

اعمال تیمار تنش شوری و نیترات کلسیم

در تمامی مدت این آزمایش، تمامی درختان با آب چاه با شوری 9/3±0/3 دسی زیمنس برمتر و به صورت غرقابی آبیاری شدند (جدول 1). به منظور جلوگیری از تجمع نمک در طول آزمایش، کسر آبشویی 30 درصد و دور آبیاری ثابت 12 روز در نظر گرفته شد. در هر دور آبیاری هر کرت به مدت 23±2/5 دقیقه آبیاری می‌شد. به منظور کنترل شوری در طول دوره آزمایش نمونه‌های خاک از عمق توسعه شامل (0-30، 30-60 و 60-90) تهیه و هدایت الکتریکی آن اندازه گیری می‌شد (جدول 2و 3).

جدول 1- ویژگی‌های کیفی آب چاه مورد استفاده

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کلسیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	منیزیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	سدیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	بی کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	کلر (میلی‌اکی والان بر لیتر)	سولفات (میلی‌اکی والان بر لیتر)
9/45	7/95	17/94	17/70	66/90	0	4/60	66/36	40/27

جدول 2- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از شروع آزمایش.

ویژگی	نماد	مقدار	ویژگی	نماد	مقدار
شوری (دسی‌زیمنس‌بر متر)	EC	10/90	بی کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	HCO_3^-	3/64
واکنش خاک	pH	7/41	سولفات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	SO_4^{2-}	40/19
سدیم(میلی‌اکی والان بر لیتر)	Na^+	68/98	شن (درصد)	Sand	54/5
منیزیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	Mg^{2+}	17/18	سیلت (درصد)	Silt	45
کلسیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	Ca^{2+}	23/24	رس (درصد)	Clay	0/5
کلر(میلی‌اکی والان بر لیتر)	Cl^-	59/39	بافت	Texture	سیلتی لوم
کربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)	CO_3^{2-}	0			

جدول 3- میانگین EC و pH خاک محل مورد آزمایش در طول دوره آزمایش

ویژگی	نماد	مقدار
شوری عمق 30-0 سانتی متر (دسی‌زیمنس‌برمتر)	EC	8/0±99/51
شوری عمق 60-30 سانتی متر (دسی‌زیمنس‌برمتر)	EC	9/0±41/55
شوری عمق 90-60 سانتی متر (دسی‌زیمنس‌برمتر)	EC	10/0±12/68
واکنش خاک عمق 30-0 سانتی‌متر	pH	7/0±46/05
واکنش خاک عمق 60-30 سانتی‌متر	pH	7/0±36/04
واکنش خاک 90-60 سانتی‌متر	pH	7/0±15/04

در تمامی مدت آزمایش سعی می‌شد با تنظیم و کنترل حجم آبیاری در هر دور آبیاری، علاوه بر اعمال کسر آبشویی، همواره Ec خاک در محدوده Ec آب آبیاری باشد و از تجمع نمک در خاک جلوگیری گردد. بدین منظور از دستگاه تعیین‌گر جبهه رطوبتی (WFD) استفاده شد. از دستگاه WFD برای برآورد میزان نفوذ عمقی و درصد وقوع کسر آبشوئی در مزرعه استفاده می‌شود. تعیین گر جبهه رطوبتی ابزاری کارآمد و در عین حال ساده است که برای کمک به آبیاری دقیق طراحی شده است. نحـوه نصـب این دستگاه به گونه ای است که در یک تـراز معـین در عمق خاک نصب می شود که قسمت ورودی قیف آن کاملاً افقی باشد، در این حالت حجم آب مازاد زهکش شده از ناحیـه فوقانی قیف مذکور در مخزن تحتانی دستگاه ذخیره می‌شـود (رحیمیان و همکاران، 1400). در شروع فصل رشد (اوایل اسفند ماه 1398) و در اولین دور آبیاری درختان، تیمار نیترات کلسیم به صورت کود آبیاری و در یک نوبت و با غلظت‌های0 (شاهد)، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب 30 و 60 گرم به ازای هر درخت)، اعمال شد. در این کود، حداقل نیتروژن کل 15/5 درصد وحداقل میزان کلسیم محلول در آب به صورت کلسیم 19 درصد، بود.

اندازه‌گیری صفات

به‌منظور اندازه‌گیری درصد برگ‌های نکروزه، در طول آزمایش تا پایان مدت آزمایش تعداد برگ‌های نکروزه شمارش و بر تعداد کل برگ‌ها تقسیم شدند (مومن پور و همکاران، a و b 1393). به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ گیاهان، هشت برگ از قسمت میانی شاخه‌های اصلی انتخاب و سطح برگ آن‌ها در پایان آزمایش با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل (LI-Cor, Li 1300, USA)اندازه‌گیری شد (مومن پور و همکاران، 2018). به‌منظور محاسبه نسبت سطح برگ، برگ‌های که نسبت سطح برگ آن‌ها محاسبه شده بودند، به مدت 48 ساعت در دمای 75 درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس وزن خشک برگ گیاهان محاسبه گردید. از تقسیم سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع بر وزن خشک بر حسب گرم، نسبت سطح برگ محاسبه شد (مومن پور و همکاران، 2018).

به منظور اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌های a، b و کل، 0/2 گرم از بافت تازه برگ‌های شاخه اصلی توزین و

در هاون چینی توسط استون 80 درصد عصاره‌گیری شد. از محلول فوقانی حاصل پس از عمل سانتریفیوژ برای اندازه-گیری کلروفیل استفاده شد و میزان جذب نور برای کلروفیل a وb به ترتیب در طول موج‌های 663 و 645 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR2000)، اندازه‌گیری شد (آرنون، 1949).

به منظور اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ (RWC)، چهار برگ کامل و تازه از وسط شاخه اصلی در پایان فصل و قبل از خزان برگ‌ها انتخاب شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر (FW)، به مدت 24 ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر در شرایط تاریکی قرار داده شدند تا آماس نمایند. بعد از خارج کردن برگ‌ها از آب مقطر و حذف رطوبت اضافی، وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد (TW). سپس نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شوند. در نهایت میزان نسبی آب برگ از طریق رابطه زیر محاسبه شد (رابطه 1)، (یاماساکی و دلینبرگ، 1999).

(رابطه 1)

$$RWC= [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100$$

به‌منظور اندازه‌گیری نشت یونی نسبی، 0/5گرم برگ از هر رقم جداگانه وزن و در داخل ویال‌های شیشه‌ای ریخته شدند و 25 میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه شد. نمونه‌ها به مدت 24 ساعت درون شیکر با دمای 24 درجه سانتی-گراد و با سرعت 120 دور در دقیقه قرار داده شدند و پس از 24 ساعت میزان هدایت الکتریکی اولیه (LT)، آن‌ها به وسیله دستگاه EC متر دیجیتالی (مدل Metrohm 644) اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام بن ماری در دمای 120 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و مجدداً به مدت دو ساعت شیکر شدند و میزان هدایت الکتریکی نهایی (LO) آن‌ها اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد نشت یونی طبق فرمول 100×(LT/LO) محاسبه شد (لوتس و همکاران، 19995).

به‌منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی، برگ‌ها از نهال‌ها در اوسط شهریور ماه جدا شدند و پس از شستشوی دقیق، به مدت 48 ساعت در آون با دمای 75 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن برگ‌ها، نمونه‌ها با آسیاب برقی به صورت پودر شدند. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی در دمای 550 درجه سانتی-گراد، عصاره‌گیری با استفاده از 10 میلی لیتر کلریدریک اسید 2 نرمال و آب مقطر و رساندن به حجم 50 میلی‌لیتر انجام شد. در نهایت غلظت سدیم و پتاسیم در عصاره با دستگاه فلیم‌فتومتر (Jenway, PFP7, England) اندازه-گیری شدند. همچنین عناصر کلسیم و منیزیم نیز به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (امامی، 1996).

تجزیه آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9/1)، انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و نرم‌افزار MSTATC (ورژن 10. 2)، صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر برهمکنش نیترات کلسیم و ژنوتیپ بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده

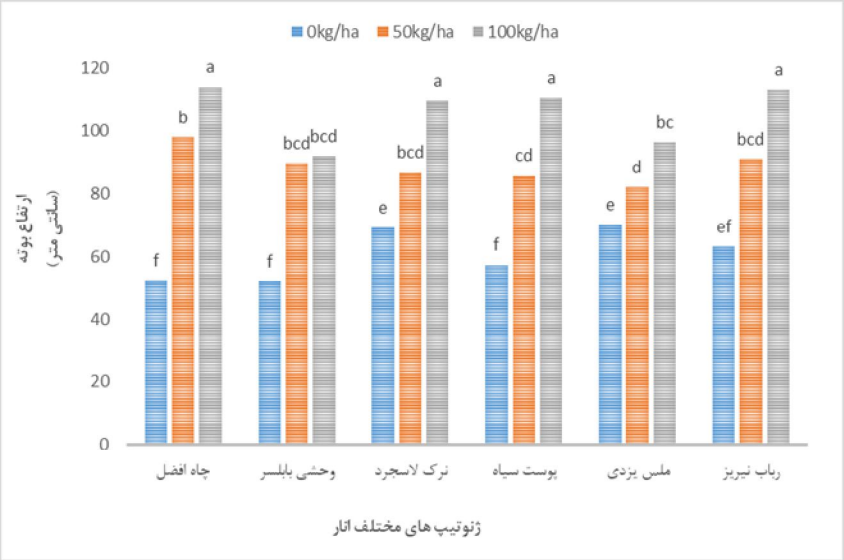
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر متقابل ژنوتیپ و کاربرد نیترات کلسیم بر ارتفاع ژنوتیپ‌های انار در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شد (جدول 4).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین ارتفاع بوته با میانگین 114سانتی‌متر مربوط به ژنوتیپ چاه افضل و با کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بود که فاقد اختلاف معنی‌دار با ژنوتیپ‌های پوست سیاه، نرک لاسجرد و رباب نیریز در این تیمار بود. در نقطه مقابل، کمترین میزان ارتفاع در ژنوتیپ وحشی بابلسر، چاه افضل و پوست سیاه و بدون مصرف نیترات کلسیم مشاهده شد (شکل 1).

جدول 4- نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر نیترات کلسیم و نوع ژنوتیپ بر صفات سطح برگ، ارتفاع و نکروزه گی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		نسبت سطح برگ	ارتفاع	نکروزه گی
تکرار	2	5154/25^{ns}	19/85^{ns}	1/68^{ns}
ژنوتیپ	5	311983/10**	171/21**	41/04**
$CaNO_3$	2	1486428/44**	9380/57**	62/90**
ژنوتیپ * $CaNO_3$	10	136222/14**	191/75**	3/50**
خطا	34	8331/01	41/42	0/78
ضریب تغییرات (%)	-	7/14	7/55	18/17

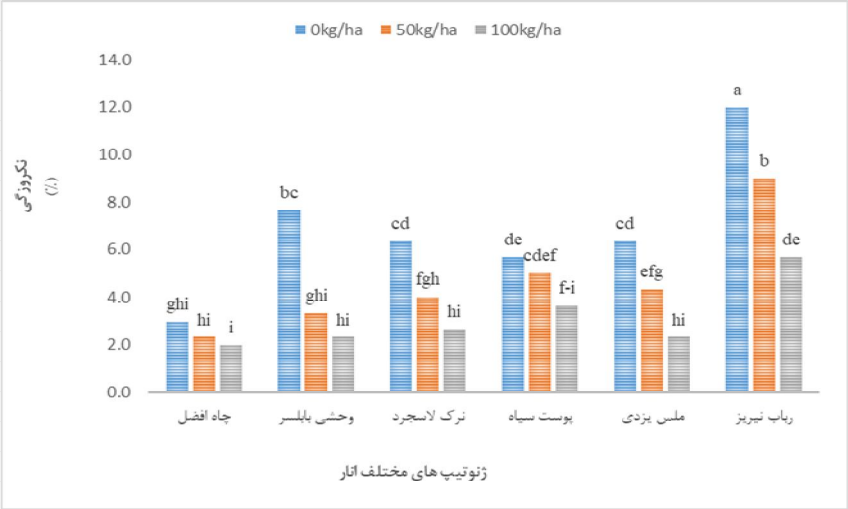
* و ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns بیانگر عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



شکل 1- اثر متقابل ژنوتیپ و نیترات کلسیم بر ارتفاع ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند.

از آن جا که پدیده رشد حاصل فعالیت‌های حیاتی در شرایطی است که گیاه بایستی آب کافی در اختیار داشته باشد، در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز به دلیل کاهش فشار تورژسانس در سلول‌های در حال رشد و اثر بر طول سلول‌ها، ارتفاع گیاه کمتر افزایش می‌یابد (مانس و تستر، 2008). تنش اسمزی در مرحله اول تنش شوری موجب کاهش محتوای آب سلول‌ها شده و طویل شدن آن‌ها را با مشکل روبه رو می‌کند و حتی پس از ایجاد تعادل اسمزی و تأمین فشار اسمزی مجدد سلول‌ها، گسترش و طویل شدن آن‌ها به کندی صورت می‌گیرد (مانس و تستر، 2008). حفظ فراهمی کلسیم در محلول خاک شور یک فاکتور مهم در کنترل شدت سمیت یون ویژه است، به‌خصوص در محصولاتی که به آسیب سدیم و کلر حساس هستند (گراتن و گریو، 1999). کاربرد مناسب یون کلسیم، حساسیت گیاهان به شوری را پایین آورده و پارامترهای رشدی را به خوبی بهبود می‌بخشد. بنابراین کاربرد کلسیم در گیاهان زراعی و باغی می‌تواند به کاهش هزینه‌های اقتصادی در مقابل شوری کمک کند (مظفری و منوچهری، 1383).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین میزان نکروزه گی با میانگین 12 درصد مربوط به رقم رباب نیریز و در شرایط عدم کاربرد نیترات کلسیم بود و کمترین میزان نیز با میانگین 2 درصد مربوط به ژنوتیپ چاه افضل و در شرایط کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بود (شکل 2).

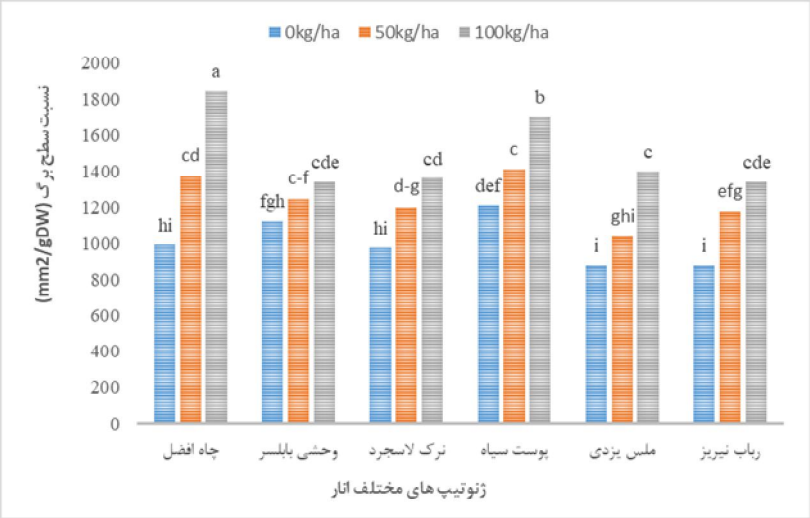


شکل 2- اثرمتقابل ژنوتیپ و نیترات کلسیم بر درصد نکروزه گی ژنوتیپ‌های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

با توجه به میزان آسیب‌های ظاهری، ژنوتیپ چاه افضل داری وضعیت مطلوبتری نسبت به سایر ژنوتیپ-های بررسی شده در این تحقیق بود. این نتایج با نتایج راحمی و همکاران (2008)، مومن پور و همکاران (2018) و مومن پور و همکاران (2022)، مطابقت داشت. صدمات اصلی سدیم در ارتباط با انباشت یون سدیم در بافت برگ می باشد و نتیجه‌اش نکروزه و پیر شدن برگ-ها در نوک و حاشیه آن‌ها است که پس از مدتی در تمامی سطح برگ ادامه می‌یابد و کاهش رشد محصول در مدت زمان کوتاهی اتفاق می‌افتد. وقتی گیاهان در مدت زمان بیشتری در معرض شوری باشند، صدمات ویژه سدیم، بسته به میزان انباشت این یون، آشکار می‌شود که علاوه بر صدمات اسمزی در گیاهان می‌باشد (مانس، 2002).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین نسبت سطح برگ با میانگین 1845 میلی‌متر مربع برگرم وزن خشک مربوط به ژنوتیپ چاه افضل و کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بود. همچنین، کمترین میزان نیز با میانگین 879 میلی‌متر مربع برگرم وزن خشک مربوط به ژنوتیپ‌های ملس یزدی و رباب نیریز بود که در تیمار عدم مصرف نیترات کلسیم مشاهده شد (شکل 3).

همانطور که از جدول 5 مشاهده می‌شود، اثر اصلی ژنوتیپ، نیترات کلسیم و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر محتوی نشت یونی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود.



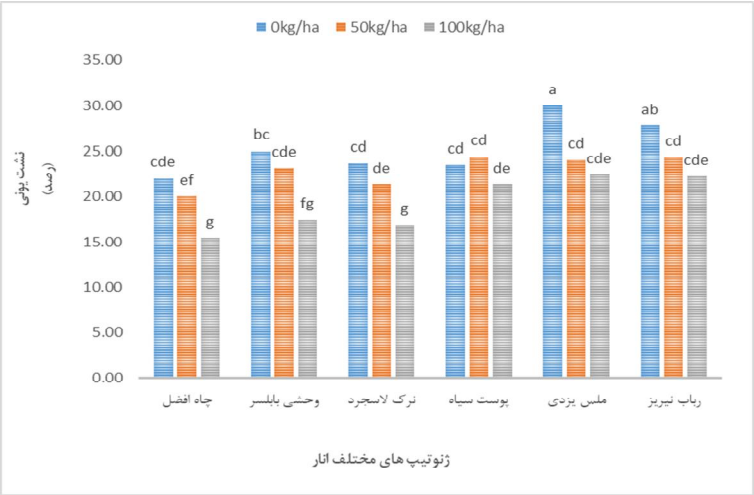
شکل 3- اثر متقابل ژنوتیپ و نیترات کلسیم بر نسبت سطح برگ در ژنوتیپ‌های انار مورد بررسی در شرایط شور. میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول 5- نتایج تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نیترات کلسیم و نوع ژنوتیپ بر صفات نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل کل

منابع تغییر	درجه آزادی	نشت یونی	میانگین مربعات محتوی رطوبت نسبی	کلروفیل کل
تکرار	2	52/05^{ns}	96/46^{ns}	2/27^{ns}
ژنوتیپ	5	473/98**	1162/51**	35/56**
$CaNO_3$	2	1523/94**	2013/36**	120/49**
ژنوتیپ* $CaNO_3$	10	61/56*	22/18^{ns}	0/62^{ns}
خطا	34	27/68	52/13	0/81
ضریب تغییرات (%)	-	7/72	10/50	10/52

* و ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns بیانگر عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

نتایج نشان داد که در اثر مصرف نیترات کلسیم میزان نشت یونی در تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. به‌طوری‌که بالاترین میزان نشت یونی در رقم ملس یزدی و بدون مصرف نیترات کلسیم (30/02 درصد) مشاهده شد. در این رقم با کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم، نشت یونی به 22/40 درصد کاهش یافت که نشان دهنده اثرات مثبت کلسیم در کاهش خسارات شوری به برگ‌ها می باشد. در مجموع کمترین میزان نشت یونی در برگ-های ژنوتیپ‌های چاه افضل، نرک لاسجرد و پوست سیاه تحت کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم مشاهده شد. (شکل 4). این نتایج با نتایج به دست آمده از صفات مورفولوژیک نیز مطابقت داشت. ژنوتیپ‌های چاه افضل و نرک لاسجرد سمنان با تیمار 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم دارای کمترین میزان نکروزه‌گی برگ بودند.



شکل 4- اثر متقابل ژنوتیپ و کاربرد نیترات کلسیم بر نشت یونی در ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

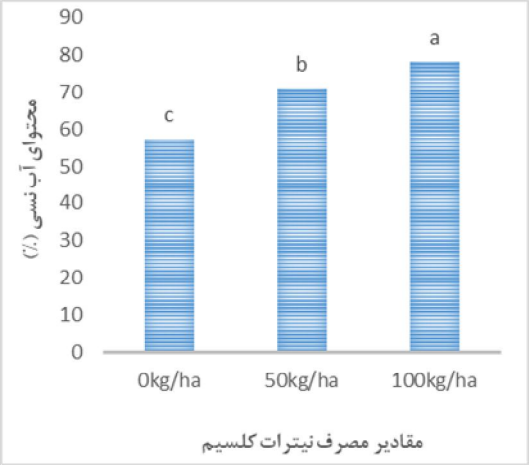
با توجه به اینکه این تحقیق در شرایط شور انجام شده است، ژنوتیپ‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی از خود نشان داده اند. نشت یونی یکی از شاخص‌هایی است که بیانگر میزان خسارت‌پذیری گیاه در شرایط تنش محیطی می‌باشد به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های حساس، نشت یونی بالاتر و ژنوتیپ‌های متحمل نشت یونی کمتری دارند. (الگامی و همکاران، 2010). نقش تغذیه‌ای کلسیم در بهبود اثرات مخرب کلرید سدیم بر رشد گیاهان به خوبی اثابت شده است. بسیاری از گیاهان حساس به شوری به میزان بالاتری کلسیم نیاز دارند تا بتوانند با ایجاد مقاومت، عملکرد خوبی در شرایط تنش شوری داشته باشند (الگامی و همکاران، 2010).

بر اساس نتایج به دست آمده، بالاترین محتوای آب نسبی برگ با میانگین 80/83 درصد در ژنوتیپ چاه افضل مشاهده شد و کمترین میزان نیز در رقم رباب نیریز (52/40 درصد) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با ژنوتیپ ملس یزدی نداشت (شکل 5). ژنوتیپ‌هایی که تحمل بالاتری نسبت به شرایط شوری دارند نشت یونی کمتر و دارای محتوای آب نسبی بالاتری هستند. بطوریکه در این دو ژنوتیپ به ترتیب کمترین و بیشترین نکروزه-گی در شرایط عدم مصرف نیترات کلسیم نیز مشاهده شد.

شکل 5- اثر ژنوتیپ بر محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شوری از طریق انباشت تدریجی یون‌های سدیم باعث کاهش محتوای نسبی آب و پتانسیل اسمزی شیره یاخته ای برگ در حالت آماس کامل می‌شود که با کاربرد کلسیم و جذب انتخابی آن توسط ریشه‌ها در رقابت با سدیم، از جذب سدیم ممانعت کرده و اثرات مخرب آن را کاهش می دهد (مانس و تستر، 2008). همچنین نتایج نشان داد کاربرد نیترات کلسیم موجب حفظ رطوبت نسبی برگ‌ها شد و استحکام دیواره سلولی برگ‌ها را در مقابل تنش شوری افزایش داد بطوریکه بالاترین محتوی رطوبت نسبی برگ‌ها در تیمار نیترات کلسیم 100 کیلوگرم در هکتار (78/06 درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (57/29 درصد) مشاهده شد (شکل 6). گزارش شده است، یکی از مهم‌ترین نقش‌های کلسیم در گیاهان، نقش استحکامی در دیواره سلولی و غشاءهای سلول است. کلسیم استحکام قوی را در سلول به‌وسیله تشکیل پیوند با پکتین ساکاریدها فراهم کرده و بدین ترتیب گیاه را در مقابل تنش‌های محیطی محافظت می‌کند (ساروات و همکاران، 2013).

همانطور که از شکل 7 مشاهده می‌شود، بیشترین میزان کلروفیل کل با میانگین 11/4 میلی‌گرم برگرم وزن‌تر در ژنوتیپ چاه افضل و کمترین مقدار آن با میانگین 6/4 میلی‌گرم برگرم وزن‌تر در رقم ملس یزدی مشاهده شد. مقدار کلروفیل کل در این رقم اختلاف معنی‌داری با رقم رباب نیریز نداشت.



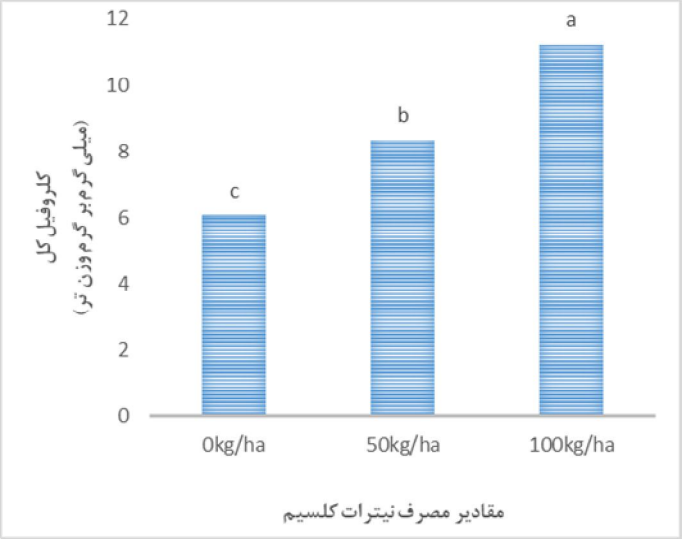
شکل 6- اثر نیترات کلسیم بر محتوای نسبی آب برگ در ژنتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شکل 7- اثر ژنوتیپ بر محتوی کلروفیل کل در ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

همچنین نتایج نشان دادند، با کاربرد نیترات کلسیم میانگین کلروفیل کل در برگ‌های ژنوتیپ‌های مورد مطالعه افزایش یافت به‌طوریکه بیشترین محتوی کلروفیل کل در تیمار 100 کیلوگرم نیترات کلسیم (11/24 میلی‌گرم برگرم وزن‌تر) و کمترین مقدار آن در برگ‌های گیاهان شاهد (6/8 میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)، مشلاهده شد.(شکل 8). هموستازی یونی در محیط‌های تحت تنش شوری، به دلیل فزونی سدیم و کلر به عنوان یون‌های سمیت‌زا و حلالیت شدید آن‌ها در آب، جذب سریع و انتقال آن‌ها با جریان تعرق است که باعث بازدارندگی از رشد و فتوسنتز و سایر فرآیندهای گیاهی می‌شود. همچنین، می‌توان کاهش کلروفیل و به طور کلی فتوسنتز را به کمبود یون پتاسیم در سلول‌های برگ فتوسنتز کننده نسبت داد (گوئو و تانگ، 1999). در اثر تنش شوری، میزان کلروفیل کاهش می‌یابد که دلیل آن فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیلاز گزارش شده است. برخی تنظیم کننده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک و اتیلن موجب تحریک این آنزیم می‌شوند و در اثر تنش غلظت این مواد افزایش می‌یابد (مانس و تستر، 2008؛ ماهاجان و توتجا، 2005).

اثر برهمکنش نیترات کلسیم و ژنوتیپ بر غلظت عناصر در گیاهان انار بررسی شده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی تنها اثر اصلی ژنوتیپ بر محتوی سدیم در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شد (جدول 6).



شکل 8- اثر نیترات کلسیم بر محتوی کلروفیل کل در ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول 6- نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر نیترات کلسیم و نوع ژنوتیپ بر غلظت سدیم، پتاسیم کلسیم، منیزیم و نسبت سدیم به پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		منیزیم	کلسیم	سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم
تکرار	2	2/10^{ns}	0/41^{ns}	0/0005**	0/0006*	0/003*
ژنوتیپ	5	16/70**	3/84**	0/0007**	0/006**	0/011**
$CaNo^3$	2	83/50**	25/56**	0/0001^{ns}	0/002**	0/003*
ژنوتیپ * $CaNo^3$	10	2/66*	0/66*	0/000008^{ns}	0/00005 ^{ns}	0/0001 ^{n}s
خطا	34	0/94	0/29	0/00008	0/0001	0/0006
ضریب تغییرات (%)	-	14/41	19/77	15/87	3/48	15/35

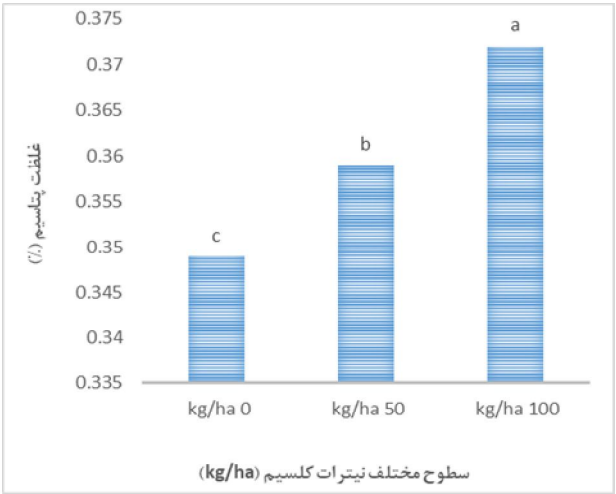
بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین غلظت سدیم در رقم ملس یزدی (2/90 درصد) و رباب نیریز (2/75 درصد) مشاهده شد. در نقطهٔ مقابل، کمترین غلظت سدیم در ژنوتیپ چاه افضل (1/88 درصد) مشاهده شد که با ژنوتیپ‌های وحشی بابلسر (2/22 درصد)، نرک لاسجرد سمنان (2/26 درصد)، پوست سیاه اردکان (2/09 درصد) اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل 9). این نتایج با یافته-های حاصل از بررسی صفات مورفولوژیک گیاهان مطابقت داشت. ارقام انار ملس یزدی و رباب نیریز که بیشترین تجمع سدیم در برگ را داشتند، بیشترین درصد نکروزه شدگی را نیز دارا بودند. در تحقیقات انجام شده روی گیاهان مختلف تحت شرایط تنش شوری نشان داده شده است که سدیم، باعث عدم تعادل اسمزی، تخریب غشاهای سلولی، کاهش رشد، و جلوگیری از تقسیم و بزرگ‌شدن سلول‌ها می‌شود (اسکیزربا و همکاران، 2008؛ اسکیزربا و همکاران، 2009).

شکل 9- اثر ژنوتیپ بر غلظت سدیم در ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

همانطور که از شکل 10 مشاهده شود، بیش‌ترین غلظت پتاسیم در ژنوتیپ نرک لاسجرد سمنان (0/386 درصد) مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با ژنوتیپ چاه افضل (0/378 درصد) بود. همچنین کم‌ترین غلظت پتاسیم به‌ترتیب در ارقام رباب نی‌ریز (0/322 درصد) و ملس یزدی (0/337 درصد) مشاهده شد. غلظت پتاسیم در برگ‌های ژنوتیپ‌های وحشی بابلسر و پوست سیاه اردکان به ترتیب (0/369 و 0/37 درصد) بود. این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های نرک لاسجرد سمنان و چاه افضل از طریق افزایش مقدار پتاسیم تحت شرایط تنش شوری می‌توانند با اثرات منفی و مخرب سدیم مقابله کنند. این نتایج با نتایج حاصل از بررسی صفات مورفولوژیک نیز مطابقت داشت. ژنوتیپ چاه افضل که بیشترین تجمع پتاسیم در برگ را داشت، کمترین درصد نکروزه شدگی را نیز دارا بود. گزارش شده است که پتاسیم در حفظ تعادل اسمزی، و باز و بسته شدن روزنه‌ها مؤثر می‌باشد و اثرات مخرب سدیم را کاهش می‌دهد (اسکیزربا و همکاران، 2008؛ اسکیزربا و همکاران، 2009). پتاسیم علاوه بر ایفای نقش اساسی در متابولیسم‌های حیاتی، در شرایط تنش شوری بسیار با اهمیت جلوه می‌کند به نحوی که مدیریت کارآمد پتاسیم در مقابل سدیم در گیاه در بقای آن در شرایط شوری اساسی است (کریمی و حسن‌پور، 2014). برخی گیاهان توانایی این را دارند که سیتوپلاسم سلول‌های خود را از کاهش شدید مقادیر پتاسیم محافظت کرده و از واکوئل‌ها به عنوان مخزنی برای بافر کردن یون پتاسیم بهره ببرند. در همین رابطه گیاهان متحمل توانایی آن را دارند که مقادیر پتاسیم سیتوسولی خود را در حضور کلرید سدیم بهتر حفظ نمایند (کریمی و حسن‌پور، 2014).

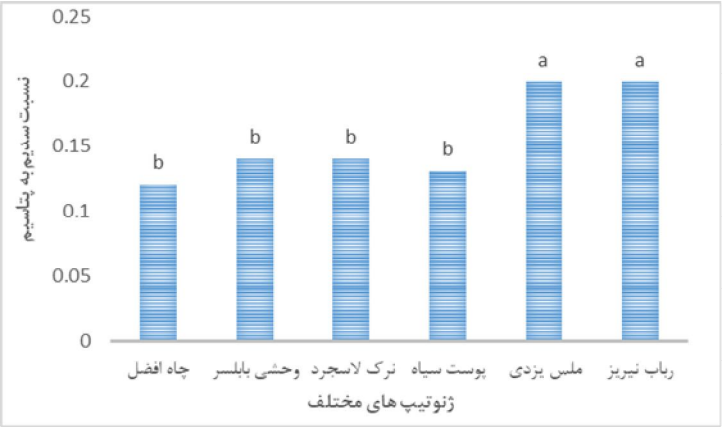
شکل 10-اثر ژنوتیپ بر غلظت پتاسیم در گیاهان انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بر اساس نتایج به دست آمده (شکل 11)، با کاربرد نیترات کلسیم محتوی پتاسیم در برگ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه افزایش یافت. بیش‌ترین و کمترین محتوی پتاسیم به ترتیب در تیمارهای 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم و شاهد (0/372 و 0/349 درصد)، مشاهده شد. گزارش شده است، جذب انتخابی یون‌هایی مانند پتاسیم، آهن و روی (Zn) در ریشه گیاه تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات نشان می‌دهد که در صورت وجود میزان مناسبی از کلسیم در محیط رشد ریشه، جذب انتخابی این عناصر توسط ریشه بهبود یافته و در نتیجه عناصری مانند پتاسیم بهتر جذب ریشه گیاه می‌شود (لیو و همکاران، 2018).



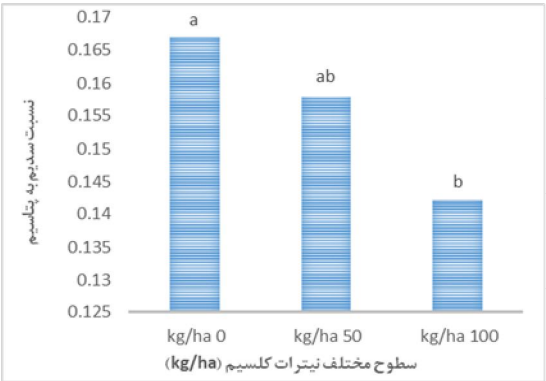
شکل 11- اثر نیترات کلسیم بر غلظت پتاسیم در گیاهان انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بر اساس نتایج یه دست آمده، بیش‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم در رقم ملس یزدی (0/202) مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با رقم رباب نی‌ریز (0/197) بود. در نقطهٔ مقابل، کم‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ چاه افضل (0/118) حاصل شد که با ژنوتیپ‌های وحشی بابلسر (0/142)، نرک لاسجرد سمنان (0/14) و پوست سیاه اردکان (0/134) اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل 12).



شکل 12- اثر ژنوتیپ بر نسبت سدیم به پتاسیم در گیاهان انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

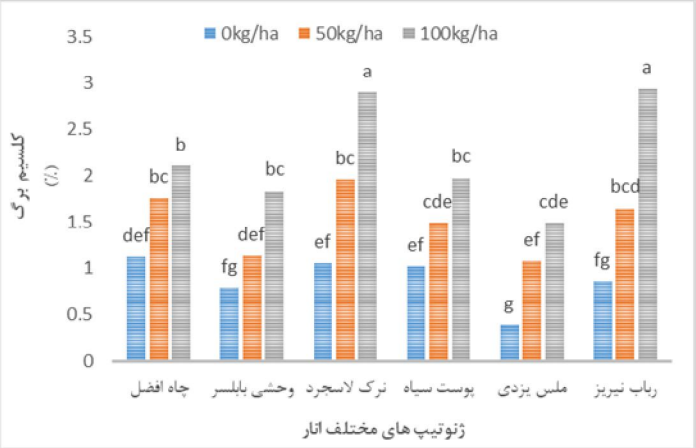
جذب پتاسیم در نتیجه افزایش سدیم، فرآیندی رقابتی است و ارتباطی به نوع نمک غالب در خاک ندارد. مقادیر زیاد سدیم در محیط ریشه علاوه بر اینکه در جذب پتاسیم مداخله می‌کند، بر عمل غشاء ریشه نیز مؤثر بوده و حساسیت گیاه را تغییر می‌دهد (مانس، 2002). حفظ سطح کافی پتاسیم و بقای گیاه در محیط‌های شور ضروری است. پتاسیم، برجسته‌ترین عنصر محلول برای پایین نگه‌داشتن پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه و پیش نیاز برای تورژسانس سلول‌هاست. تحت شرایط شور و قلیا، زیاد بودن غلظت سدیم نه تنها در جذب پتاسیم توسط ریشه اختلال ایجاد می‌کند، بلکه غشای سلول‌های ریشه و خاصیت انتخابی آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (مانس و تستر، 2008). در این تحقیق، افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در برگ‌های ژنوتیپ چاه افضل از طریق ممانعت در جذب سدیم توسط ریشه‌ها و انتقال آن به اندام‌های هوایی از یک سو و توانایی در افزایش جذب پتاسیم توسط ریشه‌ها و انتقال آن به برگ‌ها موجب گردید این نسبت در این ژنوتیپ نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر کمتر باشد. همچنین با کاربرد نیترات کلسیم، نسبت سدیم به پتاسیم از (0/167) در تیمار شاهد به (0/142) در تیمار 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم کاهش یافت (شکل 13).



شکل 13- اثر نیترات کلسیم بر نسبت سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

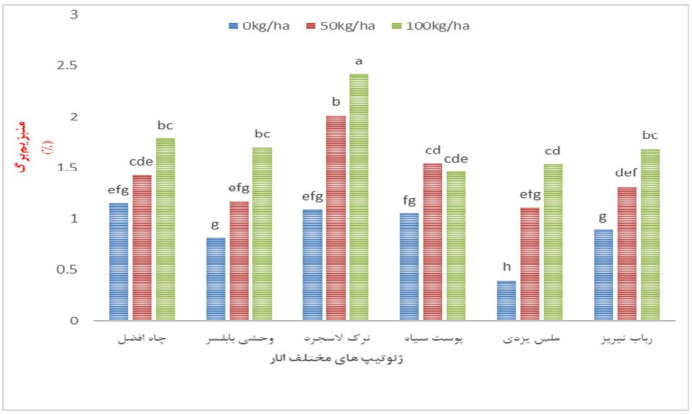
بر اساس نتایج به دست آمده (شکل 14)، بیشترین درصد کلسیم برگ با میانگین 2/94 درصد در رقم رباب نیریز و در شرایط کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم مشاهده شد. پس از این رقم بیشترین درصد کلسیم

در برگ‌های ژنوتیپ نرک لاسجرد سمنان مشاهده شد که اختلاف معنی داری با درصد کلسیم موجود در برگ‌های رقم رباب نیریز نداشت. کمترین درصد کلسیم برگ نیز در رقم ملس یزدی و بدون مصرف نیترات کلسیم (0/38 درصد)، مشاهده شد که با مقدار کلسیم موجود در برگ-های رقم رباب نیریز و ژنوتیپ وحشی بابلسر تحت این تیمار اختلاف معنی‌داری نداشتند. با توجه به اینکه این رقم به همراه رقم رباب نیریز از سایر ژنوتیپ‌های مطالعه شده در این تحقیق، دارای تحمل کمتری به شوری بودند، نشان می‌دهد که ریشه‌های این رقم قابلیت جذب کلسیم کمتری در شرایط شور نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مطالعه شده داشتند و به همین دلیل دارای کلسیم پایینتری در برگ‌های خود بودند. کلسیم یکی از عناصر پر مصرف است که برای رشد و توسعه طبیعی گیاه مورد نیاز است. کلسیم در تنظیم تعدادی از فرآیندهای بنیادی شامل جریان سیتوپلاسم، تقسیم سلولی، قطبیت سلول، استحکام غشاء و ساختار دیواره نقش داشته و به‌عنوان پیغام‌بر ثانویه در زمان تنش عمل می‌کند (شائو و همکاران، 2008).



