موسسه تحقیقات خاک و آب

انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی

پژوهش‌های خاک

(علوم خاک و آب)

http:// www.srjournal.areeo.ir

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۸ / شماره ۳ سال ۱۴۰۳

عنوان | فهرست | صفحه

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

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

نشریه
پژوهش‌های خاک

جلد ۳۸ شماره (۳)
۱۴۰۳

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

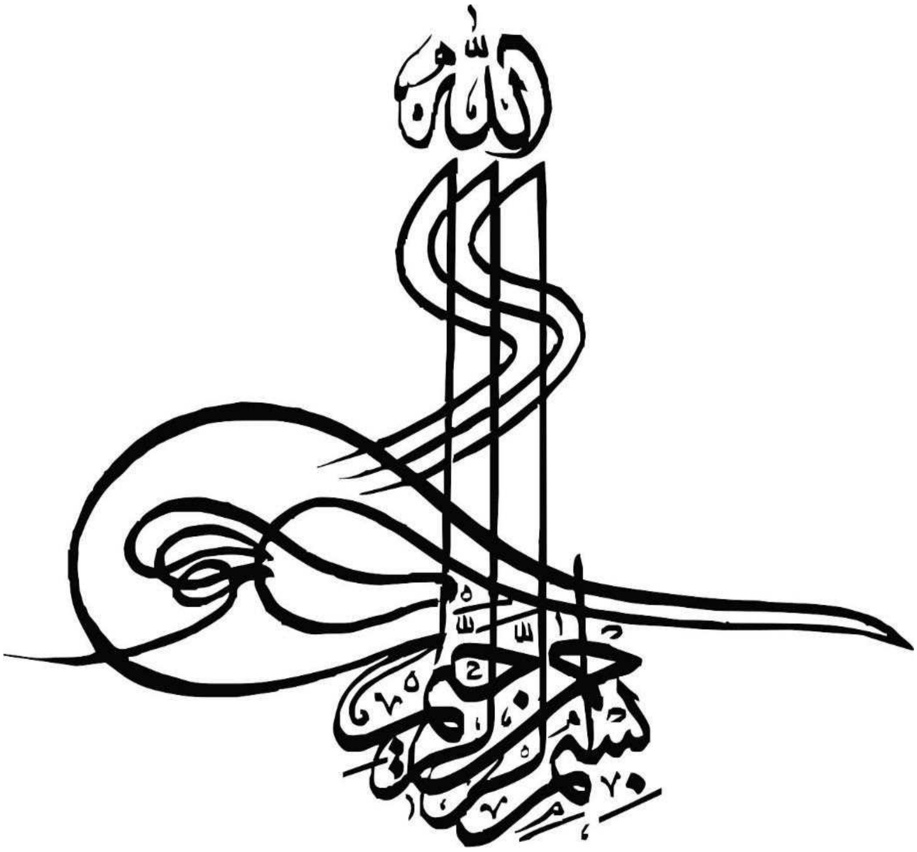
تأییدیه درجه علمی

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

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

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

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


بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان　　　　　　　　　　فهرست　　　　　　　　　　صفحه

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

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

الف) اصول کلی

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

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

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

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

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوهٔ نگارش مقاله

1. **مقاله حداکثر در ۱۵ صفحهٔ A4 با فاصلهٔ خطوط ۱/۵ و حاشیه‌های ۳ سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.**
2. **نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازهٔ آنها مطابق جدول(۱) 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 ۱- 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
اعداد جداول	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازهٔ فارسی در هر موقعیت
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازهٔ فارسی در هر موقعیت

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی) و پست الکترونیکی همه نویسندگان در صفحه چکیده ها تایپ و در قسمت فایل‌های با نام نویسنده (گان) بارگذاری نمایید و در قسمت بدون نامه نویسنده(گان) مقاله بدون نام بارگذاری گردد.

* نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که با امضای کلیه نگارندگان و الزامی می باشد در قسمت فایل‌های 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 ۲۰ کلمه باشد. در زیر عنوان نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی و یا تحصیلات و وابستگی سازمانی، تاریخ، آدرس کامل پستی، شماره تلفن همراه و پست الکترونیک نویسندگان مقاله درج گردد.
دقت شود کلمه‌های تشکیل دهنده عنوان با کلمه‌های کلیدی متفاوت باشد.

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

واژه های کلیدی:

واژه های کلیدی بایستی ۶-۳ 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 کمیَت 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○□∆●■▲ 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 ۵۰ 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 ، ۱۳۸۹)

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

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

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

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف 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 (۱۳۸۲) گزارش کردند...
اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...
اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...
اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

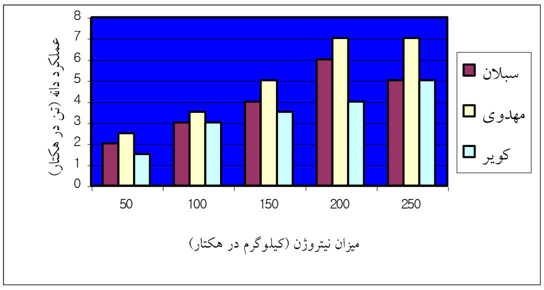
- در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق‌الذکر، مقاله پذیرفته نمی‌شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می‌رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می‌شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جدول نامناسب

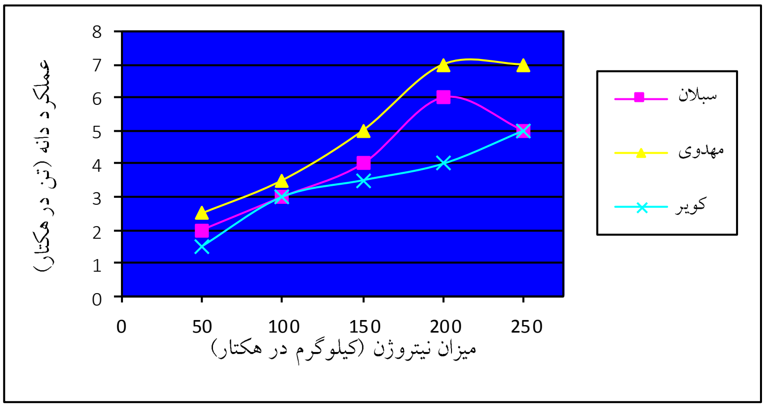
بافت	*Mge xch*	*Kavail .*	*Pava il*	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m-1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۲	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	۰/۶	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۳۳۲	۰/۵	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	/۸ ۷	۶۰-۹۰

جدول مناسب

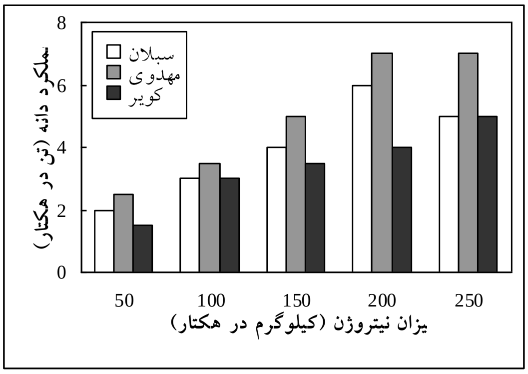
بافت	Mg_{ex}	K_{av}	P_{av}	OC (%)	TNV (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	عمق (cm)
	($mg.kg^{-1}$)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/60	28	7/6	8/3	0-30
لومی رسی	305	295	/60	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	232	/50	0/21	33	9/5	7/8	



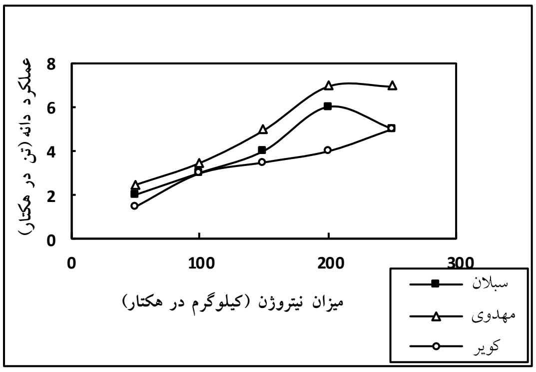
«نامناسب»



«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**

((اسامی داوران مقالات جلد ۳۸ شماره ۳ سال ۱۴۰۳ مجله پژوهش های خاک))

اسامی داوران	تعداد داوری
دکتر حجت امامی	۱
دکتر یعقوب حسینی	۳
مهندس عبدالمحمد دریاشناس	۵
دکتر مختار زلفی باوریانی	۱
دکتر علی زین الدینی	۴
دکتر محسن سیلسپور	۲
دکتر جهانشاه صالح	۱
دکتر عبدالحسین ضیائیان	۲
دکتر جهانگرد محمدی	۲
دکتر فرهاد مشیری	۱
دکتر مهرزاد مستشاری محصص	۱
دکتر علیرضا واعظی	۳

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۱۴۰۳/۲۱۱-۲۲۳
https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2024.365484.744

ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای هندوانه (*Citrullus Vulgaris*) با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی و مقایسه آن با روش انحراف از درصد بهینه

سید جواد قریشی، ابراهیم سپهر* و ماهرخ شریفمند

کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز:seyyedjavad_ghoreyshi@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه:e.sepehr@urmia.ac.ir

دانش آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، ارومیه:m.sharifmand@urmia.ac.ir

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۲ و پذیرش:۱۴۰۳/۸/۲

چکیده

رسیدن به حد مطلوب عملکرد با برقراری تعادل بین عناصر غذایی امکان‌پذیر است. برای تشخیص اختلالات تغذیه‌ای و در پی آن مصرف بهینه کودهای شیمیایی، از شاخص‌های تغذیه‌ای استفاده می‌شود. از این رو برای بهینه کردن مصرف کود در مزارع هندوانه‌کاری در شمال استان آذربایجان غربی از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) استفاده شد و نتایج آن با روش انحراف از درصد بهینه (DOP) مقایسه گردید. به این منظور، از ۱۵۰ مزرعه هندوانه در شهرستان پلدشت نمونه‌های خاک و برگ تهیه شد و غلظت عناصر غذایی شامل نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، مس (Cu) و بور (B) با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین شدند. سپس مزارع به دو گروه عملکردی زیاد و کم دسته بندی شد و شاخص‌های عناصر غذایی با روش‌های DOP و CND محاسبه گردید. براساس روش CND نرم‌های استاندارد برای عناصر غذایی B, Cu, Zn, Mn, Fe, Mg, Ca, K, P, N و بخش باقیمانده (R_d) به ترتیب ۳/۰۴±۰/۱۸، ۰/۵۹±۰/۲۵، ۲/۸۷±۰/۲۲، ۲/۷۲±۰/۲۴، ۱/۳۱±۰/۳۱، -۲/۵۰±۰/۳۷، -۲/۷۵±۰/۳۸، -۳/۴۲±۰/۲۷، -۴/۵۰±۰/۲۸، -۴/۰۱±۰/۴۶ و ۶/۶۵±۰/۱۵ به دست آمد. مقایسه نتایج روش‌های DOP و CND نشان داد که در هر دو روش، در بین عناصر پرمصرف نیتروژن و پتاسیم و در بین عناصر کم مصرف، روی و آهن منفی‌ترین شاخص و بیشترین کمبود را داشتند و نتایج این دو روش مشابه به‌دست آمد. بنابراین، براساس شاخص‌های عناصر غذایی می‌توان گفت مزارع با عملکرد پایین از نظر تغذیه‌ای در وضعیت نامتعادلی قرار داشتند.

واژه‌های کلیدی: تعادل تغذیه‌ای، شاخص‌های عناصر غذایی، **DOP**، **CND**، منطقه پلدشت

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول:e.sepehr@urmia.ac.ir

مقدمه

هندوانه یکی از محصولات غالب در دشت شیبلوی پلدشت می‌باشد. سطح زیر کشت این محصول در منطقه حدود ۱۰۰۰ هکتار بوده و بطور میانگین میزان برداشت محصول در منطقه هندوانه کاری ۳۰ تن در هکتار می‌باشد که در مقایسه با بعضی از استان‌هایی مثل کرمانشاه (۴۰ تن در هکتار) پایین بوده (مجله زراعت وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴) که از جمله آنها می‌توان به عواملی همچون آهکی بودن و pH بالای خاک‌ها، کمبود و یا بیشبود برخی از عناصرغذایی و به‌عبارت دیگر تغذیه نامتعادل اشاره کرد (حسینی، ۲۰۱۷). یکی از روش-های ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه، به ویژه گیاهان زراعی یک ساله، تجزیه گیاه است (داو و رابرتس، ۱۹۸۲). گیاهان عمده عناصر غذایی مورد نیاز خود را از خاک جذب می‌کنند و بر همین اساس می-توان بین مواد غذایی جذب شده توسط گیاه و مقدار قابل استفاده آنها در خاک ارتباطی منطقی پیدا کرد (فاگریا، ۱۹۹۸). گاهی از تجزیه گیاه برای تشخیص مشکلات تغذیه‌ای و در پی آن، برطرف کردن کمبود عناصر غذایی در طول فصل رشد گیاهان زراعی استفاده می‌شود (داو و رابرتس، ۱۹۸۲). مقادیرحاصل از تجزیه اندام‌های مختلف گیاه به تنهایی نمی‌تواند مفهوم خاصی را داشته باشد، زیرا که مقادیر به دست آمده، باید ابتدا با پاسخ‌های گیاهی واسنجی شوند. به عبارت دیگر باید مشخص شود که اعداد و ارقام به دست آمده چه مفهومی دارند؟ و آیا گیاه از لحاظ عنصر غذایی مورد نظر دچارکمبود است یا خیر؟ (سامنر، ۱۹۸۱،۱۹۷۹; اسمیت، ۱۹۸۶). روش‌های مختلف تفسیر نتایج تجزیه گیاه نظیرغلظت بحرانی (CVA[۱])، دامنه کفایت (SRA[۲])، سیستم تلفیقی تشخیص‌وتوصیه (DRIS[۳])، انحراف از حد بهینه (DOP[۴]) و تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND[۵]) برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان استفاده می‌شوند (پرنت ودافیر، ۱۹۹۲). هر کدام از این روش‌ها دارای معایب و مزیت‌هایی هستند. در سامانه تشخیص چندگانه وضعیت هر عنصر غذایی نسبت به میانگین هندسی کلیه عناصر محاسبه می‌شوند و اثرات متقابل یک عنصر نسبت به کلیه عناصر سنجیده می‌شود (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱). در هر یک از روش‌های تشخیص وضعیت تغذیه‌ای اشکالاتی وجود دارد که مهمترین آن فقدان اعداد مرجع است که بتوان با استفاده از آن نتایج تجزیه برگ را با لحاظ مجموعه بیشتری از عوامل مؤثر تأثیرگذار برهم تفسیر کرد. در روش تشخیص چندگانه به داده کمتری نسبت به روش‌های دیگر نیاز است پس تعداد نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه تا حد امکان کاهش می‌یابد (دریاشناس و ثقفی، ۱۳۹۰). مزیت روش تشخیص چندگانه در این است که اولاً عوامل محدود کننده را بر حسب عملکرد واقعی گروه‌بندی می‌کند نه بر اساس عملکرد قابل پیش‌بینی یا پتانسیل بنابراین سهم عنصر محدود کننده به تفکیک در عملکرد مشخص می‌گردد و ثانیاً تفکیک گروه‌های عملکردی مطلوب با دقت زیاد تعیین می‌شوند. در این روش یک ضریب تبیین بین غلظت عنصر و عملکرد بدست می‌آید که بیانگر برتری این روش تشخیصی نسبت به روش‌های دیگر است (دریاشناس و ثقفی، ۱۳۹۰). از ویژگی‌های دیگر این روش این است که قابلیت تعیین اعداد مرجع برای عملکردهای مطلوب دارد و می‌توان این اعداد را به عنوان مرجعی برای پتانسیل مطلوب منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت. به همین منظور بررسی وضعیت تغذیه‌ای هندوانه در منطقه پلدشت به عمل آمد. به دلیل عدم در اختیار داشتن اعداد مرجع ضروری است اعداد مرجع بر اساس شرایط منطقه، رقم و مدیریت زراعی بدست آید تا تشخیص آسان‌تر و به موقع صورت گیرد. در روشDOP، از شاخصی استفاده می‌گردد که نشان‌دهنده وضعیت

[1] Critical Value Approach
[2] sufficient range approach
[3] Diagnostic Recommendation Integrated System
[4] Deviation from Optimum Percentage
[5] Compositional Nutritional Diagnostic

تغذیه‌ای محصول و کمبود و یا زیادی عناصر غذایی در گیاه است و بر اساس این شاخص نیاز به عناصر غذایی برای گیاه اولویت‌بندی می‌شود. عنصر غذایی با شاخص DOP کمتر نشان‌دهنده نیاز بیشتر نسبت به سایر عناصر غذایی خواهد بود. شاخص کل تعادل تغذیه‌ای از مجموع مقادیر مطلق شاخص انحراف از درصد بهینه بدست می-آید. مقادیر بالای شاخص کل نیز بیانگر عدم تعادل تغذیه‌ای بیشتر در گیاه خواهد بود (فیضی زاده وصمدی، ۱۳۹۵). استفاده از تکنیک CND توسط پارنت و همکاران (۱۹۹۴) برای تفسیر نتایج تجزیه گیاه و عملکرد سیب زمینی نیز استفاده گردید و ایشان همبستگی بسیار خوبی بین دو روش DRIS و CND بدست آوردند (r= 0.95-0.98) و اظهار داشتند تفسیر و توصیه کودی با روش غلظت بحرانی در ۶۶/۷ درصد و با روش CND ۸۷/۵ درصد موارد صحیح ارزیابی شد. جانشامورتی و همکاران (۲۰۱۹) نیز ازاین روش برای کوددهی عناصر پرمصرف و تعیین نرم‌های ۱۰ عنصر غذایی استفاده نمودند. بصیرت و همکاران (۱۳۹۶) وضعیت تغذیه باغات پرتقال فارس را با CND تجزیه آماری چند متغیره مورد بررسی قراردادند نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد باغات مورد ارزیابی مقادیر نیتروژن، کلسیم و منگنز کمتر از عدد مرجع داشتند. در تحقیقی که توسط طاهری و همکاران (۱۳۹۵) در خدابنده انجام شد مشخص گردید کمبود پتاسیم و مس و بیش‌بود بر و پتاسیم در تمام باغات وجود داشت. بلانکو و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای روی وضعیت تغذیه‌ای انجیر هندی انجام گرفت نرم‌های استانداردعناصر غذایی را بدست آوردند و همچنین دامنه مطلوب، حد کفایت و حد کمبود را برای این میوه تعیین کردند. همچنین نرم‌های CND برای محصولات دیگر نظیر پیاز توسط پرنت و خیاری (۲۰۰۳) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata L.*) توسط جوزه و همکاران (۲۰۰۵) و نوعی کاکتوس دارویی (Nopul -Opuntia ficus-india) توسط رافائل و همکاران (۲۰۰۵)، چغندرقند توسط درياشناس و ثقفی (۱۳۹۰)، کدو توسط شریف‌مند و همکاران (۱۳۹۶)، پرتقال توسط چاکرالحسینی و خراسانی (۱۳۹۵)، انگور شاهرودی توسط بصیرت و همکاران (۱۳۹۵)، سیب توسط هوانگ و همکاران (۲۰۱۲) و گندم گیلگوی و همکاران (۲۰۱۹) تعیین شده است. با توجه به اینکه هندوانه یکی از محصولات مهم در منطقه پلدشت می‌باشد و تحقیقات زیادی در تغذیه آن انجام نشده است لذا این پژوهش با هدف بررسی وضعیت تغذیه‌ای مزارع هندوانه با استفاده از روش CND و مقایسه آن با روش DOP و تعیین نرم‌های استاندارد برای این محصول انجام گردید.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق تعداد ۱۵۰ مزرعه هندوانه کاری با عملکردهای متفاوت در منطقه شیبلوی پلدشت به مختصات جغرافیایی 39.1747° N, 45.2119° E انتخاب و از هر مزرعه یک نمونه مرکب شامل ۱۰ عدد برگ جمع آوری شد. نمونه‌ها با آب مقطر شسته، در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آون خشک و سپس آسیاب شدند. تجزیه‌های آزمایشگاهی شامل نیتروژن کل (N) به روش میکروکجلدال، فسفر (P) و پتاسیم (K) به روش خشک سوزانی عصاره گیری و به ترتیب با روش کالریمتری توسط اسپکتروفتومتر و دستگاه فلیم‌فتومتر مدل جنوای اندازه‌گیری شدند. عناصر کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn) و مس (Cu) پس از تهیه خاکستر از نمونه در کوره با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال هضم و عصاره توسط دستگاه جذب اتمی قرائت می‌شود (امامی، ۱۳۷۵). عنصر بر (B) به روش آزومتین-اچ با دستگاه اسپکتروفتومتری مورد سنجش قرار گرفت (امامی، ۱۳۷۵). همچنین از هر مزرعه نمونه مرکب خاک تهیه و ویژگی‌هایی نظیر اسیدیته، بافت، هدایت الکتریکی، کربن آلی، غلظت P، K، Fe، Zn، Cu و Mn مطابق با روش-های موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵). در پایان فصل برداشت هندوانه، با بازدید

از هر مزرعه میزان محصول (عملکرد) یادداشت گردید. نتایج تجزیهٔ عنصرهای غذایی نمونه‌های برگ تهیه شده و عملکرد مزارع به عنوان داده‌های پایه در بانک اطلاعاتی ایجاد شده در محیط نرم افزاری SPSS برای بهره‌برداری بعدی دسته‌بندی و همچنین برنامه‌نویسی شاخص‌های CND با برنامهٔ Excel صورت گرفت.

محاسبات روش تشخیص چندگانه عناصر

در روش CND غلظت کل عناصر غذایی در گیاه به‌عنوان یک متغیر (S_d) به علاوه یک بخش باقیمانده (R_d) در نظر گرفته می‌شود که در آن d نماینده تعداد عناصر غذایی داخل شده در معادله و R_d بیانگر مقدار باقیمانده می‌باشد؛ که معمولاً مقدار کلی آن ۱۰۰ و برحسب درصد بیان می‌گردد. سایر عناصر غذایی باقیمانده که اندازه‌گیری نشده از رابطه ۲ محاسبه گردید (آیتچیسون، ۱۹۸۶; دریاشناس و ثقفی، ۱۳۹۰).

(۱)

$$S_d = \{(N, P, K\ldots R_d): N>0, P>0, K>0\ldots R_d>0 \quad N+P+K+\ldots Rd=100\}$$

(۲)

$$R_d = 100 - (N+P+K\ldots)$$

میانگین هندسی عناصر غذایی با رابطه (۳) و نسبت لگاریتم طبیعی عناصر از طریق روابط (۴) و (۵) محاسبه شد:

$$G= [N, P, K\ldots Rd]^{1/d+1} \qquad (۳)$$

$$Z_i=\log [X_i / g(x)] \qquad (۴)$$

(۵)

$$V_N= Ln (N/G), V_P= Ln (P/G), V_K=Ln (K/G) \ldots V_{Rd}= Ln (R_d/G) \qquad V_N+ V_P+ V_K+\ldots +V_{Rd}=0$$

در نتیجه Vxبیانگر نسبت لگاریتمی عناصر برای x عنصر است. رابطه ۵ درستی محاسبات را تأیید می‌کند. بر اساس این تعریف، مجموع ترکیبات گیاهی بر مبنای عدد ۱۰۰ است و مجموع نسبت لگاریتمی عناصر با احتساب مقدار باقیمانده ترکیبات Rd برابر صفر خواهد بود. VX برای عناصری مانند N، P،K .... Rd فرم بیانی از وضعیت و نسبت عناصر غذائی در گیاه است که مقادیر آن در جامعه با عملکرد زیاد بیانگر غلظت مطلوب است و به‌عنوان ارقام مرجع یا نرم‌های استاندارد CND محسوب می‌شوند که معمولا با V^*Rd , V^*K, V^*P, V^*N نشان داده می‌شوند. در نتیجه اگر غلظت هر عنصر غذایی گیاه مورد مطالعه را با غلظت ایده‌آل یا همان نرم-های CND بدست خواهد آمد و برای R_d, K, P, N به شرح ذیل محاسبه شد:

(۶)

$$I_N= V_N - V^*_N / SD^*_N \qquad I_P= V_P - V^*_P / SD^*_P$$
$$I_K= V_K - V^*_K / SD^*_K \quad I_{Rd}= V_{Rd} - V^*_{Rd} / SD^*_{Rd}$$

در این روابط V^*_N, V^*_P, V^*_K, V^*_{Rd} و , SD^*_N, SD^*_P, SD^*_K, SD^*_{Rd} به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتمی عناصر غذایی هستند که به عنوان نرم استاندارد CND محسوب می‌شوند , V_N V_P, V_K, V_{Rd} نسبت لگاریتمی مربوط به نمونه مطالعاتی و I_N, I_P, I_K, I_{Rd} به ترتیب شاخص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، عناصر باقیمانده هستند. در روش CND غلظت یک عنصر نسبت به میانگین هندسی کلیه عناصر و ترکیبات باقیمانده بیان می‌شود (پرنت و همکاران، ۱۹۹۴). شاخص تعادل عناصر غذایی به روش CND با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد که در آن r^2 مجموع مربعات شاخص‌های عناصر غذایی است و همیشه می‌تواند اعداد صفر و مثبت را به خود اختصاص دهد. از نظر تئوری هر اندازه r^2 به عدد صفر نزدیک‌تر شود تعادل عناصر غذایی مطلوب‌تر خواهد شد (رز، ۱۹۸۷).

(۷)

$$r^2= I_N+ I_P+ I_K+ I_{Rd}$$

برای تمایز جامعه عملکردی به دو گروه کم و زیاد می‌توان براساس ترسیم تابع تجمعی بین عملکرد و نسبت واریانس شاخص‌های عناصر غذایی عمل نمود. ابتدا تابع عملکرد-عنصر غذایی را ترسیم نموده و برای تعیین نقاط عطف منحنی (Inflection point) می‌توان گروه‌های عملکردی را بادقت ریاضی تفکیک نمود. مراحل به طریق زیر تعیین می‌شود:

۱- عملکردها از زیاد به کم مرتب شدند.

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

۳- واریانس مقادیر V_x برای همه عملکردها محاسبه و نسبت واریانس آنها محاسبه شدند:

(۸)

$$F_i(V_X) = \frac{\text{واریانس } V_X \text{ برای } n_1 \text{ مشاهده}}{\text{واریانس } V_X \text{ برای } n_2 \text{ مشاهده}}$$

$$F_i^c = \frac{\sum_{i=1}^{n_1-1} f_i\ (V_X)}{\sum_{i=1}^{n-3} f_i\ (V_X)} \times ۱۰۰$$

(۹)

۴- تابع تجمعی $F_i^C\ (V_x)$ مرتبط با عملکرد (Y) با الگوی درجه سه قابل نمایش است:

$$F_i^C\ (V_x) = ay^3+by^2 + Cy +d \qquad (۱۰)$$

۵- نقاط عطف منحنی که شکل کاوی دارد از طریق مشتق اول و دوم بدست می‌آید؛

$$\frac{\partial F_i^c\left(V_x\right)}{\partial Y} = 3ay^2 + 2by + c$$

(۱۱)

$$\frac{\partial^2 F_i^c\left(V_x\right)}{d\,Y^2} = 6ay + 2b = 0$$

(۱۲)

در معادله درجه سه $-b/3a$ بیانگر عملکرد حد واسط بین گروه عملکرد کم و زیاد است که برای d+1 عنصر غذایی قابل محاسبه است. در این روش با استفاده از نرم‌های CND و روابط ۶ و ۷ مقادیر $I_K, I_P, I_N\ I_{Rd}$ و سپس r^2 برای ۱۵۰ مزرعه هندوانه محاسبه گردید و با استفاده از دو متغیر عملکرد و r^2 دیاگرام ارتباط بین آنها ترسیم شد.

محاسبات روش انحراف از درصد بهینه

نمونه‌برداری از برگ‌های سالم و کامل هندوانه در زمان گلدهی انجام و پس از برداشت محصول عملکرد مزارع تعیین گردید. در این روش دو جامعه با عملکرد بالا و پایین به روش شارما و همکاران (۲۰۰۵) تفکیک شدند:

(۱۳)

(SD – میانگین عملکرد) ≥ مزارع با عملکرد پایین

(SD – میانگین عملکرد) ≥ مزارع با عملکرد متوسط تا (SD + میانگین عملکرد)

(SD + میانگین عملکرد) ≥ مزارع با عملکرد بالا

در این رابطه، SD انحراف معیار عملکرد مزارع می‌باشد.

پس از تفکیک دو گروه عملکردی، شاخص‌های عناصر غذایی در مزارع با عملکرد پایین به روش DOP با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (مونتاس و همکاران، ۱۹۹۳):

$$DOP= [C\times100 / C_{ref}]-100 \qquad (14)$$

که C غلظت عنصر غذایی در نمونه مورد ارزیابی و C_{ref} غلظت بهینه عنصر غذایی می‌باشد.

برای تشخیص میزان انحراف از حالت بهینه، جمع قدر مطلق شاخص‌های DOP برای مزارع با عملکرد کم محاسبه شد، که شاخص تعادل تغذیه‌ای (ΣDOP) می‌باشد.

در تفسیر نتایج حاصل از این روش دو قانون ساده وجود دارد:

۱- مقدار قدر مطلق شاخص DOP اهمیت و شدت خروج از حالت تعادل را نشان می‌دهد زیرا عدد صفر بیانگر حالت تعادل و مقادیر بالای قدر مطلق شاخص DOP نشان‌دهنده انحراف زیاد از حالت تعادل است.

۲- برای هر عنصر مقدار مقدار منفی شاخص DOP نشان‌دهنده حالت کمبود و مقدار مثبت نشانگر حالت زیادی عنصر است بنابراین در روش DOP اعداد منفی‌تر بیانگر بیشتر عنصر غذایی مربوطه و اعدادمثبت‌تر بیانگر مقادیر بیشترین عناصر و اعداد صفر بیانگر وضعیت متعادل عناصر غذایی مربوطه نسبت به غلظت‌های مرجع می‌باشند که براساس این اعداد اولویت یا ترتیب نیاز این عناصر غذایی بدست می‌آید.

نتایج و بحث

با توجه به آستانه تحمل هندوانه به شوری که حدود ۲/۵ می‌باشد (مس، ۱۹۸۷)، تقریبا هیچ مزرعه‌ای دارای محدودیت نبود. ۸۰ درصد مزارع دارای کربن آلی کمتر از یک درصد بودند، بنابراین با توجه به تاثیر مواد آلی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی

خاک استفاده از کودهای دامی و ارگانیک در منطقه توصیه می‌شود. غلظت بهینه فسفر در خاک‌های منطقه حدود ۱۲–۱۵ برآورده شده است (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۹۳) که بر این اساس ۶۵ درصد خاک‌های منطقه بیشتر از این مقدار فسفر را دارا بودند. حد بحرانی پتاسیم در خاک ۲۵۰-۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۵) که حدود ۷۰ درصد مزارع پتاسیم شان کمتر از حد بحرانی گزارش شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های دشت شیبلوی پلدشت

فاکتور اندازه گیری	شن	رس	سیلت	مس	روی	منگنز	آهن	فسفر	پتاسیم	کربن آلی (%)	pH عصاره اشباع	هدایت الکتریکی عصاره اشباع ($ds.m^{-1}$)
	(%)			($mg.kg^{-1}$)								
میانگین	۴۱/۸ ±۶/۲	۹/۵ ±۲/۳	۴۸/۷ ±۶/۶	۱/۵۳ ±۰/۶۱	۱/۲ ±۰/۵	۵/۱۵ ±۲/۵۲	۹/۶ ±۲/۰۷	۱۷/۹ ±۴/۷	۱۹۲/۵ ±۹۶/۴	۰/۸ ±۰/۲	۷/۸ ±۰/۱۸	۱/۴۹ ±۰/۷۸
میانه	۴۱/۳	۸/۷	۴۷/۱	۱/۶۵	۱/۳	۴/۹	۹/۶	۱۷/۹	۱۷۴/۵	۰/۷	۷/۸	۱/۵
نما	۴۷	۱۰	۴۳	۱	۱/۲	۳	۹	۲۰	۱۸۳	۰/۸	۷/۸	۱/۵
حداقل	۳۱/۲	۶/۳	۳۱/۸	۰/۶	۰/۴	۱/۸	۶/۲	۱۰/۲	۷۹	۰/۵	۷/۵	۰/۵۵
حداکثر	۵۱	۱۳/۱	۶۰	۲/۶	۱/۹	۹/۹	۱۲/۳	۲۵/۲	۳۴۱	۱/۱	۸/۱	۲/۸

تفسیر نتایج با روش تشخیص چندگانه عناصر (CND)

برای تعیین عملکرد حد واسط و تمایز گروه عملکردی کم و زیاد، ارتباط بین عملکرد و مقادیر تجمعی نسبت واریانس هر عنصر غذایی محاسبه و بصورت ۱۱ معادله درجه سه برای ۱۰ عنصر غذایی و یک بخش باقیمانده برازش داده شد که در جدول ۲ مشخصات نمودارها ارائه شد. مدل درجه سه برای کلیه عناصر در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار و مقادیر R^2 آنها در محدوده ۰/۹۸ — ۰/۹۹ محاسبه شدند. عملکرد حد واسط برای تفکیک دو گروه از مزارع با عملکرد کم و زیاد ۳۶ تن درهکتار تعیین شد. بنابراین از ۱۵۰ مزرعه تعداد ۴۶ مزرعه معادل ۳۰ درصد در گروه عملکردی بالا و تعداد ۱۰۴ مزرعه معادل ۷۰ درصد در گروه عملکردی پایین قرار گرفتند. میانگین عملکرد در مزارع با عملکرد بالا و پایین به ترتیب ۳۷/۹ و ۲۸/۵ تن در هکتار به دست آمد.

جدول ۲ – برآورد عملکرد حد واسط براساس روش تابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی عناصر غذایی

عناصر غذایی	R^2	$F_i^c\ (V_X) = aY_3 + bY_2 + cY + d$	عملکرد تعیین شده $-b/3a$ ($kg.ha^{-1}$)
N	0.989	$Y = -0.0021x^3 + 0.4154x^2 - 24.246x + 443.64$	65.9
P	0.993	$Y = -0.0037x^3 + 0.4504x^2 - 21.606x + 391.89$	40.6
K	0.992	$Y = -0.0035x^3 + 0.4625x^2 - 22.922x + 412.46$	44.0
Ca	0.990	$Y = -0.0049x^3 + 0.6617x^2 - 30.978x + 500.33$	45.0
Mg	0.991	$Y = 0.0028x^3 - 0.2402x^2 + 1.6581x + 150.47$	28.6
Fe	0.990	$Y = 0.0106x^3 - 0.9225x^2 + 20.356x - 10.30$	29.0
Mn	0.986	$Y = -0.0186x^3 + 1.8178x^2 - 61.266x + 751.66$	32.6
Zn	0.986	$Y = -0.0012x^3 + 0.0865x^2 - 14.288x + 364.31$	24.0
Cu	0.989	$Y = 0.0049x^3 - 0.3133x^2 + 0.0441x + 190.11$	21.3
B	0.989	$Y = -0.0026x^3 + 0.273x^2 - 10.036x + 131.93$	35.0
R_d	0.995	$Y = 0.0128x^3 - 1.1976x^2 + 31.303x - 143.86$	31.2

با توجه به اینکه غلظت عناصر در جامعه با عملکرد زیاد به عنوان نرم در نظرگرفته می‌شوند، با استفاده از عملکرد حد واسط (۳۶ تن در هکتار) مقادیر V^*_{Zn}, V^*_{Cu} , V^*_{B}, V^*_{Rd} V^*_{Mn}, V^*_{Fe} , V^*_{Mg} , V^*_{Ca} , V^*_{K} , V^*_{P} , V^*_{N} به عنوان نرم‌های CND در جدول ۳ نشان داده شده است. همچنین با تعیین عملکرد حد واسط و تفکیک گروه‌های عملکردی، غلظت‌های بهینه عناصر غذایی از مزارع با عملکرد بالا به دست آمد که در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ - نرم‌های CND و غلظت مطلوب عناصر غذایی برای مزارع هندوانه

عناصر غذایی	نرم‌های CND		غلظت مطلوب عناصر (%)	انحراف معیار (SD)
	میانگین (V*)	انحراف معیار (SD*)		
N	3.04	0.29	2.57	0.56
P	0.59	0.23	0.23	0.07
K	2.87	0.18	2.19	0.56
Ca	2.72	0.20	1.84	0.35
Mg	1.31	0.38	0.47	0.16
Fe	-2.50	0.29	0.0105	38.76
Mn	-2.75	0.38	0.0081	23.18
Zn	-3.42	0.23	0.0041	11.21
Cu	-4.50	0.32	0.0014	4.25
B	-4.01	0.43	0.0025	12.25
Rd	6.65	0.11	39.72	1.96

برای تعیین محدوده بحرانی شاخص عناصر غذایی به روش CND برای هندوانه مربع شاخص‌های بحرانی (I^2_X) برای عناصر غذایی طبق جدول ۴ محاسبه شد. با روش CND میانگین مربع شاخص‌های عناصر غذایی (I^2_X) در هندوانه برای B, Cu, Zn, Mn, Fe, Mg, Ca, K, P, N به ترتیب ۳/۷، ۱/۸، ۱/۷، ۰/۹، ۱/۷، ۱/۰، ۰/۶، ۱/۸، ۱/۸ و ۱/۴ به دست آمد. با استفاده شاخص‌های عناصر غذایی وضعیت تغذیه‌ای هندوانه برای ۹ مزرعه تصادفی با پوشش عملکرد بالا و پایین تعیین شد (جدول ۵). در این جدول وضعیت تغذیه عناصر غذایی به دو وضع نامتعادل و متعادل کافی تشریح شده است. بررسی این نتایج نشان می‌دهد که بیشترین نامتعادلی مربوط به عناصر نیتروژن و روی می‌باشد. همچنین براساس نتایج بیشترین وضعیت تعادل عناصر غذایی در مزارع با عملکرد بالا و بیشترین عدم تعادل در مزارع با عملکرد پایین مشاهده شد که این نتایج با فلسفه روش CND که غلظت عناصر غذایی گروه‌های عملکرد بالا متعادل‌ترین هستند مطابقت داشت (دریاشناس و ثقفی، ۱۳۹۰).

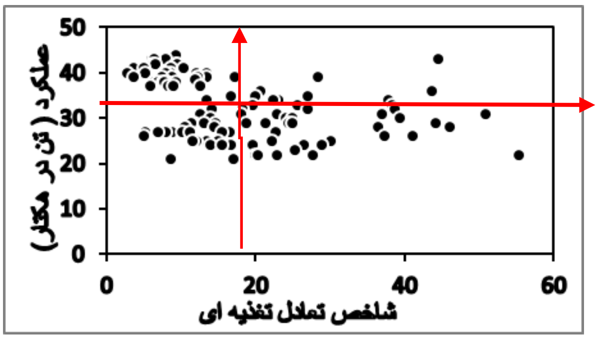
جدول ۴ – مقدار شاخص عناصر غذایی و محدوده بحرانی برای ۱۰ عنصر غذایی و یک بخش باقیمانده

مربع شاخص CND	عملکرد بحرانی ($ton.ha^{-1}$)	I^2_X بحرانی	حد پایین بحرانی	حد بالای بحرانی
I^2_N	26.54	0.893	-0.945	+0.945
I^2_P	34.89	3.277	-1.81	+1.81
I^2_K	37.07	3.330	-1.89	+1.89
I^2_{Ca}	36.02	1.623	-1.41	+1.41
I^2_{Mg}	33.24	1.232	-1.11	+1.11
I^2_{Fe}	35.13	2.402	-1.55	+1.55
I^2_{Mn}	31.77	0.608	-0.78	+0.78
I^2_{Zn}	36.62	8.643	-2.94	+2.94
I^2_{Cu}	37.77	1.904	-1.38	+1.38
I^2_B	36.12	2.310	-1.52	+1.52
I^2_{Rd}	37.53	5.475	-2.34	+2.34

جدول ۵ – ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای تعدادی از مزارع هندوانه با استفاده از روش CND

عملکرد $(ton.ha^{-1})$	شاخص r^2	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		شاخص‌های عناصر غذایی CND									
41	13.3	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی
39	17.8	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل
36	19.4	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل
30	23.4	نامتعادل	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی
21	27.1	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی
24	30.0	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	نامتعادل
25	34.4	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی
27	38.8	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	نامتعادل
29	44.0	نامتعادل	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل	نامتعادل	متعادل- کافی	نامتعادل	متعادل- کافی

شاخص تعادل تغذیه‌ای یا r^2 با استفاده از روش کیت- نلسون بر اساس تابع توزیع آماری کای اسکوئر (K^2) با درجه آزادی d+1 مشخص شد و مقدار آن برای عملکرد ۳۶ تن در هکتار مقدار ۱۷/۵ بدست آمد (شکل ۱). تحلیل این نمودار نشان می‌دهد برای بدست آوردن عملکردهای ۳۶ تن به بالا مقدار r^2 باید کمتر از ۱۷/۵باشد.



شکل ۱- نمودار پراکنش و تعیین حد بحرانی شاخص تعادل تغذیه ای با روش کیت- نلسون

تفسیر نتایج با روش انحراف از درصد بهینه (DOP)

در این روش ۳۳ مزرعه در گروه با عملکرد زیاد و ۱۱۷ مزرعه در گروه با عملکرد کم قرار گرفتند. میانگین عملکرد محصول در مزارع با عملکرد بالا ۴۰/۵ تن در هکتار و در عملکرد پایین ۲۹/۶ تن در هکتار بود که این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار بود ($P \leq 0.01$). میانگین غلظت هر عنصر غذایی در نمونه‌های با عملکرد بالا به عنوان غلظت استاندارد یا نرم‌های DOP در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس و محاسبات آماری عناصر موجود در بـرگ در مزارع بـا عملکـرد زیـاد و کم به ترتیب در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

جدول ۶ - نتایج محاسبات آماری عناصر موجود در برگ مزارع با عملکرد زیاد

پارامتر	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	عملکرد
	(%)					(mg.kg^{-1})					(ton.ha^{-1})
حداقل	2.01	0.14	1.60	1.3	0.18	54	9	25	5	5	38
حداکثر	4.03	0.50	3.49	2.30	0.78	188	130	60	20	60	44
میانگین	2.80	0.25	2.41	1.85	0.47	106	83	45	15	27.3	40.5
انحراف معیار	0.42	0.07	0.46	0.34	0.13	34	24	9	4	12	1/77
ضریب تغییرات	15.1	30.6	19.2	18.4	29.2	32.2	29.4	19.81	26.4	44.6	4

جدول ۷ - نتایج محاسبات آماری عناصر موجود در برگ مزارع با عملکرد کم

پارامتر	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	عملکرد
	(%)					(mg.kg^{-1})					(ton.ha^{-1})
حداقل	1	0.17	1	0.5	0.1	33	23	11	4/2	13	20
حداکثر	3	0.23	3.2	2	1	200	140	69	18	60	40
میانگین	1.92	0.13	1.75	1.2	0.4	97	63	33	14	24	29.6
انحراف معیار	0.51	0.08	0.48	0.4	0.17	40	23	12	8	13	4.83
ضریب تغییرات	26	25.3	26.8	25	43.1	41.2	28.9	37.1	65.3	52.3	16.3

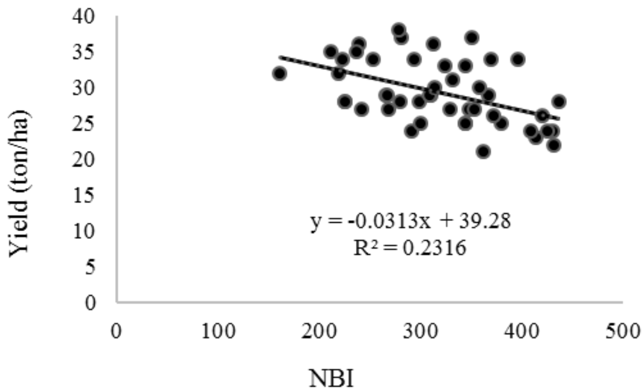
براساس شاخص‌های DOP در بین عناصر پرمصرف نیتروژن و پتاسیم به ترتیب در ۹۵ و ۹۴ درصد از مزارع منفی‌ترین شاخص بودند و در وضعیت نامتعادل- کمبود قرار داشتند. در بین عناصر کم مصرف نیز روی و آهن در ۸۴ و ۶۲ درصد از مزارع دارای منفی‌ترین شاخص و دارای وضعیت نامتعادل- کمبود بودند (جدول ۸). بنابراین نتایج حاصل از این روش مشابه روش CND به دست آمد.

جدول ۸- ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای تعدادی از مزارع هندوانه با استفاده از روش DOP

عملکرد	شاخص	شاخص‌های عناصر غذاییDOP									
ton.ha⁻) ^{1}**(**	Σ|DOP|	**N**	**K**	**P**	**Ca**	**Mg**	**Fe**	**Mn**	**Zn**	**Cu**	**B**
41	46	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی
39	51	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	متعادل- کافی	متعادل- کافی	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	متعادل- کافی
36	119	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	متعادل- کافی	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	متعادل- کافی
30	127	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	نامتعال- بیشبود
21	313	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعال- بیشبود
24	229	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعال- بیشبود
25	335	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعال- بیشبود
27	209	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	نامتعال- بیشبود
29	129	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	نامتعادل - کمبود	متعادل- کافی	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعادل - کمبود	نامتعال- بیشبود	نامتعال- بیشبود

شاخص تعادل تغذیه‌ای DOP

شاخص تعادل غذایی (Σ|DOP|) در کلیه مزارع با عملکرد پایین خیلی بزرگتر از صفر به‌دست آمد که حاکی از عدم تعادل عناصر غذایی در مزارع مورد مطالعه است. هرچه عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه بیشتر باشد، عملکرد کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۲ رابطه معکوس بین شاخص تعادل عناصر غذایی و عملکرد هندوانه در شهرستان پلدشت وجود دارد.



شکل ۲- رابطه شاخص تعادل تغذیه‌ای و عملکرد مزارع هندوانه

نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد عملکرد هندوانه در منطقه مورد مطالعه پایین است که یکی از دلایل آن اختلالات تغذیه‌ای می‌باشد و شاخص تعادل تغذیه‌ای محاسبه شده برای مزارع با عملکرد پایین نیز نشان‌دهنده نداشتن تعادل نسبی بین عناصر غذایی جذب شده به وسیله هندوانه می‌باشد که بیانگر عدم مدیریت صحیح و کوددهی نامتعادل در مزارع می‌باشد. بنابراین توصیه کودی بهینه تنها با استناد بر ویژگی‌های خاک امکان‌پذیر نبوده و آزمون برگ نقش مهمی دارد. روش‌های DOP و CND در تفسیر نتایج تجزیه برگ هندوانه مشابهت زیادی داشتند به طوری که براساس شاخص‌های عناصر غذایی در هر دو روش، نیتروژن، پتاسیم، روی و آهن عناصر محدود کننده بودند و باید نسبت به کوددهی این عناصر اقدام کرد. در نهایت پیشنهاد می‌شود روش‌های تفسیر نتایج تجزیه برگ، با استفاده از داده‌های منطقه‌ای، مورد اعتبارسنجی و مقایسه بیشتری قرار گیرند.

فهرست منابع

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵ . روشهای تجزیه گیاه (جلد اول). نشریه فنی شماره ۹۸۲ . موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران.

۲. بصیرت، م. ا.اخیانی و ع. دریاشناس. ۱۳۹۵.برآورد اعداد مرجع عناصر غذایی برای انگور رقم شاهرودی به روش تشخیص چندگانه غذایی، نشریه پژوهشهای خاک علوم و آب، جلد، ۳۰شماره ،۱صفحه ۱-۱

۳. چاکرالحسینی، م، ر.خراسانی، ا فتوت و م. بصیرت. ۱۳۹۵.تعیین اعداد مرجع و محدودیت عناصر غذایی برای پرتقال. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد ششم، شماره سوم، صفحه ۱

۴. حسینی، ی. ۱۳۹۵.کاربرد روش انحراف از درصد بهینه برای تعیین تعادل تغذیه‌ای باغ‌های لیموترش در استان هرمزگان. نشریه دانش آب و خاک . جلد ۲۵ شماره ۳/۲ صفحه ۲۴۳ تا ۲۵۵.

۵. دریا شناس، ع و ک. ثقفی . ۱۳۹۰ . تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) برای چغندرقند. مجله پژوهش‌های خاک. دوره ۲۵. شماره ۱. صفحه ۱۲-۱ .

۶. شریف مند, م., ا.، سپهر, و ا.، بایبوردی. ۱۳۹۶. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای کدو با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) در منطقه خوی. تحقیقات آب و خاک ایران, ۴۸(۵), ۱۰۰۷-۱۰۱۳. doi: 10.22059/ijswr.2018.225775.667619

۷. طاهری، م.۱۳۹۵ . بررسی وضعیت عنصرهای غذایی در تاکستان‌های شهرستان خدابنده با کاربرد شاخص‌های تغذیه‌ای. مجله علوم باغبانی ایران. دوره ۷۴.شماره۷ ص ۷.

۸. فیضی زاده، م و ع. صمدی. ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های DOP و DRIS برای بالانس عناصر غذایی در پیاز. مجله علوم آب و خاک. جلد ۲۵. شماره ۲ صفحه ۲۸۶-۲۷۱.

۹. ملکوتی، م.، ر.ایران‌پور، م.غیبی، م.کشاور، ۱۳۸۳. تعیین حد بحرانی فسفر و پتاسیم برای محصول چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۱۰. نورقلی‌پور، ف، ح. رضایی، ک. میرزاشاهی، ح. حقیقت‌نیا، م. ر. رمضان‌پور، م. ح. ارزانش، ه. اسدی رحمانی، م. همیرزاپور، ص. ع. زمانی، ص. محمدیکیا و م. افضلی. ۱۳۹۳. دستورالعمل

مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیهکلزا. نشریه فنی. چاپ اول. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

11. Aitchison, J. 1987. Statistical analysis of compositional data. Chapman and Hall, New York- Ross, S.M. 1987. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. John Wiley & Sons, New York.
12. Blanco–Macías, F., Magallanes–Quintanar, R., Valdez–Cepeda, R. D., Vázquez–Alvarado, R., Olivares–Sáenz, E., Gutiérrez–Ornelas, E., Vidales–Contreras, J.A., and Murillo–Amador, B. 2010. Nutritional reference values for Opuntia ficus–indica determined by means of the boundary–line approach. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173:923–934.in perlite substrate. J. Sci. Technol. Greenhous Cul. 26: 23-350.
13. Dow, A.I., and Roberts, S. 1982. Proposal: Critical nutrient ranges for crop diagnosis. Agron. J. 74:401-403.
14. Fageria. N.K., Baligar, V.C., and Jones, C.A. 1991. Growth and mineral nutrition of field crop. Marcel Dekker, New York.
15. Ganeshamurthy, A.N., Govindakrishnan, P., Raghupathi, H.B., and Mahendra Kumar, M.B. 2019. Compositional nutrient diagnosis (CND) norms and indices for potato (Solanum tuberosum L.). J. Hortic. Sci. 14(2): 142-148.
16. Geikloue, A., Reyhanitabar, A., and Najafi, N. 2019. Investigating the balance status of nutrients in wheat plant Using isometric log ratio and field validation of balances. Agronomy Journal. 111: 5. 2404-2410
17. Huang, H., Xiao Hu, C., Tan, Q., Hu, X., Sun, X., and Bi, L. 2012. Effects of Fe–EDDHA application on iron Chlorosis of citrus trees and comparison of evaluations on nutrient balance with three approaches. Scientia Horticulturae.146: 137-142
18. Jose, L., Garcia-Hernandez, Ricardo D., Valdez- Cepeda, Narciso Y., Avila-Serrano, Bernardo Murillo- Amador, Alejandra Nieto- Garibay, Rafael Megallanes- Quintanar, Juan Larrinaga- Mayoral and Enriqur Troyo-Dieguez. (2005). Preliminary compositional nutrient diagnosis norms for cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) Grown on desertcalcareous soil. Plant and Soil. Volume 271, Numbers 1-2. pp 297-307.
19. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay. N. 2001b. The Phosphorus Compositional Nutrient Diagnosis Range for Potato. Agron. J. 93:815–819.
20. Maas, E.V. 1987. Salt tolerance of plants, In CRC Handbook of plant Science in Agriculture, edited by B. R. Chritic, PP. 57 – 75.
21. Montanes, L., Heras. L., Abadia. J., and Sanz, M. 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage. J. Plant. Nutr. 16: 1289-1308.
22. Nelson, L.A., and R.L. Anderson. 1977. Partitioning of soil test-crop response probability. p. 19–38. In M. Stelly (ed.) Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. ASA Spec. Publ. 29. ASA, Madison.
23. Parent, L.E., and M. Dafir. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117:239–242.
24. Parent, L.E., and M. Dafir. 1994. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117:239–242.
25. Parent, L.E., L. Khiari. 2003. The compositional nutrient diagnosis of onions. Xxxvi international horticultural congress: Toward ecologically sound fertilization strategies for field vegetable production. http://www.actahort.org.
26. Refael Magallanes-Quintanar, Ricardo David Valdez-Cepeda, Fidel Blanco-Macias, Miguel Marquez-Madrid, Raul Rene Ruiz- Garduno, Oscar Perez-Veyna, Jose Luis Garcia- Hernadez, Bernardo Murillo-Amador, Jose Dimas Lopez- Martinez, and Enrique Martinez- Rubin de Celis(2004).

Compostional Nutrient Diganosis In Nopal (Opuntiaficus- indica).(on line).Available at http://www.Jpacd.org (verified 24 Mar .2009)

27. Ross, S.M. 1987. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. John Wiley & Sons, New York.
28. Sharma, J., Shikhamany, S.D., Singh, R.K., and Raghupathi, H.B. 2005. Diagnosis of nutrient imbalance in Thompson seedless grape grafted on Dog Ridge rootstock by DRIS. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 36: 2823-2838.
29. Smith, F. W.1986. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. p. 1-12. In: D.J. Reuter, and J. B. Robinson (eds.). Plant analysis: an interpretation manual. Inkata Press, Melbourne.
30. Sumner M.E. 1979. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. Agron. J. 71:343-348.
31. Sumner, M.E. 1981. Diagnosing the sulfur requirements of corn and wheat foliar analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 87-90.
32. Walworth, J.L., and M.E. Sumner. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Adv. Soil Sci. 6:149–188.

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۱۴۰۳/۲۲۵-۲۵۰
https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2024.366158.749

پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه گوتو (*Citrus aurantium* **L. var. Gou Tou**) به خاک‌های آهکی

علی اسدی کنگرشاهی *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، مازندران، ایران.kangarshahi@gmail.com

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

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۴/۶ و پذیرش:۱۴۰۳/۱۰/۳

چکیده

پایه گوتو (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou)، به عنوان یکی از پایه‌های متحمل به آهک خاک در مرکبات گزارش شده است. هدف این پژوهش ارزیابی روند رشد و تحمل پایه گوتو به خاک‌های آهکی شرق مازندران بود. به این منظور، آزمایشی به مدت دو سال درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هفت خاک با دامنه کربنات کلسیم معادل از ۲٪ تا ۴۵٪ انجام شد. پاسخ‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص درجه زردی، کلروفیل، شاخص فلورسنس کلروفیل، غلظت عناصر غذایی در برگ و ریشه بود. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک‌های رسی با آهک کل بیشتر از ۳۰٪ به دست آمد. درجه زردی برگ نهال‌ها در خاک‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری با هم داشت و این تفاوت بیشتر ناشی از کمبود منگنز در برگ بود. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها، ۱۹/۴ برابر میانگین غلظت آن در برگ ها بود که تجمع و رسوب آهن در ریشه‌ها را نشان می‌داد. هر چند مقدار منگنز قابل استفاده خاک 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 حدود شش برابر میانگین غلظت آن در برگ بود. به طور کلی منیزیم و گوگرد به ترتیب بیشترین وکمترین راندمان انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند و آهن فعال و آهن کل به ترتیب دارای بیشترین و کمترین راندمان انتقال بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص زرد برگی نهال‌های انشو با پایه گوتو در خاک‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم داشت و پایه گوتو نسبتا متحمل به آهک خاک بود. بنابراین، پایه گوتو نمی‌تواند جایگزین مناسبی برای پایه نارنج در خاک‌های با آهک خیلی زیاد باشد.

واژه‌های کلیدی: پایه مرکبات، زرد برگی (کلروز)، عناصر غذایی، کربنات کلسیم

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول:kangarshahi@gmail.com

مقدمه

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. همچنین کلروز آهن می‌تواند موجب کاهش عملکرد، کیفیت و تأخیر در رسیدن میوه مرکبات شود (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ کوارتیز و همکاران، ۲۰۰۷؛ رامهلد، ۲۰۰۰). به طور کلی آهن در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند. لذا کمبود آهن می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل شود (لاربی و همکاران، ۲۰۰۶؛ مولاسیوتیس و همکاران، ۲۰۰۶).

به طور کلی شدت علائم کلروز (زردی) در درختان میوه، عمدتا ناشی از مقدار آهک، تغییرات برخی ویژگی‌های خاک به ویژه مقدار رس و وزن مخصوص ظاهری 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، ۱۳۹۷؛ آلکانترا و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی خاک که در کاهش قابلیت استفاده آهن و شدت کلروز درختان میوه موثر است مقدار کربنات کلسیم خاک می‌باشد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۴). کربنات کلسیم در بیش از ۳۰ درصد اراضی جهان وجود دارد (چن و باراک، ۱۹۸۲، لوپرت و همکاران، ۱۹۹۴). بیشتر مناطق مدیترانه‌ای شرایط اقلیمی مناسبی برای کشت مرکبات دارند، اما حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد باغ‌های میوه آنها از کمبود آهن رنج می‌برند، شایع‌ترین علت کمبود آهن در این مناطق، غلظت بالای یون‌های کربنات و بی‌کربنات در محلول خاک است که ناشی از کربنات کلسیم در این خاک‌ها است (پستانا و همکاران، ۲۰۰۵). این خاک‌های آهکی غلظت بالایی از یون‌های بی‌کربنات دارند که موجب افزایش pH محلول خاک می‌شوند (منگل، ۱۹۹۵). خاک-های مناطق مدیترانه‌ای اغلب دارای بیش از ۲۰ درصد کربنات‌های کلسیم و منیزیم هستند که به شدت pH محلول خاک را بافر کرده و در محدود ۷/۵ تا ۸/۵ نگه می‌دارند (پستانا و همکاران، ۲۰۰۵). جذب آهن به شدت به pH خاک بستگی دارد و فعالیت آهن در محلول برای هر واحد افزایش pH حدود ۱۰۰۰ برابر کاهش می‌یابد و در محدوده ۷/۴ تا ۸/۵ به حداقل می‌رسد (بایرن و همکاران، ۱۹۹۵).

آهن یک عنصر ضروری برای گیاهان است و برای طیف وسیعی از مسیرهای متابولیک، مانند تثبیت نیتروژن، کاهش ریبونوکلئوتیدها، انتقال الکترون، فعال‌سازی و انتقال اکسیژن، و همچنین غیرفعال‌سازی اشکال کاهش‌یافته اکسیژن مورد نیاز است (ایسنستین و بلمینگ، ۱۹۹۸؛ زوچی و همکاران، ۲۰۰۷). بیشتر ارقام و پایه‌های مرکبات به کلروز آهن حساس هستند و کلروز آهن یک مشکل تغذیه‌ای رایج در خاک‌های با pH بالا است (چولیاراس و همکاران، ۲۰۰۴). نارنج یکی از پایه-هایی است که تحمل و سازگاری خوبی به خاک‌های آهکی دارد و به طور گسترده در حوضه مدیترانه استفاده می‌شود (اوزان، ۱۹۷۹). بیشتر ارقام مرکباتی که روی نارنج پیوند می‌شوند میوه‌های با کیفیت مناسب دارند اما این پایه حساس به بیماری وبروسی تریستیزا است. در مقابل پایه‌های سه برگچه‌ای و هیبریدهای آنها (پونسیروس، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی۳۵، سوینگل سیتروملو و ....) نسبت به این بیماری متحمل هستند اما این پایه‌ها معمولا به آهک زیاد در خاک

حساس هستند و احتمال کلروز در خاک‌های آهکی دارند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷).

گزارش ارزیابی برخی ژنوتیپ‌های مرکبات (پایه) به منظور تعیین تحمل نسبی به کلروز آهن ناشی از آهک نشان داده است که نارنج و کلئوپاترا ماندارین بیشترین تحمل به آهک خاک دارند، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج و سی‌۳۵ تحمل متوسطی دارند و در مقابل سوینگل سیتروملو، ولکامریانا و پونسیروس حساس به آهک خاک هستند (اینسیزو و همکاران، ۲۰۱۶؛ بومن و جوبرت، ۲۰۲۰). ارزیابی چندین پایه برای نارنگی کلمانتین در کشور مصر نشان داده است که کاریزوسیترنج مناسب‌ترین پایه برای آن در خاک‌های اسیدی است در مقابل گوتو پایه مناسبی برای کلمانتین نیست (حسین و همکاران، ۲۰۱۳).

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 ۴۰ درصد می‌رسد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۴). آهک کل ممکن است برای پیش‌بینی توسعه کلروز آهن، مناسب نباشد ولی آهک فعال که قادر به تولید و نگهداری غلظت های زیاد بی‌کربنات در خاک است، می‌تواند شاخص مناسب‌تری باشد. آهک فعال، معرف بخشی از آهک خاک است که سطح ویژه بالایی (تقریبا معادل رس خاک) داشته و بسیار واکنش‌پذیر می‌باشد. این آهک فعال به طور غیر مستقیم مسئول کاهش رشد و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مانند عارضه زرد برگی است (کاستل و نونالی، ۲۰۰۹؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین گونه های مختلف درختان میوه بر اساس سطحی از آهک فعال در خاک که شروع به توسعه علائم کلروز می‌کنند، می توانند رتبه‌بندی شوند. ژنوتیپ‌های خیلی حساس به آهک ممکن است در سطوح کربنات کلسیم فعال کم‌تر از ۰/۵ درصد کلروز نشان دهند، اما ژنوتیپ‌ها متحمل یا مقاوم ممکن است بیشتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد کربنات کلسیم فعال در خاک را نیز به خوبی تحمل کنند (تگلیاونی و رومبلا، ۲۰۰۱).

تحمل درختان مرکبات به آهک خاک و کلروز، بیشتر به پایه آنها بستگی دارد. پایه‌های ترویرسیترنج، کاریزوسینرنج، سی ۳۵، سوینگل سیتروملو به صنعت مرکبات استان مازندران وارد شده‌اند و در این مناطق گسترش و ترویج شده‌اند در حالی که گزارش‌هابی پژوهشی انجام شده در منطقه و همچنین برخی گزارش-های از منابع علمی نشان داده است که این پایه‌ها در خاک های با آهک زیاد، اغلب دچار کلروز ناشی از آهک، کاهش رشد، خشکیدگی سرشاخه‌ها و زوال می‌شوند (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۷؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۶؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۹؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۴۰۱؛ لوزدا و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج پژوهشی در مورد پایه سیتروملو نشان داد بین مقدار آهک فعال خاک و غلظت آهن فعال برگ آن، رابطه خطی معنی‌داری وجود دارد و با افزایش آهک فعال خاک غلظت آهن فعال برگ آن کاهش می‌یابد و این پایه حساس به خاک‌های آهکی گزارش شده است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،۱۳۹۷). نتایج پژوهشی درختان نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج نشان داد که این پایه در خاک‌های آهکی با بافت متوسط یا سنگین و آهک بیشتر از ۱۴ درصد یا آهک فعال بیشتر از ۵ درصد علائم زرد برگی نشان دادند اما در خاک‌های آهکی با بافت سبک، این پایه مقدار آهک کل بسیار بیشتری را نیز به خوبی تحمل می‌کند. بنابراین استفاده از این پایه در خاک‌های با بافت متوسط و سنگین و آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد توصیه نمی‌شود. اما در خاک‌های با بافت سبک، استفاده از این پایه در خاک‌های با آهک ۴۰ درصد نیز امکان‌پذیر است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،۱۴۰۱).

برخی منابع گزارش کرده‌اند که پایه‌های گوتو و اسموت فلت سویل متحمل به خاک‌های آهکی هستند و پاسخ آن-ها مشابه نارنج گزارش شده است (کاستل و همکاران،

۱۹۹۲؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۲). گزارش‌های زیادی در مورد کلروز آهن درختان مرکبات در خاک‌های آهکی وجود دارد (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۷؛ پستانا و همکاران، ۲۰۰۵، گورا و همکاران، ۲۰۲۲). کلروز شدید آهن، ممکن است منجر به کاهش یا توقف کامل باردهی محصول و کاهش سود اقتصادی باغ‌دار شود. به طور معمول روش های 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 (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷؛ مورالیس و همکاران، ۱۹۹۸).

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که مناسب‌ترین روش برای حل چالش کلروز آهن، انتخاب پایه‌های متحمل است (کاستل و همکاران، ۲۰۱۰؛ پستانا و همکاران، ۲۰۰۱). 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، ۱۹۹۴، میشرا و همکاران، ۲۰۱۱؛ سالیسبوری و روس، ۱۹۹۲؛ ابراهیم، ۲۰۲۰).

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، ۱۳۹۷؛ لوپرت و همکاران، ۱۹۹۴). در استان مازندران با توجه به گسترش بیماری تریستیزا و حساسیت نارنج به عنوان پایه معمول منطقه به این بیماری، دامنه تغییرات زیاد آهک در خاک‌های منطقه (از صفر تا بیشتر از ۴۰ درصد)، روند افزایش تدریجی آهک 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 حساسیت سیتروملو به خاک‌های آهکی، امکان کلروز ترویر سیترنج، کاریزوسیترنج و سی ۳۵ در خاک-های با آهک متوسط و زیاد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۷؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،۱۳۹۶،۱۳۹۹۴، ۱۴۰۱، ایزدپناه، ۱۳۵۵) ورود پایه گوتو (*C. aurantium* L. var. Gou Tou) در منطقه، بررسی پاسخ آن به مقادیر مختلف آهک در خاک‌های منطقه ضروری است. پایه گوتو متحمل به تریستیزای مرکبات است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۲) و همچنین عملکرد و کیفیت میوه روی این پایه خوب گزارش شده است (اخلاقی امیری، ۱۳۹۹). بنابراین، پژوهش حاضر به ارزیابی روند رشد، پاسخ‌های تغذیه‌ای و تحمل پایه گوتو به کلروز در خاک‌های آهکی شرق مازندران اختصاص داده شد.