شکل 14- اثر متقابل ژنوتیپ و نیترات کلسیم بر کلسیم برگ ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

همانطور که از شکل 15 مشاهده می‌شود، بیش‌ترین درصد منیزیم در برگ‌های ژنوتیپ نرک لاسجرد و با کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم (2/41 درصد)، و کمترین درصد منیزیم برگ نیز در رقم ملس یزدی و بدون مصرف نیترات کلسیم (0/39 درصد)، مشاهده شد.



شکل 15- اثر متقابل ژنوتیپ و نیترات کلسیم بر محتوی منیزیم برگ ژنوتیپ های انار مورد بررسی در شرایط شور.
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که نوع ژنوتیپ و سطح نیترات کلسیم بر تغییرات صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و غلظت عناصر غذایی مؤثر است. بررسی خصوصیات رشدی شش ژنوتیپ انتخابی انار مورد مطالعه در این تحقیق در سطح شوری 0/5±9 دسی زیمنس بر متر، نشان داد، بیشترین و کمترین درصد نکروزه‌گی (12 و 2 درصد)، نسبت سطح برگ (1845 و 879 میلی‌متر مربع برگرم وزن خشک)، محتوی رطوبت نسبی (80/83 و 52/40 درصد)، کلروفیل کل (11/4 و 6/45 میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، محتوی پتاسیم (0/378 و 0/322 درصد) و کمترین و بیشترین محتوی سدیم (1/88 و 2/75 درصد)، محتوی نشت یونی (14/85 و 30/02 درصد) و نسبت سدیم به پتاسیم (0/118 و 0/197) به ترتیب در ژنوتیپ های چاه افضل و با کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم و رقم رباب نیریز بدون کاربرد نیترات کلسیم مشاهده شد. ژنوتیپ چاه افضل از طریق حفظ خصوصیات رشدی خود و افزایش جذب پتاسیم در مقابل سدیم، شرایط رشدی مناسبتری نسبت به سایر ژنوتیپ های مطالعه شده در این تحقیق از خود نشان داد. پس از این ژنوتیپ، ژنوتیپ های نرک لاسجرد سمنان و وحشی بابلسر دارای وضیت رشدی مناسبتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند. همچنین نتایج نشان داد، کاربرد 100 کیلوگرم در هکتار از نیترات کلسیم در ابتدای فصل رشد به طور معنی‌داری موجب بهبود خصوصیات رشدی تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد و نشان داد که کاربرد کلسیم به صورت کودآبیاری در ابتدای فصل رشد به طور مؤثری موجب کاهش اثرات مخرب سدیم می‌شود. در ادامه این تحقیق و با توجه به نتایج به دست آمده 4 ژنوتیپ چاه افضل، نرک لاسجرد سمنان، پوست سیاه اردکان و وحشی بابلسر به عنوان پایه انتخاب شدند تا ارقام تجاری ملس یزدی و رباب نیریز روی آن‌ها پیوند شوند و کیفیت و کمیت میوه هایشان در شرایط شور بررسی گردد.

فهرست منابع:

1. احمدی، ک.، ح. قلیزاده، ح. عبادزاده، ف. حاتمی، ر. حسینپور، ه. عبدشاه، م. رضایی و م. فضلی استبرق. 1396. آمارنامه کشاورزی سال 1395. (جلد سوم: محصوالت باغبانی). انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
2. جماعتی اردکانی، ز.، م. دهستانی اردکانی، ع. مومن‌پور و م. شیرمردی.1400. مقایسه تحمل به شوری سه رقم انار تجاری (*Punica granatum L*). تولیدات گیاهی 44 (1): 142-131.
3. حیدری شریف آباد، ح. 1380. گیاه و شوری. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. 76 صفحه.
4. رحیمیان، م. ح.، ح. غلامی، غ. ح. رنجبر، ح. بیرامی، ب. مروج الاحکامی، م. کریمی و س.ع. چراغی. 1400. برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری بر عملکرد گندم در مناطق خشک (مطالعه موردی: یزد). آب و توسعه پایدر. 8 (4): 43-50.
5. مظفری، ح. و خ. منوچهری کلانتری. 1383. نقش کلسیم در کاهش اثرات شوری در گیاه خاکشیر *Descurainia Sophia*. پژوهش و سازندگی، زراعت و باغبانی، 65: 99- 103.
6. مومن پور، ع.، د. بخشی، ع. ایمانی و ح. رضایی. a 1393. اثر تنش شوری بر غلظت عناصر غذایی در رقم های بادام 'شکوفه'، 'سهند' و ژنوتیپ'13-40' پیوند شده روی پایه GF_{677}. مجله علوم باغبانی مشهد، 29 (2): 255-268.
7. مومن پور، ع.، د. بخشی، ع. ایمانی و ح. رضایی. a 1394. اثر تنش شوری بر خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی در رقم‌های بادام 'شاهرود 12'، 'تونو' و ژنوتیپ'16-1' پیوند شده روی پایه GF_{677} . مجله به‌زراعی کشاورزی ابوریحان 17 (1): 216-197.

8. مومن پور، ع.، د. بخشی، ع. ایمانی و ح. رضایی. 1394 b. اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در برخی از ژنوتیپ‌های انتخابی بادام پیوند شده روی پایه. مجله فنآوری تولیدات گیاهی. 7 (2): 152-137.

9. مومن پور، ع.، ع. ایمانی، د. بخشی و ح. رضایی. 1393 b. ارزیابی تحمل به شوری در برخی از ژنوتیپ های بادام پیوند شده روی پایه GF_{677} بر اساس صفات مورفولوژیک و فلورسانس کلروفیل. فرآیند و کارکرد گیاهی. 3 (10): 9-28.

10. مومن پور، ع.، و. سلطانی گرد فرامرزی، م. ه. راد، م. ر. وظیفه شناس، ا. آناقلی، ف. احمدی و ز. جماعتی اردکانی (1399). تعیین آستانه تحمل شوری ژنوتیپ های مختلف انار. پژوهش های آب در علوم کشاورزی 34 (1): 1-14.

11. ولی‌پور، م.، م. کریمیان اقبال، م. ج. ملکوتی و ا. ح. خوشگفتارمنش. 1387. روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 12 (46): 691-683.

12. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24: 1- 15.

13. Bayuelo-Jiménez, J. S., D. G. Debouck and J. P. Lynch 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. Field Crops Research. 80 (3): 207- 222.

14. El-Agamy, S. Z., R. A. Mostafa, M. M. Shaaban and M. T. El-Mahdy. 2010. In vitro salt and drought tolerance of Manfalouty and Nab El-Gamal pomegranate cultivars. Aust J Basic Appl Sci. 4 (6): 1076- 1082.

15. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Agricultural Research and Education Organization. Soil and Water Institute. 130 Pp.

16. Fipps, G. 2003. Irrigation water quality standards and salinity management strategies. Texas Agricultural Extension Service. Pp 1-18.

17. Grattan, S. R. and C. M. Grieve, 1999. Salinity mineral nutrient relations in horticultural crop. Science Horticulture. 78: 127- 157.

18. Guo, F.O., and Tang. Z.C. 1999. Reduced Na^+ and K^+ permeability of K^+ channel in plasma membrane isolated from roots of salt tolerant mutant of wheat. Chinese Academy of Sciences. 41 (9): 217-220.

19. Jadidi, E. M. Tatari, M. Ghasemnezhad, and H. R. Salemi, 2020. Morphological and biochemical response of eight pomegranates (Punica granatum L.) cultivars under salinity stress. Journal of Horticulture and Postharvest Research, 3(Special Issue-Abiotic and Biotic Stresses): 139- 152.

20. Karimi, H.R., and Z. Hasanpour, 2014. Effects of salinity and water stress on growth and macro nutrients concentration of pomegranate (*Punica granatum* L.). Journal of Plant Nutrition. 37:1937-1951.

21. Liu, C., Y. Ming, H. Xianbin, and Y. Zhaohe. 2018. Effects of salt stress on growth and physiological characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) cuttings. Pakistan Journal of Botany. 50 (2): 457-464.

22. Lutts, S., J.M. Kinet, and J. Bouharmont, 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. Journal of Experimental Botany. 46: 1843–1852.

23. Maas, E.V, and G.J, Hoffman. 1977. Crop salt tolerance: Current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 103: 115- 134.

24. Mahajan, Sh., and N. Tuteja, 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.

25. Momenpour, A., and A. Imani, 2018. Evaluation of salinity tolerance in fourteen selected pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. Advances in Horticultural Science. 32 (2): 249-264.

26. Momenpour, A., M. Dehestani Ardakani, M. Shirmardi, J. Gholamnezhad, F. Ahmadi, and Z. Jamaati. 2022. Salinity tolerance evaluation of twelve selected pomegranate (*Punica*

granatum) genotypes to achieve tolerant cultivars and rootstocks. Journal of Horticultural and Postharvest Resarch. 5 (4): 363-378.

27. Momenpour, A., A. Imani, D. Bakhshi, and E. Akbarpour. 2018. Evaluation of salinity tolerance of some selected almond genotypes budded on GF_{677} rootstock. International Journal of Fruit Science. 18 (4): 410-435.
28. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment. 25: 239-250.
29. Munns, R., and M. Tester. 2008 Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59: 651–681.
30. Naeini, M. R., A. H. Khoshgoftarmanesh, and E. Fallahi. 2006. Partitioning of chlorine, sodium, and potassium and shoot growth of three pomegranate cultivars under different levels of salinity. *Journal of Plant Nutrition*, *29*(10), 1835-1843
31. Naeini, M. R., A.H. Khoshgoftarmanesh, H. Lessani, and E. Fallahi. 2005. Effects of sodium chloride-induced salinity on mineral nutrients and soluble sugars in three commercial cultivars of pomegranate. Journal of Plant Nutrition. 27 (8): 1319-1326.
32. Okhovatian-Ardakani, A.R., M. Mehrabanian, F. Dehghani, and A. Akbarzadeh. 2010. Salt tolerance evaluation and relative comparison in cuttings of different pomegranate cultivars. Plant, Soil and Environment. 56 (4): 176-185.
33. Rahemi, M., Sh. Nagafian, and V. Tavallaie. 2008. Growth and chemical composition of hybrid GF_{677} influenced by salinity levels of irrigation water. Plant Sciences. 7 (3): 309-313.
34. Rodríguez, P., C. D. Mellisho, W. Conejero, Z. N. Cruz, M. F. Ortuno, A. Galindo, and A. Torrecillas, 2012. Plant water relations of leaves of pomegranate trees under different irrigation conditions. *Environmental and Experimental Botany*, *77*, 19-24.
35. Sarwat, M., P. Ahmad, G. Nabi, and X. Hu. 2013. “Ca2+ signals: The versatile decoders of environmental cues”. Critical reviews in biotechnology, 33(1): 97-109.
36. Shao, H. B. W. Y. Song, and L. Y. Chu. 2008. Advances of calcium signals involved in plant anti-drought. Comptes rendus biologies. 331 (8): 587- 596.
37. Szczerba, M.W., DT. Britto, KD. Balkos, and H.J. Kronzucker. 2008. $NH4^+$ stimulated and -inhibited components of K^+ transport in rice (*Oryza sativa* L.). Experimental Botany. 59: 3415–3423.
38. Szczerba, M.W., D. T. Britto, and H. J. Kronzucker. 2009. K^+ transport in plants: Physiology and molecular biology. Plant Physiology. 166: 447-466.
39. Tavousi, M., F. Kaveh, A. Alizadeh, H. Babazadeh, and A. Tehranifar. 2016. Effect of salinity and deficit irrigation on quantity and quality of pomegranate (*Punica granatum* L.). Iranian Journal of Irrigation and Drainage .4 (10): 499-507.
40. Yamasaki, S., and L.C. Dillenburg. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista Brasilian Fisiologia Vegetal. 11: 69-75.

پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه اسموت فلت سویل در شرایط خاک‌های آهکی

علی اسدی کنگرشاهی[1] و نگین اخلاقی امیری

دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران؛ **kangarshahi@gmail.com**

استادیار بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران؛ **neginakhlaghi@yahoo.com**

ص **369 - 388**

دریافت: **1401/9/9** و پذیرش: **1401/12/9**

چکیده

پایه اسموت‌فلت‌سویل(*Citrus* spp.)، به عنوان یکی از پایه‌های متحمل به آهک خاک و همچنین متحمل به بیماری تریستیزای مرکبات گزارش شده است. هدف پژوهش حاضر ارزیابی روند رشد و تحمل پایه اسموت‌فلت‌سویل به خاک‌های آهکی شرق مازندران بود. بدین منظور، آزمایشی به مدت دو سال درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هفت خاک با دامنه کربنات کلسیم معادل از 2% تا 45% انجام شد. واکنش‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص درجه زردی، کلروفیل، غلظت عناصر غذایی در برگ و ریشه بود. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک‌های با آهک کل 9% حاصل شد. درجه زردی برگ نهال‌های روی این پایه در خاک-های مختلف، تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها، 11/1 برابر میانگین غلظت آن در برگ‌ها بود که تجمع و رسوب آهن در ریشه‌ها را نشان می‌داد. مقدار منگنز قابل استفاده در بیشتر خاک‌ها برای درختان مرکبات بیش از حد مطلوب بود، اما میانگین غلظت منگنز برگ نهال‌ها در بیشتر خاک‌ها کمتر از حد کفایت بود. میانگین غلظت منگنز در ریشه نهال‌ها، 4/6 برابر میانگین غلظت آن در برگ بود. به طور کلی از عناصر پرمصرف، منیزیم و گوگرد به ترتیب بیشترین وکمترین راندمان انتقال از ریشه به اندام هوایی داشتند و از عناصر کم مصرف، آهن فعال و آهن کل به ترتیب بیشترین و کمترین راندمان انتقال را داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص زرد برگی نهال‌ها در خاک‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و این پایه متحمل به آهک خاک است. بنابراین پایه اسموت فلت سویل می‌تواند جایگزین مناسبی برای پایه نارنج در خاک‌های آهکی (به ویژه خاک‌های با آهک متوسط و زیاد) باشد.

واژه‌های کلیدی: آهن فعال، راندمان انتقال عناصر غذایی، زرد برگی، مرکبات.

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

مقدمه

گزارش‌های مختلف نشان داده است که اسموت فلت سویل یک پایه مشابه نارنج است اما رده‌بندی آن کاملا مشخص نیست (کاستل و همکاران، 1992 ؛ سینگ و همکاران، 2002). هاجسون (1967) گزارش کرد که اسموت فلت سویل ممکن است یک هیبرید طبیعی بین نارنج و پرتقال پورمن (Poorman) باشد که در استرالیا رخ داده است. با این حال، داده های ایزوآنزیم ما و نتایج پژوهش‌های بارت و رودز (1976) نشان داد که به احتمال زیاد والدین دیگر نیز درگیر بوده اند. «پورمن» احتمالاً یک هیبرید پوملو- ماندارین و ویژگی‌های خاصی از پوملو (به ویژه تک جنینی بودن) دارد که منجر به تولید تعداد زیادی نهال‌های زیگوتیک شود که در اسموت فلت سویل نیز وجود دارد. بذرهای اسموت فلت سویل چند جنینی هستند اما نهال‌های زیگوتیک زیادی تولید می‌کنند (کاستل، 1987).

به طور کلی شدت علایم کلروز (زردی) در درختان میوه، عمدتا ناشی از مقدار آهک و تغییرات برخی ویژگی‌های خاک به ویژه در لایه‌های زیرین خاک (منطقه ریشه) به علاوه تغییرات شرایط محیطی گزارش شده است که موجب کاهش تهویه خاک و کاهش توسعه ریشه و در نتیجه کاهش قابلیت استفاده و جذب آهن می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397؛ آلکانترا و همکاران، 2012). یکی از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی خاک که در کاهش قابلیت استفاده آهن و شدت کلروز درختان میوه موثر است مقدار کربنات کلسیم خاک است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1394). کربنات کلسیم در بیش از 30 درصد اراضی جهان وجود دارد (چن و باراک، 1982، لوپرت و همکاران، 1994). در استان مازندران نیز مقدار کربنات کلسیم خاک باغ‌های این منطقه از میانه به طرف شرق به تدریج افزایش می‌یابد به طوری که مقدار کربنات کلسیم خاک‌ها در شرق ساری و نکا به بیش از 40 درصد می‌رسد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1394). آهک کل ممکن است برای پیش بینی توسعه کلروز آهن، مناسب نباشد ولی آهک فعال که قادر به تولید و نگهداری غلظت‌های زیاد بی‌کربنات در خاک است، می‌تواند شاخص مناسب‌تری باشد. آهک فعال، معرف بخشی از آهک خاک است که سطح ویژه بالایی (تقریباً معادل رس خاک) داشته و بسیار واکنش پذیر می‌باشد. این آهک فعال به طور غیر مستقیم مسئول کاهش رشد و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مانند عارضه زرد برگی است (کاستل و نونالی، 2009؛ یانگ و همکاران، 2010). بنابراین گونه‌های مختلف درختان میوه بر اساس سطحی از آهک فعال در خاک که شروع به توسعه علائم کلروز می‌کنند، می‌توانند رتبه‌بندی شوند. ژنوتیپ‌های خیلی حساس به آهک ممکن است در سطوح کربنات کلسیم فعال کم‌تر از 0/5 درصد کلروز نشان دهند، اما ژنوتیپ‌ها متحمل یا مقاوم ممکن است بیشتر از 10 تا 15 درصد کربنات کلسیم فعال در خاک را نیز به خوبی تحمل کنند (تگلیاونی و رومبلا، 2001).

تحمل درختان مرکبات به آهک خاک و کلروز، بیشتر به پایه آنها بستگی دارد (لوزدا و همکاران، 2008). پایه‌های ترویرسیترنج، کاریزوسینرنج، سی 35، سوینگل سیتروملو در سال‌های اخیر به صنعت مرکبات استان مازندران وارد شده است و در این مناطق به شدت در حال گسترش و ترویج است در حالی که مشاهدات میدانی در باغ‌های مرکبات منطقه، پژوهش‌های نگارنده‌گان و همچنین برخی گزارش‌های از منابع علمی نشان داده است که این پایه‌ها در خاک‌های با آهک کل زیاد، اغلب دچار کلروز ناشی از آهک، کاهش رشد، خشکیدگی سرشاخه‌ها و زوال می‌شوند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397؛ لوزدا و همکاران، 2008) اما پایه اسموت فلت سویل متحمل به خاک‌های آهکی است و پاسخ آن مشابه نارنج گزارش شده است (کاستل و همکاران، 1992). گزارش‌های زیادی در مورد کلروز آهن درختان مرکبات در خاک‌های آهکی وجود دارد (مارتینز و همکاران، 2017؛ پستانا و همکاران، 2005). کلروز شدید آهن، ممکن است منجر به کاهش یا

توقف کامل باردهی محصول و کاهش سود اقتصادی باغ دار شود. به طور کلی روش‌های معمول برای جلوگیری یا رفع کلروز آهن، غیر قابل اطمینان و گران هستند و مناسب‌ترین روش برای جلوگیری از کلروز آهن، استفاده از پایه مناسب در زمان احداث باغ است (کاستل و همکاران، 2010؛ پستانا و همکاران، 2001؛ مورالیس و همکاران، 1998).

به طور کلی مهمترین علایم کمبود آهن در درختان مرکبات، زردی بین رگبرگ‌ها (ابتدا در برگ‌های جوان‌تر ظاهر می‌شود)، ظاهر شدن و تشکیل برگ‌های نازک (بیشتر در مقابل نور خورشید ظاهر می‌شوند)، خشکیدگی شدید سرشاخه‌ها در پیرامون درختان به ویژه در انتهای درختان، در برخی موارد سفید شدن و سوخته شدن نوک و حاشیه برگ‌ها و همچنین کاهش اندازه و ریزش برگ‌ها است. درختان دارای کمبود، نسبت به درختان طبیعی، گل‌دهی کمتر، تشکیل میوه کمتر و همچنین رنگ میوه ضعیف‌تر دارند. درختان دارای کمبود شدید، سرانجام زوال خواهند یافت، اما بسیاری از آنها قبل از این مرحله، به علت تولید میوه کم و اقتصادی نبودن باغ، توسط باغ‌دار قطع می‌شوند (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1394؛ سریواستاوا و سینک، 2003). همچنین کلروز آهن می‌تواند موجب کاهش عملکرد، کیفیت و تأخیر در رسیدن میوه مرکبات شود (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ کوارتیز و همکاران، 2007؛ رامهلد، 2000). به طور کلی آهن در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند. لذا کمبود آهن می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل شود (لاربی و همکاران، 2006؛ مولاسیوتیس و همکاران، 2006). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که از برخی پارامترهای فتوسنتز مانند غلظت کلروفیل و شاخص فلورسنس کلروفیل می‌توان برای انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف به تنش‌های محیطی استفاده شود، این پارامترهای فتوسنتزی هر گونه تنش و محدودیت در فرآیندهای فتوسنتزی را به خوبی نشان می دهند و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش، تغییرات کمتری در پارامترهای فتوسنتزی در پاسخ به تنش دارند (بلخوجا و همکاران، 1994، میشرا و همکاران، 2011؛ سالیسبوری و روس، 1992).

بنابراین در باغداری، پیش‌بینی امکان توسعه کلروز آهن در زمان احداث باغ از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و اشتباه در این مرحله، موجب کاهش رشد، عملکرد و کیفیت میوه، افزایش هزینه‌های مدیریت باغ می‌شود و در کل موجب کاهش سود اقتصادی باغدار خواهد شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397؛ لوپرت و همکاران، 1994). در استان مازندران با توجه به گسترش بیماری تریستیزا و حساسیت نارنج به عنوان پایه معمول منطقه به این بیماری، دامنه تغییرات زیاد آهک کل در خاک‌های منطقه (از صفر تا بیشتر از 40 درصد)، روند افزایش تدریجی آهک کل در مناطق جلگه‌ای و دشت، از میانه به طرف شرق و در مناطق دامنه‌ای، میان‌بند و حاشیه جنگل‌ها (جنوب) به طرف منطقه جلگه‌ایی و دشت (شمال) و کلروز سیترنج‌ها در خاک‌های با آهک کل متوسط و زیاد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،1394،1393، 1398؛ طهرانی و همکاران، 1390)، ورود پایه اسموت فلت سویل(*Citrus* spp. hybrid of uncertain origin) در منطقه، بررسی پاسخ آن به مقادیر مختلف آهک کل در خاک‌های منطقه ضروری است. پایه اسموت فلت سویل متحمل به تریستیزای مرکبات است و همچنین عملکرد و کیفیت میوه روی این پایه خوب گزارش شده است (اخلاقی امیری، 1399؛ سینگ و همکاران، 2002). بنابراین، پژوهش حاضر به ارزیابی روند رشد، پاسخ‌های تغذیه‌ای و تحمل پایه اسموت فلت سویل به کلروز در خاک‌های آهکی شرق مازندران اختصاص داده شد.

مواد و روش‌ها

با توجه نقشه خاک و گزارش‌های خاکشناسی و همچنین مطالعات انجام شده در باغ‌های شرق مازندران (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)، در سال زراعی 93-1392 هفت نمونه خاک به گونه‌ای انتخاب

گردید که دارای بافت متفاوت و دامنه وسیعی از کربنات کلسیم (از 2 تا 45 درصد) بودند و همچنین منطقه وسیعی از نظر جغرافیایی (نواحی عمده کشت مرکبات) در برداشتند. خاک‌های آزمایشی از باغ‌های مناطق مختلف شرق مازندران(بابل، قائم‌شهر، ساری و نکا) جمع‌آوری شدند و پس از خشک کردن درهوا، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها از جمله کربنات کلسیم معادل (آهک کل) به روش تیتراسیون با اسید (باشور و سایه، 2007)، کربنات کلسیم فعال (آهک فعال) به روش تیتراسیون با پرمنگنات پتاسیم (باشور و سایه، 2007)، رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (گی و بادر، 1986)، واکنش خاک در خمیر اشباع (مکلین، 1982)، ماده آلی به روش والکلی – بلک (نلسون و سامر، 1982)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (اسچنیدر، 1997)، فسفر به روش اولسن و سامرز (اولسون و سامرز، 1982)، منگنز ، آهن، و روی به روش دی تی پی ای (لیندسی و نورول، 1978) اندازه گیری شد. دامنه آهک کل خاک‌ها از 2 تا 45 درصد، آهک فعال از صفر تا 16 درصد، رس از 13 تا 41 درصد، سیلت از 18 تا 37 درصد، شن از 34 تا 58 درصد و کربن آلی از 0/65 تا 1/80 درصد متغییر بود (جدول1).

مقدار 30 کیلوگرم خاک ازنمونه‌های خاک مورد نظر، درسطل‌های پلاستیکی زهکش‌دار ریخته شد. کود نیتروژنی به میزان 60 میلی‌گرم نیتروژن خالص درکیلوگرم خاک به صورت سولفات آمونیوم اضافه گردید (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397). قبل از کاشت، کودهای فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) فقط به خاک‌هایی افزوده شد که به ترتیب کمتر از 15 میلی‌گرم درکیلوگرم فسفر قابل استفاده (اولسن و سامرز، 1982) و کمتر از 300 میلی‌گرم درکیلوگرم پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم داشتند. 20میلی‌گرم فسفر و 200 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره 5 و 25 میلی‌گرم فسفر و 100 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره هفت افزوده شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397). سپس نهال‌های یک ساله نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل (جدول 2) تقریبا یکسان با ارتفاع حدود 50 سانتی‌متر و قطر حدود یک سانتی‌متر در هر خاک کاشته شد. آزمایش به مدت دو سال و به شکل گلدانی درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت خاک با دامنه متفاوت کربنات کلسیم معادل در چهار تکرار با 28 گلدان انجام شد. بعد از کاشت نهال‌ها، درطول دوره رشد، تغذیه به صورت کود آبیاری با کودهای نیترات پتاسیم (141 میلی-گرم در لیتر)، سولفات پتاسیم (63 میلی‌گرم در لیتر)، سولفات منیزیم (120 میلی‌گرم در لیتر)، مونوآمونیوم فسفات (69 میلی‌گرم در لیتر)، سولفات آمونیم (396 میلی‌گرم در لیتر)، مولیبدات آمونیوم (196 میکروگرم در لیتر) هر دو هفته یک بار انجام شد (بومن و همکاران، 2008) و آبیاری با توزین تصادفی گلدان‌های آزمایشی (فدی و همکاران، 2008) به طور منظم (ضریب تخلیه رطوبت حدود 35 درصد) انجام شد. نمونه‌های برگ در مرداد ماه از برگ‌های میانی سرشاخه‌های فصل جاری در پیرامون هر نهال تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1397). نمونه‌های گیاه ابتدا به روش خشک هضم شد و سپس غلظت عناصر غذایی در این برگ‌ها اندازه‌گیری شد. در برگ‌های نمونه برداری شده، آهن فعال در برگ، غلظت نیتروژن به روش کجلدال (بریمر، 1996)، فسفر به روش مولیبدات وانادات (کیتسون و ملون، 1944)، سولفور به روش کدورت سنجی (جونس و همکاران، 1991)، پتاسیم به روش نشر اتمی (باشور و سایه، 2007)، کلسیم، منیزیم، آهن کل، منگنز، روی و مس به روش جذب اتمی (رایت و استوزنکی، 1996) اندازه گیری شد. هم‌چنین، آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین (باسار، 2003) در برگ و ریشه (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1392) مطابق روش آورده شده شده در ادامه اندازه گیری شد.

آهن فعال

اندازه‌گیری آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین 1/5 درصد و قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (باسر، 2003). آهن فعال در برگ و ریشه، معرف بخشی از آهن است که به شکل دو ظرفیتی و از نظر متابولیکی فعال است که با محلول فنانترولین عصاره‌گیری و در طول موج 510 نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (باسر، 2003؛ نیامن و آگاری، 2007).

شاخص درجه زردی

برای تعیین درجه زردی برگ‌ها، در سال دوم رشد بر اساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش آن‌ها، به هر نهال در هر خاک به طور میانگین درجه‌ای از یک تا پنج (1: برگ‌ها سبز و بدون هیچ گونه علائمی، 2: بین رگبرگ‌ها سبز متمایل به زرد و رگبرگ‌ها سبز، 3: بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سبز و رگبرگ‌ها سبز، 4: بین رگبرگ‌ها زرد و رگبرگ‌ها سبز، 5: بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سفید، رگبرگ‌ها سبز رنگ پریده و مقداری ریزش برگ) داده شد. (اسدی کنگرشاهی، 1397؛ بایرن و همکاران، 1995).

غلظت کلروفیل برگ

در سال دوم آزمایش، نمونه‌های برگ از هر تیمار تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1398). مقدار 0/2 گرم از نمونه برگ‌های هر تیمار به دقت وزن، در هاون چینی ساییده و استون 80 درصد به آن اضافه شد. سپس محلول حاوی کلروفیل نمونه‌ها استخراج و میزان جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای این منظور، ابتدا قرائت اسپکتروفتومتر برای استون روی صفر تنظیم شد و میزان جذب محلول در طول موج‌های 645 نانومتر و 663 نانومتر قرائت شد. سپس غلظت کلروفیل محاسبه شد (آبادیا و آبادیا، 1993).

ضریب انتقال

ضریب انتقال[1] عناصر غذایی که توانایی گیاهان برای انتقال عناصر از ریشه به برگ‌ها را نشان می‌دهد از طریق رابطه زیر محاسبه شد (اسدی کنگرشاهی، 1397).

$$TF = C_{NEL} / C_{NE.R}$$

TF= ضریب انتقال

$C_{NE.L}$= غلظت عنصر در برگ

$C_{NE.R}$ = غلظت عنصر در ریشه

علاوه بر صفات ذکر شده پاسخ‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، رابطه آهک فعال در خاک با آهن فعال در برگ، غلظت نیتروژن ، فسفر، سولفور، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن کل، منگنز، روی و مس بررسی شد. کلیه داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شدند و توصیه‌های لازم ارائه شد.

نتایج و بحث

روند رشد رویشی و وزن خشک: نتایج میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت فلت سویل در خاک‌های مختلف در طول دوره رشد نشان داد که بیشترین رشد قطری در پایان دوره از خاک هفت با بافت متوسط (لوم)، آهک کل 45 درصد و آهک فعال 16 درصد و کمترین رشد از خاک چهار با بافت رسی، آهک کل 30 درصد و آهک فعال14 درصد حاصل شد (شکل1). تأثیر خاک‌های مختلف بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود به طوری که نتایج میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه از خاک دو با آهک کل نه درصد حاصل شد. در مقابل کمترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه از خاک سه با آهک کل 14 و آهک فعال 5 درصد بود (شکل2).

[1] Translocation Factor

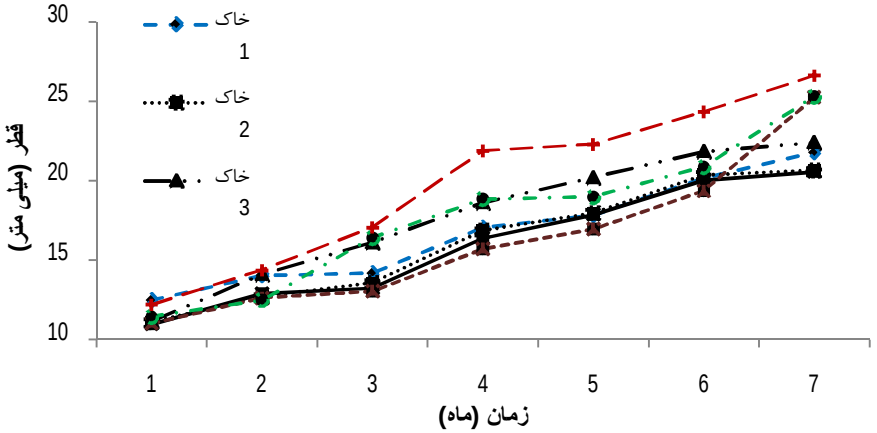
جدول 1- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

ویژگی	خاک و منطقه						
	1	2	3	4	5	6	7
	جنوب بابل	غرب قائم شهر	جنوب ساری	غرب نکا	شمال نکا	غرب ساری	شرق ساری
رس (درصد)	23	29	19	41	13	37	23
سیلت (درصد)	30	26	35	18	29	29	37
شن (درصد)	47	45	46	41	58	34	40
کلاس بافتی خاک	لوم	لوم رسی‌شنی	لوم	رسی	لوم شنی	لوم رسی	لوم
آهک کل(درصد)	2	9	14	30	40	25	45
آهک فعال(درصد)	0	3	5	14	7	10	16
کربن آلی (درصد)	1/17	0/95	1/80	1/60	0/65	1/52	1/10
واکنش گل اشباع	6/81	7/45	7/86	7/60	7/77	7/78	7/76
فسفر(میلی‌گرم در کیلوگرم)	26/3	22/2	15/1	17/1	11/2	18/3	9/9
پتاسیم(میلی‌گرم در کیلوگرم)	404	380	360	460	221	325	265
آهن(میلی‌گرم در کیلوگرم)	7/20	6/40	8/80	8/90	4/40	8/22	6/80
منگنز(میلی‌گرم در کیلوگرم)	3/10	4/20	3/96	5/40	3/20	7/71	3/40
روی(میلی‌گرم در کیلوگرم)	2/40	2/50	0/70	0/60	0/91	1/60	1/50

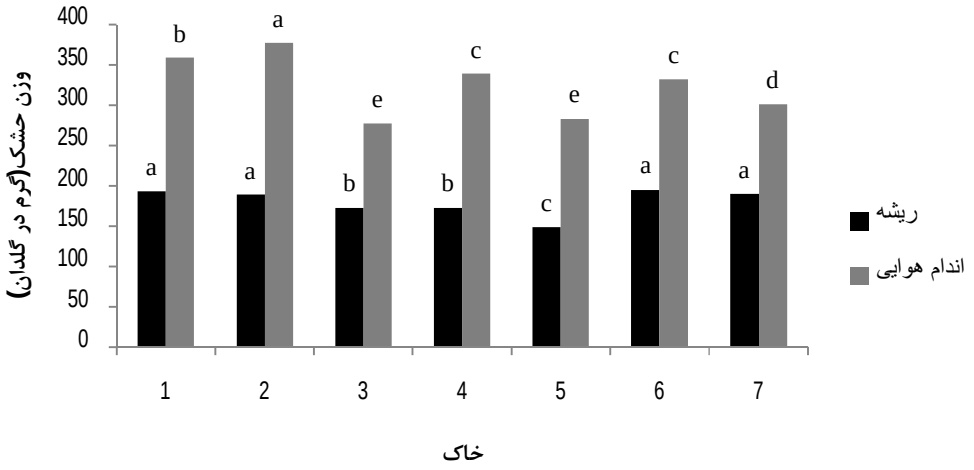
جدول 2- برخی ویژگی‌های پایه‌ی* مورد آزمایش

نام	نام لاتین	نام علمی	ویژگی	
اسموت‌فلت‌سویل	Smooth Flat Seville	*Citrus* spp. hybrid of uncertain origin	واکنش به تریستیزا	واکنش به سرما
			نسبتا متحمل	نسبتاً متحمل

*منبع (سینگ و همکاران، 2002)



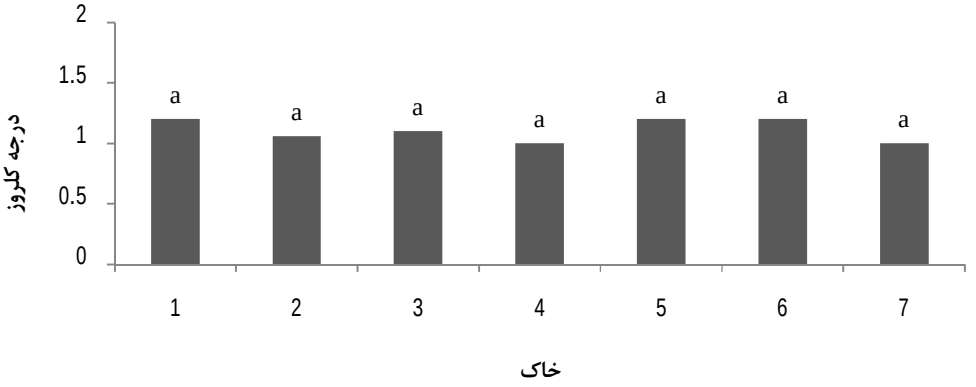
شکل 1- میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های مختلف



شکل 2- میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های مختلف
(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

شاخص درجه زردی برگ

نتایج میانگین درجه کلروز نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت فلت سویل در خاک‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری در درجه زرد برگی در خاک‌های مختلف وجود ندارد. علائم درجه زردی برگی نارنگی انشو با پایه اسموت فلت سویل در خاک‌های مختلف در شکل 3 نشان داد شده است. اگرچه آهک کل اغلب در بیان خصوصیات شیمیایی خاک استفاده می‌شود، اما ارتباط معنی‌داری بین مقدار آهک کل و کاهش رشد و زردی ناشی از کمبود آهن در این نهال‌ها مشاهده نشد. نتایج برخی پژوهش‌های دیگر نشان داده است که همیشه یک ارتباط خوبی بین مقدار آهک کل و کاهش رشد و زردی ناشی از کمبود آهن در درختان مشاهده نشده است (کاستل و نونالی، 2009).



شکل 3- میانگین درجه زردی برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های مختلف
(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

غلظت عناصر پر مصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت فلت سویل به ترتیب در جدول‌های سه و چهار نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که غلظت پتاسیم در ریشه و برگ تقریبا یکسان است اما غلظت گوگرد در ریشه بیشتر از غلظت آن در برگ است به طوری که میانگین غلظت گوگرد در ریشه 0/31 درصد و در برگ‌ها 0/20 درصد بود که نشان داد میانگین غلظت آن در ریشه حدود 1/55 برابر غلظت در برگ است. میانگین غلظت نیتروژن، فسفر، منیزیم و کلسیم در ریشه کمتر از غلظت این عناصر در برگ بود به طوری که میانگین غلظت آن‌ها در برگ به ترتیب حدود 1/34، 1/10، 2/57، 1/79 برابر غلظت آن‌ها در ریشه بود. نتایج نشان داد که منیزیم از بیشترین اختلاف غلظت بین ریشه و برگ برخوردار بود. میانگین ضریب انتقال عناصر پر مصرف نشان داد که گوگرد به علت تحرک پایین در درختان مرکبات، کمترین ضریب انتقال و منیزیم بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند و عناصر کلسیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب پس از منیزیم قرار داشتند (اسدی کنگرشاهی، 1398). به طور کلی دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر پر مصرف از 0/64 تا 2/57 متغیر بود که نشان دهنده تفاوت در روند تجمع و تخلیه عناصر در ریشه است (شکل 4).