مواد و روش‌ها

با توجه به نقشه خاک، گزارش‌های خاکشناسی و همچنین مطالعات انجام شده در باغ‌های شرق مازندران (ایزدپناه، ۱۳۵۵؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)، هفت نمونه خاک به گونه‌ای انتخاب گردید که دارای بافت متفاوت و دامنه وسیعی از کربنات کلسیم (از ۲ تا ۴۵ 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 به روش تیتراسیون با اسید (باشور و سایه، ۲۰۰۷)، کربنات کلسیم فعال به روش تیتراسیون با پرمنگنات پتاسیم (باشور و سایه، ۲۰۰۷)، رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (گی و بادر، ۱۹۸۶)، واکنش خاک در خمیر اشباع (مکلین، ۱۹۸۲)،

ماده آلی به روش والکلی – بلک (نلسون و سامر، ۱۹۸۲)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (اسچنیدر، ۱۹۹۷)، فسفر به روش اولسن و سامرز (اولسون و سامرز، ۱۹۸۲)، منگنز ، آهن، و روی به روش دی تی پی ای (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) اندازه گیری شد. دامنه آهک معادل خاک‌ها از ۲ تا ۴۵ درصد، آهک فعال از صفر تا ۱۶ درصد، رس از ۱۳ تا ۴۱ درصد، سیلت از ۱۸ تا ۳۷ درصد، شن از ۳۴ تا ۵۸ درصد و کربن آلی از ۰/۶۵ تا ۱/۸۰ درصد متغییر بود (جدول۱).

مقدار ۳۰ کیلوگرم خاک ازنمونه‌های خاک مورد نظر، درسطل‌های پلاستیکی ریخته شد. کود نیتروژنی به میزان ۶۰ میلی‌گرم نیتروژن خالص درکیلوگرم خاک به صورت سولفات آمونیوم اضافه گردید (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷). قبل از کاشت، کودهای فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) فقط به خاک‌هایی افزوده شد که به ترتیب کمتر از ۱۵ میلی‌گرم درکیلوگرم فسفر قابل استفاده (اولسن و سامرز، ۱۹۸۲) و کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم داشتند. ۲۰میلی‌گرم فسفر و ۲۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره ۵ و ۲۵ میلی گرم فسفر و ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره هفت افزوده شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷). سپس نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو (جدول ۲) تقریبا یکسان با ارتفاع حدود ۵۰ سانتی متر 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 ۲۸ گلدان انجام شد. بعد از کاشت نهال‌ها، درطول دوره رشد، تغذیه به صورت کود آبیاری با کودهای نیترات پتاسیم (۱/۴ میلی‌مول در لیتر)، سولفات پتاسیم (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات منیزیم (یک میلی‌مول در لیتر)، مونوآمونیوم فسفات (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات آمونیم (۳ میلی‌مول در لیتر)، مولیبدات آمونیوم (یک میکرومول در لیتر) هر دو هفته یک بار انجام شد (بومن و همکاران، ۲۰۰۸) و آبیاری با توزین تصادفی گلدان‌های آزمایشی (فدی و همکاران، ۲۰۰۸) به طور منظم (ضریب تخلیه رطوبت حدود ۳۵ درصد) انجام شد. نمونه‌های برگ در مرداد ماه از برگ‌های میانی سرشاخه‌های فصل جاری در پیرامون هر نهال تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۷). نمونه‌های گیاه ابتدا به روش خشک اکسید شد و سپس غلظت آهن، منگنز، روی و مس توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

آهن فعال

اندازه‌گیری آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین ۱/۵ درصد و قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (باسر، ۲۰۰۳). 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 ۵۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (باسر، ۲۰۰۳؛ نیامن و آگاری، ۲۰۰۷).

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 (جدول ۳) داده شد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۷؛ بایرن و همکاران، ۱۹۹۵).

غلظت کلروفیل برگ

در سال دوم آزمایش، نمونه‌های برگ از هر تیمار تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۸). مقدار ۰/۲ گرم از نمونه برگ‌های هر تیمار به دقت وزن، در هاون چینی ساییده و استون ۸۰ 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 ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. سپس غلظت کلروفیل محاسبه شد (آبادیا و آبادیا، ۱۹۹۳).

شاخص فلورسنس کلروفیل

در سال دوم آزمایش، پارامترهای فلورسنس کلروفیل در برگ‌های جوان کاملا توسعه یافته در همه خاکها{F_0: فلورسنس پایه، F_m: فلورسنس حداکثر در اولین پالس اشباع نوری بعد از سازگاری با تاریکی و F_v: تغییرات فلورسنس(F_m-F_0)} با استفاده از فلورومتر پرتابل (Efficiency Analyser, PEA, Hansatech Instrument Plant Ltd., England)، بعد از۳۰ دقیقه انطباق تاریکی اندازه‌گیری شد. برای سازگاری با تاریکی، ابتدا قسمتی از برگ نهال‌ها (با کلیپ‌های مخصوص) برای مدت زمان ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. بعد از اتمام سازگاری با تاریکی، با قرار دادن سنسور فلورومتر به کلیپ‌ها، ارتباط اندام سازگاری شده با تاریکی و منبع نور تنظیم شده فلورومتر برقرار نموده و پارامترهای فلورسنس کلروفیل قرائت گردید. سپس شاخص تغییرات کلروفیل فلورسنس($F_v/F_m = (F_m-F_0)/F_m$) محاسبه گردید (آربنا و همکاران، ۲۰۰۹؛ مکسول و جانسون، ۲۰۰۰).

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، ۱۳۹۷).

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

TF= ضریب انتقال

$C_{NE.L}$= غلظت عنصر در برگ

$C_{NE.R}$ = غلظت عنصر در ریشه

[1]- Translocation Factor

جدول۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش

ویژگی	خاک و منطقه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
	جنوب بابل	غرب قائم شهر	جنوب ساری	غرب نکا	شمال نکا	غرب ساری	شرق ساری
رس (درصد)	۲۳	۲۹	۱۹	۴۱	۱۳	۳۷	۲۳
سیلت (درصد)	۳۰	۲۶	۳۵	۱۸	۲۹	۲۹	۳۷
شن (درصد)	۴۷	۴۵	۴۶	۴۱	۵۸	۳۴	۴۰
کلاس بافتی خاک	لوم	لوم رسی	لوم	رسی	لوم شنی	لوم رسی	لوم
آهک کل (درصد)	۲	۹	۱۴	۳۰	۴۰	۲۵	۴۵
آهک فعال (درصد)	۰	۳	۵	۱۴	۷	۱۰	۱۶
کربن آلی (درصد)	۱/۱۷	۰/۹۵	۱/۸۰	۱/۶۰	۰/۶۵	۱/۵۲	۱/۱۰
واکنش گل اشباع	۶/۸۱	۷/۴۵	۷/۸۶	۷/۶۰	۷/۷۷	۷/۷۸	۷/۷۶
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۶/۳۴	۲۲/۲۱	۱۵/۰۹	۱۷/۱۱	۱۱/۲۰	۱۸/۳۰	۹/۸۷
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴۰۴	۳۸۰	۳۶۰	۴۶۰	۲۲۱	۳۲۵	۲۶۵
آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۷/۲۰	۶/۴۰	۸/۸۰	۸/۹۰	۴/۴۰	۸/۲۲	۶/۸۰
منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۳/۱۰	۴/۲۰	۳/۹۶	۵/۴۰	۳/۲۰	۷/۷۱	۳/۴۰
روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲/۴۰	۲/۵۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۹۱	۱/۶۰	۱/۵۰

جدول۲- برخی ویژگی‌های پایه* مورد آزمایش

نام	نام لاتین	نام علمی	ویژگی	
گوتو	Gou Tou	*C. aurantium* L. var. Gou Tou	واکنش به تریستیزا	واکنش به سرما
			نسبتا متحمل	نسبتا متحمل

*منبع (سینگ و همکاران، ۲۰۰۲)

جدول ۳- راهنمای تعیین درجه زردی برگ (براساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش آن‌ها)

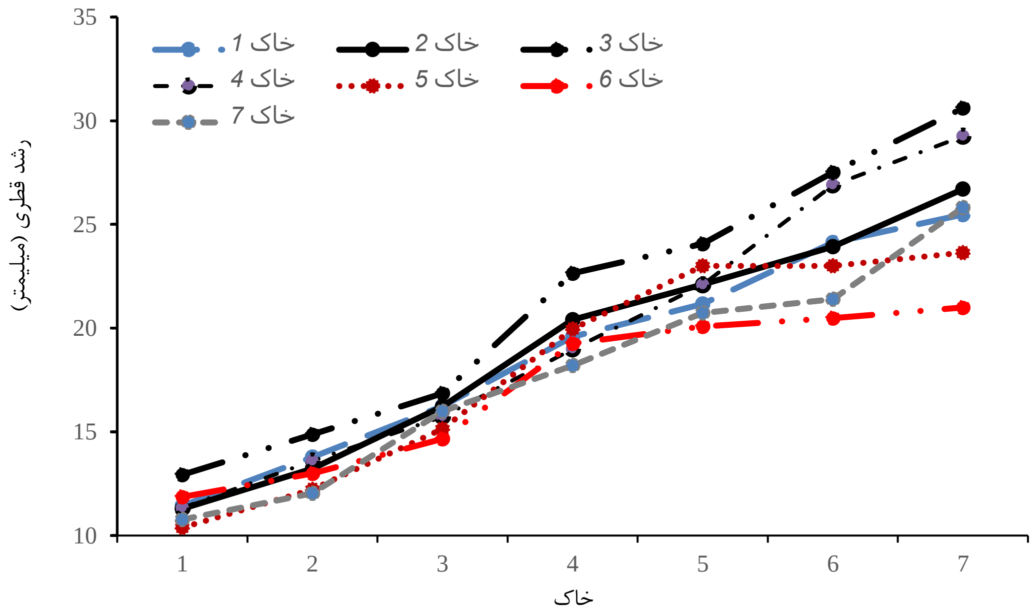
درجه زردی برگ	علائم ظاهری
۱	برگ‌ها سبز و بدون هیچ گونه علائمی
۲	بین رگبرگ‌ها سبز متمایل به زرد و رگبرگ‌ها سبز
۳	بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سبز و رگبرگ‌ها سبز
۴	بین رگبرگ‌ها زرد و رگبرگ‌ها سبز
۵	بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سفید، رگبرگ‌ها سبز رنگ پریده و مقداری ریزش برگ

به طور کلی پاسخ‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص‌های درجه زردی برگ (بایرن و همکاران، ۱۹۹۵)، رابطه آهک فعال در خاک (باشور و سایه، ۲۰۰۷) با آهن فعال در برگ، غلظت نیتروژن به روش کجلدال (بریمر، ۱۹۹۶)، فسفر به روش مولیبدات وانادات (کیتسون و ملون، ۱۹۴۴)، سولفور به روش کدورت سنجی (جونس و همکاران، ۱۹۹۱)، پتاسیم به روش نشر اتمی (باشور و سایه، ۲۰۰۷)، کلسیم، منیزیم، آهن کل، منگنز، روی و مس به روش جذب اتمی (رایت و استوزنکی، ۱۹۹۶)، آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین (باسار، ۲۰۰۳) در برگ و ریشه (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۲)، غلظت کلروفیل (آبادیا و آبادیا، ۱۹۹۳) و کلروفیل فلورسنس (مکسول و جانسون، ۲۰۰۰) بود. در پایان، 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.

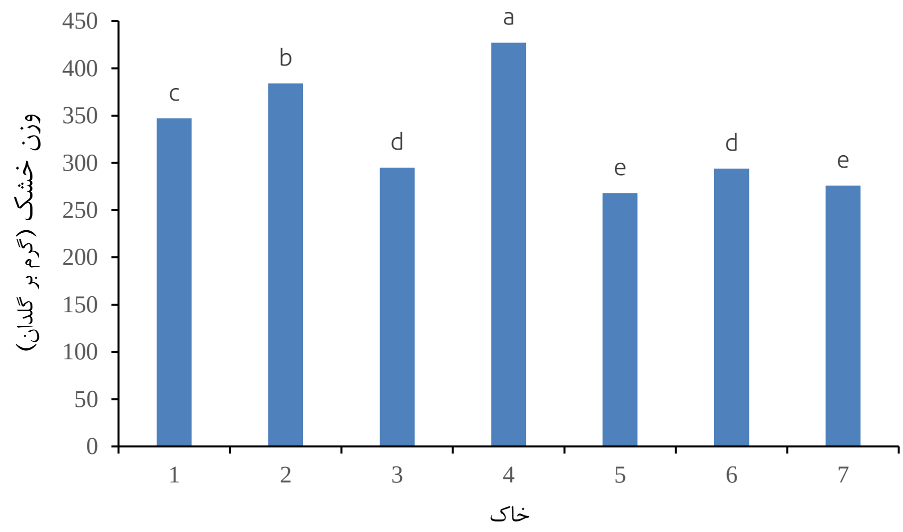
نتایج و بحث

روند رشد رویشی و وزن خشک

نتایج میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف در طول دوره رشد نشان داد که بیشترین رشد قطری در پایان دوره از خاک سه با بافت متوسط (لوم)، آهک کل ۱۴ درصد و آهک فعال ۵ درصد و کمترین رشد از خاک شش با بافت لوم رسی، آهک کل ۲۵ درصد و آهک فعال۱۰ درصد حاصل شد (شکل۱). تاثیر خاک‌های مختلف بر وزن خشک اندام هوایی از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود به طوری که نتایج میانگین وزن خشک اندام هوایی نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی از خاک چهار با آهک کل۳۰ درصد حاصل شد. در مقابل کمترین وزن خشک اندام هوایی از خاک پنج و هفت به ترتیب با آهک کل ۴۰ و فعال ۷ درصد و آهک کل ۴۵ و فعال ۱۶ درصد بود (شکل۲).



شکل۱- میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف



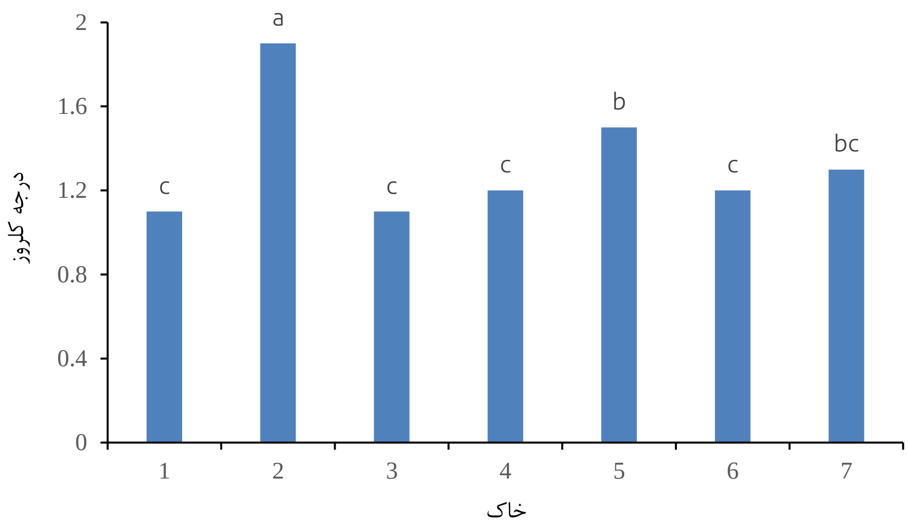
شکل۲- میانگین وزن خشک اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

(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 گوتو در خاک‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری در درجه زرد برگی در خاک‌های مختلف وجود دارد (شکل۳). علائم درجه زردی برگی نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک‌های مختلف در شکل ۹ نشان داد شده است. اگرچه کربنات کلسیم کل اغلب در بیان خصوصیات شیمیایی خاک استفاده می‌شود، اما ارتباط معنی‌داری بین مقدار کربنات کلسیم 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 کربنات کلسیم کل و کاهش رشد و زردی ناشی از کمبود آهن در درختان مشاهده نشده است (کاستل و نونالی، ۲۰۰۹). افزایش درجه کلروز در خاک دو به علت کمبود منگنز دربرگ است که در شکل ۹ به خوبی این علائم نشان داده شده است.



شکل ۳- میانگین درجه زردی برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو 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 گوتو به ترتیب در جدول‌های چهار و پنج نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که غلظت فسفر در ریشه و برگ تقریبا یکسان بود اما غلظت گوگرد در ریشه بیشتر از غلظت آن در برگ بود به طوری که میانگین غلظت گوگرد در ریشه ۰/۴۲ درصد و در برگ‌ها ۰/۲۷ درصد بود که نشان داد میانگین غلظت آن در ریشه حدود ۱/۵۶ برابر غلظت در برگ است. میانگین غلظت نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در ریشه کمتر از غلظت این عناصر در برگ بود به طوری که میانگین غلظت آن‌ها در برگ به ترتیب حدود ۱/۴۶، ۱/۳۰، ۲/۵۸، ۱/۵۱ 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، پتاسیم و فسفر به ترتیب پس از منیزیم قرار داشتند (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). به طور کلی دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر پر مصرف از ۰/۴۲ تا ۲/۵۸ متغیر بود که نشان دهنده تفاوت در روند تجمع و تخلیه عناصر در ریشه است (شکل ۴).

جدول ۴- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

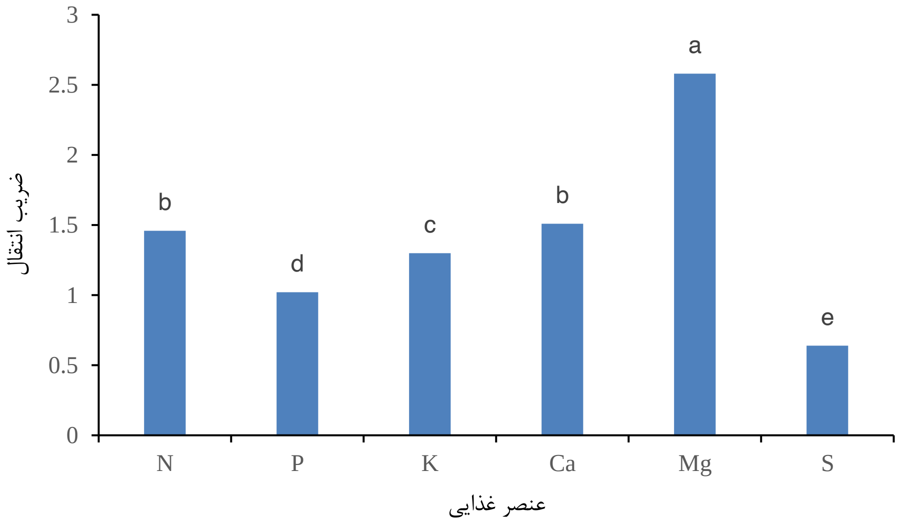
خاک	غلظت عناصر پرمصرف در برگ (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
۱	۲/۵۷b	۰/۱۷۲b	۰/۸۵d	۶/۱۲b	۰/۶۲b	۰/۳۳a
۲	۲/۴۶bc	۰/۱۹۰a	۱/۱۶c	۵/۶۹bc	۰/۷۲a	۰/۲۴c
۳	۲/۵۵b	۰/۱۴۸c	۱/۳۶b	۷/۰۲a	۰/۵۹b	۰/۲۷b
۴	۲/۲۶c	۰/۱۵۱c	۱/۰۱c	۳/۰۷c	۰/۵۰c	۰/۲۲c
۵	۲/۷۹a	۰/۱۲۴d	۱/۵۶a	۶/۰۶b	۰/۶۱b	۰/۲۷b
۶	۲/۶۷ab	۰/۱۴۹c	۱/۲۷b	۴/۸۹d	۰/۶۲b	۰/۲۹ab
۷	۲/۸۰a	۰/۱۴۰c	۱/۳۵b	۵/۵۴ab	۰/۶۷bc	۰/۲۵bc
میانگین	۲/۵۶	۰/۱۵۳	۱/۲۲	۵/۴۸	۰/۶۲	۰/۲۷

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

جدول ۵- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر پرمصرف در ریشه (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
۱	۱/۵۲c	۰/۱۷ab	۰/۸۸b	۳/۳۴c	۰/۲۵a	۰/۴۶ab
۲	۱/۸۱ab	۰/۱۹a	۰/۸۵b	۳/۵۱bc	۰/۲۵a	۰/۳۸bc
۳	۱/۶۹b	۰/۱۳c	۰/۷۴c	۳/۴۶bc	۰/۲۱b	۰/۳۲c
۴	۱/۹۶a	۰/۱۶b	۰/۷۷c	۳/۲۰c	۰/۲۵a	۰/۴۰b
۵	۱/۹۰a	۰/۱۳c	۱/۱۰a	۴/۳۴a	۰/۲۴ab	۰/۳۷bc
۶	۱/۵۴c	۰/۱۴c	۱/۱۱a	۳/۷۰b	۰/۲۶a	۰/۴۸a
۷	۱/۸۵ab	۰/۱۳c	۱/۱۱a	۳/۸۷b	۰/۲۲b	۰/۵۱a
میانگین	۱/۷۵	۰/۱۵	۰/۹۴	۳/۶۲	۰/۲۴	۰/۴۲

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



شکل ۴- میانگین ضریب انتقال عناصر پرمصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

(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 گوتو در جدول‌های شش و هفت نشان داده شده. نتایج میانگین غلظت آهن فعال در ریشه و برگ نشان داد که غلظت آهن فعال در برگ و ریشه در خاک-های مختلف، متفاوت بود به طوری بیشترین میانگین غلظت آهن فعال برگ (۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) از خاک یک با آهک دو درصد حاصل شد و در مقابل کمترین غلظت آهن فعال (۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) از خاک هفت با آهک ۴۵ درصد حاصل شد. کمترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک هفت با آهک ۴۵ درصد حاصل شد که حدود ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما بیشترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک پنج با بافت لوم شنی و آهک ۴۰ درصد حاصل شد که ۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن فعال در برگ و ریشه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. میانگین غلظت آهن فعال در ریشه حدود ۳۴/۷۰ و در برگ حدود ۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها ۲۰۶۰ و در برگ‌ها ۱۰۶ 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 (شکل۵). میانگین غلظت آهن کل در ریشه نهال‌ها در خاک‌های مختلف حدود ۱۹/۴۳ برابر غلظت آهن در برگ آن‌ها 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، ۲۰۱۷؛ مورالس و همکاران، ۱۹۹۸). نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین مقدار آهن قابل استفاده خاک با غلظت آهن ریشه و برگ و همچنین بین غلظت آهن ریشه و برگ وجود ندارد و این نتایج با گزارش‌های مارتینز و همکاران (۲۰۱۷)، اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۷) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶، ۱۳۹۹و ۱۴۰۱) مطابقت دارد. بنابراین اندازه‌گیری مقدار آهن قابل استفاده در خاک (به روش DTPA)، شاخص مناسبی برای پیش‌بینی درجه زرد برگی در درختان مرکبات نمی‌باشد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۹). 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، ۲۰۱۷). 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 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 ۱/۶۸ درصد آهن ریشه و ۴۱/۵۱ درصد آهن برگ به شکل فعال بود که نشان می‌دهد بیشتر از ۹۸ درصد آهن در ریشه و ۵۸/۵۰ درصد آن در برگ‌ها از نظر فیزیولوژی و بیوشیمیایی به شکل غیر قابل استفاده هستند که اصطلاحا تضاد آهن نامیده می‌شود (آربنا و همکاران، ۲۰۰۹؛ سالیبوری و روس، ۱۹۹۲). 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، ۲۰۰۹؛ مارتینز و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج میانگین غلظت روی در ریشه و برگ نشان می دهد که بیشترین غلظت روی در برگ از خاک یک و هفت با آهک ۲ و ۴۵ درصد حاصل شد و بیشترین غلظت روی در ریشه از خاک پنج با آهک ۴۰ درصد حاصل شد. میانگین غلظت روی در ریشه و برگ در خاک‌های مختلف به ترتیب حدود ۹۷ و ۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت روی در ریشه حدود ۴/۴۱ برابر میانگین غلظت روی در برگ بود. نتایج میانگین غلظت منگنز نشان داد که ریشه‌ها در خاک-های چهار و پنج بیشترین غلظت منگنز را داشتند و غلظت منگنز آن‌ها ۹۲ تا ۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما میانگین غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها پایین بود به طوری که میانگین آن در خاک‌های مختلف از ۸/۴ تا ۲۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود که کمتر از غلظت بهینه منگنز در برگ نارنگی‌های انشو می‌باشد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). به طور کلی میانگین غلظت منگنز در ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف ۸۰/۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در برگ ۱۳/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت منگنز در ریشه حدود شش برابر میانگین غلظت منگنز برگ است. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت منگنز در برگ نارنگی انشو با پایه گوتو 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 ۹ درصد بیشترین غلظت مس (۳۷ میلی‌گرم در

کیلوگرم) داشتند. کمترین غلظت مس در ریشه حدود ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در خاک با آهک ۴۵ درصد حاصل شد. اما بیشترین و کمترین غلظت مس در برگ به ترتیب ۸/۳ و ۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از خاک های با آهک ۴۵ و ۳۰ درصد به دست آمد به طور کلی میانگین غلظت مس در ریشه حدود ۳/۷۱ 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 ۰/۰۵ تا ۱/۲۷ متغیر بود(شکل۵).

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 می-توان 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 (۱۳۹۸) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۱) مطابقت دارد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های اسدی و همکاران (۱۳۸۱)، اسدی و محمودی (۱۳۷۹)، خویی (۱۳۶۰) و بی نام (۱۳۵۳) مطابقت دارد که گزارش کردند اغلب مرکبات منطقه شرق مازندران کمبود پنهان و آشکار منگنز دارند. نتایج پژوهش‌های اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶) نشان داد که با وجود این که مقدار منگنز قابل استفاده در همه خاک‌های آزمایشی بیشر از حد مطلوب بود اما غلظت منگنز در برگ اغلب درختان کمتر از حد بهینه بود، این شرایط در مطالعات میدانی در خاک های تحت کشت مرکبات در شرق مازندران نیز گزارش شده است (طهرانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳). همچنین نتایج این آزمایش با نتایج گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۸) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶، ۱۳۹۹ و۱۴۰۱) مطابقت دارد که اظهار داشتند میانگین غلظت منگنز در ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه‌های سوینگل‌سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج و سی ۳۵ در خاک‌های مختلف بسیار بیشتر از غلظت آن در برگ است. برخی گزارش‌ها (سریواستاوا و سینک، ۲۰۰۲؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳؛ ایزدپناه، ۱۳۵۵) نشان داده است که کمبود منگنز اغلب در خاک‌های کم عمق با مواد آلی زیاد که بالای خاک‌های آهکی قرار دارند (مانند برخی خاک‌های دشت‌های مرتفع، دشت‌های دامنه‌ایی و مخروطه افکنه‌های اراضی بخش‌های جنوبی مازندران که تبدیل به باغ شده‌اند)، خاک‌های رسی و سیلتی رسوبی و همچنین خاک‌های اراضی پست با آهک زیاد (مانند برخی خاک‌های مناطق میانه و شرق مازندران و همچنین خاک هایی که زمانی آب‌بندان بوده‌اند) و خاک‌های آهکی با مواد آلی زیاد و زهکشی ضعیف (بیشتر خاک‌های اراضی پست بین رودخانه‌ای در شرق مازندران) مشاهده می‌شود. نتایج مطالعات شبکه‌ای خاک‌های مازندران نیز نشان می دهد 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 می شود. همچنین اسدی کنگرشاهی و محمودی (۱۳۷۹) گزارش کردند که غلظت منگنز در برگ حدود ۶۰ 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.

به طور کلی در بسیاری از باغ‌های مرکبات در خاک‌های اسیدی، خاک‌های دارای تنش مانداب یا خاک-های با آهک کم، علائم کمبود روی موقتی است و بیشتر در برگ‌های سرشاخه‌های رشدی اوایل فصل ظاهر می-شود و به تدریج با گرم شدن هوا و بدون اعمال تیمار

مصرف روی رفع می‌شود. اما کمبود پایدار روی در باغ-های با خاک‌های اسیدی با آهن زیاد و خاک‌های با بافت سنگین با تنش مانداب و خاک‌های با آهک زیاد نیاز به مصرف کودهای روی برای رفع علائم کمبود می‌باشد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳؛ سریواستاوا و سینک، ۲۰۰۲). 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، ۲۰۱۸). با توجه به حد کفایت روی قابل استفاده برای مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)، در این آزمایش مقدار روی قابل استفاده در خاک های ۳، ۴و ۵ به ترتیب با آهک ۱۴، ۳۰ و ۴۰ درصد کمتر از حد کفایت، در خاک‌های ۶ و ۷ به ترتیب با آهک ۲۵ و ۴۵ درصد در حد کفایت و در خاک‌های ۱ و ۲ به ترتیب با آهک ۲ و ۹ درصد بیش از حد کفایت بود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۴). نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت روی برگ در خاک یک با بافت لوم و آهک دو درصد و خاک ۷ با بافت لوم و آهک ۴۵ 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 ۶- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

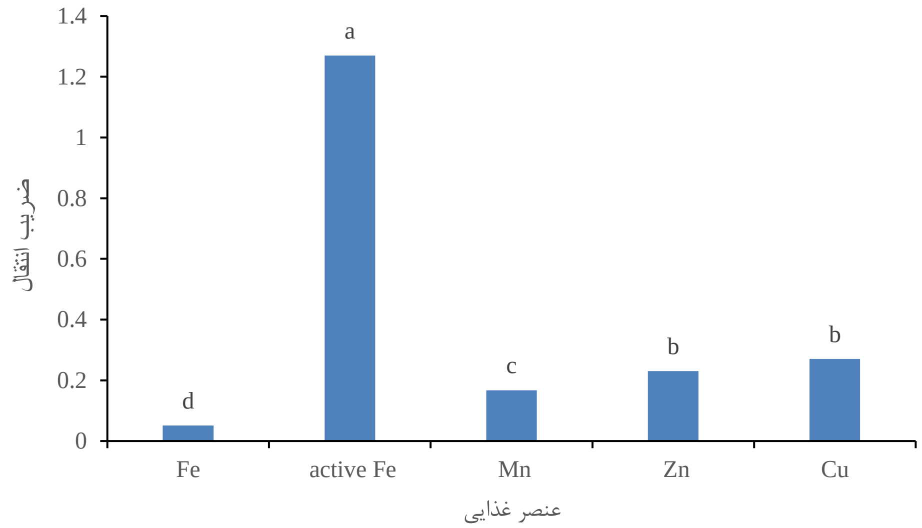
خاک	غلظت عناصر کم مصرف در برگ (میلی‌گرم برکیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
۱	۱۴۳a	۵۴a	۸/۴c	۲۶a	۵/۸c
۲	۹۳bc	۵۲a	۶/۶c	۲۳b	۶/۵b
۳	۱۲۱b	۴۴b	۹/۶bc	۲۳b	۶/۶b
۴	۸۱c	۴۴b	۲۳/۵a	۲۲b	۳/۶d
۵	۸۲c	۴۲b	۱۱bc	۱۸c	۵/۷c
۶	۱۰۹bc	۴۴b	۱۴/۲b	۱۸c	۶/۸b
۷	۱۱۵b	۲۹c	۲۰/۸a	۲۵a	۸/۳a
میانگین	۱۰۶	۴۴	۱۳/۴	۲۲	۶/۱۹

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

جدول ۷- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر کم مصرف در ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
۱	۲۳۸۸b	۳۶bc	۸۱bc	۱۱۷b	۳۲a
۲	۲۹۳۶a	۲۷c	۷۸c	۱۲۱ab	۳۷a
۳	۲۴۳۰b	۴۱b	۷۴c	۶۳d	۱۹b
۴	۲۰۰۲c	۴۵b	۹۹a	۷۹c	۱۷b
۵	۲۰۱۶c	۵۶a	۹۲a	۱۳۸a	۱۹b
۶	۱۶۱۱d	۲۵c	۷۵c	۸۲c	۲۱b
۷	۱۰۳۷e	۱۲d	۶۳d	۸۲c	۱۶b
میانگین	۲۰۶۰	۳۴/۷	۸۰/۳	۹۷	۲۳

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



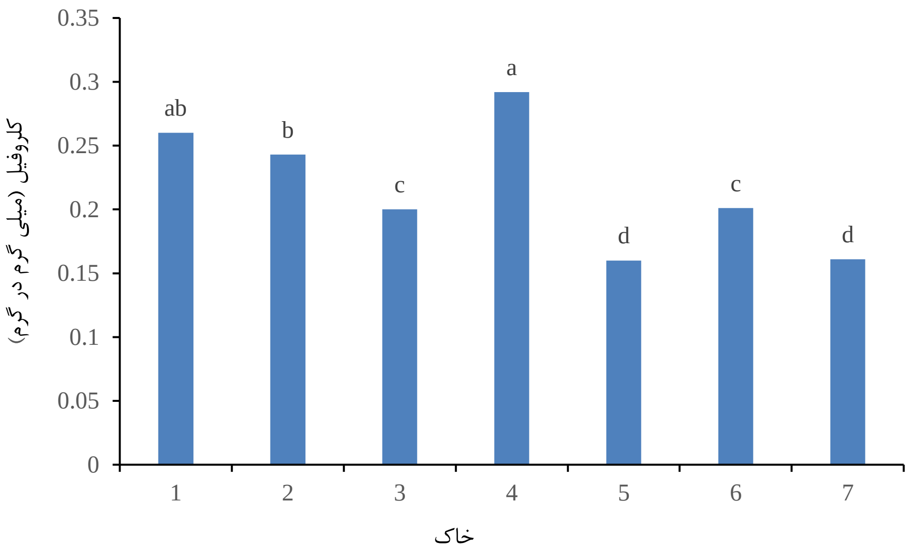
شکل ۵- میانگین ضریب انتقال عناصرکم مصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

(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 چهار حاصل شد و کمترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک هفت به دست آمد. میانگین غلظت کلروفیل در خاک‌های یک، دو، سه و شش به ترتیب پس از خاک دو قرار گرفتند (شکل۶). به طور کلی گزارش‌های اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۴۰۱) نشان داد که با افزایش کربنات کلسیم فعال خاک، میانگین غلظت آهن فعال برگ‌ها کاهش یافت و با کاهش میانگین غلظت آهن فعال برگ، میانگین غلظت کلروفیل برگ‌ها کاهش نشان داد. اما نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت کلروفیل در برگها، تنها به غلظت آهن فعال بستگی ندارد بلکه به عوامل دیگر از جمله غلظت منگنز و روی نیز بستگی دارد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد که گزارش کردند کمبود این عناصر (آهن، منگنز و روی) بر بیوشیمی، مورفولوژی و فیزیولوژی برگ درختان مرکبات تاثیر دارد و هر یک از این عناصر در بیوسنتز و فعال سازی بسیاری از آنزیم‌ها موثر هستند که برخی از این آنزیم‌ها در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند (لاربی و همکاران، ۲۰۰۶؛ منگل، ۱۹۹۵). بنابراین کمبود این عناصر می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل برگ می‌شود (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷).