جدول 3- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) در برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های مختلف

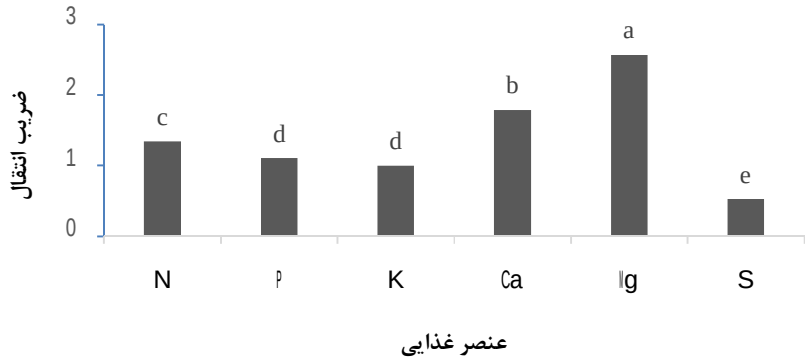
خاک	غلظت عناصر پرمصرف در برگ (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
1	2/51a	0/135a	0/74c	4/45b	0/61a	0/26a
2	2/38ab	0/136a	1/29a	4/48b	0/65a	0/13d
3	2/29b	0/134ab	1/14ab	5/02a	0/53b	0/17c
4	2/30b	0/124b	0/65d	4/80a	0/52b	0/20b
5	2/29b	0/140a	1/01b	3/04c	0/43c	0/22b
6	2/47a	0/135a	1/17ab	2/79d	0/54b	0/21b
7	2/45a	0/129ab	1/18ab	4/88a	0/47bc	0/21b
میانگین	2/38	0/133	0/90	4/12	0/54	0/20

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول 4- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر پرمصرف در ریشه (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
1	1/63ab	0/13ab	0/67c	2/7a	0/14d	0/60a
2	1/29d	0/09c	1/28a	2/4b	0/35a	0/14d
3	1/69a	0/14a	0/81b	1/8c	0/20b	0/31c
4	1/73a	0/12b	0/57d	2/8a	0/18c	0/36c
5	1/51c	0/12b	0/88b	1/9c	0/18c	0/36c
6	1/75a	0/13ab	0/88b	2/9a	0/20b	0/46b
7	1/63ab	0/12b	0/23e	1/4d	0/18c	0/44b
میانگین	1/78	0/12	0/90	2/3	0/21	0/38

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل 4- میانگین ضریب انتقال عناصر پرمصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل (میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

غلظت عناصر کم مصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت آهن کل، آهن فعال، منگنز، روی و مس در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت فلت سویل در جدول‌های پنج و شش نشان داده شده است. نتایج میانگین غلظت آهن فعال در ریشه و برگ نشان داد که غلظت آهن فعال در برگ و ریشه در خاک‌های مختلف متفاوت بود به طوری که کمترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک شش با آهک 25 درصد حاصل شد که حدود 18 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما بیشترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک یک با بافت لوم و آهک 2درصد حاصل شد که 54 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن فعال در برگ و ریشه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. به طور کلی میانگین غلظت آهن فعال در ریشه حدود 32/30 و در برگ حدود 38/00 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها 1425 و در برگ‌ها 128 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن کل در ریشه، بسیار بیشتر از غلظت آن در برگ است. همچنین میانگین ضریب انتقال آهن کل و فعال نشان داد که آهن کل کمترین ضریب انتقال و آهن فعال بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را دارد. میانگین غلظت آهن کل در ریشه در خاک‌های مختلف در حدود 11/13 برابر غلظت آهن برگ بود که نشان می‌دهد بیشتر آهن جذب شده از خاک‌ها در ریشه‌ها تجمع و رسوب کرده است که با نتایج دیگر پژوهشگران در خاک‌های آهکی مطابقت دارد که گزارش کردند بیشتر آهن جذب شده در آپوپلاست سلول‌های ریشه رسوب و ذخیره می‌شود (مارتینز و همکاران، 2017؛ مورالس و همکاران، 1998). نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین مقدار آهن قابل استفاده خاک با غلظت آهن در ریشه و برگ وجود نداشت همچنین بین غلظت آهن در ریشه با غلظت آهن در برگ رابطه معنی‌داری وجود نداشت که نشان داد که غلظت آهن کل نمی‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص کلروز آهن در این پایه باشد و این نتایج با گزارش‌های مارتینز و همکاران (2017) و اسدی کنگرشاهی (1397) مطابقت دارد. بنابراین اندازه‌گیری مقدار آهن قابل استفاده در خاک (به روش DTPA)، شاخص مناسبی برای پیش‌بینی درجه زرد برگی در درختان مرکبات یا حداقل در این پایه و پیوندک نمی‌باشد. ناهنجاری کلروز آهن در برگ‌ها، عمدتا به علت اختلال در جذب آهن توسط ریشه‌ها و انتقال آن از ریشه به برگ‌ها است (مارتینز و همکاران، 2017). برگ‌های دارای کلروز در خاک‌های آهکی ممکن است دارای غلظت بیشتری از آهن نسبت به برگ‌های بدون علائم کلروز باشند، بنابراین کلروز آهن تنها به علت اختلال در جذب آهن توسط ریشه‌ها و انتقال آن از ریشه به اندام هوایی نیست بلکه به راندمان آهن در برگ‌ها نیز بستگی دارد و آهن ممکن است در برگ‌ها غیرمتحرک شود به طوری که

نتایج این پژوهش نشان داد که حدود 2/27 درصد آهن ریشه و 29/68 درصد آهن برگ به شکل فعال بود و حدود 98 درصد آهن در ریشه و 70 درصد آن در برگ‌ها از نظر فیزیولوژی و بیوشیمیایی به شکل غیر قابل استفاده هستند که اصطلاحا تضاد آهن نامیده می‌شود (آربنا و همکاران، 2009؛ سالیبوری و روس، 1992). کمبود آهن در اوایل رشد در هنگام ظاهر شدن فلش‌های بهاره، منجر به کند شدن رشد برگ‌های جدید و کاهش اندازه برگ‌ها می‌شود اما اگر کمبود آهن در هنگام توسعه برگ‌ها رخ دهد موجب کاهش غلظت کلروفیل و زردی می‌شود بنابراین در خاک‌های آهکی، کاهش اندازه برگ‌ها و ریز بودن آن‌ها از علائم کمبود آهن می‌باشد (کاستل و نونالی، 2009؛ مارتینز و همکاران، 2017).

نتایج میانگین غلظت روی در ریشه و برگ نشان می‌دهد که بیشترین غلظت روی در برگ و ریشه از خاک پنج با آهک کل 40 درصد حاصل شد به طوری که غلظت روی در برگ و ریشه در این خاک به ترتیب 42 و 109 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت روی در ریشه و برگ در خاک‌های مختلف به ترتیب حدود 79 و 26 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت روی در ریشه حدود 3/04 برابر میانگین غلظت روی در برگ بود. نتایج میانگین غلظت منگنز نشان داد که ریشه‌ها در خاک سه، چهار و پنج بیشترین غلظت منگنز را داشتند و غلظت منگنز آن‌ها 62 تا 66 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما میانگین غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها پایین بود به طوری که میانگین آن در خاک‌های مختلف از 10/6 تا 13/5 میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود که کمتر از غلظت بهینه منگنز در برگ نارنگی‌های انشو می‌باشد (اسدی کنگرشاهی، 1398). به طور کلی میانگین غلظت منگنز در ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت فلت سویل در خاک‌های مختلف 53/30 میلی‌گرم در کیلوگرم و در برگ 11/54 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت منگنز در ریشه 4/62 برابر میانگین غلظت منگنز برگ است. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت منگنز در برگ نارنگی انشو با پایه اسموت فلت سویل در همه خاک‌های آزمایشی کمتر از حد بهینه بود. نتایج میانگین غلظت مس در ریشه و برگ نشان می‌دهد که ریشه‌ها در خاک با آهک کل 14 درصد بیشترین غلظت مس (23/2میلی‌گرم در کیلوگرم) داشتند. کمترین غلظت مس در ریشه حدود 11 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در خاک با آهک کل 9 درصد حاصل شد. اما بیشترین و کمترین غلظت مس در برگ به ترتیب 8 و 4/1 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از خاک‌های با آهک کل 45 و 14 درصد به دست آمد به طور کلی میانگین غلظت مس در ریشه حدود 3 برابر میانگین غلظت مس در برگ بود. میانگین ضرایب انتقال عناصر کم مصرف در خاک‌های مختلف نشان داد که ضریب انتقال عناصر روی، مس، منگنز و آهن کل به ترتیب پس از آهن فعال قرار داشتند و دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر کم مصرف از 0/09 تا 1/18 متغیر بود (شکل6).

بر اساس نتایج این پژوهش، بین قابلیت استفاده منگنز در خاک با غلظت آن در ریشه و برگ و همچنین بین غلظت منگنز در ریشه با غلظت آن در برگ رابطه معنی‌داری وجود ندارد و بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کمبود منگنز در برگ درختان مرکبات شمال کشور، به علت کمبود منگنز در خاک نیست بلکه ناشی از انتقال منگنز از ریشه به اندام هوایی است که با وجود غلظت زیاد منگنز در خاک و ریشه، غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها در دامنه کمبود قرار داشت که با گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (1398) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (1399) مطابقت دارد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های اسدی و همکاران (1381)، اسدی و محمودی (1379)، خویی (1360) و بی نام (1353) مطابقت دارد که گزارش کردند اغلب مرکبات منطقه شرق مازندران کمبود پنهان و آشکار منگنز دارند. نتایج پژوهش‌های اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (1396) نشان داد که با وجود این که مقدار منگنز قابل استفاده در همه خاک‌های آزمایشی بیشتر از حد مطلوب

بود اما غلظت منگنز در برگ اغلب درختان کمتر از حد بهینه بود، این شرایط در مطالعات میدانی در خاک‌های تحت کشت مرکبات در شرق مازندران نیز گزارش شده است (طهرانی و همکاران، 1390؛ اسدی و اخلاقی، 1393). همچنین نتایج این آزمایش با نتایج گزارش‌های اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (1396) مطابقت دارد که اظهار داشتند میانگین غلظت منگنز در ریشه نانگی انشو میاگاوا با پایه سوینگل‌سیتروملو در خاک‌های مختلف حدود 3/2 برابر غلظت آن در برگ است. برخی گزارش‌ها (سریواستاوا و سینک، 2002؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393) نشان داده است که کمبود منگنز اغلب در خاک‌های کم عمق با مواد آلی زیاد که بالای خاک‌های آهکی قرار دارند (مانند برخی خاک‌های مناطق جنگلی شرق مازندران در شیب تپه‌ها که تبدیل به باغ شده‌اند). خاک‌های رسی و سیلتی رسوبی و همچنین خاک‌های باتلاقی با آهک زیاد (مانند برخی خاک‌های مناطق میانه و شرق مازندران و همچنین خاک‌هایی که زمانی آب‌بندان بوده‌اند) و خاک‌های آهکی با مواد آلی زیاد و زهکشی ضعیف (بیشتر خاک‌های شرق مازندران) مشاهده می‌شود. نتایج مطالعات شبکه‌ای خاک‌های مازندران نیز نشان می‌دهد مقدار منگنز قابل استفاده، در خاک بیشتر باغ‌های مرکبات بیش از حد کفایت است. ولی در مقابل، غلظت منگنز در برگ اکثر این باغ‌ها کمتر از حد کفایت می‌باشد و علائم کمبود آن در اکثر باغ‌ها به وضوح مشاهده می‌شود. همچنین اسدی کنگرشاهی و محمودی (1379) گزارش کردند که غلظت منگنز در برگ حدود 60 درصد باغ‌های مرکبات منطقه شرق مازندران در دامنه کمبود قرار دارد و آن را به عنوان یکی از عوامل محدود کننده تولید در منطقه ذکر کردند.

قابلیت فراهمی روی در خاک تحت تأثیر خواص شیمیایی خاک است در خاک‌های با پ‌هاش بالا رابطه بین مقدار روی خاک با روی برگ درختان بسیار ضعیف است (سلاتو و همکاران، 2018). با توجه به حد کفایت روی قابل استفاده برای مرکبات (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)، در این آزمایش مقدار روی قابل استفاده در خاک‌های 3، 4و 5 به ترتیب با آهک کل 14، 30 و 40 درصد کمتر از حد کفایت، در خاک‌های 6 و 7 به ترتیب با آهک کل 25 و 45 درصد در حد کفایت و در خاک‌های 1 و 2 به ترتیب با آهک کل 2 و 9 درصد بیش از حد کفایت بود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1394). نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت روی برگ در خاک 5 با بافت سبک و آهک کل 40 درصد و خاک 7 با بافت لوم و آهک کل 45 درصد در حد کفایت و در سایر خاک‌ها کمتر از حد کفایت است که نشان می‌دهد ارتباط معنی‌داری بین مقدار روی قابل استفاده خاک و غلظت روی در برگ درختان در این آزمایش وجود ندارد.

جدول 5- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت-سویل در خاک‌های مختلف

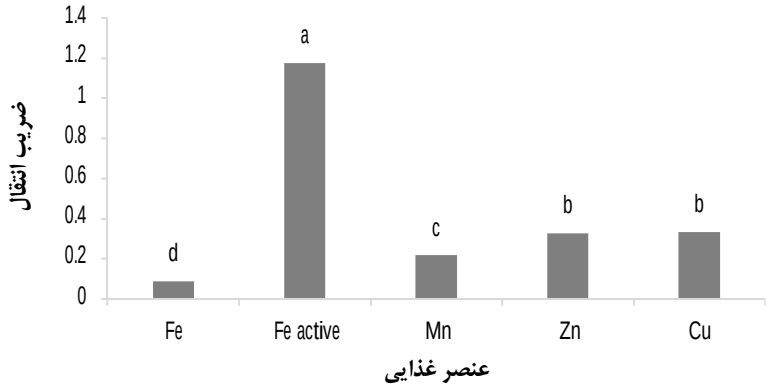
خاک	غلظت عناصر کم مصرف در برگ (میلی‌گرم برکیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
1	93c	31b	11a	24b	5/6b
2	219a	43a	10/6a	24b	6/2ab
3	137b	33b	11/4a	21b	4/1c
4	137b	40a	13/5a	23b	5/2b
5	104c	40a	12a	42a	7/0a
6	106c	40a	10/9a	20b	8/0a
7	100c	39a	11/4a	28b	6/8a
میانگین	128	38	11/54	26	6/13

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول 6- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر کم مصرف در ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
1	1323b	54a	53b	47/7e	12/11c
2	1119c	48a	39c	58d	11/00c
3	2049a	19c	66a	91b	23/20a
4	1639b	30b	63a	101a	19/10b
5	1604b	21c	62a	109a	19/20b
6	895d	18c	43bc	71c	20/20ab
7	1349c	36b	47bc	78c	22/20a
میانگین	1425	32/3	53/3	79	18/4

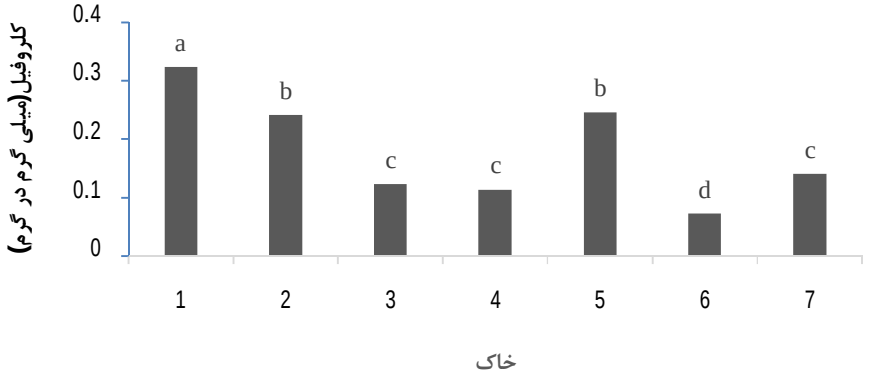
*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل 5- میانگین ضریب انتقال عناصرکم مصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل (میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

کلروفیل برگ

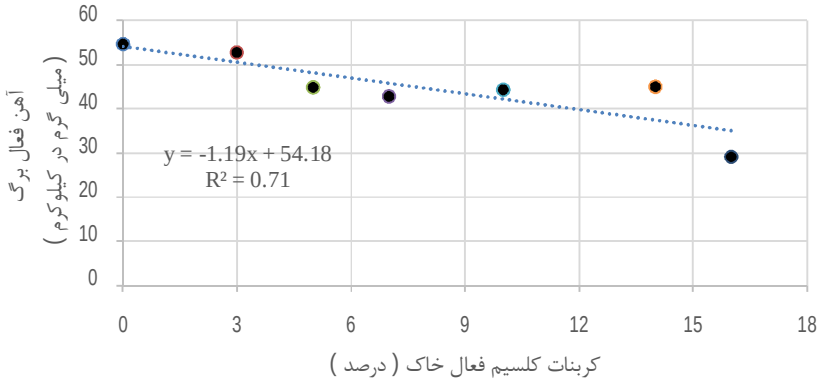
نتایج اثر خاک‌های مختلف بر میانگین غلظت کلروفیل برگ نشان داد که بیشترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک یک حاصل شد و کمترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک شش به دست آمد. میانگین غلظت کلروفیل در خاک‌های دو و پنج یکسان بود و پس از خاک یک قرار گرفتند. خاک‌های سه و چهار نیز در کلاس پس از خاک‌های دو و پنج قرار گرفتند (شکل6). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که بین کربنات کلسیم معادل خاک و غلظت آهن فعال در برگ ارتباط معنی‌داری وجود نداشت و همچنین بین غلظت آهن فعال در برگ با غلظت کلروفیل در برگ نیز ارتباط معنی‌داری وجود نداشت. نتایج پژوهش‌های گذشته نشان داد است که کمبود آهن بر بیوشیمی، مورفولوژی و فیزیولوژی برگ درختان مرکبات تاثیر دارد، زیرا آهن یک کوفاکتور مهم برای بسیاری از آنزیم‌ها است که برخی از این آنزیم‌ها در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند، بنابراین کمبود آهن می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل برگ می‌شود و با کمبود آهن، غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد (مارتینز و همکاران، 2013 و 2017). مهمترین علت کمبود آهن در خاک‌های آهکی، زیادی یون بی‌کربنات می‌باشد که موجب افزایش پ‌هاش خاک و کاهش قابلیت استفاده آهن می‌شود که به زردی ناشی از آهک معروف است (پستانا و همکاران، 2011 و 2005). درختان مرکبات با پایه اسموت فلت سویل که در این خاک‌های با آهک زیاد کشت شدند تقریباً علائم کمبود آهن یا زردی ناشی از کمبود آهن مشخصی نداشتند که نشان می‌دهد این پایه به قابلیت استفاده کم آهن در این خاک‌ها سازگاری دارد . این نتایج با گزارش‌های کاستل و همکاران (1992) مطابقت دارد. آهن یک کوفاکتور مهم برای بسیاری از آنزیم‌ها می‌باشد که برخی از این آنزیم‌ها در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند، بنابراین کمبود آهن موجب کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (لاربی و همکاران، 2006؛ منگل، 1995). کمبود آهن همچنین موجب چندین خسارت بیوشیمیایی و ریزساختاری می‌شود که مانند دیگر تنش‌های زنده و غیر زنده، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. تولید این گونه‌های اکسیژن فعال پیامد تغییر در زنجیره انتقال الکترون، خسارت فراساختاری به کلروپلاست‌ها و کاهش بیوسنتز کاروتنوئیدها می‌شود که درختان را حساس به تنش‌های محیطی از جمله تنش سرما و یخبندان می‌شود (ماتینز و همکاران، 2017؛ منگل، 2001).



شکل 6- میانگین غلظت کلروفیل کل برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت‌فلت‌سویل
(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

رابطه آهک فعال خاک با غلظت آهن فعال برگ

نتایج این پژوهش نشان داد بین آهک فعال خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه اسموت فلت سویل، همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد و با افزایش آهک فعال خاک‌ها، غلظت آهن فعال برگ کاهش یافت (شکل 7). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود کاهش غلظت آهن فعال برگ در نهال‌ها، علائم زرد برگی (کلروز) در خاک‌های مختلف وجود نداشت (شکل3). حد کفایت آهن قابل استفاده در خاک (با عصاره‌گیر DTPA) برای درختان مرکبات حدود 4 تا 5 میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397). دامنه آهن قابل استفاده خاک‌های آزمایشی از 4/40 تا 8/90 میلی‌گرم در کیلوگرم بود بنابراین مقدار آهن قابل استفاده در همه خاک‌ها بیشتر از حد کفایت است. در خاک‌های یک و دو که آهن قابل استفاده آن‌ها به ترتیب 7/20 و 6/40 میلی‌گرم در کیلوگرم بود، غلظت آهن فعال در برگ آنها به ترتیب 54 و 48 میلی‌گرم در کیلوگرم بود اما در خاک‌های سه که آهن قابل استفاده آن8/80 میلی‌گرم در کیلوگرم بود غلظت آهن فعال در برگ 19 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. لذا غلظت آهن فعال در برگ نارنگی انشو میاگاوا با پایه اسموت فلت سویل به عواملی دیگر غیر از مقدار آهن قابل استفاده خاک بستگی دارد. بافت خاک، آهک خاک، بی‌کربنات محلول خاک، ویژگی‌های بیولوژیکی و فیزیکی خاک نیز از عوامل اصلی کنترل کننده غلظت آهن در محلول خاک و غلظت آهن فعال در برگ هستند که نقش زیادی در فراهمی آهن برای درختان در خاک‌های آهکی دارند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1399). اما نتایج این تحقیق نشان داد که تنها بین مقدار آهک فعال با غلظت آهن فعال در برگ همبستگی منفی معنی‌داری (شکل7) وجود داشت و بین سایر ویژگی خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ رابطه معنی‌داری حاصل نشد. لذا مقدار آهک فعال مهمترین ویژگی خاکی برای پیش‌بینی غلظت آهن فعال برای پایه اسموت فلت سویل است. بنابراین در کل نتایج این تحقیق نشان داد که درختان نارنگی انشو با پایه اسموت فلت سویل در خاک‌های آهکی با دامنه آهک کل از 2 تا 45 درصد علائم زرد برگی نشان نداشتند اما غلظت آهن فعال آنها تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار گرفت به طوری که با افزایش آهک فعال خاک، غلظت آهن فعال برگها نیز کاهش یافت (شکل 8). گزارش‌های قبلی نشان داد که پایه سوینگل‌سیتروملو در خاک‌های با آهک کل بیشتر از 14 و آهک فعال بیشتر از 5 درصد علائم زردبرگی دارند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1396). پایه سی 35 و کاریزوسیترنج در خاک‌هایی با بافت نسبتا سنگین و سنگین و با آهک کل بیشتر از 14 درصد علائم شدید زرد برگی و کاهش رشد نشان دادند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،1399 و 1401).



شکل 7- رابطه بین کربنات کلسیم فعال خاک با غلظت آهن فعال در برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه اسموت‌فلت‌سویل

شکل 8- علائم زردی برگی نارنگی انشو با پایه اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های آهکی (ویژگی خاک‌ها در جدول 1 تعریف شده است)

به طور کلی گزارش‌های مختلف نشان داده است که نارنج و اسموت فلت سویل در بسیاری از جهات مشابه و با هم قابل مقایسه هستند. داده‌های باغبانی از آزمایش‌های میدانی نشان داده است که پایه اسموت فلت سویل کاملا مشابه نارنج نیست اما پایه‌ای مناسب برای بیشتر ارقام مرکبات از جمله پرتقال‌ها ناول، نارنگی‌های انشو و گریپ‌فروت در خاک‌های آهکی است به طوری که تقریبا متحمل به تنش سرما و یخبندان و همچنین سازگار با طیف وسیعی از شرایط خاکی از جمله خاک-های آهکی است (اخلاقی امیری، 1399؛ هاچیسون و

بیسلاین، 1981؛ بیونگتون و کولیس، 1990؛ وتسچر، 1977). با توجه به ویژگی‌های باغبانی قابل قبول این پایه، از نظر مقاومت به بیماری ویروسی تریستیزا برخی گزارش‌ها نشان داده است که این پایه تحت تاثیر سویه-های شدید این بیماری قرار می‌گیرد و به اندازه کاریزوستیرنج به این بیماری مقاوم نیست بنابراین در مناطقی که سویه‌های شدید این بیماری وجود دارد نیاز به بررسی بیشتر است اما برای مناطقی با سویه خفیف و متوسط این بیماری، قابل توصیه است (گریم و گارنسی، 1968؛ کاستلو همکاران، 1992). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تاثیر زیادی در پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی پایه اسموت فلت سویل دارد. به طوری که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک‌های با آهک کل نه درصد حاصل شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش آهک فعال در خاک‌ها، غلظت آهن فعال در برگ نهال‌ها کاهش یافت اما درجه زردی برگ نهال‌های روی این پایه در خاک‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و علایم زرد برگی در نهال‌های روی این پایه در خاک‌های مختلف مشاهده نشد. نتایج این پژوهش با گزارش‌های کاستل و همکاران (1992) مطابقت دارد که نشان دادند درختان مرکبات با پایه اسموت فلت سویل به خوبی در خاک‌های آهکی رشد کردند و علائم کلروز در خاک‌های با آهک مختلف نداشتند. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، که شاخص زرد برگی نهال‌ها در خاک‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند این پایه متحمل به آهک خاک است و به باغداران توصیه می-شود در خاک‌های آهکی (به ویژه خاک‌های با آهک کل متوسط و زیاد) از این پایه به عنوان پایه جایگزین برای نارنج در احداث باغ استفاده کنند.

فهرست منابع:

1. اخلاقی امیری، ن. 1399. شاخص‌های عملکردی و کیفی نارنگی انشو میاگاوا روی شش پایه در شرق مازندران. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
2. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1401. بررسی ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژی و زردبرگی نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در برخی خاک‌های آهکی. مجله پژوهش‌های خاک، جلد 36، شماره 1، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
3. اسدی کنگرشاهی، ع. 1398. مدیریت کوددهی درختان بارده مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.
4. اسدی کنگرشاهی، ع. 1398. بررسی وضعیت مدیریت منگنز متناسب با مراحل رشد و تاثیر آن بر عملکرد و کیفیت مرکبات شرق مازندران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد 9 شماره 5، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
5. اسدی کنگرشاهی، ع. 1397. روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و تحمل ترویرسیترنج به خاک‌های آهکی. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، جلد 9 شماره 2، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
6. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1399. بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه سی-35 در چند خاک آهکی . مجله پژوهش‌های خاک، جلد 32، شماره 2، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
7. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1397. مدیریت احداث باغ پایدار مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.
8. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و علیرضا فلاح. 1397. راهنمای نمونه‌برداری و تفسیر نتایج تجزیه خاک و برگ برای درختان مرکبات. نشریه فنی 561، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

9. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن اخلاقی امیری. 1396. روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و درجه زرد برگی نارنگی انشو به پایه سوینگل سیتروملو در در برخی خاک‌های آهکی مازندران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد 31، شماره 2، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

10.اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1394. بررسی شاخص درجه زردی پایه‌های مختلف مرکبات در خاک‌های آهکی شرق مازندران. چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، کرمان، ایران.

11.اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1393. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات. جلد اول، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

12.اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و م. ج. ملکوتی. 1390. تاثیر مصرف چهار ساله روی بر عملکرد و کیفیت پرتقال سانگین. مجله علوم خاک و آب. جلد 42، شماره 1، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

13.اسدی کنگرشاهی، ع. و م. محمودی. 1379. ضرورت مصرف عناصر روی و منگنز در باغ‌های مرکبات شرق مازندران. مجله علمی پژوهش خاک و آب (ویژه نامه باغبانی)، موسسه تحقیقات خاک و آب. جلد 12 شماره 8، تهران، ایران.

14.اسدی کنگرشاهی، ع، ن. اخلاقی امیری، م. محمودی و م. جعفر ملکوتی. 1381. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در مرکبات مازندران (محدودیت‌ها و توصیه‌ها): قسمت دوم ـ عناصر ریزمغذی. نشریه فنی شماره 269. نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.

15.اسدی کنگرشاهی، علی، ن. اخلاقی امیری و م. سمر . 1394. شاخص درجه زردی و آهن فعال برای ارزیابی تحمل برخی پایه‌های مرکبات به آهک خاک. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج، ایران.

16.بی نام. 1353. گزارش های پژوهشی اداره حاصلخیزی و خاکشناسی مازندران. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

17.خویی، س. 1360. بررسی وضعیت تغذیه گیاهی مرکبات شرق مازندران. نشریه شماره 648، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

18.طهرانی، م. م.، م. پسندیده و م. ح. داودی. 1390. تعیین پراکنش و توصیه عناصر کم مصرف در اراضی تحت کشت آبی استان های گیلان، مازندران، همدان، کرمانشاه، آذربایجان غربی و اصفهان. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. نشریه شماره 1618. 30 صفحه. ایران.

19. Abadia, J. and A. Abadia. 1993. Iron and plant pigments. In: Barton, L.L. & Hemming, B.C., eds. Iron chelation in plants and soil microorganisms. New York, Academic Press, 327-343.
20. Alcantara, E., I. Montilla, P. Ramirez, P. Garcia-Molina and F.J. Romera. 2012. Evaluation of quince clones for tolerance to iron chlorosis on calcareous soil under field conditions. Scientia Horti. 138: 50 – 54.
21. Basar, H. 2003. Analytical methods for evaluating chlorosis in peach trees. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 34: 327-341.
22. Bashour, I. and A.A. Sayegh. 2007. Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. P. 49-53.
23. Barrett, H.C. and A.M. Rhodes. 1976. A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated citrus and its close relatives. System. Bot. 1(2): 105-136.
24. Belkhodja, R., F. Morales, A. Abadia, J. Gomes and J. Abadia. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in Barley (Hordeum vulgare L.). Plant Physiol. 104: 667-673.

25. Bevington, K.B. and B.R. Cullis. 1990. Evaluation of rootstocks for Marsh and Davis grapefruit in the Murray Region of New South Wales. Aust. J. Expt. Agr. 30: 405-411.
26. Boman, B.J., T.A. Obreza and K.T. Morgan. 2008. Citrus Best Management practices: Fertilizer rate recommendation and precision application in Florida. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture. pp. 573 – 578.
27. Bremmer, J.M. 1996. Total Nitrogen. P.1085-1122. In: D. L. Sparks et al. (eds.) Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
28. Byrne, D.H., R.E. Rouse and J. Sudahono. 1995. Tolerance to citrus rootstocks to lime-induced iron chlorosis. Subtrop. Plant Science. 47: 7 – 11.
29. Castle, W.S. 1987. Citrus rootstocks. P. 361-399. In: R.C. Rom and R. F. Carlson (eds.). Rootstocks for fruit crops. J.Wiley and Sons, NY.
30. Castle, W.S, R.R. Pelos, C.O. Youtsey, F.G. Gmitter, R.F. Lee, C.A. Pwell and X. Hu. 1992. Rootstocks similar to Sour orange for Florida citrus trees. Proc. Fla. State Hort. Soc. 105: 56-60.
31. Castle, W.S. and J. Nunnallee. 2009. Screening citrus rootstocks and related selections in soil and solution culture for tolerance to low-iron stress. HortScience. 44: 638-645.
32. Castle, W.S., J.C. Baldwin and R.P. Muraro. 2010. Rootstocks and the performance and economic returns of' 'Hamlin' sweet orange trees. HortScience. 45: 875-881.
33. Fadl, A., M. El-Otmani, M.C. Benismail, A. Abouatallah and E. Jaouhari. 2008. Optimizing irrigation water supply in a young citrus orchard. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture. pp. 573 – 578.
34. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. P. 383 – 411. In: A. Klute, (ed.) Methods of Soil Analysis. Part1. SSSA, Madison, WI.
35. Grimm, G.R. and S.M. Garnsey. 1968. Foot rot and tristeza tolerance of Smooth Seville orange from two sources. Proc. Fla. State Hort. Soc. 81: 84-90.
36. Hodgson, R.W. 1967. Horticultural varieties of citrus. P. 431-591. In: W. Reuther, H.J. Webber, and L. D. Batchelor (eds.). The citrus industry, vol. I. University of California Press, Berkeley.
37. Hutchison, D.J. and F.W. Bistline. 1981. Preliminary performance of 7-yr-old "Valencia" orange trees on 21 rootstocks. Proc. Fla. State Hort. Soc. 94: 31-33
38. Jones, J.B., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Macro-Micro Pub. Inc., Athens, GA.
39. Kitson, R.E. and M.G. Mellon. 1944. Colorimetric determination of P as a molybdovanadate phosphoric acid. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 16: 379-383.
40. Larbi, A., A. Abadia, J. Abadia and M. Morales. 2006. Down co-regulation of light absorption, photochemistry and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environment. Photosynth. Res. 89: 113-126.
41. Lindsay, W.L. and W.A. Norvel. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
42. Loeppert, R.H., L.C. Wei and W.R. Ocumpaugh. 1994. Soil factors influencing the mobilization of iron in calcareous soils. In: Manthey, J.A., Crowley, D.A., Luster, D.G. (Eds.), Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere. Lewis Publishers. Boca Raton. PP. 343 – 360.
43. Louzada, E.S., H.S. Rio, M. Setamou, J.W. Watson and D.M. Swietlik. 2008. Evaluation of citrus rootstocks for the high pH, calcareous soils of South Texas. Euhytica. 164: 13 – 18.
44. Martinez-Cuenca, M.R., M.A. Forner-Giner, D.J. Iglesias, E. Primo-Millo and F. Legaz. 2013. StrategyI responses to Fe-deficiency of two citrus rootstocks differing in their tolerance to ironchlorosis. Scientia Horticulturae 153:56–63.

45. Martinez-Guenca, M.R., A. Primo-Capella, A. Quinones, A. Bermejo and M.A. Froner-Giner. 2017. Rootstock influence on iron uptake responses in citrus leaves and their regulation under the Fe paradox effect. Peer J. 5:e3553 https://doi.org/10.7717/peerj.3553
46. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P. 199- 224. In: A.L. Page et al. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. SSSA. Madison, WI.
47. Mengel, K. and E. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th edition, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
48. Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis in calcareous soils, In: J. Abadia (Ed.), *Iron Nutrition in Soils and Plant*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 389-397.
49. Mishra, A., K.B. Mishra, H. Hoermiller, A.G. Heyer and L. Nedbal. 2011. Chlorophyll fluorescence emission as a reporter on cold tolerance in Arabidopis thaliana accession. Plant Signaling and Behavior. 6: 301-310.
50. Molassiotis, A., G. Tanoa, G. Diamantidis, A. Patakas and I. Therios. 2006. Effect of 4-month Fe deficiency exposure on Fe reduction mechanism, photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense in two peach rootstocks differing in Fe deficiency tolerance. J. Plant Physiol. 163: 176-186.
51. Morales, F., R. Grasa, A. Abadia and J. Abadia. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees, Journal of Plant Nutrition. 24: 815-825.
52. Neaman, A. and L. Aguirre. 2007. Comparison of different methods for diagnosis of iron deficiency in avocado. Journal of Plant Nutrition. 30: 1098 – 1108.
53. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total cabon, organic carbon, and organic matter.P. 539 – 579. In: A.L. Page et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. Part II. 2th ed. ASA, SSSA, Madison, WI.
54. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. In: A.L. Page et al., (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Monograph no 9. (pp. 403-430). Amrican Agronomy, Madison, WI.
55. Pestana, M., P.J. Correia, M. David, A. Abadia, J. Abadia and A. Varennes. 2011. Response of five citrus rootstocks to iron deficiency. Journal of Plant Nutrition.and Soil Science. 174: 837 – 846.
56. Pestana, M., M. David, A. de Varennes, J. Abadia and E. A. Faria. 2001. Responses of Newhall orange trees to iron deficiency in hydroponics: effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency and root ferric chelate reductase activity. Jounal of Plant Nutrition. 24: 1609-1620.
57. Pestana, M., A. de Varrnnes, J. Abadia and E. Araujo Faria. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. Scientia Horticulturae. 104: 25 – 36.
58. Qrtiz, P.R., B.J.C. Meza, F.R. Garza Requena, G.M. Flores and J.D. Etchevers Barra. 2007. Evaluation of different iron compound in chlorotic Italian lemon. Plant Physiology and Biochemistry. 45: 330-334.
59. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation in leaves as a secondary eventin Fe deficiency chlorosis. Journal of Plant Nutrition. 23:1629–1643.
60. Salisbury, F.B. and C.W Ross. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. 682 pp.
61. Sallato, B., T. DuPont and D. Granatstein. 2018. Tree fruit soil fertility and plant nutrition in cropping orchards in central Washington. WSU Extension.
62. Schneider, A.1997. Release and fixation of potassium by a loamy soil as affected by initial water content and potassium status of soil samoles. European Journal of Soil Science. 48: 263 – 271.
63. Singh. A., S. Naqvi and S. Singh. 2002. Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks. Natural Research Centre for Citrus, Kalyani publishers. New Delhi, India.

64. Srivastava, A.K. and S. Singh. 2003. Citrus nutrition. International Book Distributing Co. (IBDC). India.
65. Tagliavini, M. and A.D. Rombola. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. Eur. J. Agron. 15: 71– 92.
66. Wutscher, H.K. 1977. The influence of rootstocks on yield and quality of red grapefruit in Texas. Proc. Intern. Soc. Citriculture. 2: 526-529.
67. Wright, R.J. and T.I. Stuczynski. 1996. Atomic absorption and flame emission spectroscopy. In: Methods of Soil Analysis. Sparks, D.L. (Ed.), Part III, Chemical Methods, SSSA Book Series No.5, SSSA, Madison, WI. P. 65–91.
68. Yang, L., G. Li, Q. Lin and X. Zhao. 2010. Active carbonate of chestnut soils in different lands. Ecology Environmental Science. 19: 428 – 432.

نشریه علمی پژوهش‌های خاک / الف / جلد 36 / شماره 4 / 1401

اثر کاربرد گوگرد بر شاخص‌های رشد نهال نارنج و برخی ویژگی‌های یک خاک غیرآهکی

طاهره رئیسی[1] و احسان کهنه

استادیار پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر؛ **taraiesi@gmail.com**

استادیارپژوهشکده چای،مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر؛ **e.kahneh@areeo.ac.ir**

ص **389 - 403**

دریافت: **1401/8/28** و پذیرش: **1401/12/22**

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کاربرد گوگرد با و بدون کود گاوی بر شاخص‌های رشد نهال جوان نارنج و نیز شاخص‌های کیفی یک خاک غیرآهکی (pH=6/8) اجرا شد. بدین منظور هشت تیمار مختلف شامل کاربرد گوگرد به تنهایی و یا به‌صورت توأم با کود گاوی با هدف تأمین 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک درنظرگرفته شد. هشت ماه پس از کاشت نهال‌ها، گیاهان برداشت شد و وزن شاخسار و نیز غلظت عناصر غذایی در برگ نهال اندازه‌گیری شد. هم¬چنین در پایان آزمایش، برخی ویژگی¬های زیستی و شیمیایی معرف کیفیت خاک در نمونه خاک¬های پیرامون ریشه نهال نارنج تعیین گردید. بررسی نتایج نشان داد که اثرات ترکیبی گوگرد و کود گاوی بر شاخص¬های رشد نهال نارنج و نیز شاخص¬های کیفیت خاک بیشتر از اثرات هریک از این اصلاح¬کننده های خاک به تنهایی بود. هم¬چنین، کاربرد 10 گرم گوگرد دارای اثرات مثبتی بر وزن شاخساره نارنج و نیز غلظت فسفر، کلسیم، آهن و روی در برگ نارنج بود و این اثرات مثبت در شرایط کاربرد کود گاوی ارتقا بخشیده شد. هم¬چنین با افزایش سطح کاربرد گوگرد، پهاش خاک کاهش یافت و این کاهش در شرایط کاربرد توأم گوگرد و کود گاوی بیشتر بود. هم-چنین نتایج نشان داد که مقدار قابل استفاده فسفر، پتاسیم، کلسیم، سولفات، روی و آهن در خاک متاثر از سطح کاربرد گوگرد بود. علاوه براین، با کاربرد 10 گرم گوگرد مقدار هدایت‌الکتریکی خاک افزایش یافت هرچند افزایش سطح کاربرد گوگرد منجر به افزایش بیشتر این ویژگی نشد. هم¬چنین، بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی در شرایط کاربرد 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی به دست آمد. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد مقادیر بیشتر از 20 گرم گوگرد بر رشد شاخسار نارنج و نیز فعالیت¬های زیستی اندازه‌گیری شده در خاک مورد مطالعه اثر ممانعت¬کننده ای داشت.

واژه‌های کلیدی: کود گاوی، فعالیت‌های زیستی، عناصر غذایی در برگ، شاخص‌های کیفیت خاک، آنزیم‌های فسفاتاز.

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری، رامسر، ایران.

مقدمه

گوگرد یکی از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد بهینه و عملکردهای سوخت و سازی در گیاهان است، نیاز بسیاری از گیاهان از قبیل مرکبات به گوگرد مشابه فسفر می¬باشد (ذکری و همکاران، 2013). کشت متراکم، استفاده از کودهای فاقد گوگرد و کاهش تهنشت¬های اتمسفری دلایل اصلی رخداد کمبود گوگرد در خاک¬های کشاورزی می¬باشد (دیویتو و همکاران، 2015). بنابراین استفاده از کودهای گوگردی در بسیاری از مناطق دنیا برای تولید بهینه محصولات باغی از جمله مرکبات رو به افزایش است (موروحی، 2012؛ ال-واکیل و منصور، 2014؛ مجیدی، 1395). نتایج اثر کاربرد گوگرد بر عملکرد و مقدار عناصر غذایی در برگ پرتقال والنسیا در جنوب آفریقا (موروحی، 2012). نشان داد که با افزایش مقدار کود گوگردی، پ-اچ کاهش و مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت. علاوه بر این، با افزایش مقدار کاربرد گوگرد، غلظت این عنصر، روی و مس در برگ افزایش اما غلظت نیتروژن، منگنز و آهن کاهش یافتند.

در تحقیقی دیگر، اثر کاربرد گوگرد به تنهایی یا به‌صورت توأم با خاکستر چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و نیز بر شاخص‌های رشد، غلظت عناصر غذایی در برگ درختان جوان پرتقال بررسی شد (ال-واکیل و منصور، 2014). نتایج نشان داد با افزودن گوگرد به خاک، مقدار پ-اچ خاک کاهش یافت این درحالی بود که با افزایش سطح کاربرد خاکستر چوب در خاک، پ-اچ خاک افزایش نشان داد. کاربرد گوگرد تأثیری بر مقدار نیتروژن و عناصر ریزمغذی در برگ نداشت درحالی‌که مقدار فسفر و پتاسیم در برگ افزایش یافت. کاربرد گوگرد مانند بسیاری از دیگر عناصر غذایی ضمن حفظ و یا بهبود عملکرد گیاهان، به¬طور مستقیم و یا غیرمستقیم منجر به ایجاد تغییراتی در ویژگی¬های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نیز می¬شود. کاربرد گوگرد در خاک عمدتاً از طریق تاثیر بر پ-اچ خاک، می¬تواند بر قابلیت جذب سایر عناصر غذایی (ال-واکیل و منصور، 2014) و نیز بر فعالیت¬های زیستی خاک (رضایی و همکاران، 1382) تأثیرگذار باشد. به هرحال، هنوز عدم قطعیت در مورد تأثیر کود گوگردی بر کیفیت و ظرفیت تولید خاک وجود داشته و برخی اطلاعات موجود در این زمینه متناقض می‌باشند (گوپتا و همکاران، 1988؛ مالیک و همکاران، 2021). بنابراین لازم است که اثرات کاربرد این عنصر بر شاخص¬های کیفیت خاک نیز در خاک¬های مختلف مورد بررسی و توجه قرار گیرد.

گوگرد از طریق تأثیر بر پ-اچ خاک می¬تواند شاخص¬های مرتبط با کیفیت خاک را به طور مستقیم و یا به طور غیر مستقیم تحت¬تأثیر قرار دهد (آکوستا و همکاران، 2000؛ هاشمی‌نژاد و همکاران، 2012؛ رضاپور، 2014؛ ماسودا و همکاران، 2016؛ مالیک و همکاران، 2021).

به هر حال بررسی منابع نشان می‌دهد بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی کاربرد گوگرد عنصری و پیامدهای ناشی از این کاربرد به‌ویژه در داخل کشور در خاک¬های آهکی انجام شده و در بیشتر این تحقیقات تمرکز بر اثر کاربرد گوگرد بر شاخص¬های رشد گیاه بوده است. اما با توجه به نقش اساسی گوگرد در کمیت و کیفیت محصول، امروزه استفاده از این عنصر در باغ¬های مرکبات کشور نیز رو به رشد است. خاک بسیاری از باغ¬های مرکبات در شمال کشور دارای پ-اچ خنثی تا اسیدی می¬باشند و با توجه به گرایش رو به رشد باغداران به استفاده از این عنصر در باغ¬های خود، و نیز با توجه به این امر که توصیه کودی دقیقی در زمینه کاربرد گوگرد در خاک¬های غیرآهکی در داخل کشور وجود ندارد لازم است که اثرات کاربرد مقادیر مختلف گوگرد بر پارامترهای رشد مرکبات و نیز بر شاخص‌های کیفی خاک غیرآهکی نیز بررسی شود. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر کاربرد کود گوگرد و کود گاوی بر پارامترهای مرتبط با رشد نهال جوان نارنج و نیز بر

شاخص‌های کیفی یک خاک غیر آهکی در پژوهشکده مرکبات و میوه¬های نیمه¬گرمسیری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش نمونه خاک از پژوهشکده مرکبات و میوه¬های نیمه¬گرمسیری واقع در شهر رامسر از عمق صفر تا 30 سانتیمتری جمع¬آوری شد. لازم به ذکر است پس از هوا خشک کردن، در ابتدا خاک مورد مطالعه با ماسه رودخانه¬ای با نسبت 2 به 1 مخلوط شد و سپس، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از جمله پ-اچ در سوسپانسیون 2 به 1 محلول به خاک (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت 2 به 1 محلول به خاک (روادز، 1996)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، 1996)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم یک مولار (چپمن، 1965)، بافت خاک به روش هیدرومتر (جی و بادر، 1986)، فسفر قابل استفاده با عصاره گیری بی‌کربنات سدیم نیم مولار (اولسن و سامرز، 1982) و سولفات قابل استخراج توسط کلرید کلسیم 0/01 مولار (ویلیامز و استنبرگ، 1959) و به روش رنگ¬سنجی تعیین شدند. پتاسیم قابل استفاده نیز با عصاره‌گیری استات آمونیوم نرمال (هلمکی و اسپارکس، 1996) و قرائت توسط فلیم فتومتر اندازه گیری شد (جدول 1).

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

پ-اچ	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	سولفات قابل استفاده	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده
-	درصد		گرم بر کیلوگرم		میلی‌گرم بر کیلوگرم		
6/8	22	13	<1	10/7	7/3	19	172

هم‌چنین، برای انجام این پژوهش از کود گاوی استفاده شد. برخی از ویژگی‌های کود گاوی مورد استفاده ازجمله پ-اچ، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، سولفات قابل استفاده مطابق روش¬های ذکر شده در بالا و هم‌چنین، مقدار نیتروژن کل به روش کجلدال (برمنر، 1996)، اندازه¬گیری شدند (جدول 2).

جدول 2- برخی از ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در این تحقیق

هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل استفاده	فسفر قابل استفاده	سولفات قابل استفاده
دسی‌زیمنس بر متر	گرم بر صدگرم کود				
16/9	45	2/6	5/68	0/45	0/27

آزمایش گلخانه¬ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار (جدول 3) در شش تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری-رامسر با استفاده از نهال جوان نارنج انجام شد. تیمارها با افزودن گوگرد معدن زرکوه (حاوی 20 درصد گوگرد) به تنهایی و یا به‌صورت توأم با کود گاوی در چهار سطح با هدف تأمین 0، 10، 20 و 30 گرم گوگرد بر کیلوگرم خاک آماده شدند.

جدول 3- تیمارهای مورد آزمایش در تحقیق حاضر

تیمار	توضیح
S0	شاهد (فاقد گوگرد و کود گاوی)
S10	کاربرد 10 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S20	کاربرد 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S30	کاربرد 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
M	کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک
S10M	کود گاوی+ 10 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S20M	کود گاوی + 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S30M	کود گاوی + 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

در ابتدا بذر نارنج (*Citrus aurantium* L.) پس از ضدعفونی با محلول سه در هزار کاپتان به مدت 10 دقیقه در گلدان‌های پلاستیکی با بستر کوکوپیت و پرلایت اتوکلاو شده با نسبت 2 به 1 کشت شدند. سپس به صورت روزانه تا زمان جوانه زدن با آب مقطر آبیاری شدند. پس از اطمینان از استقرار نهال‌های بذری، هر دو هفته یک‌بار محلول هوگلند اصلاح شده (ژو و همکاران، 2014) به صورت کودآبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. در اردیبهشت سال 1399 گلدان‌ها با ده کیلوگرم مخلوط خاک مورد آزمایش (جدول 3) پر شدند. در ادامه نهال‌های یک‌ساله نارنج با قطر و ارتفاع یکسان در خاک گلدان‌های آماده شده کشت شدند.

گیاهان پس از طی یک دوره رشد به مدت هشت ماه برداشت شدند. در ادامه، برگ¬های آون خشک شده با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. سپس، برگ‌های پودر شده به روش خاکستر خشک هضم (کالرا، 1997) و مقدار فسفر به روش رنگ-سنجی با استفاده از اسپکتروفتومتر، پتاسیم به روش شعله‌سنجی با دستگاه فلیم‌فتومتر، کلسیم، آهن و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی موجود در نمونه‌های هضم شده اندازه‌گیری شد.

علاوه‌براین، در پایان فصل پس از برداشت نهال¬ها، خاک اطراف ریشه جداسازی شد (رئیسی و مرادی، 2021). مقداری از خاک‌های پیرامون ریشه نارنج در یخچال در دمای 4 درجه سلسیوس به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی با استفاده از هیدرولیز پ-نیترو فنیل فسفات در pH برابر یازده (آلکالاین فسفاتاز) (طباطبایی و برمنر، 1969) و فسفاتاز اسیدی نیز با استفاده از هیدرولیز پ-نیترو فنیل فسفات در pH برابر شش (عیوضی و طباطبایی، 1977) ذخیره شد. هم‌چنین، مقداری از خاک اطراف ریشه نیز جهت اندازه گیری شکل قابل استفاده عناصر غذایی در خاک هوا خشک شد. فسفر، پتاسیم و سولفات قابل استفاده به روش‌های ذکر شده در قسمت قبل در خاک اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین کلسیم قابل استفاده با استفاده از استات آمونیوم یک مولار استخراج (دال و لوکاس، 1973) و اندازه‌گیری شد. مقدار روی و آهن قابل استفاده خاک‌های مورد مطالعه به روش لیندزی و نورول (1978) استخراج و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد.

اثر کاربرد گوگرد به تنهایی یا به‌صورت توأم با کود گاوی بر ویژگی¬های اندازه¬گیری شده توسط تجزیه واریانس یک طرفه بررسی و معنی¬دار بودن تفاوت¬ها توسط آزمون دانکن و در سطح احتمال 5 درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9/4 انجام شد. لازم به ذکر است که در این آزمایش از شش تکرار برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد نارنج، و برای اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک از سه تکرار استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص¬های رشد نهال نارنج

اثرات تیمارها بر وزن شاخسار نهال نارنج و نیز بر غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج در جدول 4 آورده شده است.

وزن شاخسار: دامنه وزن شاخسار نهال¬های نارنج از 132 گرم تا 194 گرم در هر گلدان متغیر بود (جدول 4). بیشترین وزن شاخسار در شرایط کاربرد 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی (کاربرد گوگرد به مقدار 20 درصد وزنی کود گاوی) مشاهده شد که تفاوت معنی¬داری با کاربرد 20 گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی نداشت. کمترین مقدار وزن شاخسار در شرایط کاربرد 20 و 30 گرم گوگرد به تنهایی مشاهده شد که اختلاف معنی¬داری با شاهد نداشتند. به طور کلی، بررسی نتایج نشان داد با کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک به‌صورت توأم با کود گاوی وزن شاخساره افزایش یافت اما با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد (30 گرم) وزن شاخساره کاهش و این مقدار گوگرد اثر ممانعت کننده بر رشد نهال¬های جوان نارنج داشت. بنابراین به لحاظ رشد شاخساره نارنج، مقدار 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی (کاربرد گوگرد به مقدار 20 درصد وزنی کود گاوی) بیشترین تأثیر را بر وزن شاخساره این گیاه داشته است. در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه، کاربرد کود گاوی اثرات مثبت بر وزن شاخسار نارنج داشته است. تأثیر مثبت کاربرد گوگرد بر شاخص-های رشد مرکبات در دیگر پژوهش¬ها نیز گزارش شده است (ال-واکیل و منصور، 2014؛ موروحی، 2012).

جدول 4- اثرات کاربرد گوگرد و کود گاوی بر وزن شاخساره و غلظت برخی عناصر در نهال نارنج

تیمار	وزن شاخسار گرم بر گلدان	فسفر درصد	پتاسیم درصد	کلسیم درصد	آهن میلی‌گرم بر کیلوگرم	روی
S0	132 c	0/17 bcd	0/96 b	3/01 c	115 d	28 c
S10	165 b	0/18 abc	1/04 b	3/76 ab	172 b	33 ab
S20	145 c	0/16 de	1/15 a	3/66 ab	164 bc	33 ab
S30	132 c	0/15 e	0/99 b	3/44 bc	139 cd	33 ab
M	177 b	0/18 ab	1/16 a	3/04 c	177 b	32 bc
S10M	194 a	0/19 a	1/14 a	4/12 a	238 a	35 ab
S20M	190 a	0/17 cd	1/21 a	4/02 a	223 a	35 ab
S30M	168 b	0/17 cd	1/17 a	3/38 bc	174 b	37 a
F	15	8/5	10	7/4	15	6/3
P-value	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/05

در هر ستون مشخص میانگین‌ها با حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند؛

S0: تیمار شاهد؛ S10, S20, S30: به‌ترتیب کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک؛ M: کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک؛ S10M, S20M, S30M: به‌ترتیب کاربرد کود گاوی+10، 20 و یا 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

فسفر

دامنه غلظت فسفر در برگ نهال نارنج از 0/15 (کاربرد 30 گرم گوگرد) تا 0/19 درصد (کاربرد توأم 10 گرم گوگرد و کود گاوی) متغیر بود (جدول 4). بیشترین غلظت فسفر در برگ نارنج در شرایط کاربرد گوگرد به مقدار 10 گرم به‌صورت توأم با کود گاوی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با غلظت فسفر در برگ نارنج در شرایط کاربرد کود گاوی به تنهایی و یا کاربرد 10 گرم گوگرد به تنهایی نداشت. کمترین غلظت فسفر در برگ نهال‌های نارنج تیمارشده با 30 گرم گوگرد مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد مقادیر کاربرد گوگرد بیشتر از 10

گرم، اثرات کاهشی بر غلظت فسفر در برگ نارنج داشته است. بنابراین بهترین تیمار گوگرد به لحاظ تاثیر بر غلظت فسفر در برگ نارنج، تیمار کاربرد 10 گوگرد به همراه کود گاوی (به مقدار 20 درصد وزنی کود گاوی) بود. علاوه بر این، همان‌طور که در جدول 6 نیز ملاحظه می‌شود بیشترین فعالیت فسفاتاز قلیایی، آنزیم دخیل در چرخه فسفر در خاک، نیز در سطح کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تنها تاثیر مثبتی بر غلظت فسفر در برگ نارنج در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته اما این تاثیر فقط در سطح کاربرد 30 گرم از گوگرد معنی‌دار بود.

پتاسیم

دامنه غلظت پتاسیم در برگ نارنج از 0/96 تا 1/21 درصد متغیر بود (جدول 4) و بیشترین غلظت پتاسیم در برگ نارنج در شرایط کاربرد 20 گوگرد به صورت توأم با کود گاوی (به مقدار 40 درصد وزنی کود گاوی) مشاهده شد که تفاوت معنی¬داری با سایر تیمارهای کود گاوی و نیز تیمار 20 گرم گوگرد به تنهایی نداشت. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تاثیر مثبتی بر غلظت پتاسیم در برگ در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته است (جدول 4).

کلسیم: دامنه غلظت کلسیم در برگ نهال نارنج از 3/01 (تیمار شاهد) تا 4/12درصد (کاربرد 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی) متغیر بود (جدول 4). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد غلظت کلسیم در برگ نارنج افزایش یافته و این افزایش در کاربرد 10 گرم گوگرد در مقایسه با سایر سطوح کاربردی گوگرد بیشتر بود (جدول 4).

روی: دامنه غلظت روی در برگ نارنج از 28 تا 37 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 4) بیشترین غلظت روی در برگ نارنج تیمار شده با 30 گرم گوگرد بصورت توأم با کود گاوی مشاهده شد که اختلاف معنی-داری با غلظت روی در برگ سایر تیمارهای حاوی گوگرد نداشت.

آهن

دامنه غلظت آهن در برگ نارنج از 115 تا 238 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 4). علاوه بر این، بررسی نتایج نشان داد صرف نظر از استفاده از کود گاوی، با کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد، غلظت آهن در برگ نارنج افزایش اما کاربرد 30 گرم تاثیر معنی‌داری بر غلظت آهن در برگ نارنج نداشت. بیشترین مقدار غلظت آهن در برگ نارنج در شرایط کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد به صورت توأم با کود گاوی (به مقدار 20 و 40 درصد وزنی کود گاوی) مشاهده شد و کمترین غلظت آهن در برگ نارنج در تیمار شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با غلظت آهن در شرایط کاربرد 30 گرم گوگرد به تنهایی نداشت. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تاثیر مثبتی بر غلظت آهن در برگ نارنج در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته است.

با توجه به نتایج غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج بنظر می‌رسد چه در شرایط کاربرد کود گاوی و چه در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، کاربرد 10 گرم گوگرد می‌تواند بهبود غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج را به همراه داشته باشد. تاثیر کاربرد گوگرد بر غلظت عناصر غذایی در برگ مرکبات و سایر محصولات باغی در دیگر تحقیقات گزارش شده است (ال-واکیل و منصور، 2014؛ همتی و همکاران، 2012؛ موروحی، 2012). در واقع گوگرد می‌تواند از طریق تاثیر بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک (جداول 5 و 6) بر قابلیت استفاده عناصر غذایی (جدول 6) تأثیرگذار باشد. در ادامه نتایج تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی از ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک و نیز بر مقدار شکل قابل استفاده برخی عناصر غذایی پرداخته شده است.

ویژگی‌های شیمیایی

اثرات تیمارها بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی و نیز شکل قابل استفاده برخی عناصر غذایی در خاک مورد مطالعه در جدول 5 آورده شده است.

پ-اچ

دامنه تغییرات پ-اچ از 6/3 تا 6/8 متغیر بود. کمترین مقدار پ-اچ در تیمارهای کاربرد گوگرد به همراه کود گاوی و نیز در سطح کاربرد 30 گرم گوگرد به تنهایی مشاهده شد (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه به استثنا سطح 30 گرم، با کاربرد کود گاوی پ-اچ خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت. علاوه بر این، بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک به طور تدریجی به ترتیب مقدار پ-اچ خاک 3/2، 4/4 و 7/5 درصد کاهش نشان داد و خاک اسیدی‌تر شد (جدول 6). در شرایط کاربرد توأم کود گاوی و گوگرد، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم کود گوگرد در هر کیلوگرم خاک به ترتیب مقدار پ-اچ در خاک 2/6، 2/7 و 2/7 درصد کاهش نشان داد (جدول 5) هرچند در شرایط کاربرد کود گاوی با افزایش سطح کاربرد گوگرد از 10 به 30 گرم تفاوت معنی‌داری بین پ-اچ مشاهده نشد. با کاربرد توأم 10 گرم گوگرد و کود آلی پ-اچ خاک به طور معنی‌داری به علت اکسیداسیون میکروبی گوگرد عنصری و نیز گروه‌های اسیدی کود آلی کاهش یافت. به‌هر حال، کاربرد کود آلی از تغییرات بیشتر پ-اچ به دنبال افزایش مقدار گوگرد جلوگیری کرده و پ-اچ را ثابت نگه داشته است.

کودهای آلی به علت داشتن گروه های اسیدی ضعیف، دارای ظرفیت بافری بالایی بوده و می‌توانند تغییرات پ-اچ به دنبال اضافه کردن سایر افزودنی‌های به خاک را کاهش دهند. به‌طورکلی، کاهش پ-اچ خاک در شرایط کاربرد ترکیبی گوگرد و کود حیوانی بیشتر از کاربرد هر یک از این اصلاح کننده‌های خاک به تنهایی بود که نشان می‌دهد افزودن کود گاوی با گوگرد عنصری در تهییج اکسیداسیون گوگرد مؤثرتر از کاربرد گوگرد به تنهایی بود. در برخی منابع به تاثیر بیشتر کاربرد توأم کود گاوی و گوگرد بر کاهش پ-اچ خاک در مقایسه تاثیر هریک از این اصلاح کننده های به تنهایی اشاره شده است (رضاپور، 2014؛ انصار و همکاران، 2017). به هرحال درجه اسیدی شدن خاک به دنبال کاربرد گوگرد به مقدار گوگرد مورد استفاده و ظرفیت بافری خاک بستگی دارد. هر چه ظرفیت بافری خاک بیشتر باشد، تغییرات پ-اچ خاک کمتر است (زو و همکاران، 2012). برای مثال اثر افزودن گوگرد بر شدت اسیدی شدن خاک‌های اسیدی با بافت سبک در مقایسه با خاک‌های با بافت سنگین بیشتر بود (تابک و همکاران، 2020). طبق منابع موجود، در دامنه پ-اچ 4-6/5 رابطه مستقیمی بین ظرفیت بافری پ-اچ خاک، محتوای ماده آلی خاک و درصد رس آن گزارش شده است (نلسون و سو، 2010).

دامنه پ-اچ مناسب برای رشد و توسعه رشد مرکبات 5/5-7/6 می‌باشد (سایس و همکاران، 1993). اکسیداسیون گوگرد در خاک منجر به تولید پروتون در خاک و کاهش پ-اچ می‌شود. همان‌طور که در جدول 4 ملاحظه می‌شود افزایش غلظت آهن و روی در برگ نارنج به دنبال کاربرد گوگرد تا سطح 20 گرم بر کیلوگرم می‌تواند بدلیل کاهش پ-اچ در خاک‌های تیمار شده با گوگرد و به دنبال آن افزایش قابلیت دسترسی ریشه گیاه به این عناصر در خاک باشد. به هرحال اسیدی شدن شدید خاک می‌تواند باعث کاهش رشد ریشه و به دنبال آن کاهش جذب عناصر غذایی و سمیت عناصری از قبیل آلومینیوم گردد. طبق منابع موجود کاهش پ-اچ خاک از 6/5 به 5/2 به دنبال کاربرد درازمدت نیتروژن منجر به کاهش کلسیم و منیزیم قابل استفاده در خاک و افزایش آلومینیوم در محلول خاک شده و نیز به دنبال اسیدی شدن خاک ترکیب جمعیت میکروبی خاک تغییر و تنفس خاک نیز کاهش یافته است (چن و همکاران، 2016).

قابلیت هدایت الکتریکی

دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک از 0/57 تا 2/5 دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود. کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمارهای حاوی گوگرد مشاهده شد و بین سطوح مختلف گوگرد به

لحاظ تاثیر بر قابلیت هدایت الکتریکی اختلاف معنی¬داری مشاهده نشد. علاوه بر این اثرات ترکیبی گوگرد و کود گاوی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک متفاوت از اثرات کاربرد گوگرد به تنهایی بر این شاخص نبود. افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک به دنبال کاربرد گوگرد می‌تواند به دلیل افزایش مقدار سولفات محلول در خاک (رضاپور، 2014) و نیز افزایش حلالیت بسیاری از ترکیبات معدنی موجود در خاک به دنبال کاهش پ-اچ خاک باشد. بنابراین گوگرد به تنهایی و یا در ترکیب با کود گاوی، اثر منفی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک به عنوان یکی از شاخص‌های معرف کیفیت خاک داشته است. اثر منفی افزودن گوگرد به تنهایی یا در ترکیب با کود گاوی بر شاخص کیفیت شوری خاک توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (رضاپور، 2014). در تحقیقی اثرات کاربرد گوگرد عنصری و کمپوست کود گاوی طی 32 هفته انکوباسیون بر پ-اچ، قابلیت هدایت الکتریکی و قابلیت دسترسی فسفر در یک خاک رسی آهکی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که با کاربرد توأم کود گاوی و گوگرد عنصری مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک در مقایسه با سطوح متناظر کاربرد گوگرد به تنهایی افزایش معنی‌داری یافته است (هاشمی‌نژاد و همکاران، 2012).

ظرفیت تبادل کاتیونی

دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از 14/7 تا 19 سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک متغیر بود. کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در تیمار شاهد و بیشترین مقدار این شاخص در شرایط کاربرد کود گاوی و در سطح کاربرد 30 گرم گوگرد مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه با کاربرد کود گاوی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. کلوئیدهای هوموسی برخلاف رس‌ها، می‌تواند کاتیون‌ها را در یک شکل به آسانی قابل تبادل که به سهولت توسط ریشه گیاهان قابل استفاده اما به راحتی از پروفیل خاک شسته نمی‌شوند، جذب نمایند (برادی و همکاران، 2008). علاوه بر این، در هر دو سطح کاربرد کود گاوی، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش یافت.

جدول 5- اثرات کاربرد گوگرد (به تنهایی یا به‌صورت توأم با کود گاوی) بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و شکل قابل استفاده برخی عناصر غذایی در خاک مورد مطالعه

تیمارها	پ-اچ	قابلیت هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	فسفر	پتاسیم	کلسیم	سولفات	آهن	روی
	-	دسی‌زیمنس بر متر	سانتی‌مول بار بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم					
S0	6/78 a	0/57 c	14/7 f	18 e	175 e	536 g	8 g	1/6 e	0/5 d
S10	6/56 b	2/47 a	15/7 e	26 d	188 de	734 e	34 e	2/5 c	0/7 d
S20	6/48 b	2/52 a	16/5 d	23 d	200 cd	1119 d	38 d	2/2 d	1/1 b
S30	6/27 c	2/52 a	17/0 c	23 d	208 c	1576 b	43 b	2/1 d	1/2 b
M	6/44 b	1/09 b	16/7 cd	37 c	270 b	613 f	16 f	3/4 a	0/8 c
S10M	6/26 c	2/40 a	16/9 c	49 b	270 b	777 e	37 d	3/6 a	1/1 b
S20M	6/26 c	2/47 a	18/5 b	64 a	285 ab	1340 c	41 c	3/1 b	1/2 b
S30M	6/25 c	2/53 a	19/0 a	53 b	293 a	1649 a	47 a	2/8 c	1/7 a
F	16	198	109	34	80	710	631	49	65
P-value	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01

در هر ستون مشخص میانگین‌ها با حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند؛

S0: تیمار شاهد؛ S30, S20, S10: به‌ترتیب کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک؛ M: کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک؛ S30M, S20M, S10M: به‌ترتیب کاربرد کود گاوی+10، 20 و یا 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

فسفر قابل استفاده

دامنه غلظت فسفر استخراجی به روش اولسن در خاک تیمارهای مورد بررسی از 18 (شاهد) تا 64 (کاربرد توأم 2 گرم گوگرد و کود گاوی) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد (صرف‌نظر از سطح مورد استفاده)، مقدار فسفر قابل استفاده در خاک افزایش یافته است. هم‌چنین با کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح گوگرد، مقدار فسفر قابل استفاده افزایش یافته است.

پتاسیم قابل استفاده خاک: دامنه غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک در تیمارهای مورد مطالعه از 175 تا 293 میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک افزایش یافته و بیشترین غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک در شرایط کاربرد 30 گوگرد به صورت توأم با کود گاوی مشاهده شد که تفاوت معنی¬داری با تیمار 20 گرم گوگرد به همراه کود گاوی نداشت. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تاثیر مثبتی بر غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته است (جدول 5).

کلسیم قابل استفاده: دامنه غلظت کلسیم قابل استفاده خاک در تیمارهای مورد مطالعه از 536 (تیمار شاهد) تا 1649 (کاربرد 30 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد غلظت کلسیم قابل استفاده خاک افزایش یافته و نیز با کاربرد کود گاوی غلظت کلسیم قابل استفاده در همه‌ی سطوح گوگردی مورد استفاده با استثنا سطح 10 گرم گوگرد افزایش یافته است.

آهن قابل استفاده

دامنه تغییرات آهن قابل استفاده خاک در تیمارهای مورد مطالعه از 1/6 (تیمار شاهد) تا 3/6 (کاربرد 10 گرم گوگرد به همراه کود گاوی) میلی گرم بر کیلوگرم بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربردکود گاوی با کاربرد گوگرد سطح آهن قابل استفاده خاک نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و بیشترین غلظت آهن قابل استفاده در شرایط کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد. در شرایط کاربرد کود گاوی بیشترین مقدار آهن قابل استفاده با کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد، هرچند بین سطح 10 گرم گوگرد و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری یافت نشد. هم‌چنین بررسی نتایج نشان داد کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح گوگرد مورد مطالعه تأثیر مثبت بر مقدار آهن قابل استفاده خاک داشته است.

روی قابل استفاده

دامنه تغییرات روی قابل استفاده از 0/5 تا 1/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین غلظت روی قایل استفاده در شرایط کاربرد 30 گرم گوگرد به همراه کود گاوی و کمترین غلظت روی قابل استفاده در تیمار شاهد مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد مقدار روی قابل استفاده خاک در همه‌ی سطوح گوگرد با کاربرد کود گاوی افزایش یافته است (جدول 5).

سولفات قابل استفاده: دامنه سولفات قابل استفاده در تیمارهای مورد مطالعه از 8 (تیمار شاهد) تا 47 (کاربرد 30 گرم گورد به همراه کود گاوی) میلی‌گرم برکیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با افزایش سطح کاربرد گوگرد، غلظت سولفات قابل استفاده در خاک افزایش یافت. هم‌چنین با کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح کاربرد گوگرد، مقدار سولفات قابل استفاده افزایش یافت.

افزایش قابلیت استفاده بسیاری از عناصر غذایی از قبیل فسفر (هاشمی‌نژاد و همکاران، 2012؛ ماسودا و همکاران، 2016؛ رضاپور، 2014)، آهن (رضاپور، 2014؛ بورانیس و همکاران، 2018) روی (رضاپور، 2014؛ وانگ و همکاران، 2008)، مس (وانگ و همکاران، 2008) به دنبال کاربرد گوگرد در انواعی از خاک¬ها گزارش شده است.

ویژگی‌های زیستی خاک

فعالیت فسفاتاز اسیدی

دامنه تغییرات فعالیت فسفاتاز اسیدی در خاک مورد مطالعه از 86 تا 333 میکروگرم پی-نیترو فنل فسفات بر گرم خاک در ساعت متغیر بود. بیشترین فعالیت فسفاتاز اسیدی در شرایط کاربرد کود گاوی و با کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد و کمترین فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد یافت شد. بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه، با کاربرد کود گاوی فعالیت فسفاتاز اسیدی به طور معنی‌داری افزایش یافت. علاوه بر این، بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح گوگرد مورد بررسی، فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک افزایش نشان داد (جدول 6) هرچند افزایش سطح کاربرد گوگرد از 10 به 30 تاثیر معنی‌داری بر فعالیت فسفاتاز اسیدی نداشت. در شرایط کاربرد توأم کود گاوی و کود گوگرد، با کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک نیز فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک افزایش نشان داد. این درحالی بود که کاربرد 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم منجر به کاهش فعالیت فسفاتاز اسیدی در خاک مورد مطالعه شد (جدول 6) هرچند این کاهش در مقایسه با شرایط کاربرد کود گاوی به تنهایی معنی‌دار نبود.

تحت شرایط کمبود فسفر، هم ریشه گیاه و هم ریزجانداران به منظور تأمین نیاز غذایی گیاه، قادر به تولید آنزیم‌های فسفاتاز هستند (نانیپیر و همکاران، 2011). به هر حال طبق گزارش‌های موجود، ریشه گیاهان تنها قادر به تراوش فسفاتاز اسیدی هستند (طرفدار و کلاسن، 1988). در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، با توجه به غلظت فسفر در برگ نهال‌های نارنج، بنظر می‌رسد افزایش فعالیت فسفاتاز اسیدی به دنبال کاربرد گوگرد نمی‌تواند به علت کمبود فسفر در محیط پیرامون ریشه باشد، در این شرایط احتمالاً کاهش پ-اچ می‌تواند دلیلی بر افزایش فسفاتاز اسیدی باشد. رابطه مستقیم بین پ-اچ خاک و فعالیت فسفاتاز اسیدی توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (آکوستا-مارتینز و همکاران، 2000) به هر حال در شرایط استفاده توأم کود گاوی و گوگرد، افزایش فعالیت فسفاتاز اسیدی تا سطح کاربرد 10 گرم گوگرد و به دنبال آن کاهش فعالیت این آنزیم با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت میکروبی و احتمالاً افزایش ترشحات ریشه گیاه با کاربرد 10 گرم گوگرد و ممانعت از فعالیت ریزجانداران و ریشه گیاه با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد ارتباط داده شود. طبق گزارش‌های موجود در دامنه پ-اچ 4/9 تا 6/9 فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی به طور معکوس و فعالیت بسیاری از آنزیم‌های دیگر به طور مستقیم با پ-اچ خاک همبستگی دارند (آکوستا-مارتینز و همکاران، 2000).

فعالیت فسفاتاز قلیایی

دامنه تغییرات فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک مورد مطالعه از 161 تا 342 میکروگرم پی-نیترو فنل فسفات بر گرم خاک در ساعت متغیر بود. بیشترین فعالیت فسفاتاز قلیایی در شرایط کاربرد کود گاوی و با کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد و کمترین فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد یافت شد. بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه، با کاربرد کود گاوی فعالیت فسفاتاز قلیایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک به ترتیب فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک 83، 22 و 12 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (جدول 6) هرچند این افزایش فقط در سطح 10 گرم گوگرد معنی‌دار بود. در شرایط کاربرد توأم کود گاوی و کود گوگرد، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم کود گوگرد در هر کیلوگرم خاک به ترتیب فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک 19 و 4 درصد افزایش نشان داد. این درحالی بود که کاربرد 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم منجر به کاهش 7 درصدی فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک شد (جدول 6).

آنزیم‌های فسفاتاز باعث آزادسازی فسفر از طریق هیدرولیز فسفر آلی می‌شوند. آنزیم فسفاتاز قلیایی

عمدتاً توسط قارچ‌ها و باکتری‌ها ترشح می‌شود (دیک و کاندرلر، 2005). افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی به دنبال کاربرد کود گاوی می‌تواند به دلیل افزایش مواد آلی با کیفیت بالا و فعالیت بیشتر ریزجاندارن در شرایط کاربرد کود گاوی باشد. علاوه بر این افزایش فعالیت این آنزیم تا سطح کاربرد 10 گرم گوگرد می‌تواند ناشی از فعالیت میکروبی بالاتر در این دامنه پ-اچ باشد. به هر حال کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد تاثیر مثبتی بر فعالیت این آنزیم ندارد و حتی در شرایط کاربرد 30 گرم گوگرد و کود گاوی اثرات ممانعت کننده بر فعالیت این آنزیم دارد. کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با کاربرد گوگرد در یک خاک اسیدی با پ-اچ اولیه 5/7 نیز گزارش شده است (گوپتا و همکاران، 1988). تغییر در فعالیت‌های آنزیمی با تغییر پ-اچ می‌تواند به واسطه‌ی تغییر در جمعیت میکروبی خاک و ترکیبات وابسته به آن‌ها باشد. گزارش‌هایی مبنی بر تغییر ساختار جمعیت میکروبی خاک به دنبال کاربرد گوگرد وجود دارد (ونگ و همکاران، 2008؛ ماسودا و همکاران، 2016). طبق منابع موجود روند تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با پ-اچ روندی سیگموئیدی دارد بطوری که با کاهش پ-اچ خاک از 7/27 به 6/37 به علت کاربرد گوگرد، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی افزایش و با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد از پ-اچ 6/37 به 5/28 فعالیت این آنزیم سریعاً کاهش یافت و با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد پ-اچ 5/28 به 4/74 فعالیت این آنزیم اندکی کاهش یافت (ونگ و همکاران، 2008). در گزارشی دیگر مشاهده شد که که با افزایش سطح کاربرد گوگرد، کربن زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی کاهش یافت (رضایی و همکاران، 1392).

به طورکلی در تحقیق حاضر، کاربرد 10 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز را تحت تأثیر قرار داده و کاربرد کود گاوی این اثرات را ارتقا بخشیده اما کاربرد مقادیر گوگرد بیش از 10 گرم، اثر منفی روی مسیرهای بیوشیمیایی در ارتباط با چرخه عناصر غذایی از جمله فسفر در شرایط کاربرد کود گاوی داشته و این تأثیر منفی در مورد آنزیم فسفاتاز قلیایی بیشتر از فسفاتاز اسیدی بود. طبق منابع موجود اسیدی شدن خاک از طریق تغییر ترکیب جامعه میکروبی و کاهش زیست¬توده کل میکروبی منجر به کاهش تنفس خاک در شرایط اسیدی شده، هم¬چنین بررسی منابع نشان می¬دهد به دنبال این رخداد آنزیم-های برون¬سلولی جامعه میکروبی خاک کاهش یافته و همین امر منجر به کاهش تجزیه مواد می¬شود (چن و همکاران، 2016).

بررسی نتایج همبستگی در جدول 7 نشان داد که غلظت فسفر قابل استفاده در خاک با فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مستقیم و با پ-اچ رابطه غیرمستقیم داشت. غلظت پتاسیم، کلسیم و روی قابل استفاده در خاک نیز با ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مستقیم و با پ-اچ رابطه غیرمستقیم داشت. علاوه براین غلظت سولفات قابل استفاده در خاک با قابلیت هدایت الکتریکی خاک رابطه مستقیم و با پ-اچ رابطه غیرمستقیم داشت. در واقع گوگرد می¬تواند از طریق تأثیر بر واکنش¬های شیمیایی خاک از قبیل کاهش پ-اچ به طور مستقیم و نیز از طریق تأثیر بر واکنش¬های زیستی خاک به طور غیرمستقیم بر قابلیت استفاده عناصر غذایی تأثیرگذار باشد.