مهمترین علت کمبود آهن، منگنز و روی در خاک‌های آهکی، زیادی یون بی‌کربنات می‌باشد که موجب افزایش پ‌هاش خاک و کاهش قابلیت استفاده این عناصر در خاک و ریشه می‌شود (پستانا و همکاران، ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵). به طور کلی کمبود آهن، منگنز و روی می‌توانند موجب کاهش رشد رویشی و تعداد سرشاخه‌های و همچنین کاهش غلظت کلروفیل، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها شود که با کلروز و زرد شدن نوک برگ‌ها شروع می‌شود و تا زرد شدن کل سر شاخه‌های جدید ادامه پیدا می‌کند و موجب چندین خسارت بیوشیمیایی و ریزساختاری می شود که مانند دیگر تنش‌های زنده و غیر زنده، تولید گونه های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. تولید این گونه‌های اکسیژن فعال پیامد تغییر در زنجییره انتقال الکترون، خسارت فراساختاری به کلروپلاست‌ها و کاهش بیوسنتز کاروتنوئیدها می‌شود (ماتینز و همکاران، ۲۰۱۷؛ منگل، ۲۰۰۱).



شکل ۶- میانگین غلظت کلروفیل کل برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

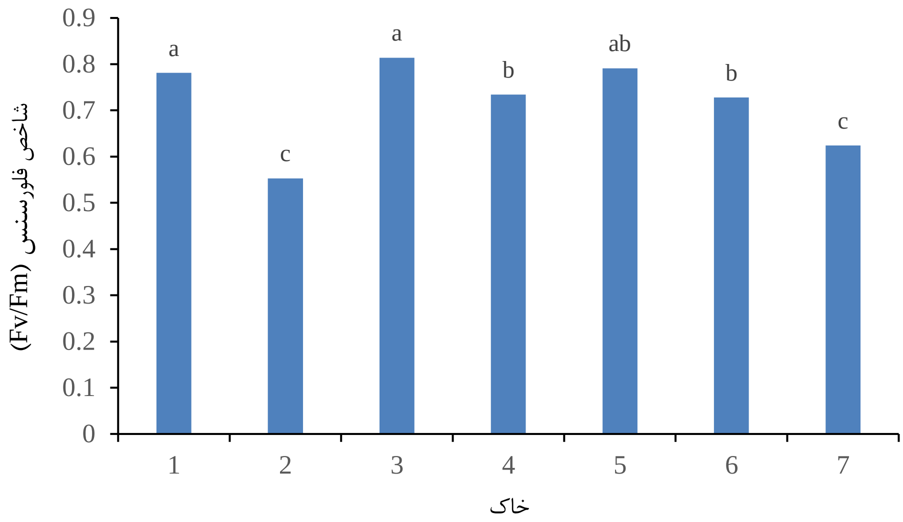
(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

نتایج اثر خاک‌های مختلف بر میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل نارنگی انشو با پایه گوتو نشان داد که در خاک های یک، دو و سه بیشترین شاخص فلورسنس کلروفیل داشت اما در مقابل در خاک دو و هفت کمترین شاخص فلورسنس را داشت بنابراین نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص فلورسنس کلروفیل در این پایه به طور معنی‌داری تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد (شکل۷). شاخص فلورسنس کلروفیل(Fv/Fm)، یک شاخص حساسیت برای راندمان عملکرد دستگاه فتوسنتزی است و نشر فلورسنس کلروفیل با فتوسنتز رابطه معکوس دارد و تحت شرایط تنش، تولید گرما در بافت‌های گیاهی (برای اتلاف زیادی انرژی) افزایش می‌یابد. اگر چه در برخی موارد، در مراحل اولیه تنش نشر فلورسنس ممکن است به طور موقت کاهش (افزایش موقتی شاخص فلورسنس) یابد. اما همواره یک تعادل نسبی بین سه مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوسنتز، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد، این تعادل که الگوی واقعی پایش فلورسنس کلروفیل را در تنش‌های مختلف تعیین می‌کند (سالسبری و روس، ۱۹۹۲.

به طور کلی، انرژی نور که توسط مولکول‌های کلروفیل جذب می‌شود، به سه شکل می‌تواند مصرف شود. قسمت عمده آن به فرآیندهای فتوشیمیایی فتوسنتز وارد شده و بقیه به گرما یا نشر مجدد نور (فلورسنس کلروفیل) تبدیل می‌شود. همواره این سه شکل با هم در ارتباط بوده و افزایش یکی، موجب کاهش دیگری می‌شود. بنابراین، تغییر در فلورسنس کلروفیل می‌تواند نشانگر تغییر در فرآیندهای فتوشیمیایی و اتلاف گرما باشد (منویکس و همکاران، ۱۹۹۰). پس از سازگاری کلروپلاست‌ها (برگ ها) با تاریکی، ذخایر بینابین اکسیداسیون و احیای مسیر انتقال الکترون به وضعیت اکسید شده بر می‌گردد و بعد از در معرض نور قرار گرفتن برگ‌های با تاریکی سازگار شده، افزایشی سریع در نشر فلورسنت دستگاه نوری II ایجاد می‌شود. این افزایش، پیامد کاهش پذیرنده‌های الکترون (کوئینون و پلاستوکوئینون) در مسیر فتوسنتز می باشد. هر بار که دستگاه نوری II، نور جذب می‌کند و پذیرنده‌های اولیه الکترون، الکترون قبول می‌کنند، تا زمانی که آنها را به حامل‌های بعدی انتقال ندهند قادر به پذیرش مجدد انرژی و الکترون نخواهند بود. لذا در طول این مدت، این مراکز واکنش غیر فعال یا بسته خواهند بود، بنابراین، به طور کلی در هر لحظه از زمان، حضور تعدادی از مراکز واکنش بسته شده منجر به یک کاهش در راندمان فتوشیمیایی و متناسب با آن عملکرد فلورسنس افزایش

می‌یابد. با انتقال برگ‌ها از تاریکی به نور، مراکز واکنش دستگاه نوری II به طور فزاینده شروع به بسته شدن، می کنند که ابتدا موجب افزایش در عملکرد فلورسنس کلروفیل، و سپس فلورسنس شروع به کاهش مجدد می کند (که به Fluorescence quenching معروف است). افزایش اولیه فلورسنس در حضور نور، به علت افزایش در انتقال الکترون‌ها از دستگاه نوری II می‌باشد (که به photochemical quenching معروف است). افزایش انتقال الکترون‌ها نیز به طور عمده به علت فعال سازی آنزیم‌ها در حضور نور، و نقش این آنزیم‌ها در متابولیسم کربن و باز شدن روزنه‌ها است. هم زمان با افزایش انتقال الکترون‌ها، افزایشی در تبدیل انرژی به گرما نیز ایجاد می شود (که به Non-photochemical quenching معروف است). بنابراین همواره یک تعادل نسبی بین سه مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوسنتز، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد و با پایش یکی از آنها می‌توان راندمان عملکرد دیگر مکانیسم‌ها را ارزیابی کرد (هبر و همکاران، ۲۰۰۱). در اثر تنش میزان کلروفیل مرکبات (محتوی کلروفیل یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است) کاهش می‌یابد و این کاهش در ارقام حساس به تنش بیشتر است و کاهش کلروفیل به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در اثر تنش است که باعث پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و در نتیجه تجزیه آنها می‌گردد (گیبس و گرینوی، ۲۰۰۳). همچنین در شرایط تنش، تثبت دی اکسید کربن و فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش فتوسنتز (مکانیسم عمده مصرف انرژی)، نشر فلورسنس کلروفیل و تولید گرما(مکانیسم‌های اتلاف انرژی) افزایش می‌یابد. لذا با سنجش فلورسنس کلروفیل بعد از سازگاری تاریکی، می‌توان تغییرات نشر فلورسنس را اندازه‌گیری کرد، که شاخصی بسیار حساس برای تغییرات در دستگاه فتوسنتزی است. بنابراین، فلورسنس کلروفیل تغییرات در سلامت و عملکرد فرآیند فتوسنتزی که شامل واکنش‌های اکسیداسیون آب، جداسازی بار، انتقال الکترون، توسعه شیب الکتروشیمیایی، چرخه گزانتوفیل و pH تیلاکوئیدها می‌باشد، را به خوبی نشان می‌دهد (آربنا و همکاران، ۲۰۰۹).

بنابراین بر اساس نتایج این تحقیق، شاخص فلورسنس کلروفیل به طور معنی‌داری تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد که با نتایج گزارش‌های اسدی کنگرشاهی و همکاران (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۲) مطابقت دارد که گزارش کردند بین مقدار سیلت، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مختلف و مقدار شاخص فلورسنس کلروفیل درختان مرکبات ارتباط معنی‌داری وجود دارد و با افزایش سیلت و کربن آلی خاک شاخص فلورسنس افزایش می‌یابد اما با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ابتدا شاخص فلورسنس افزایش و سپس کاهش می‌یابد. شاخص فلورسنس کلروفیل مطلوب درختان نارنگی انشو در خاک‌های مختلف به طور متوسط حدود ۰/۷۲ است و اعداد کمتر از آن را نشان دهنده وجود تنش در این درختان است، همچنین گزارش‌های دیگر پژوهشگران عدد مناسب شاخص فلورسنس کلروفیل (Fv/Fm)، برای بیشتر گونه های گیاهی حدود ۰/۸۳ گزارش کرده‌اند و اعداد کمتر از آن را نشان دهنده وجود تنش در آن گیاهان می‌دانستند (بلخجا و همکاران، ۱۹۹۴؛ بلخجا و مینگ، ۱۹۸۷). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نهال‌های نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک دو و هفت، کمترین شاخص و از بیشترین تنش برخوردار بودند.



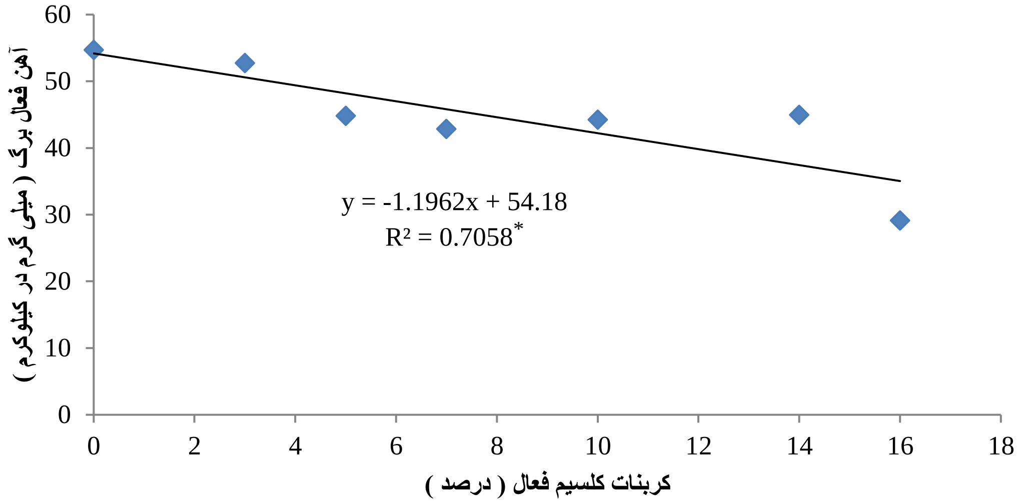
شکل ۷- میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

(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 گوتو، همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد و با افزایش آهک فعال خاک‌ها، غلظت آهن فعال برگ کاهش یافت (شکل۸). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود کاهش غلظت آهن فعال برگ در نهال‌ها، علائم زرد برگی (کلروز) در همه خاک‌های وجود نداشت (شکل۳). حد کفایت آهن قابل استفاده در خاک (با عصاره‌گیر DTPA) برای درختان مرکبات حدود ۴ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷). دامنه آهن قابل استفاده خاک‌های آزمایشی از ۴/۴۰ تا ۸/۹۰ 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 ۷/۲۰ و ۶/۴۰ میلی گرم در کیلوگرم بود، غلظت آهن فعال در برگ آنها به ترتیب ۵۴ و ۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود اما در خاک‌های هفت که آهن قابل استفاده آن۶/۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود غلظت آهن فعال در برگ ۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. لذا غلظت آهن فعال در برگ نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو 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، ۱۳۹۹). اما نتایج این تحقیق نشان داد که تنها بین مقدار آهک فعال با غلظت آهن فعال در برگ همبستگی منفی معنی‌داری (شکل۸) 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 گوتو است. بنابراین در کل نتایج این تحقیق نشان داد که درختان نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک‌های آهکی با دامنه آهک از ۲ تا ۴۰ درصد علائم زرد برگی ناشی از آهک نشان نداشتند اما در خاک هفت که آهک خاک حدود ۴۵ درصد بود رنگ برگ‌ها سبز کم رنگ بود و علائم کلروز خفیفی داشت و غلظت آهن فعال در خاک هفت از کاهش معنی‌داری برخوردار بود. بنابراین غلظت آهن فعال و علایم برگی در این پایه تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار گرفت به طوری که با

افزایش آهک فعال خاک، غلظت آهن فعال برگ‌ها نیز کاهش یافت (شکل۸). علایم برگی نهال‌های نارنگی انشو با پایه گوتو در شکل ۹ آورده شده است.



شکل۸- رابطه بین کربنات کلسیم فعال خاک با غلظت آهن فعال در برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه گوتو

شکل ۹- علائم زردی برگی نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک‌های آهکی
(ویژگی خاک‌ها در جدول ۱ تعریف شده است)

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تاثیر زیادی در پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه گوتو دارد. به طوری که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک‌های با آهک کل ۳۰ درصد حاصل شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش آهک فعال در خاک‌ها، غلظت آهن فعال در برگ نهال‌ها کاهش یافت همچنین درجه زردی برگ نهال‌های روی این پایه در خاک‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند و علایم برگی در نهال‌های روی این پایه به ویژه در خاک دو مشاهده شد.

بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، که شاخص زرد برگی نهال‌ها در خاک‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم داشتند این پایه نسبتا متحمل به آهک خاک است و به باغداران توصیه می‌شود در خاک‌های آهکی (خاک‌های با آهک کم، متوسط و زیاد) از این پایه به عنوان پایه جایگزین برای نارنج در احداث باغ استفاده کنند اما در خاک‌های آهکی (با آهک خیلی زیاد) و همچنین در خاک‌های مستعد کمبود منگنز (که احتمال ظهور علائم کمبود منگنز وجود دارد) استفاده از این پایه توصیه نمی‌شود.

فهرست منابع

۱. اخلاقی امیری. نگین. ۱۳۹۹. شاخص‌های عملکردی نارنگی انشو میاگاوا روی شش پایه در شرق مازندران. مجله علوم باغبانی ایران، جلد ۵۲، شماره ۲، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۴۰۱. بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در چند خاک آهکی . مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۳۶، شماره ۱، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۳. اسدی کنگرشاهی، ع. ۱۳۹۸. مدیریت کوددهی درختان بارده مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

۴. اسدی کنگرشاهی، ع. ۱۳۹۸. بررسی وضعیت مدیریت منگنز متناسب با مراحل رشد و تاثیر آن بر عملکرد و کیفیت مرکبات شرق مازندران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۹ شماره ۵، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۵. اسدی کنگرشاهی، ع. ۱۳۹۷. روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و تحمل ترویرسیترنج به خاک‌های آهکی. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، جلد ۹ شماره ۲، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۶. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن اخلاقی امیری. ۱۳۹۹. بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه سی–۳۵ در چند خاک آهکی . مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۳۲، شماره ۲، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۷. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۷. مدیریت احداث باغ پایدار مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

۸. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و علیرضا فلاح. ۱۳۹۷. راهنمای نمونه‌برداری و تفسیر نتایج تجزیه خاک و برگ برای درختان مرکبات. نشریه فنی ۵۶۱، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۹. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن اخلاقی امیری. ۱۳۹۶. روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و درجه زرد برگی نارنگی انشو به پایه سوینگل سیتروملو در در برخی خاک‌های آهکی مازندران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۳۱، شماره ۲، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۱۰. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۴. بررسی شاخص درجه زردی پایه‌های مختلف مرکبات در خاک‌های آهکی شرق مازندران. چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، کرمان، ایران.

۱۱. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۳. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات. جلد اول، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

۱۲. اسدی کنگرشاهی، ع.، غ.ر. ثواقبی، م. سمر و م. فرحبخش. ۱۳۹۲. امکان استفاده از فلورسنس کلروفیل برای ارزیابی تحمل تعدادی از پایه‌های مرکبات به تنش ماتداب. مجله به زراعی کشاورزی، جلد ۱۵، شماره ۴، دانشگاه تهران، تهران، ایران،صفحه ۷۸– ۶۵.

۱۳. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و م. ج. ملکوتی. ۱۳۹۰. تاثیر مصرف چهار ساله روی بر عملکرد و کیفیت پرتقال سانگین. مجله علوم خاک و آب. جلد ۴۲، شماره ۱، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۱۴. اسدی کنگرشاهی، ع. و م. محمودی. ۱۳۷۹. 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 ۱۲ شماره ۸، تهران، ایران.

۱۵. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری، م. محمودی و م. جعفر ملکوتی. ۱۳۸۱. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در مرکبات مازندران (محدودیت‌ها و توصیه‌ها): قسمت دوم ـ عناصر ریزمغذی. نشریه فنی شماره ۲۶۹. نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.

۱۶. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و محمود سمر . ۱۳۹۴. 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.

۱۷. ایزدپناه، ب. ۱۳۵۵. مطالعات نیمه تفضیلی و اجمالی خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی استان مازندران. نشریه شماره۴۹۲. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران، ایران.

۱۸. بی نام. ۱۳۵۳. گزارش های پژوهشی اداره حاصلخیزی و خاکشناسی مازندران. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۱۹. خویی، س. ۱۳۶۰. بررسی وضعیت تغذیه گیاهی مرکبات شرق مازندران. نشریه شماره ۶۴۸، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۲۰. طهرانی، م. م.، م. پسندیده و م. ح. داودی. ۱۳۹۰. 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 ۱۶۱۸. ۳۰ صفحه. ایران.

21. 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.
22. Alcantara, E., I. Montilla, P. Ramirez, P. Garcia-Molina and F.J. Romera. 2012. Evaluation of quince clones for tolerace to iron chlorosis on calcareous soil under field conditions. Scientia Horti. 138: 50 – 54.
23. Arbona, V., M.F. Lopez-Climent, R.M. Perez-Clement and A. Gomez-Cadenas. 2009. Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. Environmental and Experimental Botany. 66: 135 – 142.
24. Basar, H. 2003. Analytical methods for evaluating chlorosis in peach trees. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 34: 327-341.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. Bjorkman, O. and B. Demming. 1987. Photon yield of O2 evolution and chlorophyll fluorescence at 77K among vascular plants of diverse origins. Planta. 170: 489-504.
30. 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.
31. Bowman, K.D. and J. Joubert. 2020. Citrus Rootstocks. In: Talon, M., Caruso, M. and Gmitter, F.G. (Eds), The Genus Citrus. Woodhead Publishing. pp. 105-127..
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. Castle, W.S, R.R. Pelos, C.O. Youtsey, F.G. Gmitter, R.F. Lee, C.A. Ppwell, X. Hu. 1992. Rootstocks similar to sour orange for Florida citrus trees. Proc. Fla. State Hort. Soc. 105: 56-60.
36. 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.

37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. Gibbs, J. and H. Greenway. 2003. Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. Functional Plant Biology. 30: 1-47.
41. Gora, J.S., C. Ram, P.K. Poonia, M. Choudhary and S.M. Haldhar. 2022. Polyploid rootstocks in citrus for mitigation of biotic and abiotic stresses: A review. Journal of Agriculture and Ecology. Vol. 13:1-20.
42. Heber, U., N.G. Bukhov, V.A. Shuvalov, Y. Kobayashi and O.L. Lange. 2001. Protection of the photosynthetic apparatus against damage by excessive illumination in homoiohydric leaves and poikilohydric mosses and lichens. Journal of Experimental Botany. 52: 1999-2006.
43. 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.
44. Ibrahim, A.S. 2020. Growth and Yield of orange (Washington Navel) grafted on different citrus rootstocks. Agricultural Science and Technology. 12: 247-254.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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.
52. 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

53. Maxwell K and Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51: 659-668.
54. 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.
55. Mengel, K. and E. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th edition, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
56. 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.
57. Monneveux, P., M.E. Mekkaoui and X. Xu. 1990. Physiological basis of salt tolerance in wheat. Chlorophyll fluorescence as a new tool for screening tolerant genotypes. In: Wheet Breeding Prospects and Future Approaches. Varna, Bulgaria, pp. 1-33.
58. 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.
59. 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.
60. Morales, F., R. Grasa, A. Abadia and J. Abadia. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees, Journal of Plant Nutrition. 24: 815-825.
61. Neaman, A. and L. Aguirre. 2007. Comparison of different methods for diagnosis of iron deficiency in avocado. Journal Plant Nutrition. 30: 1098 – 1108.
62. 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.
63. 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.
64. Pestana, M., P.J. Correia, M. David, A. Abadia, J. Abadia and A. Varennes. 2011. Response of five citrus rootstocks to iron deficiency. J. Plant Nutr. And Soil Sci. 174: 837 – 846.
65. 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.
66. 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.
67. 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.
68. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation in leaves as a secondary eventin Fe deficiency chlorosis. Journal of Plant Nutrition.23:1629–1643.

69. Salisbury, F.B. and C.W Ross. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. 682 pp.
70. Sallato, B., T. DuPont and D. Granatstein. 2018. Tree fruit soil fertility and plant nutrition in cropping orchards in central Washington. WSU Extension.
71. 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.
72. Singh. A., S. Naqvi and S. Singh. 2002. Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks. Natural Research Centre for Citrus, Kalyani publishers. New Delhi, India.
73. Srivastava, A.K. and S. Singh. 2003. Citrus nutrition. International Book Distributing Co. (IBDC). India.
74. Tagliavini, M. and A.D. Rombola. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. Eur. J. Agron. 15: 71– 92.
75. 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.
76. Yang, L., G. Li, Q. Lin and X. Zhao. 2010. Active carbonate of chestnut soils in different lands. Ecology Environmental Science. 19: 428 – 432.

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۲۷۰-۲۵۱/۱۴۰۳
https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2024.366751.757

اثر حد آستانه بر شاخص‌های کیفیت خاک در برخی باغ‌ها و شالیزارهای مرووک، استان لرستان

آناهید سلمان پور*

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران.anahidsalmanpour@yahoo.com

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۹ و پذیرش:۱۴۰۳/۱۰/۳

چکیده

تحقیق حاضر با هدف مقایسه دو شاخص کیفیت خاک تجمعی و نمورو و مقایسه اثر تعیین یا عدم تعیین حدود آستانه در دو تابع امتیازدهی فازی و سیگموئیدی در دو کاربری باغ زردآلو و شالیزارها در اراضی زیر سد مرووک، در شهرستان دورود استان لرستان انجام شد. برای این منظور تعداد ۱۰ باغ و ۱۰ زمین برنجکاری (مجموعا ۲۰ نقطه) انتخاب شد. از هر نقطه یک نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری تهیه و در مجموع ۱۶ ویژگی خاک و زمین به عنوان مجموعه کل داده انتخاب شد. درصد سنگریزه، جرم مخصوص ظاهری، بافت، شوری، اسیدیته، درصد آهک، کربن آلی، و عناصر تغذیه‌ای قابل جذب شامل فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس، از آنالیزهای آزمایشگاهی و درصد شیب از مشاهدات صحرایی و تصاویر گوگل ارث بدست آمد. وزن‌دهی به ویژگی‌ها و انتخاب مجموعه حداقل داده با روش تجزیه مولفه‌های اصلی انجام شد. امتیازدهی به ویژگی‌ها با استفاده از توابع فازی (با انتخاب حدود آستانه مخصوص هرکاربری) و سیگموئیدی (بدون نیاز به تعیین حدود آستانه) انجام شد. در آخر، شاخص‌های کیفیت تجمعی و نمورو محاسبه و بر اساس گروه‌بندی های ارائه شده در منابع طبقه-بندی شدند. علاوه بر این مقادیر شاخص‌ها در دوکاربری و دو تابع بایکدیگر با استفاده از آزمون‌های آماری مقایسه شد. مطابق نتایج چهار ویژگی اسیدیته، آهن، پتاسیم و منگنز قابل جذب به عنوان مهمترین فاکتورهای موثر بر کیفیت خاک انتخاب شد. در هر دو مجموعه کل و حداقل، مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی بالاتر از ۰/۶ (بسیار خوب) و مقادیر شاخص‌های کیفیت نمورو کمتر از ۰/۴ (متوسط) به دست آمد که نشان از ارزیابی متفاوت شاخص‌ها از کیفیت خاک بود. در هر دوکاربری، مقادیر شاخص‌های کیفیت در مجموعه‌های کل و حداقل مشابه بود. بنابراین می‌توان از ویژگی‌های انتخاب شده به جای کل ویژگی‌های خاک استفاده کرد و ارزیابی یکسانی بدست آورد. همچنین، عدم تعیین حدود آستانه در توابع سیگموئیدی شرایط آلایندگی آهن در شالیزارها را منعکس نکرده و وضعیت کیفیت خاک در شالیزارها را کمی بهتر از باغ‌ها نشان داد. لذا تعیین یا عدم تعیین حدود آستانه بر تفسیر نتایج و ارائه راهکارهای مدیریتی موثر بوده و انجام مطالعاتی در این خصوص برای ویژگی‌هایی از خاک که چنین اطلاعاتی در دسترس نیست در مناطق مختلف ایران پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمورو، توابع فازی، توابع سیگموئیدی

*آدرس ایمیل نویسنده مسئول:anahidsalmanpour@yahoo.com

مقدمه

کیفیت خاک در کنار کیفیت آب و هوا، یکی از سه مولفه مهم در حفظ کیفیت محیط زیست است (بونمان، ۲۰۱۸). کیفیت خاک «ظرفیت خاک برای عملکرد در محدوده اکوسیستم و کاربری زمین برای حفظ بهره‌وری بیولوژیکی، کیفیت محیط و ارتقای گیاه و سلامت حیوانات و در نهایت انسان» تعریف می‌شود (دوران و پارکین، ۱۹۹۴؛ ۱۹۹۷). این تعریف مفهوم پیچیده‌ای دارد زیرا خاک نقش‌های متفاوتی در طبیعت داشته و برای اهداف گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد (نورتکلیف، ۲۰۰۲). کیفیت خاک برای بهبود مدیریت پایدار زمین و پیشگیری از تخریب فزاینده خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارزیابی کیفیت خاک امری ساده نیست، زیرا مدیریت انسانی بخصوص در اراضی زراعی و باغی بر فرآیندهای خاک تأثیر میگذارند (اسمعیلی زاد و همکاران، ۱۴۰۲).

کیفیت خاک از طریق شاخص‌های کیفیت که مجموعه‌ای از ویژگی‌های خاک را یکپارچه سازی می‌کند ارزیابی می‌شود (واسو، ۲۰۱۶). از میان این شاخص‌ها، شاخص‌های کیفیت تجمعی (IQI) و نمورو (NQI) به دلیل سهولت محاسبه و انعطاف‌پذیری در تعداد و نوع ویژگی‌های مورد استفاده در آن‌ها بیشتر توجه محققان قرار گرفته است (درخشان-بابایی و همکاران، ۲۰۲۱). شاخص‌های کیفیت خاک بر اساس کل ویژگی‌های اندازه-گیری شده (مجموعه کل داده‌ها) یا تعداد محدودتر از ویژگی‌ها (مجموعه حداقل داده‌ها) قابل محاسبه است. ویژگی‌های انتخاب شده در هر منطقه بسته به نوع کاربری و مدیریت خاک و هدف مطالعه، از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک انتخاب می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری تمام ویژگی‌های خاک زمان‌بر و پرهزینه است، مجموعه حداقل داده‌ها با هدف شناسایی ویژگی‌هایی از خاک که نماینده مناسبی از کیفیت خاک هستند، نیز در مطالعات تعیین می‌شود (شاهپوری و همکاران، ۱۴۰۲). معمولا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به دلیل ارتباط مستقیم با مشخصات ذاتی و پویای خاک و تاثیر بر شرایط زیستی گیاه و سهولت اندازه‌گیری در اولویت مطالعات قرار می‌گیرند. به عنوان مثال شاهپوری و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی یازده ویژگی خاک در شش کاربری مختلف در شهرستان ملایر مشاهده کردند کربنات کلسیم و پتاسیم محلول مهمترین پارامترهای توضیح کیفیت خاک در این کاربری هاست. ایشان گزارش کردند کشاورزی دیم در مقایسه با باغ، کشاورزی آبی و نواحی صنعتی دارای کیفیت خاک بالاتری است. تقی‌پور و همکاران (۱۴۰۲) نیز با بررسی ۱۲ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک در سه کاربری جنگل، مرتع و کشاورزی در منطقه تنکابن استان گیلان، درصد رس، میانگین وزنی قطر خاکدانه، کربن آلی و فسفر قابل دسترس را به عنوان مهمترین فاکتورهای موثر بر کیفیت خاک گزارش نموده و بیان کردند جنگل و کشاورزی کیفیت بالاتری نسبت به مرتع دارد. باریکلو و همکاران (۱۴۰۲) از میان ۲۲ ویژگی اندازه‌گیری شده در اراضی دشت ارومیه، شش ویژگی خاک شامل درصد شن، نسبت جذب سدیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل جذب، آهک فعال و نیکل را به عنوان مجموعه حداقل داده‌ها و مهمترین فاکتورهای کنترل کننده کیفیت خاک در کاربری های زراعی و باغی معرفی نمودند. رستمی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی دو شاخص کیفیت تجمعی و نمورو در اراضی مرتعی منطقه کانه سرخ ایلام مشاهده کردند از ۱۶ ویژگی انتخاب شده خاک، ۸ ویژگی ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد کربنات کلسیم، گچ، رس، شن، اسیدیته و جرم مخصوص ظاهری به عنوان مهمترین فاکتورهای موثر بر کیفیت خاک به عنوان مجموعه حداقل داده معرفی شد. شهاب آرخازلو و همکاران (۱۳۹۱) نیز شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی و نمورو در دوکاربری زراعت و مرتع در اراضی جنوب مشهد را مقایسه کرده مشاهده کردند تغییرات شاخص کیفیت تجمعی در کاربری‌های مورد مطالعه تقریبا نزدیک به هم بود اما شاخص کیفیت نمورو در کاربری زراعت مقدار کمتری نسبت به مرتع

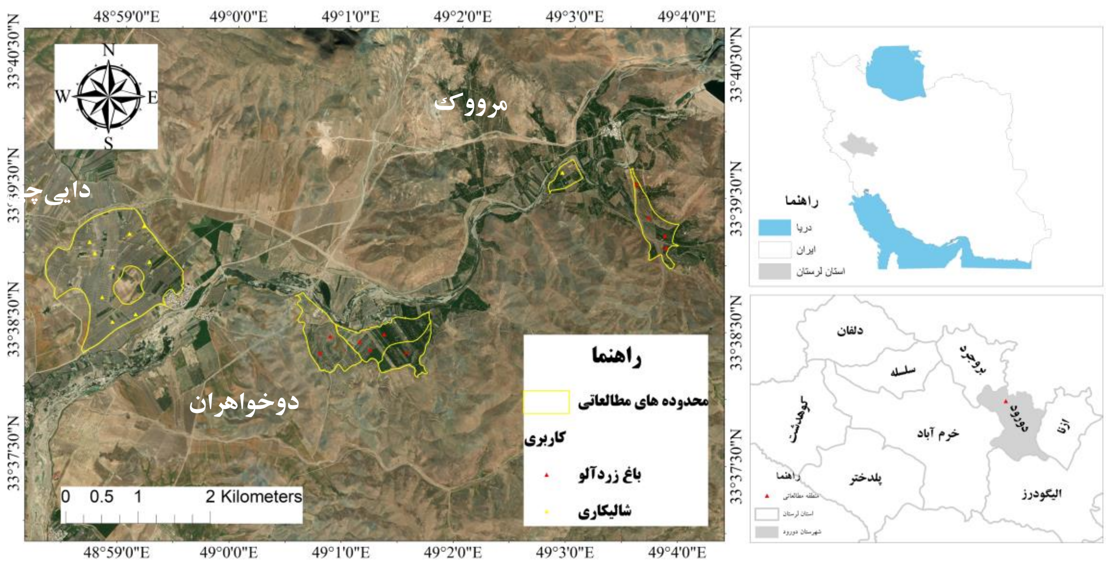
داشت. ایشان گزارش کردند وضعیت پایداری خاک مهمترین فاکتور در تغییر کیفیت خاک در این کاربری ها بوده است.