جدول 6- اثرات کاربرد گوگرد (به تنهایی یا به‌صورت توأم با کود گاوی) بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک مورد مطالعه

تیمارها	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی
	میکروگرم پی-نیترو فنل فسفات بر گرم خاک در ساعت	
S0	86 f	161 c
S10	134 e	296 b
S20	138 e	197 c
S30	166 d	181 c
M	225 bc	289 b
S10M	333 a	342 a
S20M	247 b	300 b
S30M	222 c	269 b
F	24	110
P-value	<0/01	<0/01

در هر ستون مشخص میانگین‌ها با حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند؛
S0: تیمار شاهد؛ S30, S20, S10: به‌ترتیب کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک؛ M: کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک؛ S30M, S20M, S10M: به‌ترتیب کاربرد کود گاوی+10، 20 و یا 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

همبستگی مقدار قابل استفاده عناصر غذایی در خاک با ویژگی‌های شیمیایی و زیستی مورد مطالعه

جدول 7- ضرایب همبستگی بین غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج و ویژگی¬های خاکی مطالعه شده

شکل قابل استفاده	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی	پ-اچ	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی
فسفر	0/80*	0/73*	-0/72*	0/37	0/84*
پتاسیم	0/85*	0/68	-0/76*	0/25	0/85*
سولفات	0/37	0/23	-0/80*	0/97*	0/67
کلسیم	0/14	-0/15	-0/71*	0/68	0/75*
روی	0/44	0/13	-0/80*	0/64	0/88*
آهن	0/87*	0/78*	-0/61	0/17	0/55

* معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد

همبستگی مقدار قابل استفاده عناصر غذایی در خاک با ویژگی های شیمیایی و زیستی مورد مطالعه

به طور کلی، سلامت خاک قویاً به فعالیت ریزجانداران خاک که به عنوان قلب خاک درنظر گرفته می‌شود، بستگی دارد (شارما و همکاران، 2017). همان طور که در این مطالعه نیز اثبات شد در میان‌های شاخص-های مرتبط با کیفیت خاک، شاخص‌های زیستی حساس-ترین به تغییر اعمال مدیریت می‌باشند و بهتر می‌توانند تغییرات کیفیت خاک به ویژه در کوتاه مدت را منعکس نمایند و می‌توانند به عنوان شاخص خوبی از تغییرات کیفیت خاک و قابلیت تولید خاک برای نارنج در نظر گرفته شوند. هم‌چنین، لازم به ذکر است که منبع تامین گوگرد در مطالعه‌ی حاضر از معدن زرکوه بوده که حاوی 20 درصد گوگرد کل است و مسلماً ناخالصی‌های دیگر نیز به‌همراه این کود وجود دارد که می‌تواند عاملی برای اثر منفی گوگرد در غلظت بیشتر از 20 گرم (به ویژه در شرایطی که این کود گود به تنهایی در خاک استفاده می-شود) برای شاخص‌های زیستی و گیاهی باشد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر بهترین تیمار گوگردی از منبع گوگرد معدن زرکوه به لحاظ تأثیر بر شاخص‌های رشد نهال نارنج و نیز بر شاخص‌های کیفیت خاک به ویژه شاخص‌های زیستی نیز تیمار 10 گرم گوگرد به همراه

کود گاوی تشخیص داده شد. ضمن اینکه کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد به ویژه 30 گرم اثرات سوء بر شاخص‌های رشد نارنج و نیز بر شاخص‌های زیستی شامل فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز داشت. از این رو با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش و حساسیت بیشتر شاخص-های زیستی به تیمارهای مورد مطالعه، تاثیر مصرف کوتاه مدت و اثرات تجمعی ناشی از مصرف سالانه گوگرد در خاک¬های اندکی اسیدی بر فعالیت¬های زیستی خاک باید مورد توجه قرار گیرد. هم‌چنین، با توجه به این نکته که اسیدی شدن شدید خاک تأثیرات منفی بر چرخه عناصر غذایی، ساختمان، ترکیب جمعیت زیستی و قابلیت تولید خاک دارد، لذا، توصیه می‌شود در صورت استفاده از گوگرد در خاک‌های اسیدی حتماً پ-اچ خاک مورد پایش قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. رضائی، ش.، خاوازی، ک.، نظامی، م.ط. و سعادت، س. 1392. تأثیر گوگرد، فسفر و نقش گیاه بر زیست توده میکروبی و فعالیت فسفاتازهای خاک. پژوهش های خاک، 27(2): 217-226.
2. مجیدی، ع. 1395. تاثیر مقادیر و منابع گوگرد بر رشد و برخی خواص کیفی میوه سیب رقم زرد. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، 6: 25-44.
3. Acosta-Martínez, V., and Tabatabai, M.A. 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. Biol. Fertil. Soils 31(1): 85–91.
4. Ansar, M.H., Hashemabadi, D., and Kaviani, B. 2017. Effect of Cattle Manure and Sulfur on Yield and Oil Composition of Pumpkin (*Cucurbita pepo* var. Styriaca) Inoculated with Thiobacillus thiooxidans in Calcareous Soil. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 48(18): 2103–2118.
5. Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., and García, C. 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. Geoderma 147(3): 159–171.
6. Bouranis, D.L., Chorianopoulou, S.N., Margetis, M., Saridis, G.I., and Sigalas, P.P. 2018. Effect of elemental sulfur as fertilizer ingredient on the mobilization of iron from the iron pools of a calcareous soil cultivated with durum wheat and the crop’s iron and sulfur nutrition. Agriculture 8(2): 20.
7. Brady, N.C., Weil, R.R., and Weil, R.R. 2008. The nature and properties of soils (Vol. 13). Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
8. Brejda, J.J., Moorman, T.B., Karlen, D.L., and Dao, T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators I. Central and Southern High Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 64(6): 2115–2124.
9. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen□total. p. 1085–1121. In D.L. Sparks et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods. SSSA, Madison, WI.
10. Chapman, H.D. 1965. Cation□exchange capacity. p. 891–901. In A.G. Norman (ed.) Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. SSSA, Madison, WI.
11. Chen, D., Li, J., Lan, Z., Hu, S., and Bai, Y. 2016. Soil acidification exerts a greater control on soil respiration than soil nitrogen availability in grasslands subjected to long□term nitrogen enrichment. Funct. Ecol. 30(4): 658–669.
12. Dick, R.P., and Kandeler, E. 2005. Enzymes in soils. p. 448–456. In E. Hillel (ed.) Encyclopedia of Soils in the Environment, Vol. 1. Elsevier Ltd., Oxford.
13. Divito, G.A., Echeverría, H.E., Andrade, F.H., and Sadras, V.O. 2015. Diagnosis of S deficiency in soybean crops: Performance of S and N: S determinations in leaf, shoot and seed. Field Crops Res. 180: 167-175.

14. Doll, E.C., and Lucas, R.E. 1973. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. p 133-152. In L.M. Walsh and J.D. Beaton. (eds.) Soil testing and plant analysis. SSSA Madison, WI.
15. Eivazi, F., and Tabatabai, M.A. 1977. Phosphatases in soils. Soil Biol Biochem. 9(3): 167–172.
16. El-Wakeel, H., and Mansour, N. 2014. Fertilizing young navel orange trees with sulfur and wood ash as a source of sustainable agriculture. J Hortic Sci Biotechnol, 6: 50–58.
17. Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-409. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2 physical properties. SSSA, Madison, WI.
18. Gupta, V., Lawrence, J.R., and Germida, J.J. 1988. Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural soils. I. Effects on microbial biomass and enzyme activities. Can. J. Soil Sci. 68(3): 463–473.
19. Hashemimajd, K., Farani, T.M., and Jamaati-e-Somarin, S. 2012. Effect of elemental sulphur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. Afr. J. Biotechnol. 11(6): 1425–1432.
20. Helmke, Ph.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
21. Hemmaty, S., Dilmaghani, M.R., and Naseri, L. 2012. Effects of sulfur application on soil pH and uptake of phosphorus, iron and zinc in apple trees. J. plant physiol. breed. 2(1): 1–10.
22. Kalra, Y. 1997. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC press.
23. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A., 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
24. Malik, K.M., Khan, K.S., Billah, M., Akhtar, M.S., Rukh, S., Alam, S., Munir, A., Mahmood Aulakh, A., Rahim, M., and Qaisrani, M.M. 2021. Organic Amendments and Elemental Sulfur Stimulate Microbial Biomass and Sulfur Oxidation in Alkaline Subtropical Soils. Agron. 11(12): 2514.
25. Masuda, S., Bao, Z., Okubo, T., Sasaki, K., Ikeda, S., Shinoda, R., Anda, M., Kondo, R., Mori, Y., and Minamisawa, K. 2016. Sulfur fertilization changes the community structure of rice root-, and soil-associated bacteria. Microbes Environ. ME15170.
26. Murovhi, N.R. 2012. Effect of different rates of sulphur fertilization on fruit yield and leaf mineral composition of ’Valencia ‘oranges in the subtropical environment of South Africa. II All Africa Horticulture Congress 1007: 303–310.
27. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27: 31–36.
28. Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, L., and Renella, G. 2011. Role of phosphatase enzymes in soil. p. 215–243. In E. Bünemann, A. Oberson, E. Frossard, (eds.) Phosphorus in Action. Soil Biology, vol 26. Springer, Berlin, Heidelberg.
29. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. p. 961-1011. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
30. Nelson, P.N., and Su, N. 2010. Soil pH buffering capacity: a descriptive function and its application to some acidic tropical soils. Soil Res. 48(3): 201–207.
31. Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982 Phosphorus. p. 403-427. In A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney, (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
32. Pascual, J.A., Garcia, C., Hernandez, T., Moreno, J.L., and Ros, M. 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. Soil Biol Biochem. 32(13): 1877–1883.

33. Raiesi, T., and Moradi, B. 2021. Young navel orange rootstock improves phosphorus absorption from poorly soluble pools through rhizosphere processes. Rhizosphere 17: 100316.
34. Rezapour, S. 2014. Effect of sulfur and composted manure on SO4-S, P and micronutrient availability in a calcareous saline–sodic soil. Chem Ecol. 30(2): 147–155.
35. Rhoades, J.D. 1996. Salinity Electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-437. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
36. Sharma, I.P., Chandra, S., Kumar, N., and Chandra, D. 2017. PGPR: heart of soil and their role in soil fertility. p. 51–67. In V. Meena et al. (eds.) Agriculturally important microbes for sustainable agriculture. Springer, Singapore.
37. Sys, C., Van, R., Debaveye, J., and Beernaert, F. 1993. Land evaluation part III crop requirement agricultural No. 7. General Administration for Development Cooperation Brussels-Belgium.
38. Tabak, M., Lisowska, A., Filipek-Mazur, B., and Antonkiewicz, J. 2020. The Effect of Amending Soil with Waste Elemental Sulfur on the Availability of Selected Macro-elements and Heavy Metals. Processes 8(10): 1245.
39. Tabatabai, M.A., and Bremner, J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol Biochem. 1(4): 301–307.
40. Tarafdar, J.C., and Claassen, N. 1988. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. Biol. Fertil. Soils 5(4): 308–312.
41. Thiele-Bruhn, S., Schloter, M., Wilke, B.M., Beaudette, L.A., Martin-Laurent, F., Cheviron, N., Mougin, C., and Römbke, J. 2020. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment. Soil 6(1): 17–34.
42. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-491. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Madison, WI.
43. Wang, Y., Li, Q., Hui, W., Shi, J., Lin, Q., Chen, X., and Chen, Y. 2008. Effect of sulphur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition. J. Hazard. Mater. 159(2–3): 385–389.
44. Williams, C.H., and Steinbergs, A. 1959. Soil sulphur fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. Aust. J. Agric. Res. 10(3): 340–352.
45. Xu, R., Zhao, A., Yuan, J., and Jiang, J. 2012. pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochar. J. Soils Sediments.12(4): 494–502.
46. Zekri, M., and Obreza, T. 2013. Calcium (Ca) and sulfur (S) for citrus trees. The Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: Gainesville, FL, USA.
47. Zhou, G.F., Peng, S.A., Liu, Y.Z., Wei, Q.J., Han, J., and Islam, M.Z. 2014. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency. Trees. 28(1): 295–307.

بررسی پراکنش مکانی کربن آلی خاک در منطقه فندوقلو استان اردبیل

مهران بهتری، مهدی نادری خوراسگانی[1] و احمد کریمی

دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک دانشگاه شهرکرد؛ **mehran.behtari@gmail.com**

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهرکرد؛ **khnaderi@yahoo.com**

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهرکرد؛ **karimiahmad1342@sku.ac.ir**

ص **405 - 426**

دریافت: **1401/6/22** و پذیرش: **1401/12/9**

چکیده

پتانسیل یک خاک‌منظر به‌عنوان ذخیره‌گاه کربن با برآورد میزان کربن آلی خاک در مقیاس منطقه‌ای مشخص می‌شود. این بررسی با اهداف شناسایی (1) مناسب‌ترین ویژگی‌های خاک و محیط به‌عنوان داده‌های کمکی برای برآورد تراکم کربن آلی خاک و (2) روش مناسب برای پهنه‌بندی تراکم کربن آلی خاک از بین روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و رگرسیون-کریجینگ در منطقه فندوقلو، استان اردبیل انجام شد. در گام نخست پایگاه داده‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی منطقه مطالعاتی با معرفی داده‌های خاک، توپوگرافی و ماهواره‌ای ایجاد شد. سپس با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و زمین‌شناسی مکان برداشت 140 نمونه خاک مرکب سطحی (15-0 سانتی‌متر) با استفاده از فنّ اَبَر مکعب لاتین در منطقه مزبور مشخص شد. نتایج نشان داد که نوع کاربری اراضی به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) بر تراکم کربن خاک مؤثر بوده و تراکم کربن آلی خاک در اراضی مرتعی بیش‌تر از زراعی بود. نیتروژن کل خاک و میانگین قطر خاکدانه‌ها همبستگی معنی‌داری ($P \leq 0/001$) با تراکم کربن آلی خااک نشان دادند و به‌عنوان داده‌های کمکی برای برآورد تراکم کربن آلی خاک قابل استفاده بودند. کاربرد کوکریجینگ همراه با نیتروژن کل خاک به‌عنوان داده کمکی، پهنه‌بندی تراکم کربن خاک را در مقایسه با کریجینگ معمولی بهبود بخشید. بطور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که رگرسیون-کریجینگ بیش‌ترین کارایی را برای پهنه‌بندی تراکم کربن خاک داشت و نیتروژن کل خاک، میانگین وزنی خاکدانه‌ها، شاخص تفاضل گیاهی نرمال و انحنای زمین مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر خاک‌منظر بر تراکم کربن آلی خاک بودند.

واژه های کلیدی: داده‌های کمکی، نیتروژن کل خاک، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، رگرسیون–کریجینگ

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد- دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

اطلاعات مربوط به کیفیت خاک نقش مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع و کاربری اراضی دارند. معمول‌ترین و مهم‌ترین شاخص برای ارزیابی کیفیت خاک، کربن آلی خاک است. کربن آلی خاک به‌دلیل تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک قابلیت استفاده عناصر غذائی و هدایت الکتریکی از اهمیت بالایی برخوردار هستند (یوهنیا و همکاران، 2014). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد 81 درصد کربن موجود در بیوسفر زمین در خاک ذخیره شده است (لوکویرو ، 2015). تراکم کربن آلی خاک جهانی حدود 1500-1400 پیکوگرم کربن در 100 سانتی‌متر لایه خاک برآورد شده است (لوفِر و همکاران، 2017) که در حدود دو برابر مقدار کربن در اتمسفر و سه برابر مقدار کربن ذخیره شده در گیاهان است (اسمیت، 2004). یک متر بالایی خاک تقریباً 1408 پیکوگرم کربن آلی را ذخیره کرده و 60 پیکوگرم کربن در سال را با جو مبادله می‌کند (لوکویرو ، 2015). تراکم کربن آلی خاک[1] برای اندازه‌گیری ذخیره کربن آلی خاک استفاده می‌شود (وو و همکاران، 2022). بنابراین بررسی عوامل کنترل کننده تراکم کربن آلی خاک برای بهبود میزان ترسیب کربن[2] و تضمین امنیت غذایی و بررسی تغییرات آب و هوایی حیاتی است (وو و همکاران، 2022). تراکم کربن آلی خاک تحت تاثیر عوامل طبیعی مثل ویژگی‌های خاک (نوع و بافت خاک)، اقلیم (درجه حرارت و بارندگی)، موجودات زنده (پوشش-گیاهی و زیواچه‌های خاک)، عوامل توپوگرافی (مثل ارتفاع، درجه و جهت شیب) و مواد مادری قرار می‌گیرد (وو و همکاران، 2022).

زمین آمار[3] ابزار قدرتمندی است که برای مدل‌سازی تغییرات خاک مورد استفاده قرار گرفته و به طرز گسترده‌ای برای تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و توزیع مکانی مقدار و تراکم کربن آلی خاک در بسیاری از مناطق بزرگ بکار گرفته شده است (لیو و همکاران 2012).

معمولاً تغییرات مکانی کربن آلی خاک با جمع‌آوری نمونه‌های خاک به روش تصادفی یا سیستماتیک صورت می‌گیرد. اگر تعداد کافی نمونه جمع‌آوری شود، می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی نقشهٔ کربن آلی خاک را تهیه کرد (رادوکای و همکاران، 2021). روش-های وزندهی معکوس فاصله[4] و کریجینگ معمولی[5] برای درون‌یابی توزیع مکانی کربن آلی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (کانفورتی و همکاران، 2017). استفاده از متغیرهای کمکی برای درون‌یابی تحت عنوان کوکریجینگ[6] اولین بار توسط مک‌براتنی و وبستر در سال 1983 ارائه شد. کوکریجینگ نیز در واقع نوعی کریجینگ توسعه یافته است که در آن از رابطهٔ بین متغیر اصلی با یک یا چند متغیر کمکی برای درون‌یابی متغیر اصلی استفاده می‌شود. تحقیقات نشان داده است که روش کوکریجینگ دقت بیش‌تری نسبت به روش کریجینگ دارد (وو و همکاران، 2009).

در سال‌های اخیر، ترکیبی از رگرسیون و درون‌یابی مکانی رگرسیون-کریجینگ[7] را برای تعیین توزیع مکانی ویژگی‌های خاک پیشنهاد شده است. در این روش، انتخاب متغیرهای کمکی ضروری است و تصاویر سنجش از دور به طور معمول انتخاب اول هستند (منگ، 2014). در همین زمینه، جیا فام و همکاران (2019) به ارزیابی مناسب‌ترین متغیرهای محیطی برای برآورد کربن آلی خاک با مدل‌های رگرسیون-کریجینگ و روش کریجینگ معمولی پرداختند. آن‌ها از فاکتورهای محیطی از قبیل نوع کاربری اراضی، شاخص خیسی و شاخص گیاهی TSAVI

[1] Soil Organic Carbon Density, SOCD
[2] Carbon sequestration
[3] Geostatistic
[4] Inverse Distance Wieghting, IDW
[5] Ordinary Kriging, OK
[6] Co-Kriging, CoK
[7] Regression-Kriging, RK

[1] استفاده کردند. نتایج نشان داد که کاربری زمین تاثیر زیادی بر ویژگی خاک به‌ویژه کربن آلی خاک دارد. آنها گزارش کردند که مدل کریجینگ معمولی با RMSE[2] برابر با 0/327 و ME[3] برابر با 0/034- در مقابل روش رگرسیون-کریجینگ با RMSE و ME به‌ترتیب برابر با 0/337 و 0/041- مناسب‌تر است. جان و همکاران (2021) با بررسی برآورد کربن آلی خاک با استفاده از مشتقات زمینی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER در نیجریه گزارش نمودند که روش رگرسیون-کریجینگ با RMSE برابر با 0/515 و ME برابر با 0/075 نسبت به روش کریجینگ معمولی با RMSE و ME به‌ترتیب برابر با 0/586 و 0/038- کارایی بالایی دارد. در پژوهشی دیگر وانگ و همکاران (2012) با بررسی کربن آلی خاک با استفاده از متغیرهای محیطی حاصل از سنجنده MODIS و نقشه DEM منطقه هونان چین گزارش نمودند که روش رگرسیون-کریجینگ نسبت به روش کریجینگ معمولی برتری دارد. ارزیابی دقت نشان داد که روش رگرسیون-کریجینگ با ترکیب با عوامل محیطی، میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات خطای کم‌تری داشت. رگرسیون-کریجینگ به‌دلیل هزینه کم‌تر به یک روش قابل قبول برای نقشه‌برداری ویژگی‌های خاک تبدیل شده است، از سویی، دقت آن اغلب از روش‌های دیگر بهتر است (سرمدیان و همکاران، 2014). با این حال، صحت روش رگرسیون-کریجینگ در همه مطالعات موردی مشخص نیست زیرا به روابط واقعی خاک و متغیر محیطی بستگی دارد (سان و همکاران، 2012).

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم هزینه و سریع مانند فناوری سنجش از دور به‌علت توانایی در شناسایی پدیده‌ها از جمله آلودگی‌های زیست محیطی، ارزیابی روند تغییرات تالاب‌ها، هواشناسی و کیفیت هوا، کیفیت آب و تجزیه و تحلیل حرارتی شهر همواره مورد توجه بوده است (بونجیوانی و لوبارتینی، 2006). استفاده از روش‌های غیرمستقیم از جمله شاخص‌های گیاهی، ویژگی‌های توپوگرافی و مشتقات آنها نظیر میزان پوشش-گیاهی، ارتفاع، شیب و جهت شیب به برآورد کربن آلی خاک کمک می‌کنند (پیله‌ور شهری و همکاران، 1389). داده‌های سنجش از دور مانند داده‌های به‌دست آمده از ماهواره‌های لندست می‌تواند متغیر کمکی مفیدی برای برآورد برخی از ویژگی‌های خاک‌ها باشد. در این زمینه عطائیان و همکاران (1396) تغییرات میزان کربن آلی خاک در دو منطقه بحرانی و آسیب‌پذیر مراتع دشت قهاوند در شرق استان همدان را با استفاده از سنجش از دور و GIS مورد بررسی قرار دادند. تعداد هشت شاخص مختلف پوشش گیاهی و روشنایی محاسبه شد. شاخص-های ماهواره‌ای محاسبه شده همبستگی پیرسون نسبتاً خوبی با میزان کربن آلی خاک از خود نشان دادند (0/48تا R^2=0/38). نتایج آنها نشان دهنده امکان استفاده از شاخص‌های طیفی تصویر ماهواره‌ای لندست هشت، برای بررسی و مطالعه ذخایر کربن آلی خاک در دشت قهاوند وجود دارد.

برای نقشه‌برداری ویژگی‌های خاک براساس متغیرهای محیطی، پژوهشگران اغلب به‌دلیل به‌صرفه‌تر و کاربردی‌تر بودن برای مدیریت پایدار خاک از ویژگی‌های زمین به-عنوان متغیرهای مستقل استفاده می‌کنند (ژو و همکاران، 2018). در همین زمینه تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (2016) برای تهیه نقشه رقومی کلاس خاک و کربن آلی خاک در شهر بانه در استان کردستان، از متغیرهای کمکی داده‌های سنجش از دور و پارامترهای سرزمینی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مناسب‌ترین متغیرهای کمکی جهت پهنه‌بندی کلاس خاک و کربن آلی خاک شاخص NDVI، شاخص رس، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا[4] و شاخص خیسی بودند.

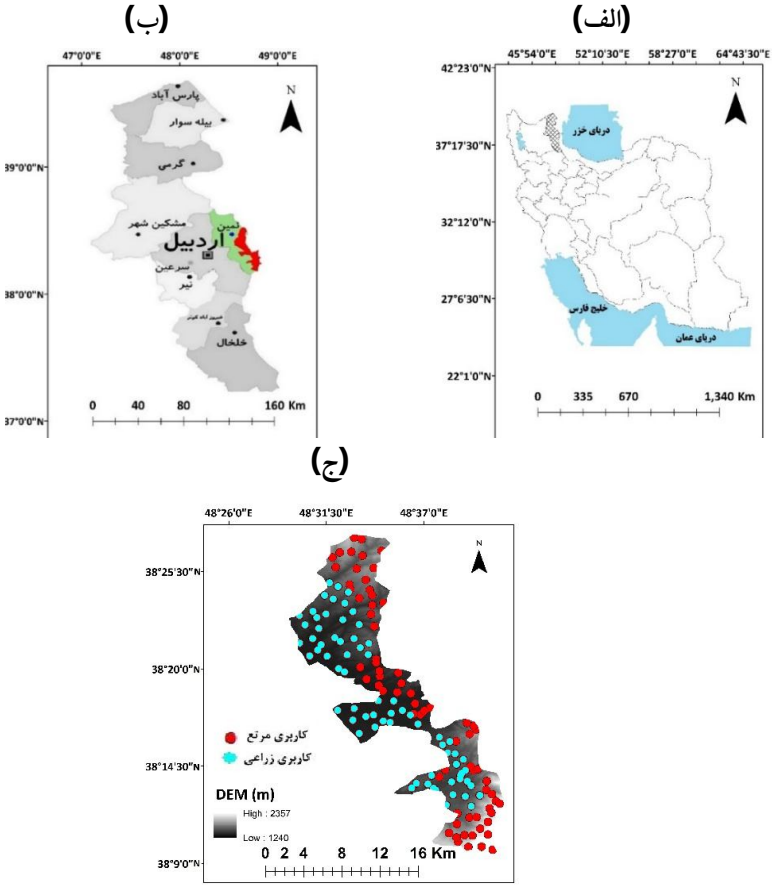
منطقه فندقلوی اردبیل به‌عنوان بزرگ‌ترین و مهم-ترین ذخیره‌گاه بوته‌های فندق (*Corylus avellana L.*)

1. Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
2. Root Mean Square Error, RMSE
3. Mean Error, ME
4. Multi Resolution Valley Bottom Flatness, MRVBF

در کشـور مطـرح اسـت. نتایج مربوط به مطالعه تغییرات کاربری اراضی در منطقه فندوقلو طی سال‌های 1379، 1386 و 1396 نشان می‌دهد که تغییر کاربری در مناطق غیرجنگلی از سال 1379 تا سال 1396 بیش از 1200 هکتار بوده است (جوان و همکاران، 1399). در این بررسی با مطلعه جامع و بکارگیری اطلاعات مربوط به خاک، اقلیم، پوشش‌گیاهی و توپوگرافی منطقه با استفاده از ترکیب داده‌های زمینی و سنجش از دور، ویژگی‌های مهم و تأثیرگذار بر میزان تراکم کربن آلی خاک را در دو کاربری مرتع و زراعی منطقه فندوقلو را از بین اطلاعات موجود مورد بررسی قرار دهد و روش مناسب زمین‌آماری برای برآورد تراکم کربن آلی خاک در منطقه فندوقلو معرفی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه فندقلو وسعتی حدود 176/87 کیلومتر مربع دارد و در 25 کیلومتری شـمال‌شـرقی شهر اردبیـل و 9 کیلومتری جنـوب‌شـرقی شهر نمیـن بیـن عـرض جغرافیایـی "38°22'10 و "38°24'09 شـمالی و طـول جغرافیایـی "48°31'30 و "48°34'03 شـرقی واقـع شـده اسـت (شکل1). متوسط دمای ده ساله (1399-1390) منطقه براساس گزارش اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور (ایستگاه سینوپتیک نمین) 11/1 درجه سانتی‌گراد با میانگین دمای حداقل 6/11 و میانگین دمای حداکثر 15/5 درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش سالانه در همین بازه زمانی (1399-1390)، 253/24 میلی‌متر با بیشینه بارش 342/58 میلی‌متر و کمینه بارش115/51 میلی‌متر است.



شکل 1- موقعیت منطقه مطالعاتی فندقلو در کشور (الف)، استان اردبیل و شهرستان نمین (ب)، مدل ارتفاعی رقومی به همراه نقاط نمونه برداری شده در دو کاربری (ج)

مساحت مراتع منطقه 88 کیلومتر مربع که شامل 191 گونه متعلق به 145جنس و 47 خانواده از گیاهان آوندی است که از میان آن‌ها دولپه‌ای‌ها با 158 گونه و 38 خانواده غنی‌ترین گروه‌ها هستند. در بخش زراعی نیز اکثر اراضی تحت کشت دیم بوده و نوع محصولات کشاورزی به ترتیب وسعت مساحت شامل گندم دیم، جو، نباتات علوفه‌ای، یونجه و اسپرس است (تیمورزاده و همکاران، 1394).

تشکیل بانک داده‌های زمینی

برای تشکیل بانک داده‌های زمینی منطقه فندوقلو، نقشه‌های مربوطه و گزارش‌های آنها از منابع مختلف جمع‌آوری شد. تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت برداشت شده در تاریخ 17 مرداد 1399 (هفت آگوست 2020) با پوشش ابرناکی کم‌تر از 10 درصد در 11 باند از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده گرفته شد (https://www.earthexplorer.usgs.gov/).

شیپ‌فایل[1] نقشه زمین‌شناسی منطقه فندوقلو در مقیاس 1:100000 از سایت سازمان نقشه‌برداری کشور استخراج شد (https://www.ncc.gov.ir/). همچنین شیپ فایل نقشه خاک‌شناسی نیمه تفضیلی و شیپ فایل نقشه کاربری اراضی منطقه فندوقلو با مقیاس 1:50000 از سایت پایگاه ملی اطلاعات خاک ایران مورد استفاده قرار گرفت (http://www.nsisi.swri.ir/). شیپ فایل نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس 1:25000، با فاصله خطوط منحنی میزان 5 متر و تصویر UTM برمبنای WGS-1984 تهیه شد (https://www.rsgisc.com/). با استفاده از نقشه توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع[2] از روی لایه شبکه نامنظم مثلثی[3] منطقه تهیه شد (اشرفی و علیمی، 1393). شاخص‌هایی همچون جهت شیب[4]، درجه شیب[5] و انحنای سطح[6] از مدل رقومی ارتفاعی استخراج شد و شاخص‌های ثانویه خیسی و انتقال رسوب[7] از شاخص‌های اولیه استخراج شد (زیوهبرگن و ترون، 1987).

برای تعیین مکان نقاط نمونه‌برداری نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه مورد استفاده قرار گرفت و با کاربرد فنّ اَبَر مکعب لاتین[8] مکان نقاط نمونه‌نمونه‌برداری مشخص شد (شیلدز و ژانگ، 2016). از هر کدام از واحدهای کاربری (مرتع و زراعی) 70 نمونه مرکب از خاک سطحی (0-15 سانتی‌متر) پس از کنار زدن لاشبرگ‌های سطحی خاک تهیه شد. نمونه‌های خاک از پنج نقطه با آرایش مربعی به فاصله 30 متر از همدیگر به یک مقدار با بیلچه جمع‌آوری و مخلوط شد (جان و همکاران، 2021) (شکل 2).

نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل، هواخشک و کوبیده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (بویوکوس،1962)، وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه (هازلتون و مورفی، 2007)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر (کمپر و روزینو، 1986)، کربن آلی خاک به روش والکلی- بلک (دی ووس و همکاران، 2007)، نیتروژن کل به وسیله دستگاه کجلدال (ماتیجوویچ، 1995)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (فنتون و همکاران، 1993) اندازه‌گیری شد.

تراکم کربن آلی خاک در کاربری‌ها

به منظور محاسبه تراکم کربن آلی خاک در دو کاربری مرتع و زراعی از معادله (1) استفاده شد (فانگ و همکاران، 2012):

(1)

$$SOCD_{(0\text{-}15\,cm)} = \sum_{i}^{m}[C_i]\times[\rho_{bi}]\times[LD_i]$$

نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل، هواخشک و کوبیده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (بویوکوس،1962)، وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه (هازلتون و مورفی، 2007)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر (کمپر و روزینو، 1986)، کربن آلی خاک به روش والکلی- بلک (دی ووس و همکاران،

[1] Shape File
[2] Digital Elevation Model, DEM
[3] Triangulated Irregular Networks, TIN
[4] Slope Aspect
[5] Slope Gradient
[6] Plane Curvature
[7] Sediment Transport Index, STI
[8] Latin Hypercube, LHC

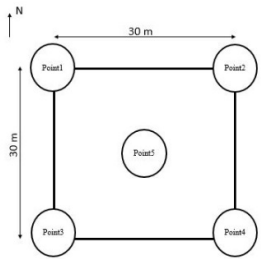
2007)، نیتروژن کل به وسیله دستگاه کجلدال (ماتیجوویچ، 1995)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (فنتون و همکاران، 1993) اندازه‌گیری شد.

تراکم کربن آلی خاک در کاربری‌ها

به منظور محاسبه تراکم کربن آلی خاک در دو کاربری مرتع و زراعی از معادله (1) استفاده شد (فانگ و همکاران، 2012):

(1)

$$SOCD_{(0\text{-}15\ cm)} = \sum_{i}^{m}[C_i]\times[\rho_{bi}]\times\ [LD_i]$$



شکل 2- نحوه نمونه‌برداری مرکب از پنج نقطه در منطقه فندوقلو

شاخص گیاهی تفاضل نرمال از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برآورد توزیع کربن در کاربری‌های مختلف است (پیله‌ور شهری و همکاران، 1389؛ ماچنا، 2017). این شاخص بر اساس تفاوت بازتاب در طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک برای خاک و گیاه است (معادله 2).

(2)

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)}$$

که در آن: R و NIR به ترتیب بازتاب خاک در طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک است.

دمای سطح زمین[1] براساس داده‌های سنجش از دور حرارتی (باند 10) برآورد شد. برای این‌کار نخست شماره رقومی تصاویر باندهای حرارتی به تابندگی[2] و به دنبال آن آن به دمای تابندگی تبدیل شد (معادله‌های 3 و 4) (بارسی و همکاران، 2014).

(3)

$$L+lambda = (ML\times Q_{cal}) + AL$$

(4)

$$T=\frac{K_2}{Ln\left(\frac{K_1}{L\lambda}+1\right)}$$

که در آن‌ها: L+lambda تابندگی طیفی ($W.m^{-2}.\mu m$)، ML ضریب تبدیل شماره عددی به تابندگی، AL عرض از مبدا تبدیل، Q_{cal} نشان دهنده اعداد پیکسل باند 10، T دمای تابندگی سطح زمین (کلوین)، K_1 و K_2 ثابت حرارتی برای هر باند برحسب درجه کلوین است. در سنجنده حرارتی لندست هشت برای باند 10 مقادیر K_1 و K_2 به‌ترتیب برابر با 774/89 و 1321/08 است. $L\lambda$ طول موج مرکزی هر باند (میکرومتر) است. پارامترهای به کار رفته در معادله‌های 3 و 4 در فایل فراداده تصاویر لندست هشت وجود دارد. درجه حرارت به‌دست آمده بر حسب کلوین است (بارسی و همکاران، 2014).

شاخص خیسی به‌عنوان شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک، در طول زمین‌نما است (معادله 5). این شاخص به طور گسترده برای مشخص کردن توزیع مکانی و پتانسیل نواحی برای تولید رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد (واگا و همکاران، 2020).

[1] Land Surface Temprature, LST
[2] Radiance

(5)

$$WI=Ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right)$$

که در آن: A_s مساحت ویژه حوضه[1] برحسب $\frac{m^2}{m}$ است که به صورت مساحت کل حوضه تقسیم بر طول خطوط تراز تعریف می‌شود. β درجه شیب برحسب رادیان است.

شاخص انتقال رسوب نمایانگر فرآیندهای فرسایش و رسوب بوده و به طور عمده تأثیر شیب بر فرسایش را نشان می‌دهد (مور و همکاران، 1993).

(6)

$$STI=\left(\frac{A_s}{22.13}\right)^m\left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^n$$

که در آن: A_s و β همان فاکتورهای قبلی و پارامترهای m و n به ترتیب برابر با 0/6 و 1/3 است.

تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری

در بررسی‌های زمین‌آماری فرض بر نرمال بودن توزیع داده‌ها بود بنابراین، قبل از استفاده از مدل‌های زمین‌آماری، در این پژوهش وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف[2] بررسی شد. ویژگی‌های درصد سیلت، درصد شن کل، وزن مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه دارای توزیع نرمال نبودند که با استفاده از روش Idf normal نرمال شدند. تبدیل Idf.Normal در نرم‌افزار SPSS نسخه 23 موجود بوده و جز جدیدترین و ساده‌ترین روش‌ها برای نرمال-سازی داده‌ها است. این تبدیل از میانگین و انحراف معیار داده‌ها برای نرمال‌سازی استفاده می‌کند (تمپلتون، 2011). همچنین قبل از تجزیه و تحلیل های زمین آماری، ناهمسان‌گردی[3] و حضور و عدم حضور روند هر متغیر با ترسیم واریوگرام سطحی[4] بررسی شد. با ترسیم واریوگرام سطحی در متغیرهای مورد بررسی هیچ‌گونه علائمی از ناهمسان-گردی مشاهده نشد.

[1] Specific Cathment Area
[2] Kolmogorov–Smirnov test
[3] Anisotropy
[4] Variogram Surface

در روش کریجینگ معمولی مقدار متغیر در هر نقطهٔ نمونه برداری نشده با استفاده از یک متوسط گیری متحرک وزنی خطی مقادیر اندازه‌گیری شده در همسایگی نقطهٔ مورد نظر برآورد می‌شود (معادله 7) (ایساک و سیرواستاوا، 1989).

(7)

$$Z^*(x_o)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i)$$

که در آن: $Z^*(x_o)$ مقدار برآورد شده Z در موقعیت x_o، λ_i وزن نسبت داده شده به متغیر Z در نقطه x_i و n تعداد نقاط همسایگی است. یک مدل مناسب بر اساس توزیع داده های ورودی برای توصیف استمرار مکانی داده‌ها و نشان دادن رابطه مکانی بین جفت نقاط مورد نیاز است.

روش کوکریجینگ حالت تعمیم یافته روش کریجینگ است. کوکریجینگ یک روش زمین آماری اساسی و مهم است که از یک متغیر اصلی و یک متغیر ثانویه تشکیل شده که این دو متغیر با هم همبستگی داشته و از نظر مکانی به هم وابسته هستند. توابع نیم‌تغییرنمای متقابل در کوکریجینگ برای نشان دادن تغییرات مکانی ویژگی‌ها به‌کار می‌رود (کان و همکاران، 1994). در این مطالعه درصد نیتروژن کل خاک به عنوان داده کمکی انتخاب شد (معادله 8).

(8)

$$Z^*(x_o)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_{1i}Z_1(x_i)+\lambda_{2j}Z_2(x_i)$$

که در آن: λ_{1i} و λ_{2j} وزن های آماری مربوط به متغیرهای Z_1 و Z_2 است.

رگرسیون-کریجینگ یک روش درون‌یابی مکانی است که ترکیبی از رگرسیون متغیرهای وابسته بر روی برآوردکننده‌ها با کریجینگ باقی‌مانده‌های[5] برآورد است (هنگل و همکاران، 2004). در روش رگرسیون-کریجینگ ابتدا با استفاده از رگرسیون چند متغیرهٔ گام‌به‌گام رابطهٔ بین تراکم کربن آلی با گروه داده‌های مختلف (ویژگی‌های خاک و توپوگرافی و نیز شاخص‌های پوشش‌گیاهی و

[5] Residual

دمای سطح زمین) بدست آمد. در گام بعدی با استفاده از مدل بدست آمده نقشهٔ اولیهٔ تراکم کربن آلی خاک تهیه شد. سپس مقدار باقیمانده‌ها با استفاده از کریجینگ معمولی درون‌یابی شد. در نهایت نقشهٔ نهایی تراکم کربن آلی خاک از جمع نقشهٔ اولیه با نقشهٔ باقیمانده‌ها بدست آمد (معادله 9) (مک‌براتنی و وبستر، 1986).

(9)

$$Z^*(x_o)=\sum_{k=0}^{p}\beta_k+q_k(x_o)+\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\cdot e(x_i)$$

که در آن: β_k ضرایب مدل رگرسیون برآورد شده، $q_k(x_o)$ مقادیر متغیرهای کمکی در محل x_o، p تعداد متغیرهای کمکی و n تعداد مشاهدات است. λ_i نیز وزن کریجینگ است که توسط ساختار مکانی باقی‌مانده ها تعیین می شود. $e(x_i)$ مقدار باقی‌مانده در محل x_i است.

صحت‌سنجی مدل‌ها

برای ارزیابی عملکرد هرکدام از روش‌های درون‌یابی از روش ارزیابی متقاطع[1] استفاده شد (دوبرول، 1983). برای ارزیابی نتایج به‌دست آمده از مدل‌ها از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) استفاده شد (معادله‌های 12-10). ضریب تبیین نشان می‌دهد که چند درصد از تغییرات متغیر وابسته با متغیرهای مستقل توضیح داده می‌شوند و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا بیانگر تفاوت میان مقدار برآورد شده با مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی است، شاخص میانگین خطا میزان اُریب بودن برآورد را نشان می‌دهد، مقادیر مثبت بیانگر بیش برآورد مدل و مقادیر منفی نشان دهنده کم برآورد در برآورد مدل است (حسینی و همکاران، 2016).

(10)

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Z_o-Z_p)^2}$$

(11)

$$ME=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Z_o-Z_p)$$

(12)

$$R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}(Z_p-Z_o)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Z_p-\bar{Z})^2}$$

که در آن‌ها: Z_o مقادیر مشاهده شده، Z_p مقادیر برآورد شده، $\bar{Z}$ میانگین داده‌ها و n تعداد داده‌ها است.

برای ثبت داده‌ها از Excel و تحلیل آماری به‌وسیله نرم‌افزار SPSS v.23 انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلوموگروف- اسمیرنوف[2] انجام شد (گیسن و همکاران، 2009). برای انجام مدل‌سازی با روش رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام‌به‌گام[3] از نرم‌افزار SPSS v.23 استفاده شد. برای رسم و استخراج آمار توصیفی نیم‌تغییرنمای داده‌های زمینی از نرم‌افزار Variowin v.2.2 و برای رسم نقشه‌ها از محیط برنامه Arc Map در نرم‌افزار Arc GIS v.10.8.1 و نرم‌افزار Origin v.9.9 استفاده شد. در نهایت برای رسم نمودارها از نرم-افزارCurve Expert v.1.4 استفاده شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها و نیز داده‌های محیطی در دو کاربری مرتع و زراعی در جدول (1) ارائه شده است. نمونه خاک‌های مورد مطالعه در کاربری های مرتع و زراعی از نظر کلاس بافتی متنوع و در مجموع در هفت کلاس بافتی شامل لومی، لوم‌رسی، لوم‌شنی، لوم‌رس‌سیلتی، لوم‌رس‌شنی، رس سیلتی و لوم‌سیلتی قرار گرفت.

بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک در کاربری مرتع با میانگین 3/43 درصد و کم‌ترین مقدار آن در اراضی زراعی با میانگین 2/92 درصد بود. این اختلاف نشان‌گر تأثیرپذیری بالای افق سطحی خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه از اعمال مدیریت‌های گوناگون، ویژگی‌های

[1] Cross Validation

[2] Kolmogorov-Smirnov, K-S

[3] Stepwise

محیطی و تخریب اراضی است. تغییرات مشتقات توپوگرافی در منطقه موردمطالعه ممکن است باعث تغییر در توزیع رطوبت خاک و پوشش گیاهی شده که آن‌هم به نوبه خود تغییرات کربن آلی خاک منطقه را به دنبال داشته است. بالا بودن میزان کربن آلی خاک در اراضی زراعی احتمالاً به سابقه خاک‌های منطقه مربوط بود، زیرا در گذشته منطقه جنگلی بوده است (جوان و همکاران، 1399) که به مرور زمان، دستخوش تغییر کاربری به مرتع و سپس به اراضی زراعی شده است.

نتایج آزمون t جفتی برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و همچنین داده‌های محیطی نشان داد که در دو کاربری مرتع و زراعی ویژگی‌های رس، سیلت، وزن مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه، کربن آلی، نیتروژن کل، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص خیسی، شاخص گیاهی تفاضل نرمال و دمای سطح زمین تفاوت معنی‌دار با احتمال یک درصد ($P\leq0/01$) و ویژگی‌های شن کل و کربنات کلسیم معادل با احتمال پنج درصد ($P\leq0/05$) معنی‌دار بودند.

نقشه مشتقات اولیـه و ثانویـه مدل رقومی ارتفاع در شکل (3) آمده است. بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع منطقه به ترتیب برابر با 2044 و 1115 متر بود (شکل 3- الف). کاربری مرتع در ارتفاعات بالاتر قرار داشت. شیب متوسط منطقه در کاربری مرتع 10/71 درصد و در کاربری زراعی 4/70 درصد است (شکل 3-ب). جهت شیب موجود در منطقه برای کاربری مرتع بیش‌تر جهت شمال‌غربی و برای کاربری زراعی جنوب‌غربی بود (شکل 3- ج).

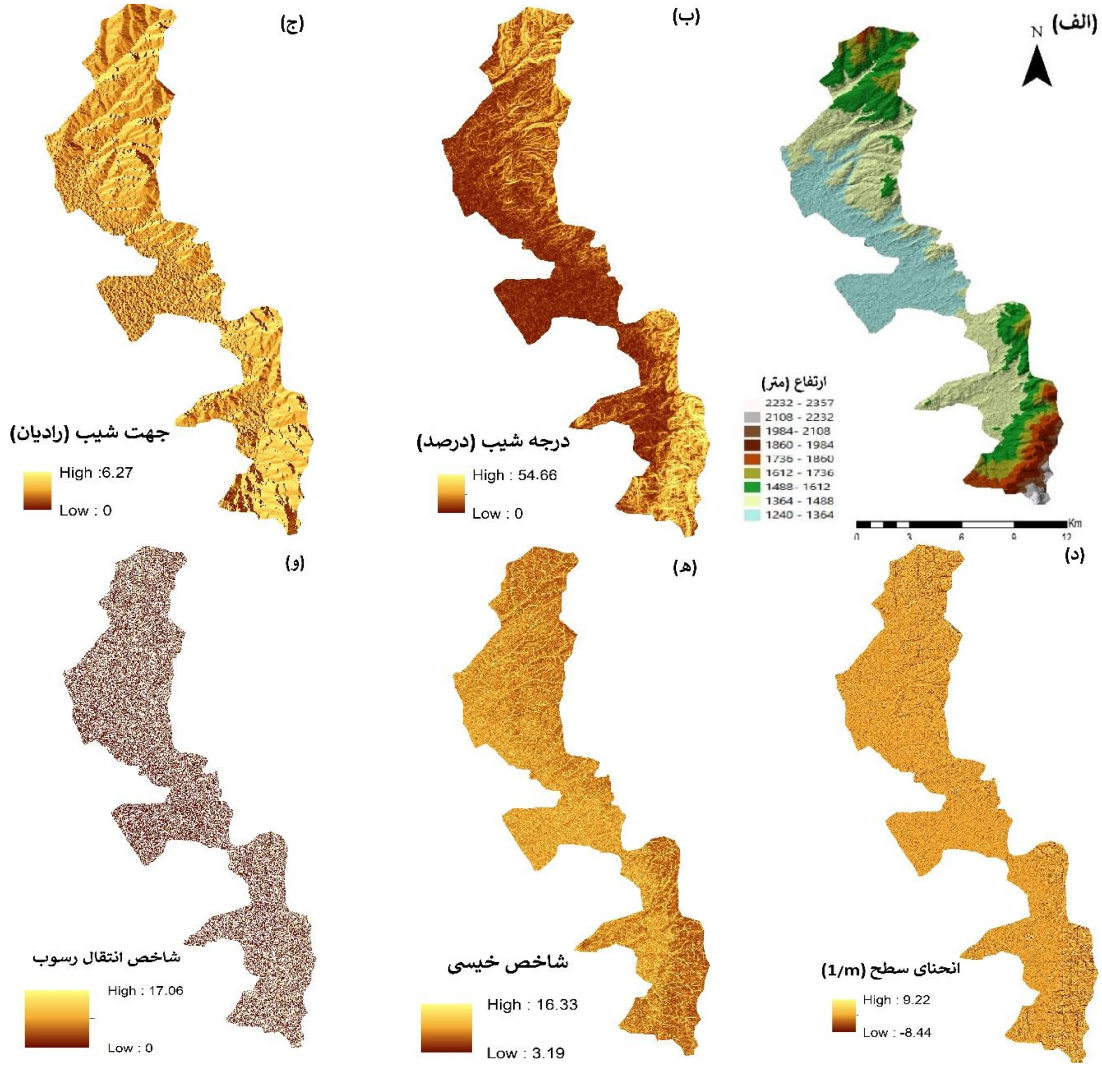
شاخص خیسی از متغیرهای توپوگرافی ثانویه و بیانگر توزیع مکانی رطوبت است و در واقع میزان تجمع آب در خاک و در سطح زمین را نشان می‌دهد (فلورینسکی، 2012). میانگین شاخص خیسی برای کاربری مرتع 6/14 و در کاربری زراعی 7/10 بود (شکل 3-هـ). به‌دلیل پایین بودن میزان درجه شیب و انحنای سطح زمین، کاربری زراعی نسبت به کاربری مرتع شاخص خیسی خاک بالاتری را نشان داد. میانگین مقادیر شاخص انتقال رسوب که قدرت فرسایندگی جریان‌ها را بر روی زمین نشان می‌دهد در کاربری زراعی 0/33 و در کاربری مرتع 0/23 بود (شکل 3- و). مقادیر بالای شاخص انتقال رسوب نشان دهنده نواحی با خطر بالای فرسایش هستند. این شاخص با در نظر گرفتن واگرایی و همگرایی جریان، نمایانگر پتانسیل فرسایش‌پذیری سطوح به فرسایش‌های صفحه‌ای و شیاری است که شکل‌های غالب فرسایش آبی محسوب می‌شوند (میتاسوا و همکاران، 1996). بالا بودن مقادیر انتقال رسوب در اراضی زراعی احتمالاً به‌دلیل عمق کم خاک در این کاربری باشد. در زمین‌های زراعی منطقه به‌دلیل فعالیت‌های مکانیکی و زیرو رو شدن‌های متوالی خاک، خاکدانه‌های حساس خرد شده و امکان انتقال رسوب وجود دارد.

مقدار NDVI برای مناطق تنک بین 0/05تا 0/1، برای مناطق گیاهی متوسط بین 0/1تا 0/6 و برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی بین 0/6 تا 0/7 است (روس و همکاران، 1973). کم‌ترین مقدار NDVI در منطقه برابر با 0/064 در کاربری زراعی بود (شکل 4- الف).

جدول 1- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و داده‌های سنجش از دور خاک های مورد مطالعه در کاربری مرتع و زراعی منطقه فندوقلو (تعداد=140)

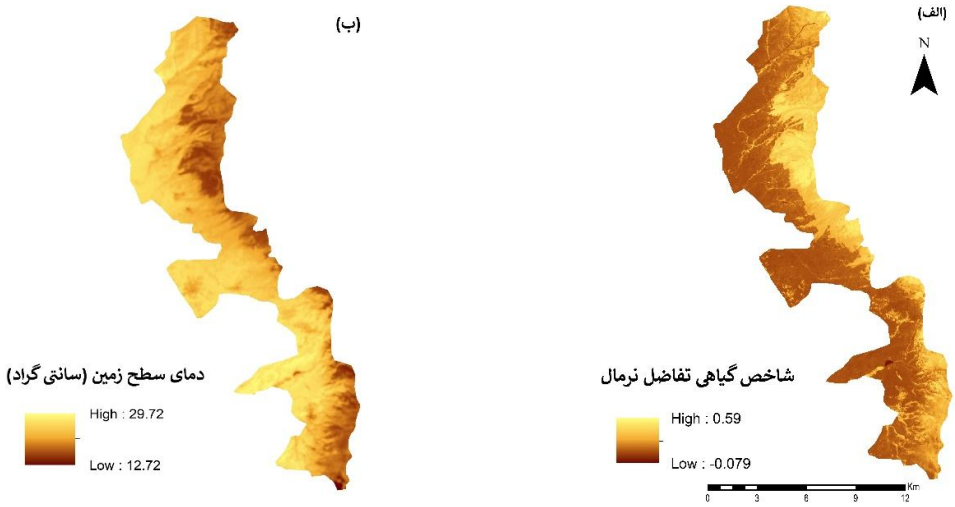
ویژگی‌ها	کاربری	محدوده تغییرات	میانگین	انحراف معیار	چولگی	t جفتی
رس (%)	مرتع	13/64-42/12	27/75	7/56	0/04	$4/32^{**}$
	زراعی	13/20- 54/10	36/24	8/03	-0/14	
سیلت (%)	مرتع	21/30 -52/50	33/71	6/10	0/54	$-4/43^{**}$
	زراعی	22/50 -50	30/16	4/74	1/15	
شن کل (%)	مرتع	15/27 -58/21	38/52	9/83	-0/11	$3/07^{*}$
	زراعی	10/82- 55/55	33/59	9/11	0/001	
وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	مرتع	1/18 -1/41	1/27	0/04	0/52	$7/86^{**}$
	زراعی	1/13 -1/35	1/21	0/04	0/67	
میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)	مرتع	0/82- 1/28	1/03	0/12	0/18	$3/48^{**}$
	زراعی	0/69 -1/20	0/95	0/13	0/03	
تراکم کربن آلی خاک ($g.cm^{-2}$)	مرتع	41/65- 97/83	65/46	13/04	0/39	$5/38^{**}$
	زراعی	20/70 -77/04	54/41	11/43	-0/66	
کربن آلی (%)	مرتع	2/12- 5/26	3/43	0/72	0/43	$4/32^{**}$
	زراعی	1/15 -4/52	2/92	0/66	-0/53	
نیتروژن کل (g/Kg)	مرتع	1/47- 5/29	3/75	0/98	-0/44	$8/60^{**}$
	زراعی	1/01 -3/69	2/53	0/66	-0/39	
کربنات کلسیم (%)	مرتع	8- 13/5	10/71	1/40	0/018	$-2/10^{*}$
	زراعی	3 -14/25	11/30	2/01	-1/16	

ویژگی‌ها	کاربری	محدوده تغییرات	میانگین	انحراف معیار	چولگی	t جفتی
ارتفاع (m)	مرتع	2182-1328	1580	211/75	1	$62/40^{**}$
	زراعی	1557-1318	1405	64/38	0/35	
درجه شیب (%)	مرتع	1/39- 32/53	10/71	6/89	1/09	$10/29^{**}$
	زراعی	1/06- 19/47	4/70	3/25	1/90	
جهت شیب (RAD)	مرتع	0/46- 6/18	3/82	1/74	-0/51	$2/65^{**}$
	زراعی	0- 6/22	3/01	1/88	-0/12	
انحنای سطح (m^{-1})	مرتع	-2/44 -4	0/13	0/97	0/44	$15/75^{**}$
	زراعی	-1/33- 2/22	0/03	0/68	0/61	
شاخص خیسی	مرتع	4/13- 9/58	6/14	1/24	1/12	$-36/47^{**}$
	زراعی	4/44- 10/50	7/10	1/47	0/66	
شاخص انتقال رسوب	مرتع	0- 2/40	0/23	0/42	3/07	$-1/11^{ns}$
	زراعی	0- 3/29	0/33	0/60	3/42	
شاخص گیاهی تفاضل نرمال	مرتع	0/067- 0/483	0/256	0/11	0/049	$12/08^{**}$
	زراعی	0/064 -0/503	0/145	0/12	1/89	
دمای سطح زمین (°C)	مرتع	17/57- 28/34	21/63	2/63	0/66	$46/40^{**}$
	زراعی	17/25- 28/97	25/21	2/64	-1/56	



شکل3 – نقشه ویژگی‌هـای اولیـه (ارتفاع، درجه و جهت شیب، انحنای سطح) و ثانویـه (شاخص خیسی و شاخص انتقال رسوب) توپوگرافی منطقه فندوقلو

با توجه به محدودیت دستگاه‌های زمینی برای اندازه گیری دمای سطح زمین در سطح وسیع، سنجش از دور حرارتی، تنها روش برآورد دمای تابشی سطح زمین با قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب است (کی و همکاران، 2015). کاربری اراضی بر میزان دمای سطح زمین تأثیر می‌گذارد و به‌عنوان شاخصی برای بررسی روند آن قلمداد می‌شود (دانتری، 2010). میانگین دمای بازتابندگی سطح زمین در کاربری زراعی 25/21 درجه و در کاربری مرتع 22/02 درجه سیلسیوس بود (شکل 4-ب). دلیل این امر را می‌توان به پایین بودن میزان پوشش-گیاهی در زمین‌های زراعی ربط داد، زیرا تصاویر اخذ شده مربوط به ماه مرداد بوده و در آن زمان اکثر محصولات زراعی از زمین‌ها برداشت شده‌اند، بنابراین سطح زمین بیش‌تر در معرض تشعشع خورشیدی قرار داشت. از سوی دیگر، روشن است که سطح بدون پوشش زمین‌های زراعی در جذب انرژی و افزایش دمای سطحی تأثیرگذار است. جمالی و همکاران (1398) نیز نشان دادند که اراضی با کاربری بایر به‌دلیل نداشتن پوشش حفاظتی، دارای دمای بیش‌تری بودند.



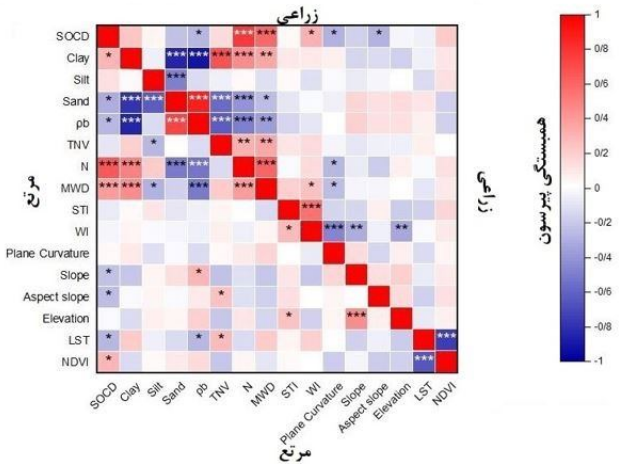
شکل 4 – نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی (الف) و شاخص حرارتی (ب) در منطقه فندوقلو

تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون[1] برای ارزیابی رابطه بین تراکم کربن آلی خاک با ویژگی‌های زمینی و متغیرهای محیطی در دو کاربری مرتع و زراعی در شکل (5) آمده است. همبستگی مثبت و معنی‌داری (P<0/001) بین تراکم کربن آلی خاک با نیتروژن کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و همبستگی مثبت و معنی‌داری (P<0/05) بین تراکم کربن آلی خاک با درصد رس و شاخص گیاهی تفاضل نرمال در کاربری مرتع وجود داشت. از سویی تراکم کربن آلی خاک همبستگی منفی معنی‌داری (0/05 >P) با درصد شن و وزن مخصوص ظاهری، درجه شیب، جهت شیب و دمای سطح زمین دارا بود. در کاربری زراعی، تراکم کربن آلی خاک همبستگی مثبت و معنی-داری (P<0/001) با نیتروژن کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه و همبستگی مثبت و معنی‌داری (P<0/05) با شاخص خیسی داشت. همچنین میزان تراکم کربن آلی خاک رابطه‌ای معنی‌دار و منفی‌داری (P<0/05) با وزن مخصوص ظاهری، انحنای سطح و جهت شیب در کاربری زراعی نشان داد. وانگ و همکاران (2010) ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان کربن آلی و درصد رس در اراضی شیب‌دار شمال چین گزارش کردند، این پژوهشگران گزارش کرده‌اند که بافت خاک با تأثیر بر پوشش‌گیاهی، رطوبت قابل استفاده و حاصل‌خیزی خاک تأثیر مستقیم بر میزان کربن آلی خاک داشته باشد. از سویی دیگر میزان رس می‌تواند کربن آلی خاک را در برابر تجزیه محافظت کند.

انحنای سطح با تراکم کربن آلی خاک (P<0/05) و شاخص خیسی (P<0/001) همبستگی منفی معنی‌دار در کاربری زراعی نشان داد که بیان‌گر تجمع رس، ماده آلی و املاح در موقعیت‌های گود و هم‌گرا است. کراوچنکو و بالوک (2000) در مطالعه خود مشاهده کردند که کربن آلی خاک در گودی‌ها (سطوح مقعر) بیش‌تر است که به-صورت همبستگی منفی کربن آلی خاک با انحنای سطح مشخص می‌شود.

همچنین بین شاخص خیسی با تراکم کربن آلی خاک همبستگی مثبت معنی‌دار (P<0/05) در کاربری زراعی وجود داشت که افزایش در ظرفیت نگهداشت آب در مناطق با کربن آلی بالا را نشان می‌دهد و یا به عبارتی مناطقی که ذخیره رطوبتی بیش‌تری دارند، ماده آلی بیش-تری خواهند داشت.

[1] Pearson correlation



شکل 5 – ماتریس همبستگی تراکم کربن آلی خاک با ویژگی‌های زمینی و داده‌های محیطی در دو کاربری مرتع و زراعی منطقه فندوقلو (ستاره‌ها نشان‌گر: P< 0/001 *، P<0/01 **، P< 0/05 *)**

(SOCD تراکم کربن آلی خاک، Clay رس خاک، Silt سیلت خاک، Sand شن خاک، pb وزن مخصوص ظاهری خاک، TNV کربنات کلسیم معادل، N نیتروژن کل خاک، MWD میانگین وزنی قطر خاک‌دانه ، STI شاخص انتقال رسوب، WI شاخص خیسی، Plan curvature انحنای سطح، Slope درجه شیب، Aspect slope جهت شیب، Elevation ارتفاع، LST دمای سطح زمین، NDVI شاخص گیاهی تفاضل نرمال)

جدول 2- مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره گام به گام مربوط به کاربری مرتع و زراعی منطقه فندوقلو

نوع کاربری	مدل	F	خطای استاندارد	R^2
مرتع	SOCD =8/724 +73/214 N+ 31/180NDVI+20/510 MWD	24/00	9/22	0/53
زراعی	SOCD =39/516 + 53/877 N-4/695 Plan Curvature	9/38	10/25	0/46

در زمینه تأثیر درجه و جهت شیب بر میزان تجمع کربن آلی خاک، یاکشیچ و همکاران (2021) گزارش نمودند که توپوگرافی نقش مهمی در تعریف ویژگی‌های خاک با توجه به رژیم‌های حرارتی و رطوبتی دارد. مهم‌ترین تأثیر درجه شیب بر توسعه نیم‌رخ خاک، تأثیر آن بر رطوبت خاک است. درجه و جهت شیب با تأثیر بر میزان رطوبت خاک، جامعه‌گیاهی و دمای خاک در مقیاس کوچک‌تر می‌تواند میکروکلیمات‌هایی[1] ایجاد کند که به طور قابل توجهی با شرایط آب و هوایی منطقه‌ای متفاوت باشد. خاک‌های تحت آب و هوای گرم معمولاً به‌دلیل میزان معدنی شدن بالاتر نسبت به خاک‌های تحت آب و هوای خنک‌تر، حاوی مقدار کم‌تری کربن آلی خاک هستند. بنابراین، جهت و درجه شیب می‌تواند بر توزیع کربن آلی خاک با تأثیر بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها از طریق تأثیر بر دمای خاک و محتوای آب خاک، تجزیه کربن آلی خاک را کند یا تسریع بخشد.

از دیگر نکات مهم شکل (5) وجود همبستگی منفی و معنی‌دار (P<0/05) بین وزن مخصوص ظاهری خاک با تراکم کربن آلی خاک در کاربری‌های مرتع و زراعی بود. وزن مخصوص ظاهری یکی از شاخص‌های ارزیابی فشردگی خاک است، بنابراین در منطقه مورد مطالعه با افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک در اثر تغییر کاربری اراضی، فشردگی خاک افزایش و به علت کاهش پایداری خاکدانه موجب تضعیف کیفیت خاک شد.

[1] Microclimate

رگرسیون خطی چند متغیره

جدول (2) نتایج مدل رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام‌به‌گام به‌صورت پیش‌رونده[1] برای برآورد تراکم کربن را نشان می‌دهد. ویژگی‌های خاک و داده‌های محیطی به عنوان متغیرهای مستقل و مقدار تراکم کربن آلی به عنوان متغیر وابسته مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (2) نشان داد که از میان کلیه متغیرهای مورد بررسی درصد نیتروژن کل (N)، شاخص گیاهی تفاضل نرمال (NDVI) و میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD) در کاربری مرتع به عنوان مؤثرترین متغیرهای برآورد کننده وارد مدل شدند. هر سه متغیر رابطه مثبتی با میزان تراکم کربن آلی خاک نشان داد. ضریب تبیین (R^2) مدل رگرسیونی به دست آمده برای کاربری مرتع برابر با 53 درصد که بیانگر آن است که سه ویژگی درصد نیتروژن کل خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها درحدود 53 درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. در مدل ارائه شده برای کاربری زراعی، دو متغیر درصد نیتروژن کل و انحنای سطح به عنوان مؤثرترین متغیرهای برآورد کننده وارد مدل شد، به‌طوری که با افزایش میزان درصد نیتروژن کل و کاهش انحنای سطح، مقدار تراکم کربن آلی خاک افزایش یافت. این مدل توانست 46 درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین کند. 47 و 54 درصد از تغییرات کربن آلی به ترتیب در کاربری مرتع و زراعی با این مدل‌ها بیان نشد که این مسئله احتمالاً به علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها است که با این مدل‌های رگرسیونی درنظرگرفته نشده است.

درصد نیتروژن کل در هر دو مدل ارائه شده برای کاربری‌های مرتع و زراعی وارد مدل گردید. کربن و نیتروژن در اکوسیستم زمینی تعامل نزدیکی با یکدیگر دارند و در اکثر زیست‌بوم‌ها عمدتاً با نیتروژن محدود می شود (جوباگی و جکسون، 2000).

انحنای سطح تغییرات سرعت جریان آب و فرآیندهای انتقال رسوب را منعکس می‌کند و به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تراکم کربن آلی خاک است. انحنای سطح تمرکز توزیع جریان آب سطحی را تعیین می‌کند به‌گونه‌ای که در سطوح مقعر جریان آب متمرکز شده و نفوذ افزایش می‌یابد در حالی که در وضعیت‌های محدب جریان آب پخشیده شده و نفوذ کاهش می‌یابد (زوبرگن و همکاران، 1987). مولر و پیرس (2003) نیز کربن آلی خاک را با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره و آنالیز سطح زمین برآورد کردند. در مدل‌های ارائه شده آنها نیز علاوه بر انحنای سطح، شیب و ارتفاع وارد مدل شدند. فیزوره و همکاران (2017) در مورد تأثیر فاکتورهای توپوگرافی بر میزان تجمع کربن آلی خاک از مدل رگرسیونی چند متغیره به روش گام‌به‌گام استفاده نمودند. معادله ارائه شده دارای ضریب تبیین برابر 44 درصد بین دو متغیر شیب و انحنای سطح با تجمع کربن آلی خاک در طول مناطق تپه‌ای را نشان داد.

شاخص گیاهی تفاضل نرمال برای ارزیابی پوشش‌گیاهی و پایش تغییرات پوشش‌گیاهی مناسب است (ژانگ و همکاران، 2019). NDVI بالاتر به معنی پوشش-گیاهی بهتر و تراکم بیش‌تر تاج‌پوشش است که در نتیجه باعث افزایش تجمع کربن آلی می‌شود (جوباگی و جکسون، 2000؛ بهونیا و همکاران، 2017).

پایداری خاک‌دانه‌ها از جمله ویژگی‌های فیزیکی اساسی خاک است که بطور مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت خاک نقش اساسی دارد. بافتِ‌ریز خاک‌ها بر تجمع و الگوی معدنی شدن ذخیره کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارند (پاندی و همکاران،2010). ذرات ریز، همزمان به دو طریق بر کربن آلی خاک مؤثر هستند. از یک سو، با افزایش رس و سیلت، قدرت خاک در تامین و نگهداشت عناصر غذایی بیش‌تر می‌شود و حاصلخیزی خاک افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، در زمان تشکیل خاکدانه، ذرات رس با مواد آلی کمپلکس رس- هوموس

[1] Forward

تشکیل می‌دهد و مواد آلی را در مقابل تجزیه حفاظت می‌کند (بوشیازو و همکاران، 1991).

نیم‌تغییرنمای داده‌های زمینی

اولین گام در استفاده از روش کریجینگ بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها با استفاده از آنالیز واریوگرام است (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، 1391). پارامترهای مربوط به نیم تغییرنماها در جدول (3) آمده است، پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییرنما، مدل مناسب از بین تمامی مدل‌ها با توجه به کم‌ترین اثر قطعه‌ای به عنوان بهترین مدل برای هر عامل انتخاب شد. طبق نتایج به‌دست آمده از جدول (3)، بالاترین اثر قطعه‌ای برای کربنات کلسیم معادل بود. مناسب ترین تغییرنمای برای همه ویژگی‌ها بجز شن کل مدل نمایی بود. بالاترین دامنه تأثیر نیم-تغییرنما برای وزن مخصوص ظاهری و کم‌ترین آن مربوط به درصد کربن آلی بود.

از نسبت اثر قطعه به سقف[1] که معمولاً به صورت درصد ارائه می‌شود برای سنجش میزان همبستگی مکانی استفاده شد (جدول2). چنانچه نسبت به‌دست آمده کم‌تر از 25 درصد باشد، متغیر دارای کلاس همبستگی مکانی قوی، بین 25 تا 75 درصد نسبت همبستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بیش‌تر از 75 درصد باشد، متغیر دارای کلاس همبستگی مکانی ضعیف خواهد بود (کامبردلا و همکاران، 1994). طبق نتایج به‌دست آمده از جدول3، درصد نیتروژن کل دارای نسبت کم‌تر از 25 درصد بود که نشان دهنده وابستگی مکانی قوی این عامل است. بقیه ویژگی‌ها نیز که درصد همبستگی مکانی بین 25 تا 75 درصد داشتند در کلاس همبستگی مکانی متوسط قرار گرفتند. کربن آلی خاک در کل منطقه مورد مطالعه دارای نسبت همبستگی مکانی متوسط بود. موسوی و همکاران (1399) نیز برای میزان کربن آلی خاک کلاس همبستگی متوسط را گزارش نمودند. لیو و همکاران (2009) و فلاین و همکاران (2019) گزارش نمودند که مدل نمایی مدل مناسبی برای بیان تغییرات مکانی بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی خاک از جمله کربن آلی خاک سطحی است.

روش‌های زمین آماری برآورد تراکم مکانی کربن آلی خاک

روش‌های زمین آماری مورد استفاده به منظور درون-یابی میزان تراکم کربن آلی خاک در این تحقیق شامل روش‌های کریجینگ معمولی (OK)، کوکریجینگ (CoK) و رگرسیون-کریجینگ (RK) بودند. درمیان ویژگی‌های مربوط به خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و اقلیم در این مطالعه درصد نیتروژن کل بالاترین همبستگی را با میزان تراکم کربن آلی در کاربری‌های مرتع و زراعی نشان داد ($r_{مرتع}$=0/649 و $r_{زراعی}$=0/745).

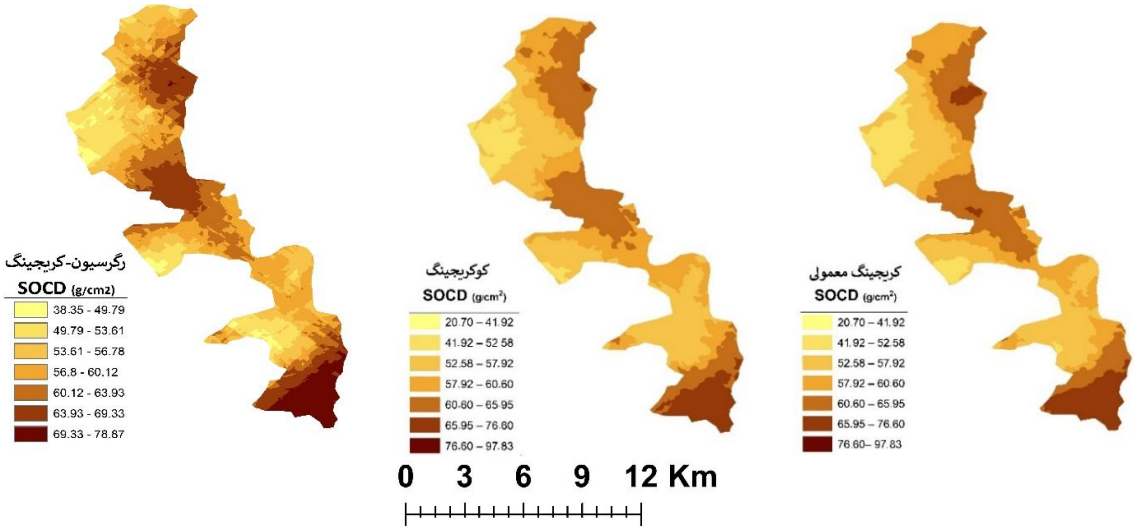
همانطور که ملاحظه می‌شود (شکل 6) میزان تراکم کربن در نواحی شمال‌شرقی، مرکز و جنوب-شرقی منطقه زیاد و این تراکم به سمت غرب کاهش می‌یابد. این با تغییرات نقشه NDVI (شکل 4-الف) مطابقت داشت. هم‌چنین دریای مازندران در شرق منطقه قرار گرفته است و به نظر می‌رسد مناطق غربی بیش‌تر در معرض بارش‌ها و جریان‌های باد مرطوب از سمت دریای مازندران هستند.

دامنه تراکم کربن آلی خاک در دو روش OK و CoKبین 20/70-97/83 گرم بر سانتی‌متر مربع قرار دارد ولی این دامنه برای روش RK بین 38/35-78/87 گرم بر سانتی متر مربع بود. توزیع مکانی مشابهی از نظر تراکم کربن آلی خاک در بین این سه نقشه وجود دارد. اغلب کاربری در مناطق شرقی مرتع با پوشش گیاهی مناسب است و کاهش کربن آلی خاک با کاهش شاخص NDVI همسویی دارد.

[1] Nugget Effect on Sill Ratio

جدول 3- ویژگی‌های نیم‌تغییرنمای داده‌های زمینی در منطقه فندوقلو (تعداد= 140)

پارامتر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	دامنه تأثیر (متر)	همبستگی مکانی (درصد)
رس	نمایی	0/38	0/63	2379	37
سیلت	نمایی	0/48	0/48	1288	50
شن کل	کروی	0/45	0/56	2040	45
وزن مخصوص ظاهری	نمایی	0/49	0/52	3230	48
میانگین وزنی قطر خاکدانه	نمایی	0/57	0/40	1869	58
کربن آلی	نمایی	0/48	0/52	1020	48
نیتروژن کل	نمایی	0/22	0/77	2280	22
کربنات کلسیم	نمایی	0/60	0/41	1189	59



شکل 6- پهنه‌بندی میزان تراکم کربن آلی خاک به سه روش در منطقه فندوقلو در سال 1399

به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد سه روش OK، CoK و RK در دو کاربری مرتع و زراعی آماره های ME, RMSE و R^2 مقایسه شدند (جدول 4). بر این اساس ضریب تبیین و ریشه‌میانگین مربعات خطای مدل حاصل از روش کریجینگ معمولی به ترتیب 0/17 و 12/52 با میانگین خطای 0/03- بود که براساس نتایج آماری بدست آمده، برآورد قابل قبولی از مقدار تراکم کربن آلی خاک نیست و نشان داد که روش کریجینگ معمولی به تنهایی برای برآورد تغییرات مکانی تراکم ماده آلی خاک در منطقهٔ مورد مطالعه کافی نیست و برای توصیف دقیق‌تر این تغییرات باید از متغیرهای کمکی نیز بهره گرفت. این مسأله ممکن است ناشی از تراکم پایین نقاط نمونه‌برداری باشد؛ زیرا همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، برای حصول نتایج مطلوب در روش کریجینگ معمولی بایستی تراکم نقاط نمونه‌برداری بالا باشد (لیائو و همکاران، 2013).

مدل رگرسیونی به‌دست آمده از روش کوکریجینگ که با متغیر کمکی درصد نیتروژن خاک محاسبه شد دارای ضریب تبیین برابر با 0/57 و ریشه میانگین مربعات خطا برابر با 8/91 بود. میزان میانگین خطا در این روش 0/3 بود. مدل کوکریجینگ توانسته 57 درصد از تغییرات تراکم کربن آلی خاک را در مقیاس زمین آمار توجیه کند. که با توجه به‌وسعت بالای منطقه مقادیر قابل اطمینانی است. ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا به‌دست آمده

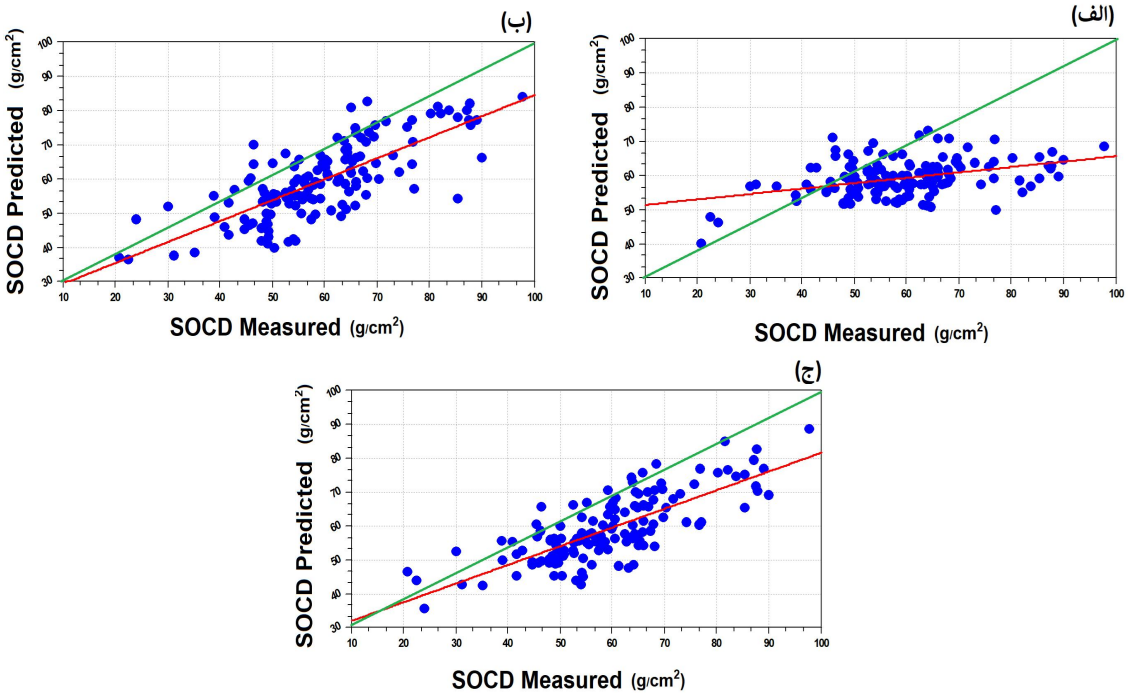
از روش کوکریجینگ نشان می‌دهد که متغیر کمکی به‌کار رفته (درصد نیتروژن کل) ارتباط بالایی با میزان تراکم کربن آلی خاک در منطقه از خود نشان داده است. کربن آلی خاک و نیتروژن کل شاخص‌های کلیدی برای برآورد کیفیت خاک هستند و به‌عنوان مخازن مهم کربن و نیتروژن عمل می‌کنند (بولین و همکاران، 2000). ماده آلی خاک منبع اصلی برای عنصر پرمصرف نیتروژن است و مقدار نیتروژن خاک نشأت گرفته از بقایای گیاهی و جانوری بوده به‌طوری‌که مواد آلی خاک به منزله انبار نیتروژن هستند. رابطه مثبت بین تراکم کربن آلی خاک با نیتروژن کل خاک با نتایج اصغری و همکاران (1394) مطابقت دارد. اصغری و همکاران (1394) نیز بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را بین کربن آلی خاک با نیتروژن کل (r=0/897) را گزارش نمودند. وانگ و همکاران (2018) گزارش نمودند که مقدار نیتروژن کل همبستگی مثبت، قوی و معنی‌داری (P=0/01) با مقدار کربن آلی خاک در سه کاربری (جنگل، مرتع و زراعی) در منطقه مورد مطالعه دارد. آن‌ها گزارش کردند که تراکم کربن آلی خاک به‌دلیل معدنی شدن کربن (تبدیل فرم کربن آلی به ترکیب معدنی) به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. با این حال، روند معدنی شدن کربن در خاک‌های غنی از نیتروژن کندتر است و منجر به غلظت بالای کربن آلی خاک می‌شود. جعفری و همکاران (1386) گزارش نمودند استفاده از یک متغیر کمکی در روش کوکریجینگ دقت برآوردها را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. ژو و لین (2010) نیز گزارش کردند که کوکریجینگ با متغیرهای مشخص برای درون‌یابی بهتر می‌توانند استفاده شوند. زو و آزبورن (2021) با بررسی تنوع مکانی در میزان کربن آلی و نیتروژن کل در جمهوری ایرلند با دو روش کریجینگ و کوکریجینگ گزارش نمودند که اکثر آماره‌های صحت-سنجی با استفاده از روش کوکریجینگ ارجحیت آن را بر روش کریجینگ معمولی نشان دادند. آنها دلیل دقت بالای روش کوکریجینگ نسبت به کریجینگ را مرتبط با ساختارهای متغیر مشابهی که بین کربن آلی و نیتروژن کل وجود دارد گزارش نمودند.