در محاسبات شاخص‌های کیفیت خاک، ویژگی‌های مورد مطالعه وزن دهی و با استفاده از توابع مختلف و با تعیین حدود آستانه بین صفر تا یک امتیازبندی می‌شوند. تعیین حدود آستانه بدون درنظر گرفتن نوع کاربری از منابع مختلف استخراج می‌شود و برای هر ویژگی مقدار ثابتی در نظر گرفته می‌گردد. بنابراین کیفیت خاک بصورت کلی بررسی شده و نوع کاربری خاک در آن تاثیری ندارد. با توجه به اینکه نیاز هر کاربری با دیگری متفاوت است و حدود آستانه متفاوتی برای ویژگی‌های خاک برای هر کاربری وجود دارد انتظار می رود مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک در هر کاربری نسبت به زمانی‌که شاخص‌ها مجموعا و بدون در نظر گرفتن نوع کاربری محاسبه می‌گردند متفاوت باشد. از این رو پژوهش حاضر با هدف مقایسه شاخص‌های کیفیت تجمعی و نمورو در دو کاربری باغ زردآلو و برنج با حدود آستانه مختص هر کاربری و تابع امتیاز دهی فازی و بدون حدود آستانه و تابع امتیاز دهی سیگموئیدی فازی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل اراضی زیر سد مرووک در امتداد رودخانه تیره، ۳۷ کیلومتری شمال غرب شهر دورود در استان لرستان و در محدوده ″۱۲ ′۵۸ °۴۸ تا ″۳۰ ′۰۴ °۴۸ طول شرقی و ″۰۶ ′۳۸ °۳۳ تا ″۴۱ ′۴۰ °۳۳ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). بر اساس آمار بلندمدت ایستگاه سینوپتیک دورود (۱۳۹۰–۱۴۰۰) میانگین بارندگی و دمای سالانه در این منطقه به ترتیب ۶۵۲/۷ میلی متر و ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد است. ارتفاع از سطح دریا در منطقه مطالعاتی بین ۱۵۲۸ تا ۱۷۷۹ متغیر است.

در مجموع تعداد ۱۰ باغ و ۱۰ زمین برنجکاری (مجموعا ۲۰ نقطه) از سه روستای مرووک، دوخواهران و دای‌چی انتخاب شدند. نمونه برداری از هر نقطه بصورت مرکب انجام شد. به این صورت که سه نمونه بصورت شعاعی و با فاصله ۱۰ متری از نقطه مرکزی برداشت و با نقطه مرکزی مخلوط گردید. سعی بر آن شد تا نقاط نمونه برداری به گونه‌ای انتخاب شود که ویژگی‌های فیزیکی خاک بیشترین تشابه را نسبت به هم داشته باشند تا تاثیر ویژگی‌های ذاتی خاک به حداقل برسد و تغییرات کیفیت خاک در اراضی باغی و شالیکاری بیشتر وابسته به نوع کاربری خاک باشد، هرچند تنوع بالای خاک، زمین‌شناسی و کاربری در این منطقه باعث شد تا عامل محدود کننده‌ای برای برداشت تعداد نمونه‌های بیشتر باشد.



شکل ۱-موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در ایران و استان لرستان و پراکنش مکانی نقاط مطالعاتی در سه منطقه از روستاهای مرووک، دوخواهران و دایی‌چی

از هر نقطه یک نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری سطحی تهیه شد. در مجموع شانزده ویژگی شامل درصد حجمی سنگریزه، جرم مخصوص ظاهری (با روش سیلندر)، بافت و اجزاء آن به روش هیدرومتر (جی و باودر، ۱۹۸۶)، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، اسیدیته در گل اشباع، مواد خنثی شونده خاک به روش تیتراسیون برگشتی (ریچاردز، ۱۹۵۴)، کربن آلی به روش سوزاندن تر (والکی و بلک، ۱۹۳۴)، فسفر قابل جذب (اولسن و سامر، ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم با فلیم فتومتر، آهن، منگنز، مس و روی قابل جذب با روش EDTA و قرائت با دستگاه جذب اتمی در سه تکرار اندازه‌گیری شد. درصد شیب برای هر نقطه با توجه به بازدید میدانی و با کمک گوگل ارث محاسبه گردید.

محاسبه شاخص کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک طی چند مرحله به شرح زیر محاسبه شد.

وزن‌دهی به ویژگی‌ها

وزن دهی به ویژگی‌ها با روش تجزیه مولفه‌های اصلی انجام شد. در این روش وزن هر متغیر برابر با درصد واریانس در هر مولفه می‌باشد. مقدار وزن برای متغیرهای غیر همبسته کامل و برای متغیرهایی که همبستگی دارند نصف می‌شود و مجموع وزن‌ها به عدد یک استاندارد می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۳).

تعیین حدود آستانه و نمره‌دهی به ویژگی‌ها

از آنجا که واحد ویژگی‌های گزینش شده با یکدیگر تفاوت دارند، نمره دهی متغیرها از طریق تبدیل مقادیر هر یک از ویژگی های برگزیده شده به مقادیر بدون واحد انجام می‌شود تا بتوان آنها را با یکدیگر جمع کرد. برای انجام این کار از توابع نمره دهی برای تبدیل ویژگی‌های خاک به مقادیر صفر تا یک استفاده می‌شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش از دو تابع امتیاز دهی استفاده شد:

توابع فازی

برازش توابع فازی برای ویژگی‌های خاک نیاز به تعیین حدود آستانه برای آنها دارد. توابع فازی در سه گروه هرچه بیشتر بهتر، هرچه کمتر بهتر و حدود بهینه تعریف می‌شوند و برای هر تابع حدود آستانه بالایی و پایینی تعریف می‌گردد. هر ویژگی بسته به وضعیت آن در خاک در یکی از این گروه طبقه‌بندی شدند (جدول ۲). حدود آستانه برای درصد سنگریزه، شیب، بافت خاک، شوری، اسیدیته، آهک و کربن آلی خاک بر اساس نوع

کاربری و از جداول نیازهای رویشی زردآلو و برنج (سایس و همکاران، ۱۹۹۳) و حدود آستانه عناصر پرمصرف و کم‌مصرف از جداول گزارش شده توسط ملکوتی و همکاران (۱۳۷۹) استخراج گردید. پس از آن، نمره دهی برای هر دو مجموعه کل و حداقل داده بر اساس معادلات مربوط انجام شد. مقادیر بهینه برای هر ویژگی با عدد یک، و شرایط زیر حد بحرانی با عدد ۰/۱ تعریف شد. مقدار جرم مخصوص ظاهری در شالیزارها با وجودی که بالای حد آستانه قرار داشت (بالاتر از ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مربع) به دلیل وجود شرایط بهینه برای کشت برنج در محدوده مناسب قرار گرفت و به آن نمره یک تعلق گرفت. گروهبندی و حدود آستانه برای هر ویژگی در جدول ۱ آورده شده است.

توابع سیگموئیدی

توابع سیگموئیدی نیازی به حدود آستانه ندارند.
برای این توابع دو گروه بیشتر بهتر و کمتر بهتر برای هر دو مجموعه کل و حداقل داده استفاده شد. گروه بیشتر بهتر شامل آن دسته از ویژگی‌هایی است که افزایش مقادیر آنها باعث بهبود کیفیت خاک؛ و گروه کمتر بهتر شامل ویژگی‌هایی است که کاهش آنها باعث بهبود کیفیت خاک می‌شود. از این رو، درصد رس خاک، کربن آلی، و عناصر تغذیه‌ای شامل فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی و منگنز قابل جذب در گروه بیشتر بهتر و درصد شیب، سنگریزه، آهک، شن و سیلت در گروه کمتر بهتر قرار گرفتند.

در نهایت با استفاده از فرمول زیر امتیاز دهی انجام شد.

$$S = a/(1 + (x/x_0)^b)$$

در این معادله S نمره ویژگی خاک، a بالاترین نمره‌ای که توسط تابع، به ویژگی تعلق می‌گیرد که برابر یک است. x مقدار ویژگی خاک و X_0 میانگین ویژگی مورد مطالعه و b شیب معادله است. این شیب برای تابع " بیشتر بهتر"، برابر ۲/۵- و برای تابع " کمتر بهتر" برابر ۲/۵+ است.

تعیین مجموعه حداقل داده‌ها

برای این بخش نیز از روش تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد. در این روش مولفه‌هایی که مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ داشتند به عنوان مولفه‌های اصلی انتخاب شدند (عسکری و هولدن، ۲۰۱۵). در هر مؤلفه صرف نظر از علامت مثبت یا منفی، متغیری که بیشترین مقدار را داشت یا در محدوده ۱۰ درصد بیشترین وزن موجود در آن مؤلفه بود، به عنوان مجموع حداقل داده‌ها انتخاب شد. در هر مولفه از بین ویژگی‌هایی که با یکدیگر همبستگی داشتند ویژگی که بیشترین بار عاملی را داشت انتخاب و بقیه حذف شد. علامت منفی در هر مولفه به‌دلیل رابطه عکس بین ویژگی مورد نظر با سایر ویژگی‌های درون هر مؤلفه است.

محاسبه شاخص کیفیت خاک

به منظور ارزیابی وضعیت کیفیتی خاک از دو شاخص کیفیت تجمعی (IQI) (دوران و پارکین، ۱۹۹۴) و نمورو (NQI) (کین و ژاو، ۲۰۰۰) استفاده شد. معادلات این دو شاخص در ادامه ارائه می‌شود.

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

در این معادله Wi وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، Ni مقدار نمره تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

جدول ۱- معادلات بکاررفته برای ویژگی های انتخاب شده در باغات زردآلو و شالیزارها

معادلات	UL	LL	ویژگی انتخاب شده	UL	LL	ویژگی انتخاب شده
			برنج			باغ
$F(x)=\begin{cases}0.1 & x\le L\\ 0.9\times\frac{x-L}{U-L}+0.1 & L\le x\le U\\ 0.1 & x\ge U\end{cases}$				80	30	شن (٪)
				70	5	سیلت (٪)
				40	15	رس (٪)
	15	8		15	7	فسفر قابل جذب (mgkg-1)
	750	200		750	300	پتاسیم قابل جذب (mgkg-1)
	25	5		32	5	آهن قابل جذب (mgkg-1)
	2	0		4	2	مس قابل جذب (mgkg-1)
	6	1		3	2	روی قابل جذب (mgkg-1)
	30	9		20	10	منگنز قابل جذب (mgkg-1)
$F(x)=\begin{cases}0.1 & x\le L\\ 0.9\times\frac{x-L}{U-L}+0.1 & L\le x\le U\\ 1 & x\ge U\end{cases}$	2.0	0.8		1.5	0.5	کربن آلی (٪)
	80	20	سیلت (٪)			
	60	30	رس (٪)			
	2.1	1.2	جرم مخصوص ظاهری (gcm-1)			
$F(x)=\begin{cases}1 & x\le L\\ 1-\ 0.9\times\frac{x-L}{U-L} & L\le x\le U\\ 0.1 & x\ge U\end{cases}$	45.0	10.0	شن (٪)			
	8.2	7.5		8.5	7.8	اسیدیته
	6.0	3.0		8.5	2.2	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})
	50.0	40.0		55.0	25.0	مواد خنثی شونده (٪)
	3.0	0.0		70.0	45.0	سنگ و سنگریزه سطحی (٪)
	1.0	0.0		15.0	4.0	شیب (٪)
				2.10	1.2	جرم مخصوص ظاهری (gcm^{-3})

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

در این معادله Pave میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، Pmin حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص است. در نهایت وضعیت کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲-درجه‌بندی کلاس‌های شاخص کیفیت خاک (IQI و NQI) در مجموعه کل و حداقل داده (باریکلو و همکاران، ۱۴۰۲)

	I (بسیار خوب)	II (خوب)	III (متوسط)	IV (پایین)	V (بسیار پایین)
IQI_{TDS}	0.66≤	0.57-0.66	0.48-0.57	0.39-0.48	≤0.39
IQI_{MDS}	0.78≤	0.68-0.78	0.58-0.68	0.48-0.58	≤0.48
NQI_{TDS}	0.45≤	0.39-0.45	0.33-0.39	0.27-0.33	≤0.27
NQI_{MDS}	0.47≤	0.41-0.47	0.35-0.41	0.29-0.35	≤0.29

آنالیزهای آماری

آنالیزهای آماری در این پژوهش در محیط نرم‌افزار SPSS (16.0) انجام شد. این موارد شامل آزمون همبستگی خطی پیرسون برای تمام نمونه‌های خاک برای بررسی همبستگی خطی بین ویژگی‌های خاک، مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت خاک بین دو کاربری با آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری فیشر[1] و مقایسه میانگین دو مجموعه کل و حداقل داده با آزمون تی (در سطح احتمال یک درصد) بودند.

بحث و نتایج

آمار توصیفی ویژگی‌های خاک

خلاصه آمار توصیفی ویژگی‌های خاک در دوکاربری باغ‌های زردآلو و برنجکاری در جدول ۳ آمده است. مطابق جدول، مقادیر رس در باغات ۱۸-۳۶ و در شالیزارها ۵۶-۳۲ درصد، مقادیر شن از ۱۳ تا ۵۱ در باغات و از ۲ تا ۳۵ درصد در شالیزارها متغیر بود. ضریب تغییرات رس و شن در باغات به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۴۵ و در شالیزارها به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۸۲ بود. جرم مخصوص ظاهری در باغ-ها ۱/۳-۱/۳۵ و در شالیزارها ۱/۸-۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مربع بود. درصد آهک از ۳/۸ تا ۲۷/۴ در باغ‌ها و از ۶/۸ تا ۲۳ در شالیزارها تغییر می‌کرد و ضریب تغییرات آن به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۳۷ برای باغات و شالیزارها بود. درصد سنگ و سنگریزه در شالیزارها صفر و در باغات از ۲ تا ۴۰ و درصد شیب در شالیزارها کمتر از یک و در باغات از کمتراز یک تا ۱۲ متغیر بود. گوپال (۲۰۱۵) بیان کرده است ضریب تغییرات بالا در ویژگی‌های خاک ناشی از تنوع در فرایندهای خاک‌سازی، نوع کاربری و کوددهی است. براین اساس به طور کلی ویژگی‌های ذاتی خاک در باغ‌های زردآلو نسبت به شالیزارها تنوع بیشتری دارد. در اراضی باغی شیب و توپوگرافی با تاثیر بررطوبت خاک، فرایند غالب بر تغییرات ویژگی‌های خاک است، بخصوص زمانی‌که خاک پوشش گیاهی نداشته باشد، درصورتی‌که تغییرات مکانی در شالیزارها باشیب هموار تحت تاثیر شیب، رطوبت یا دوره رشد گیاه نیست (ژو و لین، ۲۰۱۱).

مقادیر شوری در خاک‌های مورد مطالعه بسیار پایین و در باغ‌ها بین ۰/۳۱ تا ۰/۸۱ و در شالیزارها ۰/۳۷ تا ۰/۷۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. مقادیر کربن آلی در باغات بین ۱/۱۳ و ۲/۲۲ و در شالیزارها ۰/۵۲ و ۰/۹۹ متغیر بود. این مقادیر نشان می‌داد باغات از نظر ذخایر کربن آلی وضعیت مناسب‌تری نسبت به شالیزارها دارد که می‌تواند به مدیریت اراضی مانند مصرف کودهای آلی و حفظ بقایای گیاهی بر سطح خاک در باغات و خارج کردن یا سوزاندن کاه و کلش پس از فصل برداشت در شالیزارها مرتبط باشد .

[1] Fisher's least significant difference test (LSD)

جدول ۳- آماره‌های توصیفی داده‌های خصوصیات خاک در باغات زردآلو و مزارع برنج و کل نمونه‌های خاک

آماره	هدایت الکتریکی (dSm-1)	اسیدیته	آهک (٪)	کربن آلی (٪)	عناصر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	سنگریزه سطحی (%)	شیب (٪)	جرم مخصوص ظاهری ($grcm^{-3}$)
					فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس						
باغ																
دامنه	0.50	0.56	27.4	1.52	7.00	300	7.94	12.26	1.74	1.72	51	31	36	38	11	0.05
کمینه	0.31	7.43	3.8	0.7	7.00	280.00	4.14	4.88	0.32	0.24	13	16	18	2	1	1.30
بیشینه	0.81	7.99	31.2	2.22	14.00	580.00	12.08	17.14	2.06	1.96	64	47	54	40	12	1.35
میانگین	0.51	7.6	11.36	1.13	9.13	428.40	7.46	10.37	1.11	1.00	34.3	30.7	35	25.2	6.4	1.33
انحراف معیار	0.19	0.17	8.6	0.50	2.30	96.22	3.65	3.54	0.62	0.5	15.27	10.1	10.96	13.76	4.03	0.02
واریانس	0.04	0.03	74	0.25	5.31	9257.82	7.00	12.54	0.38	0.25	233.12	102.01	120.22	189.29	16.27	0.00
ضریب تغییرات (٪)	37.25	2.24	75.70	44.25	25.19	22.46	48.93	34.14	55.86	50.00	44.52	32.90	31.31	54.60	62.97	1.50
برنج																
دامنه	0.35	0.34	23	0.47	3.9	250	28.5	6.3	4.61	3.84	35	14	24	–	–	0.12
کمینه	0.37	7.45	6.8	0.52	4.5	110	23.89	8.52	1.28	1.68	2	31	32	–	–	1.72
بیشینه	0.72	7.79	29.8	0.99	8.4	360	52.39	14.82	5.89	5.52	37	45	56	–	–	1.80
میانگین	0.57	7.65	19.82	0.81	5.85	238.9	39.65	10.93	4.2	3.67	12.3	39.3	48.4	–	–	1.77
انحراف معیار	0.12	0.1	7.3	0.16	1.34	85.2	7.83	2.18	1.27	1.11	10.04	4.16	7.11	–	–	0.04
واریانس	0.01	0.01	53.23	0.03	1.79	7259	61.26	4.75	1.62	1.22	100.9	17.34	50.49	–	–	0.00
ضریب تغییرات (٪)	21.05	1.31	36.83	19.75	22.91	35.66	19.75	19.95	30.24	30.25	81.63	10.59	14.69	-	-	2.26

جدول ۴-آزمون همبستگی بین ویژگی های خاک

	هدایت الکتریکی (dSm-1)	اسیدیته	آهک (٪)	کربن آلی (٪)	عناصر قابل جذب (mgKg-1): فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	سنگریزه سطحی (٪)	شیب (٪)	جرم مخصوص ظاهری ($grcm^{-3}$)
هدایت الکتریکی (dSm-1)	1															
اسیدیته	.557*	1														
آهک (٪)	.347	.303	1													
کربن آلی (٪)	-.157	-.258	-.285	1												
عناصر قابل جذب (mg/kg): فسفر	-.353	-.528*	-.481*	.565**	1											
پتاسیم	-.270	-.247	-.396	.751**	.707**	1										
آهن	.216	.209	.474*	-.860**	-.595**	-.662**	1									
منگنز	.222	.165	.260	-.017	.169	.257	.203	1								
روی	.181	.038	.438	-.611**	-.542*	-.540*	.780**	.172	1							
مس	.317	.243	.530*	-.721**	-.490*	-.460*	.918**	.347	.670**	1						
شن (٪)	-.270	-.151	-.417	.445*	.221	.137	-.679**	-.474*	-.539*	-.754**	1					
سیلت (٪)	.241	.052	.341	-.353	-.108	-.203	.518*	.453*	.446*	.537*	-.792**	1				
رس (٪)	.218	.186	.360	-.392	-.247	-.048	.614**	.359	.462*	.712**	-.883**	.413	1			
سنگریزه سطحی (٪)	.125	.103	-.530*	.690**	.543*	.658**	-.768**	-.039	-.748**	-.680**	.375	-.367	-.278	1		
شیب (٪)	-.145	-.267	-.646**	.600**	.676**	.451*	-.740**	-.347	-.708**	-.697**	.419	-.321	-.378	.717**	1	
جرم مخصوص ظاهری ($grcm^{-3}$)	.166	.197	.492*	-.846**	-.679**	-.708**	.934**	.080	.812**	.829**	-.694**	.516*	.638**	-.796**	-.719**	1

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

(تریبرتی و همکاران، ۲۰۰۸). مدیریت کربن آلی خاک بر عناصر تغذیه‌ای و به تبع آن کیفیت خاک نیز تاثیر دارد که می‌توان آن را با همبستگی بین کربن آلی خاک و عناصر تغذیه‌ای در خاک‌های مورد مطالعه تایید کرد (جدول ۴).

مطابق نتایج مقادیر عناصر فسفر و پتاسیم در باغ‌ها در محدوده مناسب (به ترتیب ۱۴-۷ و ۵۸۰-۲۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در شالیزارها در محدوده کمبود (به ترتیب ۸/۴-۴/۵ و ۳۶۰-۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) قرار داشت. آهن قابل جذب در باغات در محدوده مناسب (۱۲/۰۸-۴/۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم) و در شالیزارها تقریبا تمام خاک‌ها مطابق جدول ۱ بالاتر از حد بالایی آستانه (ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۹) قرار داشت (۵۲/۳۹-۲۳/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم). در هر دوکاربری مقادیر مس و روی قابل جذب زیر حد بحرانی بود و منگنز قابل جذب از حد کمبود تا مناسب متغیر بود. مقادیر روی و مس قابل جذب در باغات به ترتیب در محدوده ۲/۰۶-۰/۳۲ و ۱/۹۶-۰/۲۴ و در شالیزارها به ترتیب ۵/۸۹- ۱/۲۸ و ۵/۵۲-۱/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار داشت. مقادیر منگنز قابل جذب نیز به ترتیب ۱۷/۱۴-۴/۸۸ برای باغات و ۱۴/۸۲-۸/۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم برای شالیزارها بود. بیش‌بود آهن، کمبود روی و مس در شالیزارها در اثر غرقاب شدن خاک، ایجاد شرایط احیاء و افزایش قابلیت دسترسی آنها و انحلال به افق‌های پایین‌تر اتفاق می‌افتد (فلاح نصرت آباد، ۱۳۹۹). همچنین تحقیقات نشان داده است کشت متراکم و عدم تعادل در استفاده از کودهای آلی، تثبیت توسط خاک و محدودیت منابع ذاتی در دراز مدت باعث کاهش قدرت بازیابی فسفر و پتاسیم در شالیزارها می‌گردد (غفاری نژاد و همکاران، ۱۳۹۶؛ جلالی و متین، ۲۰۱۳؛ گلستانی‌فرد و همکاران، ۲۰۲۰).

وزن دهی با روش تجزیه عامل ها

مقادیر سهم هر ویژگی[2] حاصل از تجزیه عاملی در مجموعه کل و حداقل داده در جدول ۵ آمده است.

[2] Communality

جدول ۵- درصد واریانس و وزن هر ویژگی در روش مجموعه کل داده‌ها و مجموعه حداقل داده‌ها

متغیر	کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک		حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک	
	درصد واریانس	وزن	درصد واریانس	وزن
هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	0.784	0.029		
اسیدیته	0.833	0.031	0.686	0.249
آهک (٪)	0.656	0.027		
کربن آلی (٪)	0.768	0.032		
فسفر قابل جذب ($mgKg^{-1}$)	0.662	0.031		
پتاسیم قابل جذب ($mgKg^{-1}$)	0.835	0.028	0.721	0.231
آهن قابل جذب ($mgKg^{-1}$)	0.942	0.036	0.722	0.297
منگنز قابل جذب ($mgKg^{-1}$)	0.735	0.027	0.681	0.224
روی قابل جذب ($mgKg^{-1}$)	0.84	0.030		
مس قابل جذب ($mgKg^{-1}$)	0.929	0.034		
شن (٪)	0.774	0.036		
سیلت (٪)	0.604	0.021		
رس (٪)	0.69	0.032		
سنگریزه سطحی (٪)	-0.762	0.036		
شیب (٪)	-0.818	0.032		
جرم مخصوص ظاهری ($grcm^{-3}$)	0.937	0.037		

سهم هر ویژگی درصد واریانس آن است که نشان دهنده میزان تاثیر آن ویژگی در کنترل کیفیت خاک است (کمالی و همکاران، ۱۴۰۰). وزن هر ویژگی نیز سهم هر ویژگی است که به عدد یک استاندارد شده است. وزن ویژگی‌هایی که با یکدیگر همبستگی دارد در مجموعه کل داده به دو تقسیم می‌گردد. نتایج نشان داد در هر دو مجموعه کل و حداقل داده ها بیشترین سهم مربوط به آهن قابل جذب بود. در مجموعه کل داده ها، پس از آهن قابل جذب بیشترین سهم‌ها به ترتیب مربوط به مس قابل جذب و جرم مخصوص ظاهری و کمترین سهم‌ها مربوط به درصد سیلت خاک بود. از میان ۱۶ ویژگی، چهار ویژگی اسیدیته، پتاسیم، آهن و منگنز قابل جذب به عنوان مجموعه حداقل داده انتخاب شد که از میان آن‌ها بیشترین سهم مربوط به آهن قابل جذب و کمترین مربوط به منگنز قابل جذب بود.

و انتخاب مجموعه حداقل داده به عنوان مناسب‌ترین معیار برای انتخاب متغیرهای تاثیرگذار بر کیفیت خاک و طبقه-بندی شاخص‌های کیفیت خاک گزارش شده است (زنگی آبادی و همکاران، ۱۴۰۰). هرچند مقدار بیشتر متغیرها نماینده جامع‌تری از کیفیت خاک است، اما تکرار متغیرها زمانی‌که بین آن‌ها همبستگی وجود داشته باشد، مشکلاتی ایجاد می‌کند. همچنین آنالیزهای آزمایشگاهی به‌دلیل ویژگی‌های زیاد خاک، طاقت‌فرسا می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۱۴). از این رو انتخاب مجموعه حداقل داده‌ها گزینه مطلوبی برای محققان به شمار می‌رود. با این وجود باید خاطر نشان کرد حذف برخی ویژگی‌ها به معنی از دست دادن اطلاعات کیفیت خاک از طریق متغیرهای حذف شده است و بنابراین محدودیتی که در مجموعه حداقل داده ها وجود دارد را نمی‌توان نادیده گرفت (رحمانی‌پور و همکاران، ۲۰۱۴).

نمره دهی با روش تجزیه به مولفه های اصلی

نتایج حاصل از روش تجزیه مولفه‌های اصلی در جدول ۶ آمده است. این روش برای وزن دهی به ویژگی‌ها

جدول ۳–نتایج تجزیه مولفه های اصلی در منطقه مطالعاتی

مقادیر ویژه	7.24	2.90	1.82
درصد	0.452	0.181	0.114
درصد تجمعی	0.452	0.633	0.747
مولفه‌های اصلی / متغیرها	PC1	PC2	PC3
هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	0.33	-0.027	0.784
اسیدیته	0.297	0.115	0.833
آهک (٪)	0.656	-0.038	0.246
کربن آلی (٪)	-0.209	-0.768	0.155
فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	-0.662	-0.524	-0.296
پتاسیم قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	-0.042	-0.835	-0.203
آهن قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	0.942	0.148	-0.138
منگنز قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	0.319	-0.735	0.168
روی قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	0.840	0.104	-0.192
مس قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	0.929	-0.059	-0.057
شن (٪)	-0.774	0.508	0.033
سیلت (٪)	0.604	-0.439	-0.02
رس (٪)	0.690	-0.421	-0.033
سنگریزه سطحی (٪)	-0.762	-0.277	0.424
شیب (٪)	-0.818	-0.099	0.014
جرم مخصوص ظاهری ($grcm^{-3}$)	0.937	0.188	-0.164

در مجموع سه مولفه اصلی دارای مقادیر ویژه بیشتر از یک بودند که مجموعا حدود ۷۴/۷ درصد از تغییرات را به خود اختصاص دادند. در مولفه اول به ترتیب آهن قابل جذب، جرم مخصوص ظاهری، مس قابل جذب بیشترین بار عاملی را داشتند. پس از آن روی قابل جذب، شیب، سنگریزه، شن، رس، فسفر، آهک و سیلت قرار داشت. بنابراین می‌توان به این شکل تفسیر نمود که در مولفه اول از گروه عناصر تغذیه‌ای آهن، مس، روی و فسفر قابل جذب و از گروه ویژگی‌های خاک و زمین شن، سیلت، رس، سنگریزه سطحی، شیب، جرم مخصوص ظاهری و آهک از عوامل موثر بر کیفیت خاک بوده و حدودا ۴۵ درصد تغییرات آن را کنترل می‌کنند. در مولفه دوم پتاسیم قابل جذب، کربن آلی و منگنز قابل جذب بیشترین بار عاملی را داشتند که می‌توان آن را گروه ویژگی‌های آلی و تغذیه‌ای خاک نامید که حدود ۱۸ درصد از رفتار خاک متاثر از این عوامل است. در مولفه سوم شوری و اسیدیته نیز حدود ۱۱ درصد تغییرات خاک را توضیح می‌دهند. بنابراین از میان ویژگی‌های شیمیایی که متاثر از مدیریت خاک است عناصر تغذیه‌ای نقش کلیدی‌تری در کنترل کیفیت خاک در منطقه مطالعاتی داشته‌اند.

برای تعیین مجموعه حداقل داده‌ها، ابتدا متغیرها با بیشترین بار عاملی مشخص شدند و سپس از بین متغیرهایی که دارای همبستگی بودند آن‌که دارای بار عاملی بیشتری بود انتخاب شد. مطابق این الگو، از مولفه اول آهن قابل جذب، از مولفه دوم پتاسیم و منگنز قابل جذب و از مولفه سوم اسیدیته انتخاب شد. بنابراین در منطقه مطالعاتی آهن، پتاسیم و منگنز قابل جذب از عناصر پرمصرف و ریزمغذی ها و اسیدیته نقش موثر در کنترل کیفیت خاک در دوکاربری زردآلو و برنج داشته اند. اهمیت این ویژگی‌ها به عنوان فاکتورهای تاثیر گذار بر کیفیت خاک در مطالعات مختلف گزارش شده است. به عنوان مثال شکوری و همکاران (۱۳۹۹) از میان ۱۶ ویژگی خاک، درصد نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، درصد رس، رطوبت اشباع و انرژی انتگرالی را به عنوان مجموعه حداقل داده در شالیزارهای بخش مرکزی

استان گیلان معرفی نمودند. در تحقیقی دیگر شش ویژگی شامل کربن آلی، اسیدیته، تعداد نماتد، پتاسیم، فسفر و روی قابل جذب از میان ۱۵ ویژگی خاک توسط یغمائیان و همکاران (۱۳۹۹) به عنوان مجموعه حداقل داده در چایکاری‌های غرب استان گیلان گزارش شد. اسمعیلی زاد و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی وضعیت کیفیت خاک در اراضی زیرحوضه هنام در استان لرستان نیز از میان ۲۲ ویژگی خاک، ۱۵ ویژگی را به عنوان مجموعه حداقل داده معرفی کردند که عناصر قابل جذب مس، روی، اهن و منگنز، شوری، درصد آهک و درصد رس خاک در آن مشاهده می‌شد. زاهدی فر (۲۰۲۳) نیز درصد شن، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، فسفر و روی قابل جذب و درصد رطوبت حجمی و وزنی خاک را از عوامل مهم در کنترل کیفیت خاک در سه کاربری کشاورزی، جنگل و مرتع عنوان کرد.

مقایسه شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی و نمورو

نتایج مقایسه میانگین بین دو شاخص کیفیت خاک تجمعی و نمورو و در دو کاربری باغ‌ها و برنجکاری در جدول ۷ آمده است. در هر کاربری دو شاخص کیفیت تجمعی و نمورو با دو روش نمره دهی فازی و سیگموئیدی نشان داده شده است.