نتایج حاصل از ارزیابی متقاطع نشان داد که دقت روش رگرسیون-کریجینگ در مقایسه با روش کریجینگ معمولی به مقدار قابل توجهی افزایش یافته، به‌طوریکه این روش توانست 60 درصد از تغییرات مکانی تراکم مادهٔ آلی خاک را توصیف کند. مقدار شاخص میانگین خطا در این روش نسبت به روش کریجینگ معمولی به اندازهٔ کافی به صفر نزدیک شده که بیانگر عدم وجود خطاهای سیستماتیک در این روش است. ریشه میانگین مربعات خطا مدل رگرسیونی حاصل از روش رگرسیون-کریجینگ 8/70 بود.

جدول 4- آماره‌های صحت‌سنجی برای سه روش درونیابی تراکم کربن آلی خاک در منطقه فندوقلو

روش درونیابی	R^2	RMSE	ME
کریجینگ معمولی (OK)	0/17	12/52	-0/03
کوکریجینگ (CoK)	0/57	8/91	0/30
رگرسیون-کریجینگ (RK)	0/60	8/70	-0/05

شکل (7) مقادیر تراکم کربن آلی خاک برآورد شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده این کمیت با سه روش درونیابی را نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده تراکم کربن آلی خاک مورد آزمون در روش RK با مقادیر برآورد شده این کمیت نسبت به خط 1:1توانایی و دقت بالای این روش را در برآورد تراکم کربن آلی خاک را نشان داد (شکل7 -ج). نتایج این نمودارها نشان داد که استفاده از روش RK سبب می‌شود که مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده تراکم کربن آلی خاک به خط 1:1نزدیک‌تر شده و از پراکندگی داده‌ها کاسته شود.



شکل 7- مقادیر اندازه گیری شده تراکم کربن آلی خاک (SOCD) در مقابل برآورد شده در روش کریجینگ معمولی (الف)، کوکریجینگ (ب) و رگرسیون-کریجینگ (ج) (تعداد=140) در منطقه فندوقلو (خط قرمز: خط برازش داده شده و خط سبز: خط 1:1)

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش با استفاده از سه روش کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و رگرسیون-کریجینگ تغییرات مکانی تراکم کربن آلی خاک در منطقه فندوقلو در استان اردبیل برآورد شد. استفاده همزمان از متغیرهای زمینی و داده‌های محیطی به‌عنوان متغیر کمکی دقت روش کریجینگ را برای درونیابی تراکم کربن آلی خاک به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. نکته مهم در پهنه‌بندی به روش کوکریجینگ استفاده از داده‌های کمکی خاک و یا محیطی برای برآوردها است. در این پژوهش نیتروژن کل خاک به‌عنوان یک مشخص مهم خاک مورد استفاده قرار گرفت و کیفیت پهنه‌بندی را نسبت به کریجینگ معمولی بالا برد. اندازه‌گیری نیتروژن خاک نیاز به هزینه، صرف وقت و تکنسین کارآزموده آزمایشگاهی دارد که از موارد منفی استفاده از این مشخصه برای برآورد مقدار کربن آلی خاک است. روش رگرسیون-کریجینگ توانست 60 درصد از تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توصیف کند لذا، رگرسیون-کریجینگ را به‌عنوان مناسب‌ترین روش از بین روش‌های انجام شده پیشنهاد می‌شود. با توجه به پیچیدگی روابط بین تراکم کربن آلی خاک با عوامل کنترل‌کننده مقدار این ویژگی در منطقه فندوقلو پیشنهاد می‌شود از عوامل مدیریتی و انسانی که تأثیر به‌سزایی در پویایی کربن آلی خاک به‌خصوص در اراضی زراعی دارد نیز به‌عنوان متغیرهای کمکی بهره گرفته شود و دیگر روش‌های درونیابی نیز جهت به‌دست آوردن نتایج کامل‌تر استفاده شود.

فهرست منابع:

1. اشرفی، ع.، و م. ا. علیمی. 1393. مقایسهٔ روش‌های مختلف تهیهٔ مدل ارتفاع رقومی مورد شناسی: حوضهٔ آبخیز نوفرست، شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی. جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای،13:140-119.
2. اصفری، ش.، س. هاشمیان صوفیان.، ا. گلی کلانپا، و م. محب الدینی. 1394. اثرات تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های کیفیت خاک در شرق استان اردبیل. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 22(3): 19-1.
3. پیله‌ور شهری، ا. ر.، ش .ا. ایوبی.، و ح. خادمی. 1389. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین (مطالعه موردی: منطقه ضرغام آباد سمیرم). نشریه آب و خاک، 24(6): 1163-1151.
4. تقی‌زاده مهرجردی، ر.، ف. سرمدیان.، م. امید.، غ. ثوابقی.، م. ج. روستا.، و م. ج. رحیمیان. 1391. پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار و دستگاه القاءگر الکترومغناطیس در منطقه اردکان. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، 26(4): 380-369.
5. تیمورزاده، ع.، ا. قربانی.، و ا. ح. کاویان‌پور. 1394. بررسی فلور، شکل زیستی و کورولوژی گیاهان جنگل‌های جنوب-شرقی شهرستان نمین(اسیقران، فندوقلو، حسنی و بوبینی) در استان اردبیل. مجله پژوهش‌های گیاهی، 28(2): 275-264.
6. جعفری، م.، ح. عسگری.، م. معظمی.، م. بی نیاز.، و م. طهمورث. 1387. بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات خاک با کاربرد روش های زمین آماری. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، 80: 185-176.
7. جمالی، ز.، م. اونق.، و ع. سلمان ماهینی. 1398. تحلیل ارتباط دمای سطح زمین با کاربری اراضی و شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده در دشت گرگان. برنامه‌ریزی و آمایش فضا. 23 (3): 194-175.
8. جوان، ف.، ح. حسنی‌مقدم.، و ح. ترابی. 1399. ارزیابی روند تخریب اراضی جنگلی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (مورد مطالعه: جنگل‌های فندوقلو شهرستان نمین). فصل‌نامه علمی محیط زیست و توسعه فرابخشی، 5(69): 74-63.
9. عطائیان، ب.، ش. شجاعی‌فر.، و. زندیه.، و س. هاشمی. 1396. بررسی تغییرات کربن آلی خاک در دو منطقه بحرانی و آسیب پذیر مراتع دشت قهاوند با استفاده از سنجش از دور و GIS. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، 8(4): 90-76.
10. موسوی، س. ر.، ف. پارسایی.، ا. رحمانی.، م. ح. سدری.، و م. کوهسار بوستانی. 1399. پیش‌بینی مکانی برخی از ویژگی‌های خاک سطحی با استفاده از مدل‌های درونیابی و یادگیری ماشین. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، 10(3): 49-27.
11. Barsi, J. A., J. R. Schott., S. J. Hook., N. G. Raqueno., B. L. Markham., and R. G. Radocinski. 2014. Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. Remote Sen, 6(11): 11607-11626.
12. Bhunia, G.S., P. K. Shit., and H. R. Pourghasemi. 2017. Soil organic carbon mapping using remote sensing techniques and multivariate regression model. Geocarto Int, 1-12.
13. Bolin, B., and R. Sukumar. 2000. Global perspective: In land use, land-use change, and forestry; Watson, R. T., Nobal, I. R., Bolin, B., Racindranath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, D. J., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, pp. 23–51.
14. Bongiovanni, M. D., and J. C. Lobartini. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro-and microaggregates as affected by cultivation. Geoderma, 136(3-4): 660-665.

15. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron J. 54: 464-465.
16. Buschiazzo, D. E., A. R. Quiroga., and K. Stahr. 1991. Patterns of organic matter accumulation in soil sof the semiarid Argentinean Pampas. Z Pflanz Bodenkunde, 154: 437-441.
17. Cahn, M. D., J. W. Hummel., and B. H. Brouer. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. SSSAJ, 58: 1240-1248.
18. Cambardella, C. A., T. B. Moorman., J. M. Novak., T. B. Parkin., D. L. Karlen., R.F. Turco., and A. E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. SSSAJ, 58: 1501–1511.
19. Conforti, M., G. Matteucci., and G. Buttafuoco. 2017. Organic carbon and total nitrogen topsoil stocks, biogenetic natural reserve Marchesale (Calabria region, southern Italy). J. Maps, 13: 91–99.
20. Davidson, E. A., and I. A. Janssens. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature, 440: 165–173.
21. De Vos, B., S. Lettens., B. Muys., and J. A. Deckers. 2007. Walkley–Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. Soil Use Manage. 23: 221–229.
22. Dontree, S. 2010. Relation of land surface temperature (LST) and land use/land cover (LULC) from remotely sensed data in Chiang Mai— Lamphun basin. In SEAGA conference.
23. Dubrule, O. 1983. Cross validation of kriging ina unique neighborhood. Math Geol, 15(6): 687-699.
24. Fang, X., Z. Xue., B Li., and S. An. 2012. Soil organic carbon distribution in relation to land use and its storage in a small watershed of the Loess Plateau, China. Catena, 88: 6-13.
25. Fenton, G., K. R Helyar., and P. Orchard. 1993. Soil acidity and liming. NSW Agriculture Agfact AC 19.
26. Fissore, C., B. J. Dalzell., A. A. Berhe., M. Voegtle., M. Evans., and A. Wu. 2017. Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. Catena, 149, 140–149.
27. Florinsky, I. V. 2012. Digital terrain analysis in soil science and geology, Elsevier/Academic Press.
28. Flynn, T., W. de Clercq., A. Rozanov., and C. Clarke. 2019. High-resolution digital soil mapping of multiple soil properties: an alternative to the traditional field survey. J. Plant. Nutr. Soil. Sc, 237-247.
29. Gia Pham, T., M. Kappas., C. Van Huynh., and L. Hoang Khanh Nguyen. 2019. Application of ordinary kriging and regression kriging method for soil properties mapping in hilly region of central Vietnam. ISPRS Int. J. Geoinf, 8(3): 147.
30. Geissen, V., R. Sánchez-Hernández., C. Kampichler., R. Ramos-Reyes., A. Sepulveda-Lozada., S. Ochoa-Goana., B. H. de. Jong., E. Huerta-Lwanga., and S. Hernández-Daumas. 2009. Effects of land use change on some properties of tropical soils-an example from southeast Mexico. Geoderma, 151: 87-97.
31. Hazelton, P., and B. Murphy. 2007. Interpreting soil test results. CSIRO publishing. pp:169.
32. Hengel, T., G. B. M. Heuvelink., and A. Stein. 2004. Generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. Geoderma, 120: 75–93.
33. Hosseini, M., S. A. Movahedi Naeini., A. A. Dehghani., and Y. Khaledian. 2016. Estimation of soil mechanical resistance parameter by using particle swarm optimization, genetic algorithm and multiple regression methods. Soil Tillage Res, 157: 32–42.

34. Isaaks, E. H., and R. M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics; Oxford Unviversity Press: New York, NY, USA.
35. Jakšic, S., J. Ninkov., S. Milic., J. Vasin., M. Živanov., D. Jakšic., and V. Komlen. 2021. Influence of slope gradient and aspect on soil organic carbon content in the region of Niš, Serbia. Sustainability, 13(8332):1-17.
36. Jobbágy, E. G., and R. B. Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecol Appl**,** 10, 423–436.
37. John, K., I. A. Isong., N. M. Kebonye1., P. C. Agyeman., A. E. Okon., and A. S. Kudjo. 2021. Soil organic carbon prediction with terrain derivatives using geostatistics and Sequential Gaussian simulation. JSSAS, 1-32.
38. Ke, Y., J. Im., J. Lee., H. Gong., and Y. Ryu. 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and insitu observations. Remote Sens. Environ, 164: 298-313.
39. Kemper, W. D., and R. C. Rosenau. 1986. Methods of soil analysis. Part 1. physical and mineralogical methods. Agronomy Monograph No. 9 (2nd Edition).
40. Kravchenko, A. N., and D. G. Bullock. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. Agron. J, 92:75–83.
41. Lefèvre C., F. Rekik., V. Alcantara., and L. Wiese. 2017. Soil organic carbon the hidden potential. FAO Publishing.
42. Le Quere, C. 2015. Global carbon budget. 2014. Earth Syst. Sci. Data, 7: 47–85.
43. Liao, K., S. Xu., J. Wu., and Q. Zhu. 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. J. Plant. Nutr. Soil. Sci, 59(4): 488-500.
44. Liu, Zh. P., M. A. Shao., and Y. Q. Wang. 2112. Estimating soil organic carbon across a large-scale region: a state-space modeling approach. J. Soil Sci, 111: 611-618.
45. Liu, J., B. Shi., H. Jiang., S. Bae., and H. Huang. 2009. Improvement of waterstability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers. Catena, 77(3): 175-179.
46. Matejovic, I. 1995. Total nitrogen in plant-material determined by means of dry combustion-a possible alternative to determination by Kjeldahl digestion. Commun. Soil. Sci. Plant. Anal, 26: 2217-2229.
47. Meng, Q. 2014. Regression kriging versus geographically weighted regression kriging versus geographically weighted regression for spatial interpolation. Int. J. Adv. Remote Sens. GIS, 3: 606–615.
48. Mitasova, H., J. Hofierk., M. Zlocha., and L. Iverson. 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. Int. J. Geogr. Inf. Sci, 10(5): 629-641.
49. Moore, I. D., P. E. Gessler., G. A. Nielsen., and G. A. Peterson. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. SSSAJ. 57: 443–452.
50. Muchena, R. 2017. Estimating soil carbon stocks in a dry miombo ecosystem using remote sensing. Chesa Forest Res Stat, 6: 2-6.
51. Mueller, T. G., and F. J. Pierce. 2003. Soil carbon maps: Enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. SSSAJ, 67: 258–267.
52. Pandey, C. B., S. K. Chaudhari., J. C. Dagar., G. B. Singh., and R. K. Singh. 2010. Soil N mineralization and microbial biomass carbon affected by different tillage levels in a hot humid tropic. Soil Tillage Res, 110: 33-41.
53. Radocaj, D., I. Jug., V. Vukadinovic., M. Jurišic., and M. Gašparovic. 2021. The effect of soil sampling density and spatial autocorrelation on interpolation accuracy of chemical soil properties in arable cropland. J. Agron, 11(2430): 1-15.
54. Rouse, J. W., R. H. Haas., J. A. Schell., and D.W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington DC, 10-14 December, 309-317.

55. Sarmadian, F., A. Keshavarzi., A. Rooien., M. Iqbal., G. Zahedi., and H. Javadikia. 2014. Digital mapping of soil phosphorus using multivariate geostatistics and topographic information. Aust. J. Crop Sci, 8: 1216–1223.
56. Shields, M. D., and J. Zhang. 2016. The generalization of Latin hypercube sampling. Reliab. Eng. Syst. Saf, 148: 96–108.
57. Smith, P. 2004. Soils as carbon sinks—The global context. Soil Use Manage. 20: 212–218.
58. Sun, W., B. Minasny., and A. McBratney. 2012. Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. Geoderma, 171(172): 16–23.
59. Taghizadeh-Mehrjardi, R., K. Nabiollahi., and R. Kerry. Digital mapping of soil organic carbon at multiple depths using different data mining techniques in Baneh region, Iran. Geoderma, 266: 98–110.
60. Templeton, G. F. 2011. A two-step approach for transforming continuous variables to normal: implications and recommendations for IS research. Commun. Assoc. Inf. Syst, 28 (4):41-58.
61. Waga, K., J. Malinen., and T. Tokola. 2020. A topographic wetness index for forest road quality assessment: An application in the lakeland region of Finland. Forests, 11(11):1-13.
62. Wang, S., Q. Zhuang., S. Jia., X. Jin., and Q. Wang. 2018. Spatial variations of soil organic carbon stocks in a coastal hilly area of China. Geoderma, 314: 8–19.
63. Wang, Y., B. Fu., Y. Lu., Ch. Song., and Y. Luan. 2010. Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China. Quat. Res, 73: 70–76.
64. Wang, B., W. Zhou., S. Ma., S. Liu., L. Yu., C. Zheng., and J. Wang. 2012. Regression-kriging of soil organic matter using the environmental variables derived from MODIS and DEM. J. Agric. Sci. Technol, 13(4): 838-842.
65. Wu, Z., Y. Liu., G. Li., Y. Han., X. Li., and Y. Chen. 2022. Influences of environmental variables and their interactions on Chinese farmland soil organic carbon density and its dynamics. Land, 11(208):1-16.
66. Wu, C., J. Wu., Y. Luo., L. Zhang., and S. D. De Gloria. 2009. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. SSSAJ, 73: 1202–1208.
67. Xu, Y., S. E. Smith., S. Grunwald., A. Abd-Elrahman., S. P. Wani., and V. D. Nair. 2018. Estimating soil total nitrogen in smallholder farm settings using remote sensing spectral indices and regression kriging. Catena, 163: 111–122.
68. Yevheniya, V., N. Jenny., R. Lars., and T. Norberg. 2014. A minimum data set for evaluating the ecological soil functions in remediation projects. J. Soils Sediments, 14: 1850–1860.
69. Zevebergen, L. W., and C. R. Thorne. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. Earth Surf Process Lan, 12: 47-56.
70. Zhang, Y., L. Guo., Y. Chen., T. Shi., M. Luo., Q. Ju., and S. Wang. 2019. Prediction of soil organic carbon based on Landsat 8 monthly NDVI data for the Jianghan plain in Hubei province, China. Remote Sen, 11(14): 1683-1695.
71. Zhu, Q., and H. S. Lin. 2111. Comparing ordinary kriging and regression kriging for soil properties in contrasting landscapes. Pedosphere, 21: 514-616.
72. Zou, J., and B. Osborne. 2021. Spatially related sampling uncertainty in the assessment of labile soil carbon and nitrogen in an Irish forest plantation. Appl. Sci,11(2139): 1-13.

۷۳. منابع اینترنتی:

74. https://www.earthexplorer.usgs.gov/
75. https://www.ncc.gov.ir/
76. http://www.nsisi.swri.ir/
77. https://www.rsgisc.com/

بررسی کیفیت خاک در بخشی از اراضی کوهین استان قزوین

فریدون سرمدیان[1] و سجاد تیموری بردیانی

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکداگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ fsarmad@ut.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکداگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ sajjad.temuri@ut.ac.ir

ص 427 - 438

دریافت: 1401/4/21 و پذیرش: 1401/12/9

چکیده

کیفیت خاک را می‌توان از دو بُعد کیفیت ذاتی و کیفیت پویا مورد مطالعه قرارداد. بُعد ذاتی کیفیت خاک به عوامل خاک‌سازی وابسته است، اما، بعد پویای کیفیت خاک، ویژگی‌هایی از خاک است که بسته به نوع مدیریت تغییر می‌کند و بیانگر وضعیت سلامت خاک است. در این تحقیق، کیفیت خاک بخشی از اراضی قزوین با استفاده از دو شاخص کیفیت تجمعی خاک و شاخص کیفیت "نمرو" محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی با مدل کروی و شاخص کیفیت نمرو با مدل نمایی منطبق بودند و ضریب تبیین هر دو شاخص 0/87 به دست آمد که بیانگر همبستگی خوب مدل برازش داده شده با نقاط مشاهده‌ای است. در مقایسه با روش وزن‌دهی معکوس‌فاصله، روش کریجینگ معمولی برای هر دو شاخص کیفیت خاک، مقدار میانگین خطای اریبی و ریشه دوم میانگین مربعات خطای کمتری داشت. نقشه‌های کیفیت خاک منطقه موردمطالعه به کمک دو شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو بر پایه روش‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله ترسیم شد. الگوی کیفیت خاک برای هر دو شاخص تقریباً یکسان بود. بر اساس شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو، خاک قسمت‌های شمالی و شمال غربی منطقه موردمطالعه کمترین مقادیر کیفیت خاک (0/4 و 0/+28) و قسمت جنوب و جنوب شرقی بیشترین مقادیر کیفیت (0/7 و 0/5) را به ترتیب داشتند. دو شاخص کیفیت خاک با کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و نیتروژن و پتاسیم رابطه‌ای مثبت و معنی‌داری نشان دادند، اما این روابط با جرم مخصوص ظاهری و اسیدیته خاک رابطهٔ منفی و معنی‌دار بود. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کیفیت خاک منطقه متأثر از ویژگی‌های پویای خاک است و توجه به حفظ این ویژگی‌ها اهمیت خاص دارد.

واژه های کلیدی: شاخص کیفیت تجمعی، شاخص نمرو، کریجینگ، وزن‌دهی معکوس.

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: کرج، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکداگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مقدمه

کشاورزی دقیق مبتنی بر استفاده از مجموعه‌ای از فنون و فناوری‌هایی است که برای ارزیابی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و گیاه برای تسهیل و بهینه‌سازی مدیریت خاک ابداع شده‌اند که اغلب به استفاده از چندین متغیر برای اتخاذ تصمیم درست نیاز دارد (روی، 2020. محمد و همکاران، 2020). همچنین در سال‌های اخیر، استفاده پایدار از منابع طبیعی و ایجاد تعادل بین میزان تولید محصولات کشاورزی و بهبود کیفیت منابع طبیعی بسیار موردتوجه قرار گرفته است. خاک یکی از مهم‌ترین منابعی است که در صورت ارزیابی و مدیریت خوب می‌تواند به پرکردن شکاف تقاضای مواد غذایی برای دستیابی به امنیت غذایی کمک کند (شکُر و همکاران، 2021). پیچیدگی‌های موجود در خاک به‌طورجدی اطلاعات ما را در چگونگی کارکردهای آن محدود کرده است (کارلان و همکاران، 2008). دوران و پارکین کیفیت خاک را تابعی از ظرفیت‌های خاک برای رفع کمبودهای اکوسیستم و کاربری اراضی در راستای حفظ بهره‌وری و حاصلخیزی، عدم آلودگی زیست‌محیطی و ارتقای سلامت گیاه، حیوان و انسان تعریف کرده‌اند. (دوران و پارکین، 1994. دوران و پارکین، 1996). کیفیت خاک باعث افزایش ظرفیت خاک برای بالابردن عملکرد گیاهان، حفاظت از حوزه‌های آبخیز با بهبود نفوذ آب و توزیع درست روان آب و جلوگیری از آلودگی آب‌وهوا با آلاینده‌های بالقوه مانند مواد شیمیایی کشاورزی، ضایعات آلی و مواد شیمیایی صنعتی می‌شود. (سیمز و همکاران، 1997)

کیفیت خاک را می‌توان از دو بُعد کیفیت ذاتی و پویای خاک موردمطالعه قرارداد (واسو، 2016). بُعد ذاتی کیفیت خاک تحت‌تأثیر عوامل خاک‌سازی است که به‌وسیله دانشمند سویسی هَنس ینی معرفی شده‌اند؛ اما بعد پویای کیفیت خاک، ویژگی‌هایی از خاک است که بسته به نوع مدیریت تغییر می‌کنند و بیانگر وضعیت سلامت خاک است. (سمائی و همکاران، 2022). یکی از مؤلفه‌های مهم ارزیابی کیفیت خاک، شناسایی مجموعه‌ای از ویژگی‌های حساس خاک بوده که منعکس‌کننده ظرفیت خاک برای عملکرد است و می‌تواند به‌عنوان شاخص کیفیت خاک مورداستفاده قرار گیرد. ازآنجایی‌که مدیریت معمولاً فقط اثرات کوتاه‌مدت محدودی بر ویژگی‌های ذاتی مانند بافت و کانی‌شناسی دارد، شاخص‌های دیگری از جمله شاخص‌های بیولوژیکی موردنیاز است. تمایز بین ویژگی‌های ذاتی (ایستا) و قابل مدیریت (پویا)، مطلق نیست و همچنین وابسته به اراضی است (شویلچ و همکاران، 2016).

مفهوم کیفیت خاک شامل ارزیابی خواص خاک و فرایندهای مؤثر بر آن است؛ زیرا این دو مورد به توانایی خاک برای عملکرد مؤثر به‌عنوان یک اکوسیستم سالم مرتبط هستند (بونمان و همکاران، 2018). بااین‌وجود کیفیت خاک به طور مستقیم قابل‌اندازه‌گیری نیست و باید از شاخص‌های کیفیت خاک استنتاج شود (بی‌سواس و همکاران، 2017). شاخص‌های کیفیت خاک مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری خاک هستند که بر ظرفیت آن برای تولید محصولات زراعی یا عملکرد محیطی تأثیر می‌گذارند و نسبت به تغییر کاربری، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس هستند (تاکوتسینگ و همکاران، 2016). دستیابی به روش‌ها و شاخص‌های مناسب ارزیابی کیفیت خاک به علت تأثیر مهم آن بر نتیجه‌گیری و قضاوت نهایی در مورد وضعیت کیفیت و مدیریت خاک، از جمله مهم‌ترین مسائل موردتوجه است (بی‌سواس و همکاران، 2017). تابه‌حال روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌ها، تعیین و ارزیابی کیفیت خاک مورداستفاده قرار گرفته است. از روش‌های عمدتاً کیفی تا کاملاً کمی شامل کارت‌های نمره دهی[1]، ارزیابی بصری خاک[2]، محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک و روش‌های کریجینگ چندمتغیره (مسعود و همکاران، 2018) در تخمین و ارزیابی کیفیت خاک استفاده شده است.

1. Scorecards
2. Visual Soil Assessments

همچنین تمامی شاخص‌های خاک اعم شاخص تخریب خاک[1]، شاخص حاصلخیزی خاک[2]، شاخص کیفیت خاک[3] و شاخص انعطاف‌پذیری خاک[4] از شاخص پایداری خاک[5] مشتق شدند. نرخ تخریب خاک (SDR) و شاخص انعطاف‌پذیری خاک (SRR) عوامل مهمی هستند که ویژگی‌های ذاتی خاک را بررسی می‌کنند، درحالی‌که شاخص کیفیت خاک (SQI) و شاخص حاصلخیزی خاک (SFI) مهم‌ترین شاخص‌ها برای نشان‌دادن شرایط داخل خاک هستند (عبدالرحمن و همکاران، 2022).

در بین این روش‌ها، محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک بیشتر متداول بوده است، زیرا به‌آسانی و با استفاده از نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی قابل تخمین بوده و از انعطاف بالائی برخوردار است، بدین معنی که وظایف و خصوصیات مختلفی از خاک را بسته به اهمیت آن‌ها و دردسترس‌بودن داده‌ها، می‌توان در مدل وارد نمود (کی و همکاران، 2009). همچنین شاخص‌های کیفی خاک برای ارزیابی کمی کیفیت خاک بسیار موثراند. شاخص‌های IQI و NQI اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌کنند، بنابراین اطمینان نتایج نهایی را افزایش می‌دهند (سمائی و همکاران، 2022).

امروزه شاخص‌های کمی زیادی مانند شاخص کیفیت تجمعی[6] و شاخص کیفیت نمرو[7] برای محاسبه شاخص کیفیت خاک ابداع شده است (ال‌رمادی، 2014). برای محاسبه شاخص کیفیت تجمعی، با استفاده از توابع امتیازدهی استاندارد، برای هر مشخصه یک امتیاز تعیین شده و از مجموع حاصل‌ضرب امتیاز هر مشخصه در ضریب وزنی آن، مقدار شاخص محاسبه می‌شود (دوران و جونز، 1996). همچنین شاخص کیفیت نمرو بر اساس میانگین و حداقل ویژگی‌ها محاسبه می‌شود و وزن ویژگی‌های خاک دخالتی ندارد (شین و ژائو، 2000).

همچنین شاخص‌های IQI و NQI اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌کنند، بنابراین اطمینان نتایج نهایی را افزایش می‌دهند.

هر یک از خصوصیات خاک دارای مقیاس‌ها و واحدهای متفاوتی است، بنابراین لازم است که این خصوصیات خاک را به یک کمیت بدون بعد تبدیل کنیم؛ مثلاً خصوصیات را بین صفر تا یک امتیازدهی کنیم (عمر و همکاران،2020). طبق این روش، خصوصیات مختلف خاک از سه تابع پیروی می‌کنند (کارلن و همکاران، 2014). شیوه‌های مدیریتی و کاربری اراضی را می‌توان از عوامل اصلی تأثیرگذار بر کیفیت خاک در نتیجه تغییر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک در نظر گرفت (داوری و همکاران، 2020). ازآنجایی‌که ویژگی‌های خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر دارای تغییرات هستند، آگاهی از تغییرات مکانی کیفیت خاک بر اساس شاخص‌های مختلف، اطلاعات مفیدی را در اختیار کاربر به‌منظور مدیریت صحیح اراضی قرار می‌دهد (عطائیان و همکاران، 2015).

میرخانی و همکاران در سال 1400 با مطالعه اراضی زراعی ساوجبلاغ به این نتیجه رسیدند که شاخص NQI با استفاده از کل ویژگی‌ها، دقت بالاتری بر اساس آماره‌های R برابر با 0/85 و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE =0.01) برای تهیه نقشه کیفیت خاک داشت. باتوجه‌به پایین بودن ماده آلی و پایداری ساختمان خاک منطقه، با انتخاب روش مدیریتی مناسب مانند افزودن ماده آلی و سیستم خاک‌ورزی حفاظتی، می‌توان کیفیت خاک را بالا برد. امامی و ریاحی‌نیا در 2021 گزارش کردند که ضرایب همبستگی بین IQITDS و IQIMDS برابر با 0.69 و بین NQITDS و NQIMDS برابر با 0.76 است که نشان می‌دهد که NQI شاخص بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک است و NQITDS ارزیابی دقیق و جامع‌تری از کیفیت خاک ارائه کرد.

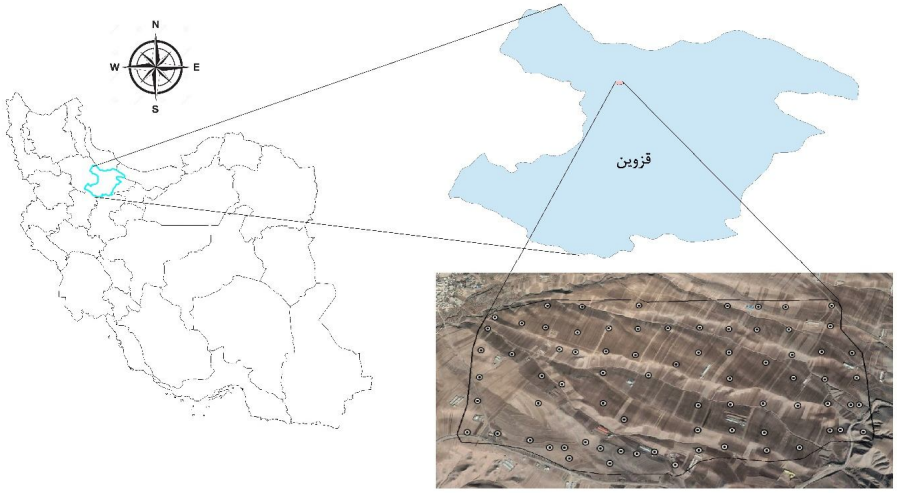
1. Soil Degradation Rate (SDR)
2. Soil Fertility Index (SFI)
3. Soil Quality Index (SQI)
4. Soil Resilience Rate (SRR)
5. Soil Sustainability Index(SSI)
6. Integrated Quality Index (IQI)
7. Nemero Quality Index (NQI)

ازآنجایی‌که کیفیت خاک بیانگر رابطه بین مقدار تولید محصول و باروری زمین است ما باتوجه‌به کارایی شاخص‌های کیفیت خاک در ارزیابی اثرات عملیات مدیریتی و کاربری اراضی مختلف بر کیفیت خاک، در این پژوهش دو شاخص نسبتاً سهل‌الوصول (کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو) برای ارزیابی کیفیت خاک مورد ارزیابی قرار دادیم و بر اساس این دو شاخص با دو روش زمین آماری، نقشه کیفیت خاک منطقه موردمطالعه نیز تهیه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه شامل بخشی از اراضی منطقه کوهین، واقع در محور قزوین – رشت در استان قزوین بوده که بین طول‌های جغرافیایی "58´34 °49 تا "13 ´37 °49 شرقی و عرض‌های جغرافیایی "14´22 °36 تا " 51´22 °36 شمالی که در غرب استان قزوین قرار گرفته است (شکل 1). مساحت منطقه موردمطالعه حدود ده‌هزار هکتار و از نظر کاربری به دو نوع مرتع و دیم تقسیم می شود، بااین‌وجود بیشترین بخش منطقه را کاربری دیم تشکیل داده و تنها در بخش‌های کوچکی کاربری مرتع مشاهده می‌شود (2% کاربری مرتع و 98% کاربری دیم). این منطقه از لحاظ آب‌وهوایی دارای میانگین بارندگی سالیانه 327 میلی‌متر و متوسط دمای 11/20 درجه سانتی گراد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مطالعاتی، به ترتیب، زریک و مزیک هستند. منطقه موردمطالعه از نظر ژئومورفولوژی به دو بخش فلات و دره تقسیم می‌شود.



شکل 1- موقعیت منطقه موردمطالعه و نقاط نمونه‌برداری
Fig 1: Location of the study area and position of the sampling points

منطقه موردمطالعه از لحاظ زمین‌شناسی دارای چندین سازند هست که قسمت عمده منطقه از سازند آبرفتی[1] و مارن آهکی[2] تشکیل شده است. با انطباق نقشه رقومی ارتفاع (شکل 1) با نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌توان دریافت که قسمت‌های مرتفع منطقه بیشتر از مارن تشکیل شده است.

امتیازدهی و وزن‌دهی ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

انتخاب ویژگی‌هایی از خاک که به بهترین شکل نشان‌دهندهٔ وضعیت کیفیت خاک باشند، اهمیتی کلیدی در

1. Alluvial
2. Calcareous marl

ارزیابی کیفیت خاک دارد. ویژگی‌های انتخاب شده باید محدودهٔ گسترده‌ای از مشخصات خاک را پوشش دهند و با وجود این هر یک به طور مستقیم بر کیفیت خاک اثر داشته باشند (وانگ و گونگ، 1997). در این پژوهش 12 ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک که در منابع مختلف به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک معرفی شده‌اند (کی و همکاران، 2009)، و به‌عنوان مجموعه کل داده‌ها[1] در نظر گرفته شدند. هر یک از خصوصیات خاک دارای مقیاس‌ها و واحدهای متفاوتی هستند، بنابراین لازم است که این خصوصیات خاک را به یک کمیت بدون بعد تبدیل کنیم؛ مثلاً خصوصیات را بین صفر تا یک امتیازدهی کنیم (عمر و همکاران، 2020). دراین‌رابطه از رتبه دهی[2] یا استانداردسازی داده‌ها به‌وسیله توابع امتیازدهی استاندارد[3] استفاده شد. محدوده مقادیر هر ویژگی در مجموعه کل داده‌ها با توابع استاندارد امتیازدهی شدند (اندروز و همکاران، 2002). در این درجه‌بندی بسته به نوع ویژگی، مقادیر ویژگی موردنظر که از نظر کیفیت خاک مطلوب-ترین مقدار، امتیاز یک و مقادیری که باعث کمترین کیفیت می‌شوند، امتیاز صفر می‌گیرند (کی و همکاران، 2009. مارزائولی و همکاران، 2010). بر اساس این روش ویژگی‌های مختلف خاک با استفاده از سه نوع تابع امتیازدهی استاندارد که عبارت‌اند از توابع هر چه بیشتر بهتر، هر چه کمتر بهتر و حد بهینه بهتر، استانداردسازی شدند که مقادیر حد بالائی و پایینی اندازه‌گیری شده خصوصیات و نوع تابع در جدول 1 نمایش‌داده‌شده است.

همچنین برای وزن‌دهی ویژگی‌های مؤثر در مجموعه کل داده‌ها، سهم هر ویژگی[4] (واریانس مشترک) به روش تجزیه عاملی[5] به کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه شد (واسو و همکاران، 2016). بدین منظور نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها در هر مجموعه، به‌عنوان وزن هر ویژگی در نظر گرفته شد (کی و همکاران، 2009). سهم هر ویژگی بیشتر بدین معنی است که نسبت بیشتری از واریانس به‌وسیله آن ویژگی توضیح داده می‌شود لذا وزن بیشتری به آن اختصاص داده می‌شود. در نهایت با تلفیق امتیازات و وزن مربوط به ویژگی‌های مختلف در هر نمونه خاک در قالب روابط آماری و ریاضی، شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو محاسبه شدند، البته با این تفاوت که برای محاسبه شاخص کیفیت نمرو وزن‌دهی لازم نیست. مطابق رابطه (1) شاخص کیفیت تجمعی از مجموع حاصل‌ضرب امتیاز هر ویژگی در ضریب وزنی آن، محاسبه شد.

(1)

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i$$

که در آن W_i معادل وزن هر ویژگی، N_i مقدار نمره یا امتیاز تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های خاک هست(سایز و همکاران، 1991).

(2)

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n}$$

همچنین مطابق رابطه (2)، شاخص کیفیت نمرو بر اساس مقادیر میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها محاسبه شد. که در آن P_{ave} میانگین امتیاز تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، P_{min} حداقل امتیاز موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های موردنظر است(کی و همکاران، 2009).

نتایج و بحث

محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک

در 12 خصوصیت اندازه‌گیری شده سهم هر ویژگی و ضریب وزنی آن در جدول 2 نشان‌داده‌شده است. ویژگی‌های از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و کربن آلی خاک داری بیشترین سهم از واریانس مشترک هستند و متناسب با آن نیز دارای بیشترین ضریب وزنی هستند.