جدول ۴-میانگین مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک در دو تابع نمره‌دهی همراه با مقایسه میانگین هر کاربری

	شاخص کیفیت خاک تجمعی				شاخص کیفیت خاک نمورو			
	تابع فازی[1]		تابع سیگموئیدی[2]		تابع فازی[1]		تابع سیگموئیدی[2]	
کاربری	TDS	MDS	TDS	MDS	TDS	MDS	TDS	MDS
باغ	0.76	0.68	0.73	0.64	0.37	0.30	0.28	0.28
برنج	0.72	0.62	0.95	0.86	0.36	0.29	0.38	0.37
مقایسه میانگین توابع در دو کاربری با آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری فیشر								
Sig.	0.462	0.132	0.246	0.003	0.411	0.114	0.000	0.000
مقایسه میانگین دو مجموعه حداقل و کل با آزمون تی								
Sig. (T-Test)	0.000		0.000		0.000		0.000	

۱توابع فازی با حدود آستانه مخصوص هر کاربری

۲ توابع سیگموئیدی بدون حدود آستانه

در هر کاربری دو شاخص کیفیت تجمعی و نمورو با دو روش نمره دهی فازی و سیگموئیدی نشان داده شده است. مطابق جدول مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی بالاتر از ۰/۶ و مقادیر شاخص‌های کیفیت نمورو کمتر از ۰/۴ بدست آمد. چنانچه این داده‌ها را با گروهبندی ارائه شده توسط باریکلو وهمکاران (۱۴۰۲) مقایسه نماییم (جدول ۱)، خاک‌های باغ‌ها و شالیزارها در منطقه مطالعاتی مطابق مقادیر شاخص کیفیت تجمعی در گروه بسیار خوب و بر اساس مقادیر شاخص کیفیت نمورو در گروه متوسط ارزیابی می‌گردد. از مشاهدات صحرایی و وضعیت ویژگی‌های فیزیکی و تغذیه‌ای خاک می‌توان استنباط کرد که مقادیر شاخص‌های کیفیت تجمعی ارزیابی واقع‌بینانه‌تری نسبت به شاخص‌های نمورو داشته باشند. محققان نیز بیان کرده‌اند شاخص کیفیت تجمعی قابلیت بالاتری برای ارزیابی کیفیت خاک نسبت به شاخص کیفیت نمورو دارد و مقادیر آن به واقعیت نزدیک‌تر است (واسو و همکاران، ۲۰۱۶؛ کاراسا و همکاران، ۲۰۲۱)، زیرا شاخص کیفیت تجمعی علاوه بر امتیاز دهی به ویژگی‌های خاک برای هر کدام وزن‌هایی در نظر می‌گیرد در حالیکه شاخص کیفیت نمورو بر اساس مقادیر میانگین و کمترین امتیاز به ویژگی‌ها محاسبه می‌گردد و ارزیابی کم برآوردی از کیفیت خاک ارائه می‌دهد (رستمی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸). قابلیت و حساسیت شاخص کیفیت تجمعی در ارزیابی شاخص کیفیت خاک در مطالعات

چاودهاری و همکاران (۲۰۲۴) و رومادون و همکاران (۲۰۲۴) نیز گزارش شده است.

مقایسه شاخص‌های کیفیت خاک در دو مجموعه کل و حداقل داده

مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در دومجموعه کل و حداقل و نتایج آزمون تی برای تشخیص تفاوت معنی‌داری بین دو مجموعه در جدول ۷ آمده است. مطابق نتایج، مقادیر شاخص کیفیت خاک تجمعی با مجموعه کل داده در هر دو کاربری بین ۰/۹– ۰/۷ و برای مجموعه حداقل داده ۰/۸– ۰/۶ بدست آمد. مقادیر شاخص کیفیت نمورو نیز برای مجموعه کل داده ۰/۳۸–۰/۲۸ و برای مجموعه حداقل داده ۰/۳۷–۰/۲۸ بدست آمد. نتایج آزمون–تی نیز نشان داد شاخص‌های کیفیت خاک و مجموعه کل تفاوت معنی داری در سطح یک درصد با شاخص‌های کیفیت و مجموعه حداقل داشتند، با این وجود حذف برخی ویژگی‌های خاک برای تعیین مجموعه حداقل داده تغییری در ارزیابی و تفسیر وضعیت کیفیت خاک بوجود نیاورد. این بدان معناست که شاخص‌های کیفیت تجمعی با مجموعه حداقل با استفاده از ویژگی‌های کمتر ارزیابی مشابه مجموعه کل داده‌ها ارائه داد و بنابراین می‌توان از ویژگی‌های انتخاب شده به جای کل ویژگی‌های خاک استفاده کرد.

نظرات متفاوتی از قابلیت ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک با مجموعه کل و حداقل داده ارائه شده است. دوران و پارکین (۱۹۹۷) معتقد بودند شاخص کیفیت خاک تجمعی با مجموعه کل داده، دقت و حساسیت بیشتری برای ارزیابی کیفیت خاک دارد و شاخص‌های بدست آمده از مجموعه حداقل داده به معنای حذف قسمتی از اطلاعات است که چهارچوبی را برای ارزیابی کیفیت خاک ارائه نمی‌دهد، هرچند تعیین مجموعه حداقل داده برای شناسایی و اندازه-گیری ویژگی‌های مهم در اکوسیستم خاک، درک مدیریت کشاورزی بر عملکرد و کیفیت خاک برای مدیران، متخصصان و بهره‌برداران بسیار کمک کننده است. از سوی دیگر محققانی مانند کمالی و همکاران (۱۴۰۰) و آلابز و همکاران (۲۰۲۱) بیان کرده اند مجموعه حداقل داده در شاخص‌های کیفیت خاک نتایج قابل قبولی برای ارزیابی کیفیت خاک ارائه می‌دهند.

مقایسه شاخص‌های کیفیت خاک در دو روش امتیازدهی فازی و سیگموئیدی

میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در دو روش امتیازدهی فازی و سیگموئیدی در جدول ۷ آمده است. نتایج نشان داد مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک که با دوتابع متفاوت فازی و سیگموئیدی محاسبه شده بودند روندهای متفاوتی را از وضعیت کیفیت خاک در کاربری ها نشان دادند. بطور کلی مطابق مقادیر شاخص‌های کیفیت تجمعی و نمورو که با استفاده از توابع امتیاز دهی فازی محاسبه شده بودند، برای هر دو مجموعه کل و حداقل داده، در باغ بیشتر از شالیزار بود، درحالی‌که شاخص‌هایی که با استفاده از توابع امتیازدهی سیگموئیدی محاسبه شده‌بودند در هر دو مجموعه کل و حداقل داده در شالیزار بیشتر از باغ بود. میانگین شاخص کیفیت خاک تجمعی با روش فازی در دو مجموعه کل و حداقل در باغ‌ها به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۶۸ و در شالیزارها به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۶۲ بود. میانگین شاخص کیفیت نمورو با روش فازی در دو مجموعه کل و حداقل در باغ‌ها به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۳ و در شالیزارها ۰/۳۶ و ۰/۲۹ بود. در مقابل میانگین شاخص کیفیت خاک تجمعی با روش سیگموئیدی در دو مجموعه کل و حداقل داده در باغ‌ها به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۶۴ و در شالیزارها به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۸۶ بود. همچنین مقادیر شاخص کیفیت نمورو با روش سیگموئیدی برای هر دو مجموعه کل و حداقل در باغ‌ها ۰/۲۸ و در شالیزارها به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۳۷ بدست آمد. بر

اساس نتایج آزمون مقایسه میانگین (جدول ۷) تنها در توابع سیگموئیدی و بین مقادیر شاخص کیفیت تجمعی در مجموعه حداقل داده و مقادیر شاخص کیفیت نمورو، در هر دو مجموعه داده در دو کاربری تفاوت معنی‌دار وجود داشت و در بقیه موارد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

همانگونه که پیشتر به آن اشاره شد آهن، پتاسیم و منگنز قابل استفاده و اسیدیته بیشترین سهم را در کنترل کیفیت خاک در منطقه مطالعاتی بر عهده داشتند که به عنوان مجموعه حداقل نیز انتخاب شدند. بنابراین امتیازدهی مثبت به وضعیت مناسب این ویژگی‌ها در توابع فازی در باغات منجر به بیشتر شدن مقادیر شاخص کیفیت خاک نسبت به شالیزارها شد. از سوی دیگر اثر منفی آلایندگی آهن قابل جذب در شالیزارها در توابع سیگموئیدی نادیده گرفته شد و باعث شد مقادیر شاخص کیفیت خاک در این کاربری مشابه یا کمی از باغات بیشتر باشد. از این نتایج اینگونه استنباط می‌شود که توابع سیگموئیدی تاثیرات کاربری بر ویژگی‌های خاک را به خوبی انعکاس نداده است و تعیین حدود آستانه می‌تواند نقش مهمی بر ارزیابی و تفسیر کیفیت خاک داشته باشد.

بطور کلی تعیین حدود آستانه به منظور تعیین ارتباط یا عدم ارتباط بین دو گروه داده ضروری است، هر چند انتخاب روش مناسب برای تعیین حدود آستانه به دلیل تاثیر آن بر نتایج یکی از چالش‌های موجود در ارزیابی کیفیت خاک است (کوتو و همکاران، ۲۰۱۷). حدود آستانه‌ای که در معادلات غیر خطی استفاده می‌شوند، بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام شده پیشین و نظر متخصصان (کای و همکاران، ۲۰۱۹) تعیین می‌شود یا متناسب با شرایط مورد مطالعه از منابع مختلف استخراج می‌گردد (تقی‌پور، ۱۴۰۲)؛ و از این رو معمولا مفاهیم معنادارتری را برای شاخص‌های کیفیت خاک ارائه می‌دهد. با این وجود توابع سیگموئیدی که نیاز به تعیین حدود آستانه ندارند محبوبیت بیشتری دارند زیرا این حدود برای همه ویژگی‌های خاک و برای تمام خاک‌ها به درستی تعیین نشده و باید از منابع استخراج گردد (رئیسی، ۲۰۱۷). به همین دلیل در بیشتر مطالعات به جای تعیین حدود آستانه تمرکز بر تعیین ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک است (کای و همکاران، ۲۰۱۹)، زیرا شاخص‌هایی که با هزینه اندک قابل محاسبه بوده و نتایج آن به راحتی با استفاده از آستانه‌های از پیش تعریف شده قابل تفسیر باشد بیشتر مورد توجه هستند (چروبین، ۲۰۱۵).

در نهایت باید به این نکته نیز اشاره کرد هر چند به نظر می‌رسد ارائه دادن یک شاخص کلی کیفیت خاک مطلوب محققان است اما این شاخص‌ها چندان مفهومی ندارند زیرا کیفیت خاک در نهایت در ارتباط با مجموعه‌ای از عملکردهای خاص خاک ارزیابی می‌شود. به همین دلیل در بیشتر تحقیقات معیارها بر اساس تجربه، عملکرد محصول یا موقعیت های کیفیت خاک منطقه‌ای تعریف می-شوند (ارشد و مارتین، ۲۰۰۲). از این رو پیشنهاد شده است بجای ارائه یک شاخص کیفیت کلی، استفاده از یک روش نمایش گرافیکی از نحوه عملکردهای مختلف خاک در شرایط متفاوت در برقراری ارتباط با بهره‌برداران، کاربران وعموم مردم میتواند موثرتر باشد. همچنین می‌توان بسته به مجموعه مواردی که کیفیت خاک را تهدید می‌کند یا خدماتی‌که خاک در اکوسیستم ارائه می‌دهد مجموعه‌های متفاوتی از کیفیت خاک با وزن‌های مختلف را ارائه داد (بونمان و همکاران، ۲۰۰۸). در پایان باید خاطر نشان کرد لزوم انجام مطالعات در خصوص تعیین حدود آستانه استاندارد با مجموعه داده‌های بزرگتر برای ویژگی‌هایی از خاک که حدود آستانه برای آن‌ها وجود ندارد در مناطق مختلف ایران توسط متخصصان و محققان را نمی‌توان نادیده گرفت.

نتیجه گیری کلی

در تحقیق حاضر وضعیت کیفیت خاک در دو کاربری باغ و شالیزار در برخی خاک‌های اراضی زیر سد

مرووک با استفاده از دو شاخص کیفیت خاک تجمعی و نمورو و دو تابع امتیازدهی فازی و سیگموئیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های آماری نشان داد ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها در هر دو کاربری تغییرپذیری کمتری نسبت به ویژگی‌های فیزیکی داشتند که از آن می‌توان استنباط کرد علارغم تنوع خاک‌ها در منطقه، مدیریت اراضی مشابه و نزدیک به هم بوده است. به همین دلیل از میان ۱۵ ویژگی، آهن قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، منگنز قابل جذب و اسیدیته که بیشتر تحت تاثیر مدیریت قرار می‌گیرند بیشترین سهم را در کنترل وضعیت کیفیت خاک بر عهده داشتند و توسط مدل تجزیه عامل‌های اصلی به عنوان مجموعه حداقل داده انتخاب شدند. استفاده از مجموعه حداقل داده نه تنها باعث کاهش مقادیر شاخص کیفیت خاک نشد بلکه ارزیابی مشابهی در مقایسه با شاخص‌های محاسبه شده با مجموعه کل بدست آمد.

بر اساس نتایج، مقادیر شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی بسیاربالاتر از شاخص‌های کیفیت خاک نمورو بدست آمد. شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی اراضی مورد مطالعه را در گروه بسیار خوب و شاخص کیفیت خاک نمورو خاک‌ها را در گروه متوسط ارزیابی کرد. این تفاوت به دلیل کم‌برآورد کردن شاخص‌های کیفیت نمورو از ارزیابی کیفیت خاک بود. بنابراین می‌توان شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی را قابل اعتبارتر در نظر گرفت. نتایج همچنین نشان داد عدم تعیین حدود آستانه در توابع سیگموئیدی شرایط آلایندگی آهن در شالیزارها را منعکس نکرده و وضعیت کیفیت خاک در شالیزارها را کمی بهتر از باغات نشان داد. بنابراین تعیین یا عدم تعیین حدود آستانه برای توابع امتیازدهی می‌تواند ارزیابی از کیفیت خاک را تغییر دهد و تفسیر متفاوتی از کیفیت خاک ارائه دهد. شاخص‌های کیفیت خاک برای تعیین اثرات مدیریت خاک بر روند تغییرات کیفیت خاک است و تفسیر نامناسب می‌تواند ارائه راهکارمناسب برای مدیریت پایدار خاک را با چالش مواجه کند. ازاین رو انجام مطالعاتی در خصوص تعیین حدود آستانه استاندارد برای ویژگی‌هایی از خاک که حدود آستانه برای آن‌ها وجود ندارد در مناطق مختلف ایران و با مجموعه داده بزرگ‌تر توسط متخصصان و محققان لازم و ضروری است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق از محل اعتبار قرار داد (۱۳۰۶۰۱۲۰۰۴) (تجهیز و نوسازی اراضی زیر مخزنی و سدهای انحرافی مستقل و شالیزارها: در اجرای تکالیف قانون حفاظت از خاک بر اساس مطالعات خاک سنجی و تهیه نقشه های مدیریتی خاک (۳۰۵/۶/۱۰۷) انجام شده است. بدین‌وسیله از معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی که اعتبار این پژوهش را فراهم کردند و همکاران محترم در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان که زحمت انجام آزمایش‌های خاک را برعهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

فهرست منابع

۱. اسمعیلی زاد، اشرف، شکری، رسول، دوات گر، ناصر، و کاری دولت اباد، حسین، ۱۴۰۲. ارزیابی نقش ویژگی‌های زیستی در کیفیت خاک زیر حوضه هنام استان لرستان. *زیست شناسی خاک*، ۱۱(۲)، صص ۱۱۵–۱۳۷. https://doi.org/10.22092/sbj.2023.362579.253

۲. باریکلو، علی، علمداری، پریسا، رضاپور، سالار، تقی زاده مهرجردی، روح الله، ۱۴۰۲. ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در تیپ‌های مختلف خاک دشت ارومیه. *پژوهش های فرسایش محیطی*، ۳ (۳)، صص ۱۷۳-۱۹۳.

۳. تقی پور، مژده، یغمائیان مهابادی، نفیسه، و شعبانپور، محمود، ۱۴۰۲. ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از تحلیل‌های‌چند متغیره درکاربری‌های مختلف اراضی (مطالعه موردی: توتکابن استان گیلان). مهندسی زراعی، ۴۶(۳)، صص ۲۵۱-۲۷۱. https://doi.org/10.22055/agen.2023.44957.1684

۴. خسروتهرانی، خ. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران (رشته زمین‌شناسی). انتشارات دانشگاه پیام نور. ۳۴۴ ص.

۵. رستمی نیا، محمود، نوری، نسیم، کشاورزی، علی، و حمانی، اصغر، ۱۳۹۸. ارزیابی کمّی و پهنه‌بندی پراکنش مکانی شاخص کیفیت خاک در بخشی از اراضی خشک و نیمه‌خشک غرب ایران (مطالعه موردی: منطقه کَنِ سرخ، استان ایلام). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰(۷)، صص ۱۷۰۱-۱۷۱۹. 10.22059/ijswr.2019.274080.668097

۶. زنگی آبادی، مهدی، گرجی اناری، منوچهر، و کشاورز، پیمان، ۱۴۰۰. تعیین شاخص کیفیت فیزیکی خاک‌های با بافت متوسط و سبک در استان خراسان رضوی. *آب و خاک*، ۳۵(۱)، صص ۱۰۷-۱۱۹. https://doi.org/10.22067/jsw.2020.15000.0

۷. شاهپوری، فاطمه، حسن زاده، نسرین، سلگی، عیسی، و ضرابی، محبوبه، ۱۴۰۲. ارزیابی شاخص کیفیت خاک (SQI) در کاربری‌های مختلف شهرستان ملایر با استفاده از روش مجموعه حداقل داده (MDS). *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۷۶(۴)، صص ۵۷۹-۵۹۲.https://doi.org/10.22059/jne.2022.334297.2339

۸. شکوری کتیگری، مریم، شعبانپور، محمود، دواتگر، ناصر، و وظیفه دوست، مجید، ۲۰۲۱. ارزیابی کیفیت خاک در خاک‌های شالیزاری با عملکردهای متفاوت (مطالعه موردی: کوچصفهان استان گیلان). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱(۱۲)، صص ۳۱۶۱-۳۱۷۶. https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.305420.668660

۹. شهاب آرخازلو، حسین، امامی، حجت، و حق نیا، غلامحسین، ۱۳۹۱. ارزیابی رابطه مدل های تعیین کیفیت خاک و شاخص های پایداری آن در زمین های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد. *پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)*، ۲۶(۳ الف)، صص ۲۲۷-۲۳۴. https://sid.ir/paper/158905/fa

۱۰. غفاری نژاد، سید علی، ۱۳۹۶. آزمایش‌های بلند مدت، ضرورتی برای ارزیابی روش‌های مدیریت حاصلخیزی خاک. *مدیریت اراضی*، ۵(۲)، صص۹۹-۱۱۲. https://doi.org/10.22092/lmj.2018.115853

۱۱. فلاح نصرت آباد، علی. ۱۳۹۹. مروری بر مزایای مصرف سنگ فسفات در اراضی شالیزاری. *مجله ترویجی شالیزار*، ۲(۱)، صص ۲۳-۳۲.

۱۲. کمالی، کوروش، زهتابیان، غلامرضا، مصباح زاده، طیبه، عرب خدری، محمود، شهاب آرخازلو، حسین، و مقدم نیا، علیرضا، ۱۴۰۰. تعیین مؤثرترین ویژگی‌ها به منظور ارزیابی کیفیت خاک در اراضی کشاورزی دشت محمدشهر کرج. آب و خاک، ۳۵(۲)، صص ۲۵۱-۲۶۶. https://doi.org/10.22067/jsw.2021.15005.0

۱۳. ملکوتی، محمدجعفر و غیبی، محمدنبی، ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی موثر در خاک، گیاه و میوه (درراستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور). نشر آموزش کشاورزی. ۹۲ ص.

۱۴. یغمائیان مهابادی، نفیسه، فیاض، حورا، صبوری، عاطفه، و شیرین فکر، احمد، ۱۳۹۹. مقایسه روش‌های ارزیابی کیفیت خاک و ارتباط آن با عملکرد در اراضی چایکاری غرب استان گیلان. پژوهش های خاک، ۳۴(۴)، صص ۴۳۵-۴۵۰. https://doi.org/10.22092/ijsr.2021.351656.551

15. Alaboz, P., Dengiz, O. and Demir, S., 2021. Barley yield estimation performed by ANN integrated with the soil quality index modified by biogas waste application. Zemdirbyste-Agriculture, 108(3), pp. 217-226. DOI: 10.13080/z-a.2021.108.028
16. Arshad, M. A. and Martin, S., 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, ecosystems and environment, 88(2), pp. 153-160. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3
17. Askari, M.S. and Holden N.M., 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. Geoderma 230, pp. 131-142. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.019
18. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W. and Mäder, P., 2018. Soil quality–A critical review. Soil biology and biochemistry, 120, pp. 105-125. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030
19. Chaudhry, H., Vasava, H. B., Chen, S., Saurette, D., Beri, A., Gillespie, A. and Biswas, A., 2024. Evaluating the Soil Quality Index Using Three Methods to Assess Soil Fertility. Sensors, 24(3), 864.
20. Cherubin, M. R., Karlen, D. L., Cerri, C. E., Franco, A. L., Tormena, C. A., Davies, C. A. and Cerri, C. C., 2016. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. PloS one, 11(3), e0150860. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150860
21. Couto, C. M. V., Comin, C. H. and da Fontoura Costa, L., 2017. Effects of threshold on the topology of gene co-expression networks. Molecular BioSystems, 13(10), pp. 2024-2035. https://doi.org/10.1039/ C7MB00101K
22. Derakhshan-Babaei, F., Nosrati, K., Mirghaed, F. A. and Egli, M., 2021. The interrelation between landform, land-use, erosion and soil quality in the Kan catchment of the Tehran province, central Iran. Catena, 204, 105412. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105412
23. Doran, J. W. and Parkin, T. B., 1994. Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, 35, pp. 1-21.
24. Doran, J. W. and Parkin, T. B., 1997. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. Methods for assessing soil quality, 49, pp. 25-37.

25. Gee, G. and Bauder, J., 1986. Particle size analysis. In A. Klute, (Ed.), Methods of soil analysis. Part1: hysical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9 (2nd ed., pp. 383–411). American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison.
26. Golestanifard, A., Santner, J., Aryan, A., Kaul, H. P. and Wenzel, W. W., 2020. Potassium fixation in northern Iranian paddy soils. Geoderma, 375, 114475. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114475
27. Gopal, B., Shetty, A. and Chaya, D., 2015. Spatial variability of topsoil chemical properties. Indian Journal of Agricultural Research, 49 (2), pp. 134-141. 10.5958/0976-058X.2015.00019.0
28. Jalali, M. and Matin, N. H., 2013. Soil phosphorus forms and their variations in selected paddy soils of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 185, pp. 8557-8565. https://doi.org/10.1007/s10661-013-3195-2
29. Karaca, S., Dengiz, O., Turan, İ. D., Özkan, B., Dedeoğlu, M., Gülser, F., Sargin, B., Demirkaya, S. and Ay, A., 2021. An assessment of pasture soils quality based on multi-indicator weighting approaches in semi-arid ecosystem. Ecological Indicators, 121, 107001. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107001
30. Li, Q., Xu, M., Liu, G., Zhao, Y. and Tuo D., 2013. Cumulative effects of a 17-year chemical fertilization on the soil quality of cropping system in the Loess Hilly Region China. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 176, pp. 249-259. 10.1002/jpln.201100395
31. Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S. and Ai C., 2014. Soil quality assessment of yellow clayey paddy soils with different productivity. Biology and Fertility of Soils 50, pp. 537-548. https://doi.org/10.1007/s00374-013-0864-9
32. Nortcliff, S., 2002. Standardisation of soil quality attributes. Agriculture, ecosystems and environment, 88(2), pp. 161-168. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00253-5
33. Olsen, S. and Sommers, L. 1982. Phosphorus. In A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No. 9 (2nd ed. p. 403–430). American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison.
34. Qi, Y., Darilek, J.L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W. and Gu, Zh., 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province China. Geoderma 149, pp. 325-334. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.12.015
35. 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 Geographica Sinica-Chinese 55, pp. 545–554 (In Chinese with English abstract). https://doi.org/10.11821/xb200005004
36. 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, pp. 19-26. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.003
37. Raiesi, F., 2017. A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. Ecological Indicators, 75, pp. 307-320 .http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.049
38. Richards, L., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook, 60. US Department of Agriculture.

39. Romadhon, M. R., Mujiyo, M., Cahyono, O., Dewi, W. S., Hardian, T., Anggita, A., Hasanah, K., Irmawati, V. and Istiqomah, N. M., 2024. Assessing the Effect of Rice Management System on Soil and Rice Quality Index in Girimarto, Wonogiri, Indonesia. Journal of Ecological Engineering, 25(2), pp. 126-139. https://doi.org/10.12911/22998993/176772
40. Sys, C. Van Ranst, E. Debaveye, J. and Beernaert, F., 1993. Land evaluation part III crop requirements. Agricultural Publications n° 7, G.A.D.C. Brussels. Belgium. 191p.
41. Triberti, L., Nastri, A., Giordani, G., Comellini, F., Baldoni, G. and Toderi, G., 2008. Can mineral and organic fertilization help sequestrate carbon dioxide in cropland? European Journal of Agronomy, 29(1), pp.13-20. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.009
42. 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. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.010
43. Walkey, A. and Black, I., 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed chromic acid titration method. Soil Science, 37, 29–38.
44. Zahedifar, M., 2023. Assessing alteration of soil quality, degradation, and resistance indices under different land uses through network and factor analysis. Catena, 222, 106807 . https://doi.org/10.1016/j.catena.2022. 106807
45. Zhang C. Liu G. Xue S. and Song Z., 2011. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau China. Geoderma 161, 115-125. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.003
46. Zhu, Q. and Lin, H., 2011. Influences of soil, terrain, and crop growth on soil moisture variation from transect to farm scales. Geoderma, 163(1-2), 45-54. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.03.015.

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۲۷۱/۱۴۰۳-۲۸۶
https://doi.org/10.22092/IJSR.2024.365756.745

اثر ریشه‌دوانی و سایه‌انداز بر برخی ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته با سنین مختلف در دشت رباط

الهه امینی، نفیسه یغمائیان *و سپیده ابریشم‌کش

دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ amini.elahe.ea@gmail.com
دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ yaghmaeian_na@guilan.ac.ir
استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ sabrishamkesh@guilan.ac.ir

«مقاله پژوهشی»
دریافت: ۱۴۰۳/۲/۳۰ و پذیرش:۱۴۰۳/۱۰/۳

چکیده

درختان از طریق سامانه ریشه و سایه‌انداز بر ویژگی‌های حاصلخیزی و بهبود کیفیت خاک اثر می‌گذارند. به‌منظور بررسی اثر سن و تاج‌پوشش درختان پسته بر برخی ویژگی‌های خاک، نمونه‌های خاک از عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری از دو فاصله نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز در باغ‌های پسته ۹، ۱۷ و ۲۵ ساله و سه موقعیت شاهد (بدون درخت) در منطقه دشت رباط شهرستان شهربابک برداشت شد. ویژگی‌های خاک با روش‌های رایج اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در یک طرح اسپلیت اسپلیت پلات و در قالب طرح کاملا تصادفی شامل سن (عامل اصلی)، فاصله (عامل فرعی اول) و عمق (عامل فرعی دوم) در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که کشت درختان پسته بر درصد رس، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه و کربنات کلسیم معادل تاثیری نداشت. اثر سن درختان تنها بر واکنش خاک و پتاسیم قابل استفاده معنی‌دار شد که بیش‌ترین میزان واکنش خاک و پتاسیم قابل استفاده مربوط به باغ ۹ ساله بود. با افزایش فاصله از درخت، میانگین درصد کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی کاهش داشت و میانگین واکنش خاک افزایش معنی‌دار نشان داد. با افزایش عمق خاک، کاهش میانگین کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سن باغ، فاصله از درخت و عمق خاک بر واکنش خاک و تنفس میکروبی معنی‌دار شد. به طور کلی، تغییرات ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته‌ی مزبور، بیش‌تر متأثر از عمق خاک و سایه‌انداز قرار داشت، به طوری‌که ویژگی‌های خاک در عمق سطحی و فاصله نیم‌سایه‌انداز از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار بود. با توجه به جذب بیش‌تر ریشه درختان پسته از قسمت انتهایی سایه‌انداز، برای جلوگیری از کاهش حاصلخیزی خاک، علاوه بر کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک، لازم است به مدیریت تغذیه و مصرف مواد آلی در این باغ‌ها توجه شود.

واژه‌های کلیدی: باغ پسته، تاج‌پوشش، سن درخت، حاصلخیزی خاک

- * آدرس ایمیل نویسنده مسئول: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی و بستر رشد گیاهان است که نقش مهمی در پایداری اکوسیستم‌ها دارد. از آنجایی‌که گیاهان و خاک به شدت به هم مرتبط هستند، بر یکدیگر اثر می‌گذارند (لیو و همکاران، ۲۰۲۱a). سن درختان از جمله عوامل موثر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک باغ‌ها است (یین و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین سایه‌انداز درختان نیز می‌تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر وضعیت عناصر غذایی خاک تأثیر بگذارد (لیو و همکاران، ۲۰۲۱b). در واقع سایه‌انداز با تأثیری که بر روی دما، رطوبت و دسترسی مواد مغذی از طریق لاشبرگ دارد، می‌تواند خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (کولز و همکاران، ۲۰۱۴؛ ون‌نول و همکاران، ۲۰۱۴)؛ این امر می‌تواند به‌طور مستقیم در چرخه‌ی عناصر غذایی خاک نقش داشته باشد (کوچ و بیرانوند، ۲۰۱۷) یا به‌طور غیرمستقیم بر روی اندازه و جوامع ماکرو و میکروفون‌های خاک تأثیر بگذارد (دی‌وندلر و همکاران، ۲۰۱۸؛ اسچلفوت و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین سایه‌انداز درختان می‌تواند بر تنوع زیست‌توده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر گذاشته و موجب تغییر ویژگی‌های خاک سایه‌انداز شود (گارج و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر اثر سایه‌انداز، وجود ریشه‌های درختان، فضاهای کنار ریشه و کانال‌های ریشه با تأثیر بر ویژگی‌های شیمیایی، فعالیت میکروبی و شدت هوازدگی بیولوژیکی، الگوی تشکیل خاک را تغییر می‌دهند (پاولیک و همکاران، ۲۰۲۳)؛ در واقع درختان به‌وسیله‌ی ریشه‌های عمیق خود و دسترسی به عناصر غذایی اعماق خاک، موجب بهبود چرخه‌ی عناصر غذایی خاک شده و به باروری و بهبود شرایط خاک در منطقه‌ی سایه‌انداز کمک می کنند (اتافا، ۲۰۲۲). محققین بیان داشته‌اند تأثیر درختان تنها به ناحیه سایه‌انداز و سطح خاک محدود نمی‌شود، بلکه تا اطراف درختان و در سطح کم‌تری به عمق‌های پایین‌تر، گسترش می یابد (اکا و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج پژوهش رضایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۹)، تجمع عناصر غذایی در زیر سایه‌انداز درختچه‌های بادام وحشی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با افزایش سن درختچه‌ها را نشان‌داد. همچنین مطالعه‌ی اسلید و ولز (۲۰۲۲) حاکی از افزایش پایداری خاکدانه‌ها، محتوای ماده آلی و میزان تنفس میکروبی خاک با افزایش سن درختان گردوی گرمسیری می‌باشد. بحرا و همکاران (۲۰۲۰) نیز طی پژوهشی دریافتند که برخی ویژگی‌های خاک از جمله: واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی و فسفر قابل استفاده، به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر عمق خاک و سن کاشت درختان نخل روغنی قرار گرفته‌اند. از جمله بررسی‌های انجام شده در خصوص تغییر ویژگی‌های خاک تحت‌تأثیر تاج‌پوشش و سایه‌انداز، پژوهش بازگیر و مقصودی (۱۳۹۸) می‌باشد که بیش‌تر بودن میزان کربن آلی، تنفس میکروبی و فعالیت میکروبی خاک در زیر سایه‌انداز نسبت به خارج سایه‌انداز درختچه‌های گز طبیعی *(Tamarix ramosissima Ledeb.)* را گزارش کردند. نتایج پژوهش‌های رستمی‌زاد و همکاران (۱۳۹۷) و مسفین و هایله‌سلاسی (۲۰۲۲) نیز حاکی از افزایش عناصر غذایی و ذخایر کربن آلی خاک در زیر سایه‌انداز نسبت به خارج سایه‌انداز درختان بوده است؛ که آنان حضور درختان را موجب بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک بیان کردند.

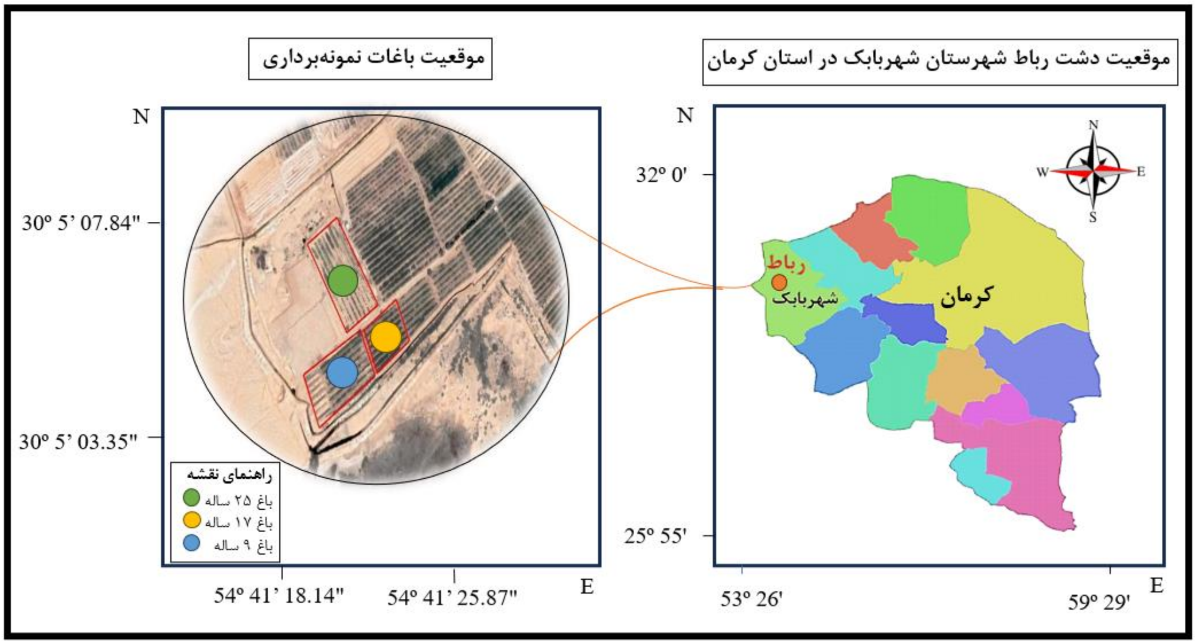
پسته *(Pistacia vera L.)* گیاهی نیمه‌گرمسیری، دوپایه و خزان‌کننده، از خانواده‌ی *Anacardiaceae* و جنس *Pistacia vera L.* است (ویلکینسون، ۲۰۰۵). پسته یکی از محصولات باغی ایران است که بیش‌تر در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۹). استان کرمان به عنوان قطب تولید پسته و مهم‌ترین منطقه‌ی زیرکشت پسته در سراسر جهان به‌شمار می‌آید (تقی‌زاده علی سارایی و همکاران، ۲۰۱۷). در سال۱۴۰۲ میزان تولید پسته کشور در سطح بیش از ۵۹۹ هزار هکتار، حدود ۴۴۰ هزار تن بوده‌است که استان کرمان با ۲۷۱۳۴۴ هکتار سطح بارور، سهم ۳۲ درصدی در رتبه اول تولید پسته کشور قرار گرفته‌است.

میزان تولید این استان ۱۴۰۵۹۳ تن و عملکرد آن ۵۱۸ کیلوگرم در هکتار بوده‌است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۲).
شناسایی روابط خاک با گیاهان بومی مستقر در هر اقلیم، جهت بقای آن‌ها و مدیریت صحیح و منطبق بر اصول اکولوژیکی از اهمیت زیادی برخوردار است؛ به ویژه در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک حضور درختان از طریق سیستم ریزوسفر و تاج‌پوشش، تأثیر بسزایی در حاصلخیزی، حفاظت و بهبود کیفیت خاک دارد. از آنجا که آگاهی از روابط بین پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک برای دستیابی به این مهم ضروری است، این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه ویژگی‌های خاک باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور، بررسی اثر اعماق مختلف محیط ریزوسفر درختان پسته با سنین مختلف بر ویژگی‌های خاک و همچنین بررسی روابط بین تاج پوشش این درختان و ویژگی‌های خاک در منطقه دشت رباط شهرستان شهربابک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، دشت رباط در فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری غربی شهرستان شهربابک است که در عرض جغرافیایی ۳۰درجه و ۵ دقیقه و ۵ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه و ۲۱ ثانیه شرقی قرار گرفته‌است (شکل ۱). این منطقه از مناطق مهم و مستعد کشت پسته در استان کرمان می‌باشد و دارای وسعتی حدود ۱۲۰۰۰ هکتار است (سجادی و همکاران، ۱۳۹۰). منطقه‌ی مورد مطالعه در انتهای مخروط‌افکنه‌های قدیمی و در واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای قرار گرفته‌است که متشکل از رسوبات حمل شده توسط رودخانه‌های موقت سیلابی هستند (ابراهیمی میمند، ۱۳۸۸؛ جباری، ۱۳۸۸). رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب، اریدیک (Aridic) و ترمیک (Thermic) می‌باشد. خاک‌های منطقه در رده‌های اریدی‌سول و انتی‌سول و خاک باغ‌های مورد مطالعه در زیرگروه Typic Torriorthents قرار دارند (ابراهیمی‌میمند و همکاران، ۱۳۹۰؛ ابراهیمی‌میمند، ۱۳۸۸). نمونه‌های خاک از دو فاصله مختلف نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز درختان پسته و از سه عمق ۰–۳۰، ۳۰–۶۰ و ۶۰–۹۰ سانتی‌متری در سه باغ ۹، ۱۷ و ۲۵ ساله در سه تکرار برداشت شدند. از زمین‌های بایر مجاور باغ‌ها، سه موقعیت شاهد انتخاب و نمونه‌برداری از سه عمق، مشابه باغ‌ها انجام‌شد (در مجموع ۶۳ نمونه خاک). لازم به ذکر است سه باغ انتخاب‌شده در مجاورت یکدیگر و تحت مدیریت مشابهی قرار داشتند. آبیاری باغ‌ها به‌صورت غرقابی با آب چاه و با مدیریت یکسان بود. کوددهی نیز در تمامی باغ‌ها به صورت چال‌کود (عمق ۵۰ سانتی‌متری) در یک طرف درختان در انتهای زمستان صورت گرفته بود و نمونه‌برداری خاک از سمتی که چال‌کود وجود نداشت، انجام گرفت.



شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

روش‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی

نمونه‌برداری از خاک به دو صورت دست‌خورده و دست‌نخورده انجام شد. پس از آن برخی ویژگی‌های خاک شامل: توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر بایکاس (بایکاس، ۱۹۶۲)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)[1] به‌روش الک تر (یودر، ۱۹۳۶) با تصحیح ذرات شن، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین (پلستر، ۱۹۸۵)، واکنش خاک به روش پتانسیومتری در عصاره‌ی اشباع خاک (اسکوفیلد و تیلور، ۱۹۵۵)، قابلیت هدایت الکتریکی به‌وسیله ی هدایت‌سنج الکتریکی در عصاره‌ی اشباع خاک (رودز و ونسچیفارد، ۱۹۷۶)، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی کردن با اسیدکلریدریک (الیسون و موودی، ۱۹۶۵)، ماده آلی به روش والکی-بلک (نلسون و سومرز، ۱۹۷۴)، نیتروژن کل به روش کجلدال (برمر، ۱۹۹۶)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن با دستگاه اسپکتوفتومتری (اولسن، ۱۹۵۴)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات‌آمونیوم و با استفاده از دستگاه شعله‌سنج (نوسن و همکاران، ۱۹۸۳) و تنفس پایه (BR)[2] به روش انکوباسیون (الیف و نانیپیری، ۱۹۹۵) اندازه‌گیری‌شد.

تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا به منظور بررسی تفاوت کلی ویژگی‌های خاک باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور (شاهد) از آزمون فاکتوریل با دو فاکتور عمق (سه عمق) و کاربری (باغ‌های پسته و شاهد) استفاده شد. سپس ویژگی‌های خاکی که متاثر از کشت درختان پسته بودند به صورت اسپلت اسپلیت پلات و در قالب طرح کاملا تصادفی با یک فاکتور اصلی (سن در سه سطح)، دو فاکتور فرعی (فاصله در دو سطح و عمق در سه سطح) در سه تکرار با نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد و بررسی همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS نسخه 26 انجام شد.

[1]. Mean weight diameter

[2]. Basal Respiration

نتایج و بحث

نتایج تجریه واریانس (جدول ۱) و مقایسه میانگین (جدول ۲) ویژگی‌های خاک به منظور بررسی تفاوت کلی ویژگی‌های خاک باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور (شاهد) نشان داد که از نظر جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه و کربنات‌کلسیم معادل بین باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. از آنجایی که از نظر بافت خاک، بین باغ‌های پسته و اراضی بکر مجاور تفاوتی وجود ندارد و بافت خاک تمام نمونه‌ها لومی شنی (Sandy Loam) به دست آمد؛ به دلیل عدم تاثیر کشت درختان پسته بر بافت خاک، از اختلاف اندک درصد رس باغ های پسته و اراضی بکر صرف‌نظر شد. سجادی و همکاران (۱۳۹۰) عدم تاثیر کشت پسته و رضایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) عدم تأثیر درختچه بادام وحشی (*Amygdalus arabica Olive.*) بر تغییر بافت خاک را گزارش کردند. تغییرات بافت خاک در کوتاه مدت به‌طور معمول اندک است زیرا که بافت خاک صفتی پایدار است و معمولا از سنگ مادر تأثیر می‌پذیرد؛ در نتیجه از نظر مکانی متغییر و از نظر زمانی تا حدی پایدار می‌باشد جز آنکه نیروهای خارجی مانند جریان‌های آب، باد و نیروی ثقل و یا دخالت‌های انسانی موجب تغییر آن شود (رضایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی نتایج تجزیه‌ی آب آبیاری (جدول ۳) نشان می‌دهدکه کیفیت آب آبیاری باغ‌های پسته در محدوده‌ی مطلوب قرار دارد و توانسته است قابلیت هدایت الکتریکی خاک باغ‌های پسته را نسبت به اراضی بکر مجاور به‌طور قابل توجهی کاهش دهد (جدول ۲). علی‌رغم اختلاف معنی‌دار واکنش خاک بین باغ های پسته و اراضی بکر مجاور (جدول ۲)، میانگین واکنش خاک هر دو در محدوده‌ی خنثی قرار دارد که این امر می‌تواند به دلیل غالب بودن نمک‌های کلرورسدیم و سولفات‌سدیم در خاک‌های مورد مطالعه باشد، زیرا که این املاح تغییرات محسوسی در واکنش خاک ایجاد نمی‌کنند (سجادی و همکاران، ۱۳۹۱). در نهایت به منظور بررسی اثر ریشه‌دوانی و سایه‌انداز در باغ‌های پسته با سنین مختلف فقط از ویژگی‌های قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش خاک، کربن‌آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، پتاسیم قابل استفاده و تنفس میکروبی در تجزیه و تحلیل‌های بعدی استفاده شد.

جدول ۴ تجزیه واریانس اثر سن، فاصله از درخت، عمق و اثر متقابل آن‌ها در باغ‌های پسته را بر ویژگی‌های خاک نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج اثر سن باغ‌ها بر واکنش خاک و پتاسیم قابل استفاده، اثر فاصله نمونه‌برداری از درخت بر واکنش خاک، کربن‌آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی و اثر عمق خاک بر کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و تنفس میکروبی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سن باغ‌ها و فاصله از درخت بر واکنش خاک، اثر متقابل سن باغ‌ها، فاصله از درخت و عمق خاک بر واکنش خاک و تنفس میکروبی معنی‌دار بود. هیچ‌کدام از سه فاکتور اثر معنی‌داری بر روی قابلیت هدایت الکتریکی نداشتند.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته و اراضی بایر مجاور (شاهد)

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)	رس (٪)	واکنش خاک	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	تنفس میکروبی ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$)
کاربری	۱	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۲۴۰/۹۰**	۲/۳۵**	۱۹۲۰۲/۴**	۱۱/۸۳^{ns}	۰/۳۰۸**	۰/۰۰۰۸**	۱۲۳۶/۹*	۱۹۷۲۵*	۰/۰۵۱**
عمق	۲	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۱۶/۸۵^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۲۱۵۸/۶۷**	۱۳/۶۱^{ns}	۰/۲۵**	۰/۰۰۰۶**	۵۱۳/۳۶^{ns}	۱۶۸۸۵^{ns}	۰/۰۷۵**
کاربری*عمق	۲	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۴۲^{ns}	۵/۳۸^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۲۱۸۹/۹۳**	۰/۰۲۱^{ns}	۰/۰۶۷^{ns}	۰/۰۰۰۱۹^{ns}	۱۸۴/۱۴^{ns}	۲۰۳۷۷^{ns}	۰/۰۰۶۲^{ns}
خطای باقی‌مانده	۳۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۲۱/۵۱	۰/۰۴۸	۱۲۷/۲۶	۴/۸۳	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰۰۹۴	۲۲۲/۲۸	۲۸۷۷۸	۰/۰۰۳۹
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۰۲	۳۶/۹۷	۳۳/۱۱	۳/۰۵	۶۵/۸۴	۱۷/۸۹	۶۱/۵۵	۵۳/۲۸	۸۱/۱۳	۴۰/۶۴	۳۷/۲۲

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته و اراضی بایر مجاور (شاهد)

کاربری	رس (٪)	واکنش خاک	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	تنفس میکروبی ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$)
باغ پسته	۱۲/۵۱^{b}	۷/۶۱^{a}	۳/۷^{b}	۰/۳۷^{a}	۰/۰۲۱^{a}	۱۲/۷۵^{a}	۵۴۵/۵۶^{a}	۰/۱۹^{a}
شاهد	۱۸/۴۸^{a}	۷/۰۲^{b}	۵۷/۱۳^{a}	۰/۱۶^{b}	۰/۰۰۹^{b}	۸/۲۲^{b}	۳۷۴/۶۳^{b}	۰/۱۰^{b}

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۳- نتایج تجزیه کیفیت آب آبیاری در منطقه‌ی مورد مطالعه

pH	EC (dS/m)	SAR	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
			(meq/l)						
۶/۱۷	۴/۴	۸/۸۲	۳۰/۵۸	-	۱۲	۱۲	۳۲/۵	۱۸/۰۸	۴

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

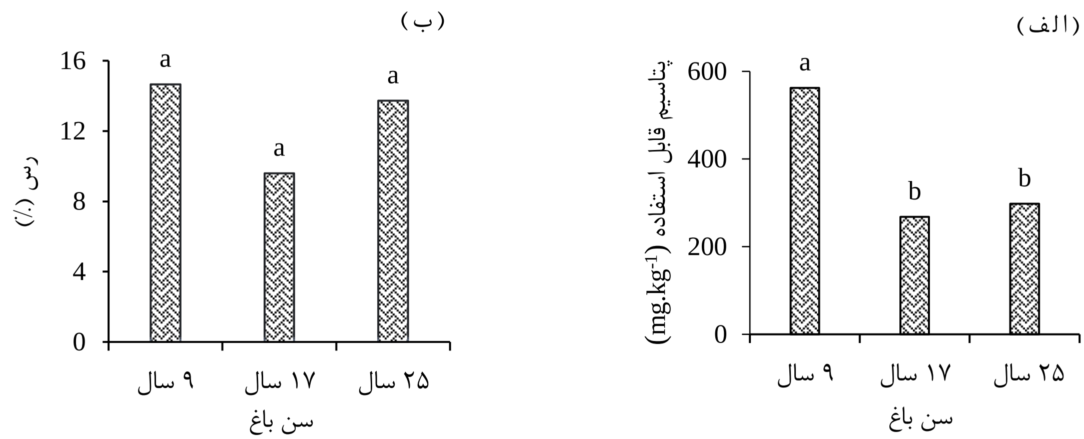
جدول ۴- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک در باغ‌های پسته‌ی مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		واکنش خاک	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	تنفس میکروبی ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$)
سن	۲	۰/۴۳۲*	۰/۸۷۲^{ns}	۰/۲۶۹^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۱۶۱/۵۷^{ns}	۴۸۵۶۳۴/۲**	۰/۰۳۲^{ns}
خطای کرت اصلی (سن)	۴	۰/۰۳۳	۱/۰۹	۰/۰۹۳	۰/۰۰۰۲	۱۳۳۰/۵	۲۱۳۹۹/۵	۰/۰۱۱
فاصله	۱	۰/۶۷۳**	۰/۰۲۶^{ns}	۰/۷۰۳*	۰/۰۰۱*	۴۳۲۰/۱*	۱۱۲۰/۶^{ns}	۰/۱۸۷**
اثر متقابل سن و فاصله	۲	۰/۱۴۸**	۰/۲۰۹^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۵۵۵/۷۲^{ns}	۳۴۸۱/۵^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}
خطای کرت فرعی (فاصله)	۶	۰/۰۱۳	۰/۸۹۸	۰/۰۷۵	۰/۰۰۰۱	۶۷۱/۸	۳۹۸۰/۱	۰/۰۰۶
عمق	۲	۰/۰۳۹^{ns}	۰/۳۶۹^{ns}	۱/۱۸**	۰/۰۰۳**	۲۵۳۱/۳**	۴۵۷/۴^{ns}	۰/۲۳۱**
اثر متقابل سن و عمق	۴	۰/۰۷۸^{ns}	۰/۴۱^{ns}	۰/۰۴۷^{ns}	۰/۰۰۰۱۲^{ns}	۲۷۲/۴۶^{ns}	۱۵۹۳۶/۹^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
اثر متقابل فاصله و عمق	۲	۰/۰۴۲^{ns}	۰/۱۹۵^{ns}	۰/۰۴۶^{ns}	۰/۰۰۰۱۲^{ns}	۲۸۹/۰۵^{ns}	۷۹۰۹/۵^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}
اثر متقابل سن، فاصله و عمق	۴	۰/۱۱۷*	۰/۰۹۱^{ns}	۰/۰۴۸^{ns}	۰/۰۰۰۱۱^{ns}	۳۹۳/۹۴^{ns}	۱۳۹۰۳/۱^{ns}	۰/۰۱۱*
خطای باقی‌مانده		۰/۰۳۵	۰/۷۱	۰/۰۴۴	۰/۰۰۰۱	۲۷۵/۳۷	۱۰۹۷۴/۶۳	۰/۰۰۲۹
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۶۹	۳۵/۷۷	۵۵/۴۹	۴۹/۱۱	۷۶/۲۶	۲۷/۹۶	۲۷/۷۴

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

تأثیر سن درختان پسته بر ویژگی‌های خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سن درختان بر میانگین پتاسیم قابل استفاده در سطح یک درصد (P < ۰/۰۱) معنی دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین میانگین پتاسیم قابل استفاده مربوط به باغ ۹ ساله با مقدار ۵۶۳/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که اختلاف معنی‌دار با میانگین پتاسیم قابل استفاده‌ی باغ های ۱۷ و ۲۵ ساله، به‌ترتیب با مقادیر ۲۶۲/۸۹ و ۲۹۷/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد (شکل ۲. الف). روند تغییرات پتاسیم قابل استفاده در باغ‌های با سنین مختلف مشابه تغییرات درصد رس است (شکل ۲. ب). از آنجا که رس نقش مهمی در دسترس بودن، تبادل و تعادل اشکال پتاسیم در خاک دارد (زاده‌پاریزی و همکاران، ۱۳۹۹) و با توجه به همبستگی مثبت معنی‌داری (P < ۰/۰۱) بین پتاسیم قابل استفاده با درصد ذرات رس (r = ۰/۴۳) (جدول ۷)، می‌توان کاهش درصد ذرات رس را از دلایل احتمالی کاهش پتاسیم قابل استفاده در باغ‌های مورد مطالعه بیان کرد. همبستگی مثبت و قوی رس با پتاسیم قابل استفاده توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (زاده‌پاریزی و همکاران، ۱۳۹۹؛ قیری و همکاران، ۲۰۱۰). حسینی‌فرد و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی رابطه بین سن درختان پسته با اشکال مختلف پتاسیم بیان کردند که میزان پتاسیم قابل استفاده با افزایش سن درختان پسته کاهش پیدا می‌کند. نتایج مشابهی توسط شاهرخ و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شده است، آنان دلیل کاهش پتاسیم قابل استفاده با افزایش سن درختان لیمو را حضور مقادیر کم‌تر رس و تقاضای بالای پتاسیم با افزایش سن، جذب ریشه‌ای و همچنین آبشویی در طول زمان اعلام کرده‌اند؛ همچنین بیان‌داشتند کاهش پتاسیم قابل استفاده ممکن است در اثر افزایش فعالیت‌های میکروبی رخ داده باشد. در مطالعه‌ی حاضر کم‌ترین میزان پتاسیم قابل استفاده مربوط به باغ ۱۷ ساله بود که دارای کم‌ترین میزان رس و بیش‌ترین میانگین تنفس میکروبی نیز می‌باشد (شکل‌های ۲. ب و ۳. ب).



شکل ۲- اثر سن درخت بر الف) پتاسیم قابل استفاده و ب) درصد رس

(براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.)

تأثیر فاصله از درخت پسته بر ویژگی‌های خاک

اثر فاصله در سطح پنج درصد (P < ۰/۰۵) بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده معنی‌دار شد؛ با افزایش فاصله از درخت، میانگین کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده کاهش یافت؛ به‌طوری‌که میانگین کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده در نیم‌سایه‌انداز نسبت به تمام‌سایه‌انداز به ترتیب ۸۸، ۸۰ و ۱۴۰ درصد بیش‌تر است (جدول ۵). همبستگی مثبت معنی‌دار (P < ۰/۰۱) کربن آلی

با نیتروژن کل خاک (r = ۰/۹) و فسفر قابل استفاده (r = ۰/۴) نشان دهنده‌ی این است که نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده تا حد زیادی منشأ آلی داشته و با افزایش مواد آلی در اثر ریزش برگ‌ها و بقایای گیاهی، مقادیر این عناصر نیز افزایش قابل توجهی یافته‌است (جدول ۷). محققین بسیاری، افزایش مواد آلی و عناصر غذایی خاک در زیر سایه‌انداز نسبت به خارج سایه‌انداز درختان را گزارش‌کرده‌اند (جعفری میانایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مفسین و هایله‌سلاسی، ۲۰۲۲). دلایل افزایش عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر در زیر سایه‌انداز درختان، اضافه شدن مواد آلی از طریق ریزش برگ‌ها، معدنی‌شدن مواد آلی اضافه شده (اتافا، ۲۰۲۲؛ دستا و همکاران، ۲۰۱۸)؛ رطوبت بیش‌تر و شدت روشنایی کم‌تر که در نتیجه موجب تشکیل جزایر حاصلخیزی و افزایش محتوای عناصر غذایی و آلی خاک می‌شود، عنوان شده است (صادقی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۶). ساعدی و همکاران (۱۳۹۵) نیز عوامل موثر بر میزان فسفر در زیر سایه‌انداز درختان جنگلی را تراکم تاج‌پوشش، سایه‌اندازی و وضعیت ریشه‌دوانی بیان‌کرده‌اند.

جدول ۵- اثر فاصله از درخت بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده

فاصله از درخت	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)
نیم‌سایه‌انداز	$۰/۴۹^{a}$	$۰/۰۲۷^{a}$	$۳۰/۷^{a}$
تمام‌سایه‌انداز	$۰/۲۶^{b}$	$۰/۰۱۵^{b}$	$۱۲/۸۱^{b}$

براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

تأثیر عمق بر ویژگی‌های خاک

اثر عمق خاک در سطح یک درصد (P < ۰/۰۱) بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده معنی‌دار شد؛ با افزایش عمق، میانگین کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده کاهش یافت و عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر با دو عمق دیگر (۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌دار نشان داد. به این ترتیب، بیش‌ترین میانگین کربن آلی (۰/۶۷ درصد)، نیتروژن کل (۰/۰۳۶ درصد) و فسفر قابل استفاده (۳۵/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و کم ترین مقادیر (به ترتیب ۰/۱۸ درصد، ۰/۰۱۱ درصد و ۱۳/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری است (جدول ۶). بیش‌تر بودن این مواد مغذی در عمق سطحی به دلیل تجمع لاشبرگ و اضافه شدن مواد آلی به خاک و مصرف کود بوده‌است. بی‌دیالو و همکاران (۲۰۱۹) نیز کاهش عناصر غذایی با افزایش عمق خاک را گزارش‌کرده‌اند. محققین دلایل بیش‌تر بودن عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر در عمق سطحی را به‌علت مصرف کود (اسلید و ولز، ۲۰۲۲) و آبشویی نیترات را دلیل کاهش درصد نیتروژن با افزایش عمق اعلام کرده‌اند (ونگ و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۶- اثر عمق خاک بر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده

عمق (سانتی‌متر)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)
۰-۳۰	$۰/۶۷^{a}$	$۰/۰۳۶^{a}$	$۳۵/۲۷^{a}$
۳۰-۶۰	$۰/۲۸^{b}$	$۰/۰۱۶^{b}$	$۱۶/۸۸^{b}$
۶۰-۹۰	$۰/۱۸^{b}$	$۰/۰۱۱^{b}$	$۱۳/۱۱^{b}$

براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون ویژگی‌های خاک

	رس	واکنش خاک	قابلیت هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده	تنفس میکروبی
رس	۱							
واکنش خاک	۰/۱۷	۱						
قابلیت هدایت الکتریکی	-۰/۱۴	-۰/۰۷	۱					
کربن آلی	۰/۱۴	-۰/۴۲**	۰/۰۶	۱				
نیتروژن کل	۰/۱۷	-۰/۴۱**	۰/۰۵	۰/۹۸**	۱			
فسفر قابل استفاده	۰/۴۳**	-۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۴۱**	۰/۴۳**	۱		
پتاسیم قابل استفاده	۰/۴۳**	۰/۴۰**	۰/۰۰۳	-۰/۱۹	-۰/۱۷	-۰/۰۳	۱	
تنفس میکروبی	۰/۱۴	-۰/۴۱**	-۰/۰۰۶	۰/۹۰**	۰/۹۰**	۰/۴۵**	-۰/۱۹	۱

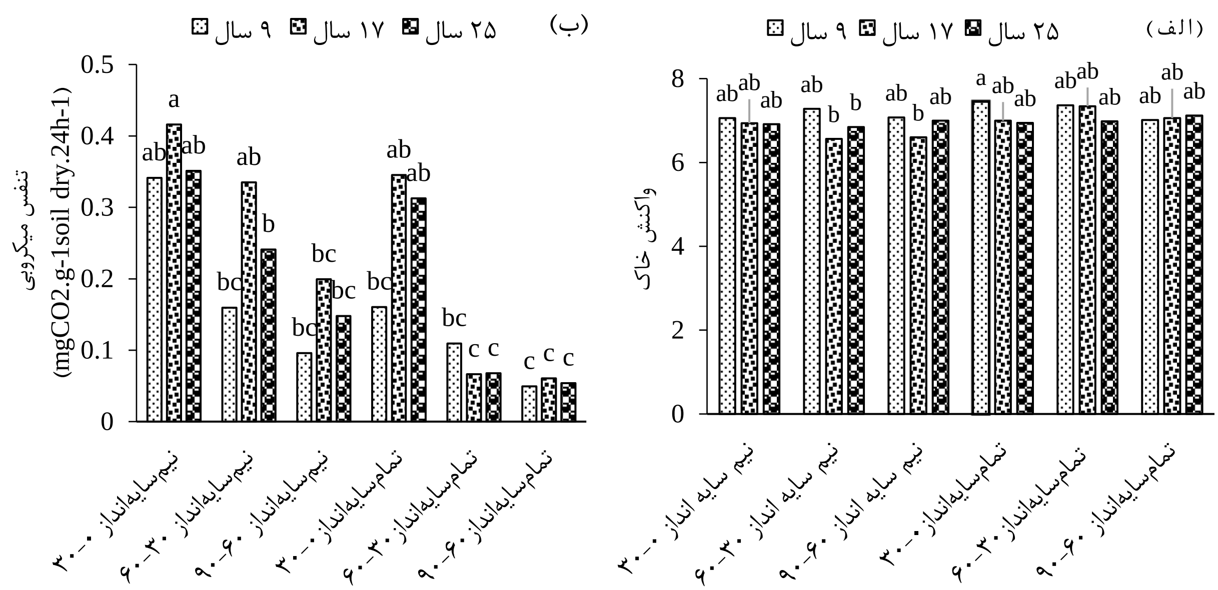
ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهندی غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

اثرات متقابل سن باغ‌ها، فاصله از درخت و عمق بر ویژگی‌های خاک

اثر سن باغ‌ها ($P < ۰/۰۵$)، اثر فاصله ($P < ۰/۰۱$) و اثر متقابل سن، فاصله از درخت و عمق ($P < ۰/۰۵$) بر واکنش خاک معنی‌دار بود (جدول ۴)؛ به‌طوری‌که با افزایش سن باغ‌ها میزان واکنش خاک در هر دو فاصله از درختان (نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز)، به‌طور مشخص در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری کاهش یافت. همچنین میزان واکنش خاک در نیم‌سایه‌انداز درختان کم‌تر از تمام‌سایه‌انداز بود. بیش‌ترین واکنش خاک (۷/۴۴) مربوط به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز باغ ۹ ساله و کم‌ترین مقدار (۶/۵۶) مربوط به عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز باغ ۱۷ ساله بود (شکل۳. الف). با توجه به جدول ۷، همبستگی منفی معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) بین کربن آلی با واکنش خاک ($r = -۰/۴$) وجوددارد، از دلایل کاهش واکنش خاک با افزایش سن باغ‌ها در نیم‌سایه‌انداز، می‌توان به تجمع برگ‌ها در زیر درختان و اسیدهای آلی ناشی از تجزیه‌ی برگ‌ها اشاره کرد. محققین دلایل کاهش واکنش خاک در نواحی ریشه درختان را به تولید دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس، تولید و آزادسازی اسیدهای آلی توسط ریشه و میکروارگانیسم‌ها، جذب یون‌ها توسط گیاه برای حفظ خنثی بودن بار (ترپولت و همکاران، ۲۰۰۵؛ اوترو و همکاران، ۲۰۱۵) یا تجمع کودهای شیمیایی نسبت داده‌اند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۹).

اثر متقابل سن، فاصله و عمق بر میانگین تنفس میکروبی در سطح پنج درصد ($P < ۰/۰۵$) معنی‌دار بود؛ بیش‌ترین میزان تنفس میکروبی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز باغ ۱۷ ساله ($۰/۴۱۵\ mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) و کم‌ترین مقدار مربوط به عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری تمام‌سایه‌انداز باغ ۹ ساله ($۰/۰۴۹\ mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) بوده‌است. بیش ترین میانگین تنفس میکروبی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز مشاهده‌شد که با افزایش عمق روند کاهشی داشتند (شکل ۳. ب). تنفس میکروبی در نیم‌سایه‌انداز با میانگین $۰/۲۵\ mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$ به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تمام‌سایه‌انداز با میانگین

۰/۱۳ $mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$ بود. بیش‌ترین میانگین تنفس میکروبی (۰/۳۲ $mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$) مربوط به عمق ۰–۳۰ سانتی‌متری و کم‌ترین میانگین ($mgCO_2.g^{-1}soil\ dry.24h^{-1}$ ۰/۱۰) در عمق ۶۰–۹۰ سانتی‌متری مشاهده شد. در واقع میزان تنفس میکروبی خاک با افزایش فاصله از درخت و عمق خاک کاهش یافته‌است. وو و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند با افزایش سن باغ‌ها، به دلیل افزایش تراکم سایه‌انداز، کاهش تابش خالص خورشید، کاهش دمای خاک و افزایش محتوای آب خاک، تنفس خاک افزایش می‌یابد. افزایش تنفس خاک می‌تواند به دلیل افزایش جمعیت کل میکروب‌های خاک و یا افزایش فعالیت میکروب‌ها در نتیجه کربن بالاتر باشد (اسلید و ولز، ۲۰۲۲). بازگیر و مقصودی (۱۳۹۸) نیز بیان داشتند که بیش‌تر بودن تنفس میکروبی خاک در فاصله نیم‌سایه‌انداز به دلیل بیش‌تر بودن مواد آلی نسبت به تمام‌سایه‌انداز می‌باشد. محققین کاهش تنفس میکروبی با افزایش فاصله از درخت را به دلیل کاهش رطوبت و افزایش دما در اثر کاهش سایه‌اندازی بیان‌کرده‌اند (ری‌بنایس و همکاران، ۲۰۰۷). کاهش فراهمی اکسیژن در اعماق، سبب کاهش فعالیت‌های زیستی میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه کاهش تنفس میکروبی می‌گردد، از طرفی محققین کاهش ماده آلی و نیتروژن در اعماق پایین را دلیل کاهش تنفس میکروبی بیان‌کرده‌اند (ساداتی و همکاران، ۱۴۰۱).



شکل ۳- اثر متقابل سن، فاصله از درخت و عمق خاک بر الف) واکنش خاک و ب) تنفس میکروبی

(براساس آزمون Tukey میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.)