1. Total Data Set
2. Scoring
3. Standard Scoring Function
4. Communality
5. Factor analysis

جدول 1- توابع امتیازدهی استاندارد و پارامترهای آن برای متغیرهای کمی کیفیت خاک منطقه موردمطالعه

Table 1- Standard Scoring Functions and their parameters for quantitative variables of soil quality of study area

متغیر variable	نوع تابع امتیازدهی استاندارد The type of scoring function	حد پایینی Lower limit	حد بالایی Upper limit	تابع امتیازدهی استاندارد
کربنات کلسیم (TNV)	کمتر، بهتر Less is better	8.2	48.7	$N(x) = \begin{cases} 0.1 & x < L1 \\ \text{and} 0.9 \times \frac{x - L1}{L2 - L1} + 0.1 & \begin{bmatrix} L1 \le x \le L2 \\ L2 \le x \le U1 \\ U1 \le x \le U2 \end{bmatrix} \\ 1 & x \ge U2 \\ \text{and} 0.9 \times \frac{x - U1}{U2 - U1} + 0.1 & \end{cases}$
هدایت الکتریکی (EC)	کمتر، بهتر Less is better	0.376	1.159	
جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)	کمتر، بهتر Less is better	1.13	1.96	
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	بیشتر، بهتر More is better	17/02	43.29	$F(x) = \begin{cases} 0.1 & x \le L \\ 0.9 \times \frac{x - L}{u - L} + 0.1 & L \le x \le U \\ 1 & x \ge U \end{cases}$
کربن آلی (OC)	بیشتر، بهتر More is better	0/13	1/33	
نیتروژن کل (N)	بیشتر، بهتر More is better	0/013	0/171	
پتاسیم قابل جذب (Kave)	بیشتر، بهتر More is better	63/3	416	
فسفر قابل جذب (Pave)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	4/5	22/1	$M(x) = \begin{cases} 0.1 & x < L1 \\ 0.9 \times \frac{x - L1}{L2 - L1} + 0.1 & \begin{bmatrix} L1 \le x \le L2 \\ L2 \le x \le U1 \\ U1 \le x \le U2 \end{bmatrix} \\ 1 & x \ge U2 \\ 0.9 \times \frac{x - U1}{U2 - U1} + 0.1 & \end{cases}$
پهاش (pH)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	7.42	8.18	
رس (Clay)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	25	59	
سیلت (Silt)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	16	44	
شن (sand)	حد بهینه، بهتر Optimal is better	10	57	

مقدار مشاهده‌ای هر مشخصه، L حد آستانه پائین، U حد آستانه بالا، N(x)، F(x) و M(x) به ترتیب توابع امتیازدهی استاندارد برای حد بالا، پائین و بهینه که بین 1 / 0 تا 1 تغییر می‌کنند.

تجزیه‌و تحلیل شاخص‌های کیفیت خاک

برای هر دو شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) جهت ارزیابی وضعیت کیفیت خاک چون مقدار چولگی داده‌ها بر اساس آنالیز آماری نرم‌افزار GS^+ کمتر از 0/5 بود، در نتیجه داده‌ها نیاز به نرمال‌سازی نداشتند. شاخص کیفیت تجمعی با مدل کروی و شاخص کیفیت نمرو با مدل نمایی منطبق هستند. دامنه تأثیر برای شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو به ترتیب 1557 و 1050 متر می‌باشد و همچنین ضریب تبیین این دو شاخص هر دو 0/87 است که بیانگر همبستگی خوب مدل برازش داده شده بر آن با نقاط مشاهده‌ای است. هر چه نسبت اثر قطعه‌ای بر آستانه کمتر باشد بیانگر وابستگی مکانی قوی بین نقاط است. این نسبت برای شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو به ترتیب 33 و 13 درصد است که به ترتیب بیانگر وابستگی

مکانی متوسط (بین 25 الی 75 درصد) و قوی (کمتر از 25 درصد) بین نقاط است.

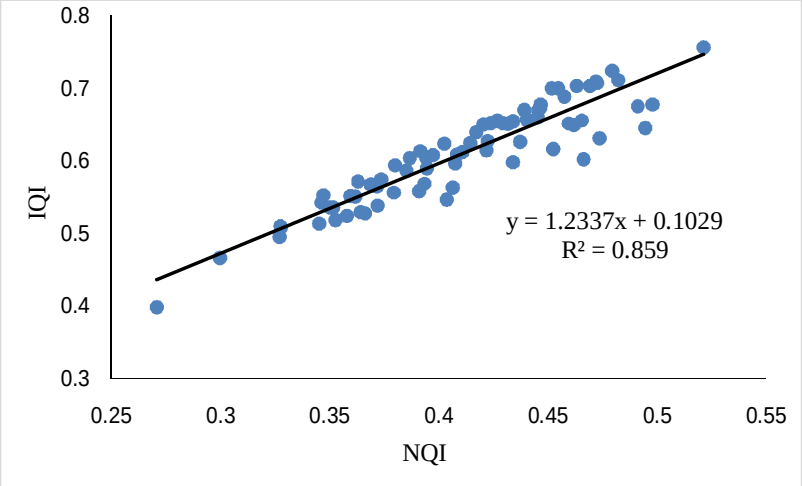
جدول 2- واریانس مشترک تخمینی و مقادیر ضریب وزنی برای هر کدام از متغیرها
Table 2- Estimated Communality and value of weight Coefficient for Variables

متغیر variable	کربنات کلسیم معادل (TNV)	هدایت الکتریکی(EC)	جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)	پ‌هاش (pH)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	کربن آلی (OC)
مقدار واریانس Variance	28/4	0/038	0/002	0/005	12/72	0/071
سهم هر ویژگی **Communality**	0/82	0/54	0/62	0/65	0/83	0/81
ضریب وزنی **Weight Coefficent**	0/09	0/06	0/07	0/07	0/09	0/09
متغیر **variable**	نیتروژن کل (N)	فسفر قابل جذب (P_{ave})	پتاسیم قابل جذب (K_{ave})	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (sand)
مقدار واریانس Variance	0/004	0/008	0./005	39/05	19/34	51/18
سهم هر ویژگی **Communality**	0/64	0/63	0/70	0/71	0/68	0/96
ضریب وزنی **Weight Coefficent**	0/07	0/07	0/08	0/08	0/08	0/11

باتوجه‌به وابستگی مکانی قوی بین نقاط برای دو شاخص کیفیت تجمعی و نمرو از دو روش کریجینگ معمولی و روش وزن‌دهی معکوس فاصله جهت درون-یابی استفاده شد. روش کریجینگ معمولی نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای هر دو شاخص مقدار میانگین اریبی خطا و ریشه دوم میانگین مربعات خطا کمتری دارد، بنابراین روش کریجینگ با داشتن کمترین خطای برآورد، شاخص‌های موردنظر را بادقت بالاتری نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله برآورد می‌کند، لذا کریجینگ معمولی برای درون‌یابی و پهنه‌بندی مناسب-تر است. نزدیک بودن مقادیر میانگین اریبی خطا (MAE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) به صفر برای هر دو شاخص، کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو نشان‌دهندهٔ دقت بالای تخمین است.

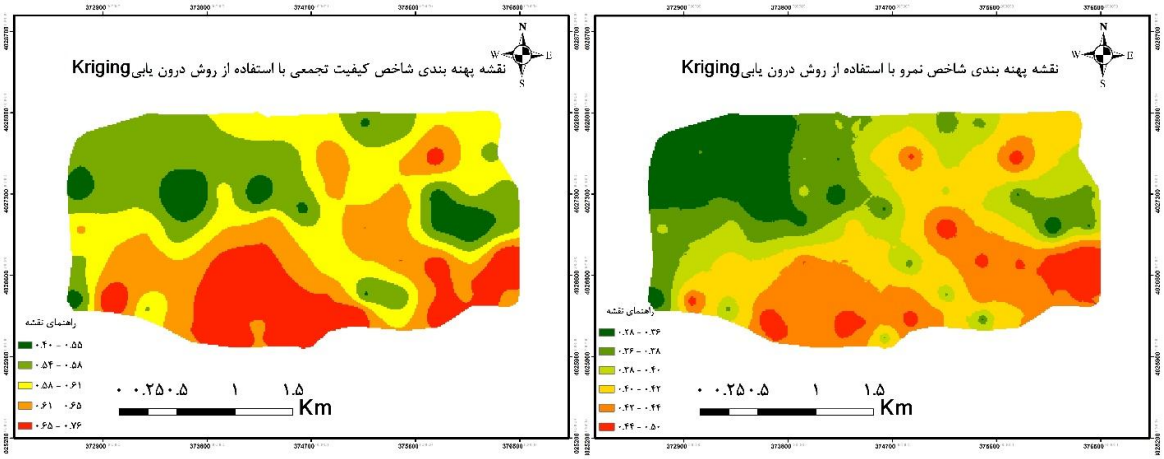
در حالت مقایسه بین دو شاخص تجمعی و شاخص کیفیت نمرو می‌توان مشاهده نمود که هرچند ارتباط این دو شاخص بیانگر دقت خوب هرکدام از این دو شاخص به‌تنهایی برای ارزیابی کیفیت خاک است (R^2 = 0.86) (شکل 4)، اما مقدار عددی شاخص کیفیت خاک نمرو نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کمتر است و معمولاً مقدار عددی آن کمتر از 0/5 هست، البته این امر طبیعی به نظر می‌رسد و نتایج پژوهش‌ها زیادی این وضعیت را تأیید می‌کنند. سمائی و همکاران (2022)، گرجی و همکاران (2018)، کی و همکاران (2009) و بسیاری از محققان دیگر نیز به این نتیجه رسیدند که مقدار شاخص کیفیت خاک نمرو در کلیه شرایط نسبت به شاخص تجمعی کیفیت خاک کمتر است؛ بنابراین شاخص کیفیت تجمعی نسبت به شاخص کیفیت نمرو، ارزیابی دقیق‌تری از کیفیت خاک منطقه موردمطالعه دارد، زیرا این شاخص برای ویژگی‌های مورد بررسی، علاوه بر امتیاز-دهی، اوزانی نیز در نظر می‌گیرد درحالی‌که در شاخص کیفیت نمرو تنها بر اساس مقادیر میانگین و حداقل امتیاز ویژگی‌ها محاسبه می‌شود (کی و همکاران، 2009).

در شکل 5 و 6 نقشه پهنه‌بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی نمایش‌داده‌شده است.



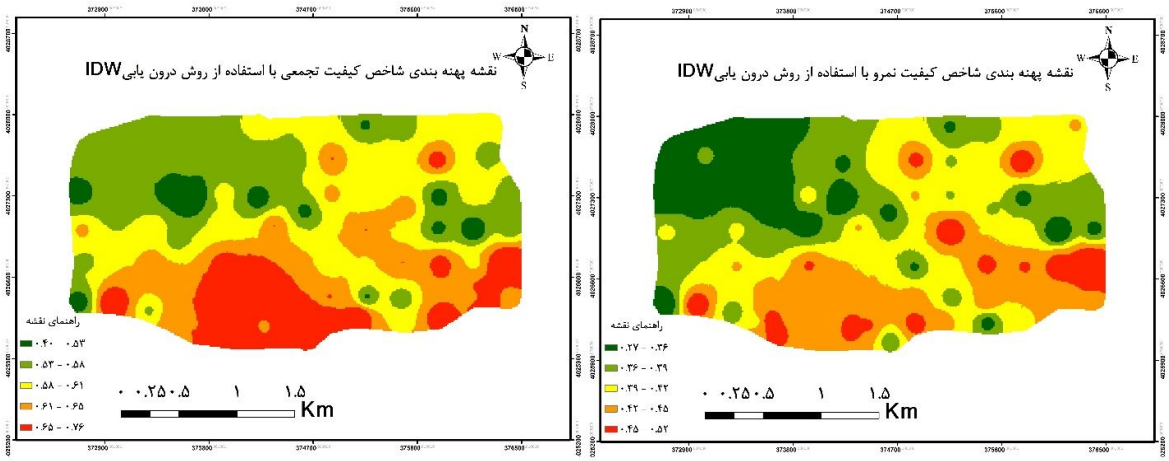
نمودار 1- ارتباط شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI)

graph 1- Correlation of Integrated Quality Index (IQI) and Nemero Quality Index (NQI)



شکل 2- پهنه‌بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص های نمرو و کیفیت تجمعی با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی

Fig 2- Spatial Distribution of soil quality based on of Nemro Quality Index (NQI) and Integrated Quality Index (IQI) interpolation method used of ordinary kriging



شکل 3- پهنه‌بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص‌های نمرو و کیفیت تجمعی با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله

Fig 3- Spatial Distribution of soil quality based on of Nemro Quality Index (NQI) and Integrated Quality Index (IQI) used of Inverse Distance Weighting(IDW)

جدول 3- همبستگی خصوصیات خاک سطحی با شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI)

Table 3- Correlation between Surface soil properties with Integrated Quality Index (IQI) and Nemero Quality Index (NQI)

خصوصیات خاک (soil properties) / شاخص کیفیت (Quality Index)	کربنات کلسیم (TNV)	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	جرم مخصوص ظاهری (ρb)	کربن آلی (OC)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	اسیدیته خاک (pH)	هدایت الکتریکی (EC)	نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (Kave)
NQI	-0.175	-0.091	0.184	-0.017	-0.302	0.682	0.446	-0.400	-0.167	0.608	-0.001	0.333
P-value	0.127 ns	0.430 ns	0.110 ns	0.882 ns	0.008 *	0.001 *	0.001 *	0.001 *	0.146 ns	0.001 *	0.994 ns	0.003 *
IQI	-0.188	0.004	0.187	-0.906	-.0385	0.775	0.574	-0.421	-0.116	0.544	-0.155	0.482
P-value	0.102 ns	0.974 ns	0.104 ns	0.407 ns	0.001 *	0.001 *	0.002 *	0.001 *	0.314 ns	0.001 *	0.177 ns	0.002 *

* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ns عدم معنی‌داری

ازآنجایی‌که الگوی کیفیت خاک برای هر دو شاخص NQI و IQI تقریباً یکسان است، بنابراین در مجموع عوامل تأثیرگذار بر روی کیفیت خاک برای هر دو شاخص به‌صورت یکسان عمل می‌کنند. از جمله مهم‌ترین عواملی که در منطقه موردمطالعه روی کیفیت خاک اثر می‌گذارند شامل توپوگرافی، ماده مادری، ماده آلی، آهک و عناصر کم‌مصرف خاک هست. باتوجه‌به این که در کل منطقه، اقلیم ثابت است؛ بنابراین اثر یکسانی را بر کل خاک‌های منطقه اعمال می‌کند. بررسی وضعیت توپوگرافی منطقه نشان داد که در اکثر موارد، هر چه از مناطق شیب‌دار به مناطق هموارتر پیش رفته شود، شاخص‌های کیفیت خاک افزایش می‌یابد. کیفیت خاک به ترتیب در قله (0/671 و 0/499 برای IQI و NQI) افزایش، به سمت پشته و شانه شیب که درصد شیب افزایش می‌یابد کاهش (0/508 و 0/304 برای IQI و NQI) و دوباره در دره‌ها و پای شیب افزایش می‌یابد.

عامل دیگر مؤثر بر کیفیت خاک، کاربری اراضی هست. دو نوع کاربری مرتع و دیم در منطقه موردمطالعه وجود دارد؛ اما مساحت تحت پوشش مرتع بسیار کم هست و عملاً کاربری منطقه موردمطالعه دیم‌زار است. باتوجه‌به اینکه کاربری غالب منطقه از نوع دیم هست بنابراین نمی‌توان قضاوت محکم و قابل قبولی دررابطه‌با تأثیر نوع کاربری بر کیفیت خاک داشت، ولی بااین‌وجود، نتایج این مطالعه حاکی از کیفیت مناسب و بالای خاک در کاربری‌های مرتع است.

از دیگر عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت خاک مواد مادری هست. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که در مناطقی که ماده مادری از نوع آبرفتی و مارن آهکی است، کیفیت خاک دارای بالاترین مقادیر (به ترتیب 0/64 و 0/44 برای IQI و NQI) و در مناطقی با ماده مادری ماسه‌سنگ، مارن و کنگلومرا، کیفیت خاک دارای پایین‌ترین مقادیر است (به ترتیب 0/54 و 0/31 برای IQI و NQI) (شکل 3 و 4). اما باتوجه‌به این که کیفیت خاک به‌ویژه در خاک سطحی بیشتر از عوامل پویای آن تأثیرپذیر است، لذا این عوامل ذاتی مانند مواد مادری نمی‌توانند بر روی کیفیت خاک منطقه تأثیر بسزایی را داشته باشند؛ بنابراین برای تشخیص میزان و نحوه تأثیر این خصوصیات پویا بر کیفیت خاک، همبستگی آن‌ها با دو شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون تعیین شود باتوجه‌به جدول 3 می‌توان دریافت که هر دو شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) با خصوصیاتی از قبیل کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن و پتاسیم رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار دارند؛ اما با جرم مخصوص ظاهری و

پ‌هاش خاک رابطهٔ منفی و معنی‌دار دارند؛ بنابراین می‌توان دریافت که کیفیت خاک منطقه موردمطالعه باتوجه‌به کاربری کشاورزی اکثر منطقه، متأثر از خصوصیات شیمیایی خاک است. در میان این خصوصیات، کربن آلی خاک عاملی است که اکثر خصوصیات خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین با اتخاذ اقدامات مدیریتی برای افزایش کربن آلی خاک می‌توان سایر ویژگی‌های خاک را نیز به حد بهینه سوق داد و به ای دلیل میزان کیفیت خاک را افزایش داد. قاعدتاً مقادیر بالائی کربن ظرفیت تبادل کاتیونی را به طریق مثبتی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه حاصلخیزی و کیفیت خاک برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، بالا می‌رود. در این زمینه امامی و همکاران (1393) نشان دادند که بدون افزودن ماده آلی و در تیمار شاهد، کیفیت خاک در پایین‌ترین سطح قرار داشت و در کلاس 4 دسته‌بندی شد؛ اما با افزودن مواد آلی مختلف، کلاس کیفیت خاک یک تا دو درجه ارتقا یافت.

نتیجه‌گیری

نقشه‌های کیفت خاک ترسیم شده برای منطقه موردمطالعه به کمک دو شاخص کیفیت تجمعی و کیفیت نمرو بر پایه روش کریجینگ معمولی نشان می‌دهد که الگوی کیفیت خاک برای هر دو شاخص تقریباً یکسان است و خاک قسمت‌های شمالی و شمال غربی منطقه موردمطالعه کمترین مقادیر کیفیت خاک را دارند و قسمت جنوب و جنوب شرقی بیشترین مقادیر کیفیت را دارند. اما در کل وضعیت کیفیت خاک در منطقه موردمطالعه عمدتاً متوسط هست. با بررسی نقشه مواد مادری، کاربری اراضی و سایر خصوصیات خاک سطحی منطقه مشاهده شد که تغییرات کیفیت خاک بیشتر متأثر از خصوصیات پویای خاک از جمله کربن آلی و عناصر غذایی که موجب بهبود حاصلخیزی و باروری خاک‌های منطقه می‌شوند، است؛ بنابراین با برنامه‌ریزی مناسب در مدیریت صحیح این عوامل، می‌توان کیفیت خاک منطقه را در بخش‌های مختلف ارتقا داد.

فهرست منابع:

1. امامی، ح.، آستارایی و ع. فتوت، ا. 1393. ارزیابی تأثیر مواد آلی بر توابع نمره دهی کیفیت خاک. آب‌وخاک. دوره، 28، شماره 3 - شماره پیاپی 3، مرداد و شهریور، صفحه 565-574.
2. میرخانی ر.، واعظی ع. ر.، رضایی ح. 1400 . توزیع مکانی کیفیت خاک در اراضی زراعی منطقه ساوجبلاغ استان البرز. تحقیقات کاربردی خاک. جلد 9 - شماره 2. صفحه 14.
3. AbdelRahman, M., Engel, B., SM Eid, M., and M. Aboelsoud, H. (2022). A new index to assess soil sustainability based on Temporal Changes of Soil Measurements Using Geomatics–an example from El-Sharkia, Egypt. *All Earth*, (just-accepted).
4. Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, D. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., ... and Munk, D. S. 2002. On□farm assessment of soil quality in California's Central Valley. Agronomy Journal, 94(1), 12-23.
5. Attaeian, B., Farokhzadeh, B., Akhzari, D., and Souri, M. 2015. Comparing interpolation methods for estimating spatial distribution of topsoil pH and EC (Case Study: Karimabad Rangelands, Hamadan Province, Iran). ECOPERSIA, 3(4), 1145-1159.
6. Biswas, S., Hazra, G., Purakayastha, T., Saha, N., Mitran, T., Roy, S.S., Basak, N., and Mandal, B. 2017. Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. Geoderma, 292, 34-48.
7. Bone, J., Barraclough, D., Eggleton, P., Head, M., Jones, D., and Voulvoulis, N. 2012. Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. Land Degradation and Development, 25(3), 251-266.

8. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., ... and Brussaard, L. (2018). Soil quality–A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, *120*, 105-125.
9. Davari, M., Gholami, L., Nabiollahi, K., Homaee, M., and Jafari, H. J. (2020). Deforestation and cultivation of sparse forest impacts on soil quality (case study: West Iran, Baneh). *Soil and Tillage Research*, *198*, 104504.
10. Doran, J.W. and Jones, A.J. (Eds.), 1996. Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI.
11. Doran, J.W., and Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA, Madison, WI, pp. 3–21.
12. Doran, J.W., and Parkin, T.B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America, pp. 25–37.
13. El-Ramady, H.R., Alshaal, T., Amer, M., Domokos-Szabolcsy, É., Elhawat, N., Prokisch, J., and Fári, M. 2014. Soil quality and plant nutrition. in: Sustainable Agriculture Reviews 14, Springer, pp. 345-447.
14. Emami, H., and Riahinia, F. (2021). Effects of Crop Residues and Tillage Operations on Soil Quality Indices. Polish Journal of Soil Science, 54(2), 167.
15. Gorji, M., Kakeh, J., & AliMohammadi, A. (2018). Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *48*(5), 941-950.
16. Karlen, D.L., Andrews, S.S., Wienhold, B.J., and Zobeck, T.M. 2008. Soil quality assessment: Past, present and future.
17. Lu, G. Y., and Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. Computers and geosciences, 34(9), 1044-1055.
18. Masoud, A. A., El-Horiny, M. M., Atwia, M. G., Gemail, K. S., and Koike, K. (2018). Assessment of groundwater and soil quality degradation using multivariate and geostatistical analyses, Dakhla Oasis, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, *142*, 64-81.
19. McBratney, A., and Pringle, M. 1999. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. Precision Agriculture, 1(2), 125-152.
20. McGrath, D., and Zhang, C. 2003. Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. Applied Geochemistry, 18(10), 1629-1639.
21. Mohamed, E.S.; Baroudy, A.; El-beshbeshy, T.; Emam, M.; Belal, A.; Elfadaly, A.; Aldosari, A.A.; and Ali, A.; 2020, Lasaponara, R. Vis-NIR spectroscopy and satellite Landsat-8 OLI data to map soil nutrients in arid conditions: A case study of the northwest coast of Egypt. Remote Sens., 12, 3716.
22. Omer, M., Idowu, O. J., Brungard, C. W., Ulery, A. L., Adedokun, B., and McMillan, N. (2020). Visible near-infrared reflectance and laser-induced breakdown spectroscopy for estimating soil quality in arid and semiarid agroecosystems. *Soil Systems*, *4*(3), 42.
23. Pang, S., Li, T.-X., Zhang, X.-F., Wang, Y.-D., and Yu, H.-Y. 2011. Spatial variability of cropland lead and its influencing factors: a case study in Shuangliu county, Sichuan province, China. Geoderma, 162(3), 223-230.
24. Qi, Y., Darilek, J.L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., and Gu, Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma, 149(3–4), 325-334.

25. Qin, M.Z., and Zhao, J., 2000. Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area: a case study of Kaifeng. Acta Geogr. Sin. 55, 545–554 (In Chinese with English abstract).
26. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., and Bandarabadi, S. R. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. Ecological indicators, 40, 19-26.
27. Roy, T. , 2020. Precision farming: A step towards sustainable, climate-smart agriculture. In Global Climate Change: Resilient and Smart Agriculture; Springer: Singapore; pp. 199–220.
28. Samaei, F., Emami, H., and Lakzian, A. (2022). Assessing soil quality of pasture and agriculture land uses in Shandiz county, northwestern Iran. Ecological Indicators, 139, 108974.
29. Schwilch, G., Bernet, L., Fleskens, L., Giannakis, E., Leventon, J., Marañón, T., Mills, J., Short, C., Stolte, J., van Delden, H., and Verzandvoort, S., 2016. Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: a proposed framework. Ecological Indicators 67, 586–597.
30. Shokr, M. S., Abdellatif, M., El Baroudy, A. A., Elnashar, A., Ali, E. F., Belal, A. A., ... and Kheir, A. (2021). Development of a spatial model for soil quality assessment under arid and semi-arid conditions. Sustainability, 13(5), 2893.
31. Sims, J.T., Cunningham, S.D., and Sumner, M.E., 1997. Assessing soil quality for environmentalc purposes: roles and challenges for soil scientists. Journal of Environmental Quality 26, 20–25.
32. Sys C., Van- Ranst E., and Debaveye J. 1991. Land evaluation, part I. Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations. General administration for development cooperation, Brussels 40–80
33. Emami, H., and Riahinia, F. (2021). Effects of Crop Residues and Tillage Operations on Soil Quality Indices. Polish Journal of Soil Science, 54(2), 167.
34. Takoutsing, B., Weber, J., Aynekulu, E., Martín, J. A. R., Shepherd, K., Sila, A., ... and Diby, L. (2016). Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon. *Geoderma*, *276*, 64-73.
35. Vasu, D., Singh, S.K., Ray, S.K., Duraisami, V.P., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A.M., and Anantwar, S.G. 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. Geoderma, 282, 70-79.
36. Wander, M., and Bollero, G. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. Soil Science Society of America Journal, 63(4), 961-971.
37. Wang, X., and Gong, Z. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma, 81(3–4), 339-355.

Investigating Soil Quality in Part of Kuhin Lands in Qazvin Province, Iran

F. Sarmadian[1] and S.Teimouri Bardyani
Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, IRAN;
E-mail: fsarmad@ut.ac.ir
Graduate Student of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, IRAN;
E-mail: sajjad.timuri@ut.ac.ir

Received: July, 2022 , and Accepted: February, 2023

.**Abstract**

Soil quality can be studied from two aspects: intrinsic soil quality and dynamic soil quality. The intrinsic aspect of soil quality is influenced by soil-forming factors, but the dynamic aspect of soil quality includes the characteristics of soil that change depending on the type of management and indicate the state of soil health. In this research, soil quality of a part of Qazvin lands, in Iran, was calculated using two cumulative soil quality indices and Nemro quality index. The results showed that the cumulative quality index was consistent with the spherical model and the numerical quality index was consistent with the exponential model, and the coefficient of determination of both indices was 0.87, which indicates a good correlation between the fitted model and observation points. Compared to the Inverse Distance Weighting (IDW) method, for both soil quality indicators, the normal kriging method had a lower value of the mean skewness error and root mean squared error (RMSE). Soil quality maps of the studied area were drawn with the help of two indices of cumulative quality and numerical quality based on the conventional kriging method. The pattern of soil quality was almost the same for both indicators. Based on the cumulative quality index, the soil in the northern and northwestern parts of the study area had the lowest soil quality values (0.4 and 0.3) while the southern and southeastern parts had the highest values (0.7 and 0.5), respectively. Two soil quality indices showed a positive and significant relationship with organic carbon, cation exchange capacity, nitrogen and potassium, but these relationships with bulk density and soil acidity had a negative and significant relationship. It can be concluded that the soil quality of the region is affected by the dynamic characteristics of the soil and it is important to pay attention to maintaining these characteristics.

Keywords: Cumulative quality index, Nemro quality index, Inverse distance weighting, Kriging.

[1] Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Investigating the Spatial Distribution of Soil Organic Carbon in Fandooqlo Region of Ardabil Province, Iran

M. Behtari, M. Naderi Khorasgani[1], and A. Karimi
PhD Student of Soil Resource Management, Shahrekord University;
E-mail: mehran.behtari@gmail.com
Associate Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahrekord University;
E-mail: khnaderi@yahoo.com
Assistant Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahrekord University;
E-mail: karimiahmad1342@sku.ac.ir

Received: September, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

Estimating the amount of soil organic carbon on a regional scale determines the potential of a landscape soil as a carbon storage site. This study was carried out in the Fandoqloo Region, Ardabil Province, Iran, and aimed to introduce: (i) the most suitable soil and environment characteristics as ancillary data for estimating soil organic carbon density (SOCD) and (ii) the most appropriate method for mapping SOCD among ordinary kriging (OK), co-kriging (CoK) and regression-kriging (RK) models. To fulfil the objectives, geographic information systems' database of the study area was developed by introducing soil, topographic and satellite data in the first step. Next, using Latin Hypercube (LHC) techniques and soil, land use, and geology maps and 140 sites were determined in the study area for collecting surficial (0-15 cm) compound soil samples. Results indicated that the land use type significantly affected SOCD ($P \leq 0.01$) and SOCD of rangelands was higher than of croplands. Soil total nitrogen and mean weight diameter (MWD) were significantly ($P \leq 0.001$) correlated with SOCD and could be applied as ancillary data for estimation of SOCD. Statistical indices revealed that application of co-kriging along with total soil nitrogen as ancillary data improved SOCD mapping compared with ordinary kriging. In general, this research indicated that regression-kriging was the most efficient method for mapping SOCD and total soil nitrogen, MWD, normalized difference vegetation index (NDVI) and plane curvature were significant soilscape characteristics that affect SOCD distribution.

Keywords: Ancillary data, Total soil nitrogen, Ordinary kriging, Co-kriging, Regression-kriging

[1.] Corresponding author: Shahr-e-Kord, University of Shahr-e-Kord, Faculty of Agriculture, Department of soil science

Sulfur Application Effect on Sour Orange Seedling Growth Indices and Some Characteristics of a Non-Calcareous Soil

T. Raiesi[1] and E. Kahneh
Assistant Professor in Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Ramsar;
E-mail: taraieis@gmail.com
Assistant Professor in Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, (AREEO);
E-mail: e.kahneh@areeo.ac.ir

Received: November, 2022 , and Accepted: March, 2023

Abstract

The present research aimed to study the effects of S application with and without cow manure on growth indices of young sour orange (SO) seedlings and on some chemical and biological properties of a non-calcareous soil (pH= 6.8). In this experiment, eight different treatments, including the application of S at four levels (0, 10, 20, and 30 g-S per kg-soil) with or without cow manure were used. Eight months after planting, seedlings were harvested, and shoot weight and the concentration of nutrients including phosphorus, potassium, calcium, iron, and zinc in the leaves of the seedlings were measured. Additionally, at the end of the experiment, the soils around the SO root were sampled and some biological and chemical properties including the activity of phosphatase enzymes, microbial respiration, pH, electrical conductivity (EC), and the cation exchange capacity were determined. The results showed that the combined application of S and cow manure had a more pronounced effect on the growth indices of SO seedlings and soil quality indices than S and cow manure applied alone. Also, application of 10 g S had positive effects on the shoot's weight and the concentration of P, Ca, Fe, and Zn in SO leaves and these positive effects were more pronounced in the combined application of S with cow manure. Also, with increasing the level of S application, soil pH decreased, and this decrease was more in the combined application of S and cow manure conditions. Additionally, the available amount of P, K, Ca, sulfate, Zn and Fe in the soil was affected by the level of sulfur application. Application of 10 g of S increased soil EC, although increasing the level of S application did not lead to a further increase in this parameter. The highest activity of alkaline and acidic phosphatase enzymes was obtained in the application of 10 g of S in combination with cow manure. In general, the results of this study showed that application of more than 20 g of S had an inhibitory effect on the growth of SO shoots and biological parameters under study.

Keywords: Cow manure, Biological parameters, Soil quality indices, Leaf nutrient content, Phosphatase enzymes

[1.] Corresponding author: Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Ramsar, Iran.

Physiological and Nutritional Responses of Satsuma Mandarin on Smooth Flat Seville Rootstock in Some Calcareous Soils

A. Asadi Kangarshahi[1] and N. Akhlaghi Amiri

Associate Professor of Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran; E-mail: kangarshahi@gmail.com

Assistant Professor of Agronomy and Horticultural Science Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran;
E-mail: neginakhlaghi@yahoo.com

Received: November, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

The Smooth Flat Seville (*Citrus* spp. hybrid of uncertain origin) has been reported as one of the rootstocks tolerant to soil lime and Tristeza disease. Therefore, the present study aimed to evaluate the growth trend and tolerance of this rootstock to the calcareous soils of east Mazandaran Province, Iran. An experiment was conducted for two years in a randomized complete block design in seven soils with calcium carbonate equivalent ranging from 2% to 45%. Measurements included vegetative growth trend, dry weight, chlorosis rate, fluorescence index (Fv/Fm), chlorophyll and nutrient concentration in leaves and roots. The results showed that the highest average dry weight of aerial parts was obtained from soils with total lime of 9%. There was no significant difference in the chlorosis rate of the leaves of seedlings on this rootstock in different soils. The average of Fe concentration in the roots was 11.1 times the average concentration in the leaves, indicating accumulation and deposition of iron in the roots. In most soils, the amount of manganese available for citrus trees was excessive, but the mean concentration of leaf was less than adequate. The overall mean Mn concentration in the roots was about 4.6 times more than its mean concentration in the leaf. From macroelements, magnesium and sulfur had the highest and lowest transfer efficiency and, from microelements, active Fe and total Fe had the highest and lowest transfer efficiency, respectively. According to the results of this research, chlorosis rate of the seedlings in different soils did not differ significantly, which shows this rootstock is tolerant to soil lime. Therefore, Smooth Flat Seville can be a good substitute for orange rootstock in calcareous soils (especially with medium and high lime).

Keywords: Active iron, Chlorosis rate, Citrus, Nutrients transfer efficiency**.**

[1.] Corresponding author: Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.

Evaluation of the Effect of Calcium Nitrate on Growth Characteristics of Selected Pomegranate Genotypes in Saline Conditions

A. Momenpour[1], S. Sabahi, A. Jafari, and M. Shirmardi
Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran; E-mail: a.momenpour@areeo.ac.ir
MSc student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran; E-mail: a.sabahi@yahoo.com
Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran; E-mail: jafari.azam@yahoo.com
Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran; E-mail: Shirmardi.m@yahoo.com
Received: December, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

To evaluate the effect of calcium nitrate on some growth characteristics of selected pomegranate (Punica granatum) genotypes, a factorial experiment was carried out based on randomized complete block design (BCRD) with 3 replications at Chahafzal Station of the National Salinity Research Center of Iran, in 2019-2020. Two factors were studied: genotypes at 6 levels (Post-Siyah Ardakan, Rabab Neyriz, Chah Afzal, Narak Lasjerd Semnad ,Vahshi Babolsar, and Malas Yazdi) and calcium nitrate at 3 levels (0 (control), 50 and 100 kg/ha), using irrigation water salinity of 9±0.5 dS/m. The results showed that type of genotype and levels of calcium nitrate affected morphological and physiological characteristics and concentration of nutrient elements in leaves. The highest and lowest necrotic leaves (12% and 2%), leaf surface ratio (1845 and 879 mm^2/g dry weight), relative water content (80.83% and 52.40%), total chlorophyll (11.4 and 6.45 mg/g fresh weight), potassium content (0.378% and 0.322%) and lowest and highest sodium content (1.88% and 2.75%), relative ions leakage (14.85% and 30.02%) and sodium to potassium ratio (0.118 and 0.197) was observed in Chah Afzal with 100 kg/ha of calcium nitrate and Rebab Niriz without calcium nitrate application, respectively. Overall, Chah-Afzal was recognized as the most tolerant genotypes to saline condition. This genotype showed more suitable growth than the other genotypes by maintaining its growth characteristics and increasing potassium uptake compared to sodium. Also, the results showed that application of 100 kg/ha of calcium nitrate at the beginning of the growing season significantly improved the growth characteristics and reduced the harmful effects of sodium in all studied genotypes.

Keywords: Saline waters, Calcium nitrate, Na^+ to K^+ ratio, Chah Afzal' genotype

[1.] Corresponding author: National Salinity Research Center, Yazd, IRAN,

Investigation of the Effect of Silicon on Wheat Yield and Water Use Efficiency under Water Stress Conditions

S. Pezeshk[1], M. J. Malakouti, M. M. Tehrani, and L. Rezakhani
M.Sc., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; E-mail: PezeshkSareh1987@Gmail.com
Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; E-mail: mjmalakouti@modares.ac.ir
Assistant Professor, Department of Soil Fertility, Chemistry and Plant Nutrition, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: mtehrani2000@yahoo.com
Researcher, Department of Soil Fertility, Chemistry, and Plant Nutrition, SWRI, AREEO, Karaj, Iran; E-mail: leila.rezakhani@yahoo.com

Received: May, 2022 , and Accepted: February, 2023

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of silicon on wheat yield and water use efficiency (WUE) in water stress conditions. The study site was Research Farm of Soil and Water Research Institute in Karaj. The experiment was conducted as a randomized complete block design with split plots, in 2018-219 season. The main factor was irrigation at two levels of full irrigation and stress (40% less than wheat water requirement), and the secondary factor including foliar application of potassium silicate at three levels (zero, 2.5 and 5 kg/ha) at three growth stages (shooting, flowering, and grain filling) and soil application of potassium silicate (zero and 20 kg/ha). The results showed that soil and foliar application of potassium silicate increased grain yield, thousand-grain weight, number of seeds per spike, spike length, and height of wheat plant. Reducing irrigation from 100% to 60% of wheat water requirement caused a decrease in grain yield by 8.3%, but the application of potassium silicate compensated for this decrease, such that under drought stress, wheat grain yield with application of 0.005 potassium silicate increased by 30.6% compared to the non-application of silicon. The highest WUE was obtained under water stress conditions and application of 5‰ potassium silicate increased the WUE by 31% compared to non-application. Therefore, in the conditions of water stress, compared to the farmers' practices, foliar application of potassium silicate with a concentration of 5‰ can be recommended during the growth stages of wheat.

Keywords: Irrigation regime, Potassium silicate, Wheat cv. Sivand

[1-] Corresponding author: Graduated M.Sc, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Karaj.

Contents

Subject **Page**

Investigation of the Effect of Silicon on Wheat Yield and Water Use Efficiency under Water Stress Conditions 22
S. Pezeshk, M. J. Malakouti, M. M. Tehrani, and L. Rezakhani

Evaluation of the Effect of Calcium Nitrate on Growth Characteristics of Selected Pomegranate Genotypes in Saline Conditions 23
A. Momenpour, S. Sabahi, A. Jafari, and M. Shirmardi

Physiological and Nutritional Responses of Satsuma Mandarin on Smooth Flat Seville Rootstock in Some Calcareous Soils 24
A. Asadi Kangarshahi and N. Akhlaghi Amiri

Sulfur Application Effect on Sour Orange Seedling Growth Indices and Some Characteristics of a Non-Calcareous Soil 25
T. Raiesi and E. Kahneh

Investigating the Spatial Distribution of Soil Organic Carbon in Fandooqlo Region of Ardabil Province, Iran 26
M. Behtari, M. Naderi Khorasgani, and A. Karimi

Investigating Soil Quality in Part of Kuhin Lands in Qazvin Province, Iran 27
F. Sarmadian and S.Teimouri Bardyani

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. 36, No. 4
2023

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	Assistant Professor (Research), Soil and Water Research Institute
Kambez bazargan	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
Type and design: Kobra Alinezhad

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

Journal of
Soil Research

(Soil and Water Sciences)

http:// www.srjournal.areeo.ir

Volume 36 \ No. 4 \ 2023

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject Page

Investigation of the Effect of Silicon on Wheat Yield and Water Use Efficiency under Water Stress Conditions 22
S. Pezeshk, M. J. Malakouti, M. M. Tehrani, and L. Rezakhani

Evaluation of the Effect of Calcium Nitrate on Growth Characteristics of Selected Pomegranate Genotypes in Saline Conditions 23
A. Momenpour, S. Sabahi, A. Jafari, and M. Shirmardi

Physiological and Nutritional Responses of Satsuma Mandarin on Smooth Flat Seville Rootstock in Some Calcareous Soils 24
A. Asadi Kangarshahi and N. Akhlaghi Amiri

Sulfur Application Effect on Sour Orange Seedling Growth Indices and Some Characteristics of a Non-Calcareous Soil 25
T. Raiesi and E. Kahneh

Investigating the Spatial Distribution of Soil Organic Carbon in Fandooqlo Region of Ardabil Province, Iran 26
M. Behtari, M. Naderi Khorasgani, and A. Karimi

Investigating Soil Quality in Part of Kuhin Lands in Qazvin Province, Iran 27
F. Sarmadian and S.Teimouri Bardyani