نتیجه‌گیری

از آنجا که درختان از طریق سیستم ریزوسفر و تاج پوشش تاثیر بسزایی بر ویژگی‌های خاک و حفاظت و بهبود کیفیت خاک دارند. در این پژوهش اثر ریشه‌دوانی و سایه‌انداز درختان پسته بر برخی ویژگی‌های خاک در باغ‌های با سنین مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر ریشه‌دوانی، سن و تاج‌پوشش درختان پسته بر برخی ویژگی‌های خاک منطقه ی مطالعاتی نشان داد که واکنش خاک با افزایش سن باغ‌ها و

افزایش فاصله از درخت به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. روند تغییرات پتاسیم قابل استفاده در باغ‌های با سنین مختلف مشابه تغییرات درصد رس بود و بیش‌ترین میزان پتاسیم قابل استفاده برای باغ ۹ ساله با بیش‌ترین میزان رس به‌دست آمد. با افزایش فاصله از درخت و عمق خاک، مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده روند کاهشی معنی‌دار نشان دادند. با افزایش فاصله از درخت و عمق خاک، میانگین تنفس میکروبی کاهش یافت. در نهایت بر اساس نتایج حاصل می‌توان اظهار کرد که ویژگی‌های خاک در عمق سطحی فاصله نیم‌سایه‌انداز بیش‌تر تحت تأثیر درختان پسته بوده است؛ به‌عبارتی آثار مثبت سن باغ‌ها از طریق گسترش تاج پوشش و افزایش مواد مغذی در خاک نیم‌سایه‌انداز نمایان گردیده‌است. از طرفی می‌توان اظهار داشت که جذب ریشه درختان پسته از قسمت انتهایی سایه‌انداز صورت می‌پذیرد که منجر به کاهش مواد غذایی و تفاوت بین ویژگی‌های خاک نیم‌سایه‌انداز و تمام‌سایه‌انداز شده‌است.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی میمند، فاطمه، لندی، احمد و زین الدینی، علی،۱۳۹۰. بررسی تاثیر کشت و کار با آب شور بر خصوصیات خاک و تکامل پروفیلی خاک‌ها. اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی،کرج. https://civilica.com/doc/173332

۲. ابراهیمی میمند، فاطمه، ۱۳۸۸.بررسی تأثیر شوری آب آبیاری روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اراضی با سنوات کشت مختلف در دشت رباط شهربابک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/7d1952621a2bb73a49305ae3064d680d/search/1ae582315fe8f10e57ce66cd283ac969

۳. آمارنامه کشاورزی، محصولات باغبانی، ۱۴۰۲. صص. ۸۱-۸۲.

۴. بازگیر، مسعود و مقصودی، زیبا، ۱۳۹۸. ویژگی های بیولوژیکی خاک‌های بیابانی تحت تاج پوشش درختچه‌های گز طبیعی (*Tamarix ramosissima Ledeb.*). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۶(۵)، صص. ۱۸۱-۱۹۵. SID. https://sid.ir/paper/405436/fa

۵. جباری، اکبر، ۱۳۸۸. تحلیلی بر پیامدهای فضایی-مکانی و اقتصادی کشت پسته در روستاهای شهرستان شهربابک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه سیستان.

۶. جعفری، فاطمه، عسگری، حمیدرضا و حسینعلی‌زاده، محسن،۱۳۹۴. بررسی تاثیر تاج پوشش‌های مختلف زیتون بر برخی خصوصیات خاک در یک سیستم آگروفارستری (مطالعه موردی: شهرستان آق‌قلا-استان گلستان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۶)، صص. ۳۱۷-۳۲۵. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.6.21.3

۷. رستمی زاد، پرستو، حسینی، وحید و محمدی سمانی، کیومرث،۱۳۹۷. اثر تاج تک درختان بنه (*Pistacia atlantica Desf*) بر میزان عناصر مغذی خاک جنگل (منطقه سروآباد استان کردستان). علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۲)، صص. ۲۸۳-۲۹۳. SID. https://sid.ir/paper/362207/fa

۸. رضایی نژاد، رضوان، خادمی، حسین، ایوبی، شمس الله و جهانبازی گوجانی، حسن، ۱۳۹۹. تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها تحت تأثیر ریزوسفر و تاج‌پوشش درختچه‌های بادام وحشی وامچک (*Amygdalus arabica Olive.*) با سنین مختلف. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۴(۲)، صص. ۱۹۷–۲۰۸. SID. https://sid.ir/paper/366169/fa

۹. زاده پاریزی، سمانه، تاج آبادی پور، احمد و اسفندیارپور بروجنی، عیسی، ۱۳۹۹. تأثیر کشت نهال های پسته بر شکل‌های شیمیایی پتاسیم در برخی خاک‌های آهکی رفسنجان. دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)، ۳۰(۳)، صص ۱–۱۴. SID. https://sid.ir/paper/411080/fa

۱۰. ساداتی، مهرانگیز سادات، بهشتی آل‌آقا، علی و حامدی، فردین، ۱۴۰۲. اثر رهاسازی اراضی کشاورزی بر برخی خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک. نشریه آب و خاک، ۳۷(۳)، صص. ۳۹۷–۴۱۳. https://www.sid.ir/paper/1358511/fa#downloadbottom

۱۱. ساعدی، شتاو، حبشی، هاشم و حسینی، وحید، ۱۳۹۵. تاثیر تاج پوشش و ریشه‌دوانی گونه‌های ۴۳ ساله جنگل‌کاری حسن آباد سنندج بر تغییر ویژگی‌های خاک. اکوسیستم‌های طبیعی ایران ۷(۱)، صص.۵۷–۶۸. SID. https://sid.ir/paper/215241/fa

۱۲. سجادی، مهری، زین الدینی، علی و محمودی، شهلا، ۱۳۹۰. تأثیر کیفیت آب آبیاری برخصوصیات خاک و عملکرد پسته در دشت رباط شهربابک. علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲(۷)، صص. ۳۶–۴۵. sid.ir/FileServer/JF/5004313910704

۱۳. فرهادی، حسن، شریفانی، محمد مهدی، علیزاده، مهدی، حکم‌آبادی، حسین و علی‌نیایی‌فرد، ساسان، ۱۳۹۹. ارزیابی برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی دانهال‌های پسته گونه اهلی در تلاقی‌های کنترل شده با دانه گرده گونه اینتگریما به منظور دسترسی به ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی. علوم باغبانی، ۴۲(۲)، صص. ۳۰۳–۳۱۹. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084730.1399.34.2.9.4

14. Alef, K., Nannipieri, P., 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry, London San Diego: Academic Press, c1995.

15. Allison, L., Moodie, C., 1965. Carbonate. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties 9, 1379-1396.

16. B. Diallo, M., Akponikpè, P.I., Fatondji, D., Abasse, T., Agbossou, E.K., 2019. Long-term differential effects of tree species on soil nutrients and fertility improvement in agroforestry parklands of the Sahelian Niger. Forests, Trees and Livelihoods 28(4), 240-252.

17. Behera, S.K., Shukla, A.K., Suresh, K., Manorama, K., Mathur, R.K., Kumar, A., Harinarayana, P., Prakash, C ,.Tripathi, A., 2020. Oil palm cultivation enhances soil pH, electrical conductivity, concentrations of exchangeable calcium, magnesium, and available sulfur and soil organic carbon content. Land Degradation & Development 31(18), 2789-2803.

18. Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal 54(5), 464-465.

19. Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods 5, 1085-1121.

20. Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B ,.Vanguelova, E., Hansen, K., 2014. Tree species is the major factor explaining C: N ratios in European forest soils. Forest Ecology and Management 311, 3-16.

21. Curtin, D., H. Steppuhn and F. Selles. 1994. Effects of magnesium on cation selectivity and structural stability of sodic soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 730-737.

22. De Wandeler, H., Bruelheide, H., Dawud, S.M., Dănilă, G., Domisch, T., Finér, L., Hermy, M., Jaroszewicz, B., Joly, F.-X., Müller, S., 2018. Tree identity rather than tree diversity drives earthworm communities in European forests. Pedobiologia 67, 16-25.

23. Desta, K.N., Lisanenwork, N., Muktar, M ,.2018 .Physico-chemical properties of soil under the canopies of Faidherbia albida (Delile) A. Chev and Acacia tortilis (Forssk.) Hayen in park land agroforestry system in Central Rift Valley, Ethiopia. Journal of Horticulture and Forestry 10(1), 1-8.

24. Ekka, A.A., Kumar, D., Singh, A.P., Singh, A., 2017. Variation in physico-chemical properties of soil under different agri-horti system in Vindhyan region. Journal of Applied and Natural Science 9(2), 1187-1193.

25. Etafa, A.T., 2022. Effect of dominant shade tree species on selected soil physicochemical properties and coffee production in Sayyo district, western Ethiopia. Trees, Forests and People 8, 100245.

26. Garg, S., Joshi, R.K., Garkoti, S.C., 2022. Effect of tree canopy on herbaceous vegetation and soil characteristics in semi-arid forests of the Aravalli hills. Arid Land Research and Management 36(2), 224-242.

27. Ghiri ,M.N., Abtahi, A., Jaberian, F., Owliaie, H., 2010. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4(3), 434-441.

28. Heil, D. and G. Sposito. 1995. Organic matter role in illitic soil colloids flocculation. III. Scanning force microscopy. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 266-264.

29. Hosseinifard, S.J., Khademi, H., Kalbasi, M., 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (Pistacia vera L.) trees in Rafsanjan, Iran. Geoderma 155(3-4), 289-297.

30. Knudsen, D., Peterson, G., Pratt, P., 1983. Lithium, sodium, and potassium. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties 9, 225-246.

31. Kooch, Y., Bayranvand, M., 2017. Composition of tree species can mediate spatial variability of C and N cycles in mixed beech forests. Forest Ecology and Management 401, 55-64.

32. Liu, J., Gou, X., Zhang, F., Bian, R., Yin, D., 2021a. Spatial patterns in the C: N: P stoichiometry in Qinghai spruce and the soil across the Qilian Mountains, China. Catena 196, 104814.

33. Liu, P., Wang, W., Bai, Z., Guo, Z., Ren, W., Huang, J., Xu, Y., Yao, J., Ding, Y., Zang, R., 2021b. Nutrient loads and ratios both explain the coexistence of dominant tree species in a boreal forest in Xinjiang, Northwest China. Forest Ecology and Management 491, 119198.

34. Mesfin, S., Haileselassie, H., 2022. Evaluation of soil physico-chemical properties as affected by canopies of scattered agroforestry trees on croplands. South African Journal of Plant and Soil 39(2), 153-162.

35. Nelson, D.W., Sommers, L., 1974. A rapid and accurate procedure for estimation of organic carbon in soils, Proceedings of the Indiana Academy of Science, pp. 456-462.

36. Olsen, S.R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture.

37. Otero, X. L., A. Gonzalez-Guzman, V. S. Souza-Junior, A. Perez-Alberti and F. Macías. 2015. Soil processes and nutrient bioavailability in the rhizosphere of *Bolax gummifera* in a subantarctic environment (Martial Mountains, Ushuaia-Argentina). *Catena* 133: 432-440.

38. Pawlik, Ł., Gruba, P., Gałązka, A., Marzec-Grządziel, A., Kupka, D., Szopa, K., Buma, B., Šamonil, P., 2023. Weathering and soil production under trees growing on sandstones–The role of tree roots in soil formation. Science of The Total Environment 902, 166002.

39. Plaster, E., 1985. Soil Science and Management Delmar Publishers. Albany.

40. Portella, C.M.R., Guimarães, M.d.F., Feller, C., Fonseca, I.C.d.B., Tavares Filho, J., 2012. Soil aggregation under different management systems. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36, 1868-1877.

41. Rey Benayas, J.M., Martins, A., Nicolau, J.M., Schulz, J.J ,.2007 . Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences. CABI Reviews (2007), 14 pp.

42. Rhoades, J., van Schilfgaarde, J., 1976. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. Soil Science Society of America Journal40(5), 647-651.

43. SADEGHI, S.T., Jankju, M., Mesdaghi, M., 2013. Effects of shrub canopy on the microclimate and soil properties of steppe rangeland .Journal of Rangeland Science. 3(3), 213-222.

44. Schelfhout, S., Mertens, J., Verheyen, K., Vesterdal, L., Baeten, L., Muys, B., De Schrijver, A., 2017. Tree species identity shapes earthworm communities. Forests 8(3), 85.

45. Schofield, R., Taylor, A.W., 1955. The measurement of soil pH. Soil Science Society of America Journal 19(2), 164-167.

46. Shahrokh, V., Khademi, H., Faz Cano, A., Acosta, J., 2019. Different forms of soil potassium and clay mineralogy as influenced by the lemon tree rhizospheric environment. International Journal of Environmental Science and Technology 16(8), 3979-3988.

47. Slade, H., Wells, L., 2022. Soil quality enhancement with orchard age in pecan orchards of the southeastern US coastal plain. HortScience 57(9), 1099-1105.

48. Taghizadeh-Alisaraei, A., Assar, H.A., Ghobadian, B., Motevali, A., 2017. Potential of biofuel production from pistachio waste in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 72, 510-522.

49. Turpault, M.-P., Uterano, C., Boudot, J.-P., Ranger ,J., 2005. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry. Plant and soil 275, 327-336.

50. Van Nevel, L., Mertens, J., Demey, A., De Schrijver, A., De Neve, S., Tack, F.M., Verheyen, K., 2014. Metal and nutrient dynamics in decomposing tree litter on a metal contaminated site. Environmental Pollution 189, 54-62.

51. Wang, H., Gao, J.-e., Li, X.-h., Zhang, S.-l., Wang, H.-j., 2015. Nitrate accumulation and leaching in surface and ground water based on simulated rainfall experiments. PLoS One 1 (8) ,e0136274.

52. Wilkinson, J., 2005. Nut grower's guide: the complete handbook for producers and hobbyists. CSIRO PUBLISHING.

53. Wu, X., Xu, H., Tuo, D., Wang, C., Fu, B., Lv, Y., Liu, G., 20 .۲۰Land use change and stand age regulate soil respiration by influencing soil substrate supply and microbial community. Geoderma 359, 113991.

54. Yin, X., Zhao, L., Fang, Q., Ding, G., 2021. Differences in soil physicochemical properties in different-aged Pinus massoniana plantations in southwest China. Forests 12(8), 987.

55. Yoder, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses.

56. Zhang, K., Su, Y., Wang, T., Liu, T., 2016. Soil properties and herbaceous characteristics in an age sequence of Haloxylon ammodendron plantations in an oasis-desert ecotone of northwestern China. Journal of Arid Land 8, 960-972.

57. Zhao, Z., Chu, C., Zhou, D., Sha, Z., Wu, S., 2019. Soil nutrient status and the relation with planting area, planting age and grape varieties in urban vineyards in Shanghai. Heliyon 5(8), e02362.

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۱۴۰۳/ ۲۸۷-۳۰۴
https://doi.org/10.22092/IJSR.2024.366332.752

تعیین سهم نسبی کاربری اراضی در تولید رسوب با استفاده از شاخص‌های هوازدگی در حوضه آبخیز چهل چای

سعیده جلالی، کاظم نصرتی* و شهرام بهرامی

گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: sa_jalali@sbu.ac.ir
نویسنده مسئول*، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: knosrati@sbu.ac.ir
گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی ، تهران، ایران. رایانامه: bahrami.gh@gmail.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۴/۱۸و پذیرش:۱۴۰۳/۱۰/۸

چکیده

مسأله‌ی مهم و قابل توجه در پژوهش‌های کاربردی برای مدیریت حوزه‌های آبخیز، آگاهی از چگونگی فرآیند تولید رسوب حوضه‌های آبخیز است. در دو دهه‌ی اخیر، منشأیابی رسوب به عنوان یک روش مناسب برای تعیین منابع رسوب استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی سهم انواع منابع سطحی(جنگل، مرتع، کشاورزی و باغ) و زیرسطحی(کناره آبراهه) در تولید رسوب با استفاده از تکنیک منشأیابی رسوب با کاربرد شاخص های هوازدگی در حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان بود. برای این منظور، در مرحله‌ی اول، نمونه رسوب معلق طی هشت رخداد سیلاب در بازه‌ی زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا فروردین ۱۴۰۰ برداشته شد. شاخص های هوازدگی بر اساس غلظت ردیاب‌های ژئوشیمیایی محاسبه شد. پس از آزمون‌های دامنه، کروسکال-والیس و تحلیل تشخیص، شاخص تغییر شیمیایی (CPA)، نسبت آ ال کا(ALK)، شاخص منیزیوم (MgIndex)، شاخص بی ای۱(ba1) و شاخص کالمگ (CALMAG Index) که بالاترین درصد توان تفکیک‌پذیری را داشتند برای تعیین سهم منابع تولید رسوب انتخاب شدند. نتایج اجرای مدل منشأیابی در حوضه آبخیز چهل چای نشان داد که در بین منابع سطحی و زیرسطحی، کاربری کشاورزی، ۸۸/۶٪ کل رسوب را تولید می‌کند. سهم سایر کاربری‌ها به ترتیب مرتع(۴/۱٪)، باغ(۲/۳٪) و آبراهه ۵٪ بود. با آگاهی از سهم بالای زمین های کشاورزی در تولید رسوب، طراحی و اجرای عملیات حفاظت خاک متناسب با موقعیت منطقه، امری ضروری به شمار می‌آید.

واژه های کلیدی: منشأیابی رسوب، حفاظت خاک، فرسایش خاک، ردیاب‌های ژئوشیمیایی

---

*-آدرس ایمیل نویسنده مسئول:knosrati@sbu.ac.ir

مقدمه

امروزه فرسایش شدید خاک یک بحران جدی برای حفظ و پایداری منابع محیطی به شمار می‌آید (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). چرا که کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب و خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (مالهوترا و همکاران، ۲۰۱۸). تولید رسوب بیش از حد که یکی از اثرات منفی فرسایش خاک می‌باشد، تهدید جدی برای تعادل سیستم رودخانه محسوب می‌شود (گلیس و سانیکا، ۲۰۱۸). پرشدن مخازن و سدها (اونز و همکاران، ۲۰۱۶)، تغییر موروفولوژی کانال‌ها (کشمان، ۲۰۲۲) و نابودی زیست‌گاه‌های جانوران آبزی (جونز، ۲۰۱۴، کیپ و همکاران، ۲۰۱۱، ویلکز و همکاران، ۲۰۱۹) از نتایج فرسایش شدید خاک و تولید رسوب بیش از اندازه می-باشد. بر همین اساس امروزه برای حل معظل فرسایش و رسوب مدل‌ها و روش‌های متفاوتی طراحی شده که شامل روش‌های میدانی و آزمایشگاهی و همچنین استفاده از نرم افزارهای متفاوت مرتبط با علوم محیطی می‌باشد. در طول بیش از دو دهه گذشته کارایی روش منشأیابی به عنوان روشی موفق و موثر برای تعیین منابع رسوب به اثبات رسیده است. روش مذکور بر پایه‌ی مطالعات و نمونه-برداری میدانی و استفاده ازتجزیه‌های آزمایشگاهی در دوهه‌ی اخیر در سراسر دنیا به عنوان تکنیک مفید و مؤثر جهت شناخت و مدیریت عوامل مؤثر در تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز به شمار می‌آید. منشأیابی رسوب شامل شناسایی منابع رسوب بر اساس ویژگی‌های ردیاب‌ها و تعیین سهم نسبی هر کدام از منابع در تولید رسوب می باشد (کالینز و والینگ، ۱۹۹۸، ۲۰۰۷، بلیک و همکاران، ۲۰۰۳، کارتر. همکاران، ۲۰۰۳). منظور از منشا رسوب، واحد یا پدیده ی فیزیکی یا فرسایشی است که مد نظر قرار گرفته و فرآیند فرسایش در این واحد رخ داده و در نهایت بخشی از آن فرسایش به واسطه ی حمل و انتقال به عنوان رسوب مطرح می شود. این روش بر این فرض استوار است که منابع مختلف رسوب با بهره‌گیری از شماری از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و آلی قابل شناسایی بوده و با مقایسه این ویژگی ها با همان ویژگی‌ها در نمونه‌های رسوب می‌توان سهم و اهمیت نسبی منابع رسوب در تولید رسوب را به دست آورد.(نصرتی و همکاران، ۱۳۹۸) از مهم‌ترین برتری های این روش می‌توان به سرعت زیاد و اقتصادی بودن آن اشاره کرد. (حکیم خانی، ۱۳۸۹). بررسی منابع سطحی و زیر سطحی یکی از رویکردهایی است که در این تکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرسایش سطحی معمولا بر اساس کاربری موجود از جمله جنگل، مرتع، کشاورزی انتخاب می‌شود. برای نمونه گیری از منابع سطحی معمولا محل هایی انتخاب می‌شود که آثار فرسایش در آنها مشهود باشد و تا عمقی نمونه برداری می‌شود که مواد آن در صورت فرسایش به راحتی جدا شده و وارد چرخه‌ی فرسایش شود که از عمق یک تا ۱۰ سانتی‌متری را در بر می‌گیرد. (صادقی و همکاران ۲۰۱۰). برای نمونه‌برداری از منابع زیرسطحی که شامل کناره‌ی آبراهه، خندق (گالی) و جاده می‌باشد، حداکثر عمق ۲۰ سانتی‌متر است.(نجفی و صادقی، ۱۳۹۲) انواع مختلف ردیاب برای شناسایی منابع رسوب مورد آزمایش قرار گرفته‌اند (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۸، پالازون و ناواز، ۲۰۱۷، والینگ، ۱۹۹۹، حدادچی، ۲۰۱۳). در این میان ردیاب‌های ژئوشیمیایی بیشترین تعداد مطالعات را به خود اختصاص داده و به طور گسترده در پژوهش‌های انجام شده مورد استفاده قرار گرفته است. (کویتر و همکاران، ۲۰۱۳، هوگ و همکاران، ۲۰۱۳، نصرتی و جلالی، ۱۳۹۴) چرا که این ردیاب‌ها قدرت بالایی در تشخیص و تفکیک هر کدام از عناصر در تعیین سهم نسبی منابع در تولید رسوب دارند (مالهوترا و همکاران، ۲۰۲۰) امروزه در مطالعات منشأیابی رسوب با استفاده از غلظت ردیاب‌های ژئوشیمیایی محاسبه شده می‌توان شاخص‌های هوازدگی را محاسبه کرد و به عنوان ترکیب جدید از ردیاب‌ها به‌کار برد (حدادچی، ۲۰۱۳). از شاخص های هوازدگی برای بررسی و تفسیر فرآیندهای ژئوشیمیایی سطح پوسته‌ی زمین استفاده می‌شود. نصرتی و همکاران، (۲۰۱۹). از هوزادگی می توان یک عامل

کلیدی که اشکال سطح زمین را تحت تأثیر قرار داده و در تنظیم فرآیندهای ژئوشیمیایی موثر است، نام برد. با شناخت و اندازه‌گیری شدت هوازدگی می توان درک و تفسیر دقیق‌تری نسبت به فرآیندهای ژئومورفولوژی از جمله انباشت، حمل و رسوب گذاری داشت.هوازدگی شیمیایی در حوضه های آبریز رودخانه نقش مهمی در چرخه های ژئوشیمیایی دارد. ذرات منتقل شده توسط رودخانه‌ها حاوی اطلاعات ارزشمندی در مورد هوازدگی زمین، فرسایش و تغییرات آب و هوایی است. (شائو، ۲۰۱۲). چنین عملیاتی بر این فرض ضمنی استوار است که ترکیب کانی شناسی و ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه توسط تعامل پیچیده عوامل، از جمله منشأ زمین شناسی، فرسایش و فرآیندهای هوازدگی تعیین می‌شود (جواو، ۲۰۱۸). از آنجا که شاخص‌های هواشناسی منعکس کننده تعاملات پیچیده بین رژیم آب و هوایی، لیتولوژی، توسعه خاک، تکتونیسم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی است استفاده از آنها به عنوان ردیاب، ابزاری مناسب برای تعیین سهم نسبی هر کدام از منابع در تولید رسوب است (لی و یی جی، ۲۰۱۰، شائو و همکاران، ۲۰۱۲). گارزون گارسیا[1] و همکاران(۲۰۱۷) با استفاده از ردیاب‌های ایزوتوپ پایدار، کربن آلی و نیتروژن منشا رسوبات یکی از حوضه‌های آبخیز استرالیا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۶۰ درصد رسوبات مربوط به منابع زیرسطحی است. . نصرتی و همکاران (۲۰۱۸) اقدام به منشأ یابی منابع رسوب در حوزه آبخیز زیارت گرگان نمودند. بدین منظور از ۱۲ردیاب ژئوشیمیایی به همراه سزیم ۱۳۷ برای تعیین سهم سه منبع دامنه، فرسایش کنار رودخانه‌ای و جاده استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده فرسایش کنار رودخانه‌ای و هم‌چنین جاده سهم عمده‌ای را در تولید رسوب دارند. ویگینی و همکاران (۲۰۲۳)، با استفاده از شاخص های هوازدگی، منشأ رسوبات رودخانه زرد را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بخش زیاد رسوبات موجود، حاصل فرسایش یخچال های طبیعی گذشته است که طی شرایط اقلیمی و تکتونیکی ایجاد شده است. نصرتی و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از ردیاب‌های ژئوشیمیایی و هوازدگی، سهم منابع رسوب زیرحوضه‌های آبخیز کن را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که زیرحوضه سنگان بیشترین سهم را در تولید رسوب دارد.

حوضه آبخیز چهل چای در استان گلستان، در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت و تأمین امنیت غذایی، مورد کاربری گسترده از جنگل به کشاورزی و جنگل و باغ قرار گرفته، هدف از این مطالعه بررسی سهم نسبی منابع رسوب فرسایش سطحی (کشاورزی، جنگل، مرتع و باغ) و فرسایش زیرسطحی (کناره آبراهه)، با استفاده از شاخص های هوازدگی برای اولین بار در حوضه آبخیز چهل‌چای استان گلستان می‌باشد.

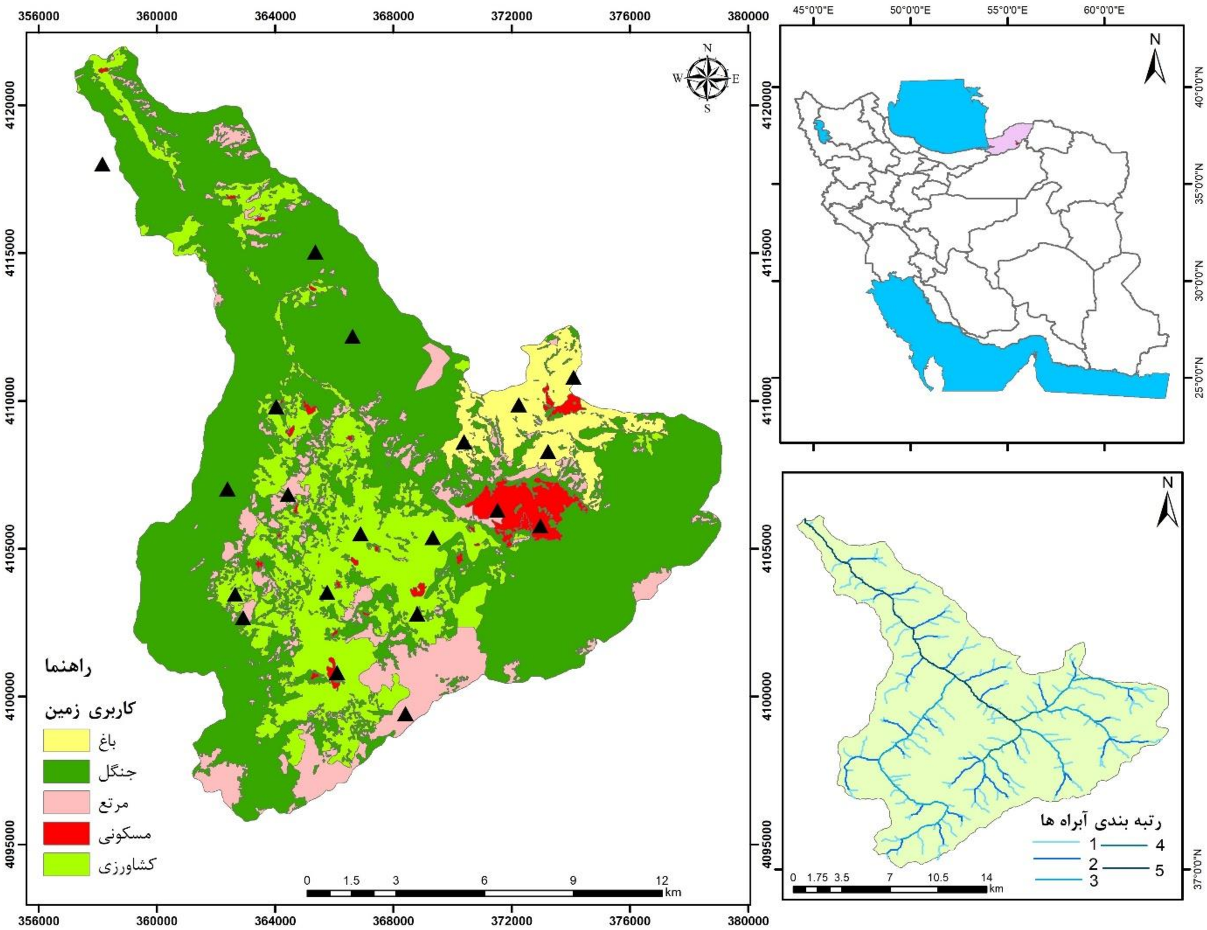
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، حوضه آبخیز چهل چای مساحتی حدود ۲۵۶۸۰ هکتار در دامنه های شرق البرز قرار دارد. از لحاظ طول و عرض جغرافیایی، این حوضه در موقعیت ″۳۰، ′ ۲۲ ، °۵۵ الی ″۲۰ ، ′ ۳۷ ، °۵۵ طول شرقی ″۳۰ ، ′ ۵۷ ، °۳۶ الی ″۰۰ ′ ۳۷°۱۵ عرض شمالی واقع شده است. جریان هیدرولوژیکی حوضه به نام رودخانه چهل چای تأثیر بسزایی در اقتصاد حوضه و خارج از حوضه و دشت‌های حاصل‌خیز و مرغوب حاشیه گرگان‌رود دارد. پوشش گیاهی غالب حوضه در بخش شمالی، جنگل و در جنوب به تیپ مرتعی و خشک تغییر می‌یابد. کمترین و بیشترین ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۹۰ تا ۲۵۷۰ متر است. میانگین شیب منطقه بین ۴۰–۳۵ درصد است. میانگین ۳۰ ساله بارش در دوره‌ی زمانی ۶۸–۹۸، ۷۵۰ میلی‌متر است. متوسط دمای سالیانه از ۱۵/۳ تا ۲۴/۱ درجه متغیر است. ماه بهمن به‌عنوان سردترین ماه سال و ماه مرداد به‌عنوان گرم‌ترین ماه سال در منطقه موردمطالعه است. اقلیم منطقه به دو بخش کلی تقسیم می‌شود، بخش

[1] Garzon- Garcia

شمال حوضه که دارای اراضی پست و هموار است، مرطوب و نیمه مرطوب بوده و بخش جنوب حوضه که ارتفاعات کوهستانی (البرز شرقی) است دارای اقلیم نیمه‌خشک است. در حال حاضر ۶۰ درصد حوزه را جنگل، ۲۶/۵ درصد کشاورزی، ۹/۸ درصد مرتع و ۴ درصد مسکونی تشکیل می‌دهد. تیپ غالب جنگل‌های منطقه در بخش بالادست ممرز، بلوط و در بخش پایین‌دست انجیلی است. اراضی کشاورزی تحت کاشت گندم، جو و سویا است. فرسایش به شکل حرکات توده‌ای، زمین‌لغزش و فرسایش سطحی خاک در اراضی کشاورزی است. بر اساس رتبه‌بندی آبراهه، چهل چای دارای ۵ رتبه است. میزان دبی متوسط روزانه (۲/۸) و حداکثر دبی روزانه ثبت‌شده در دوره‌ی آماری نمونه‌برداری یعنی بهمن ۱۳۹۹ تا اردیبهشت ۱۴۰۰، ۸٫۶۹ متر مکعب در ساعت است. بر اساس آمار موجود بار معلق بین ۴۷۲۷ و ۰/ ۰۰۱ تن در هکتار در نوسان بوده است. در سال‌های اخیر در اثر افزایش جمعیت حوضه آبخیز دچار تغییرات شدید کاربری از جنگل به مرتع شده که باعث تخریب خاک و افزایش بار رسوب حوضه شده است. در شکل ۱، نقشه کاربری اراضی و آبراهه ارائه‌شده است.



شکل ۱- نقشه کاربری اراضی و شبکه آبراهه حوضه آبخیز چهل چای

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌برداری از رسوبات معلق

در بیشتر تحقیقاتی که تاکنون در رابطه با منشأیابی صورت گرفته است نمونه های رسوب از رسوبات انباشته شده در بستر و کناره‌های رودخانه و دشت‌های سیلابی منتهی به رودخانه و رسوب معلق رودخانه برداشت شده‌اند (هوگ و همکاران، ۲۰۰۹، حدادچی و همکاران، ۲۰۱۴). مسئله مهم در نمونه‌های رسوب این است که نمونه‌ها بایستی یک شاخصی از کل رسوبات حمل شده توسط رودخانه باشند لذا در بازه‌ی زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا فروردین ۱۴۰۰ بعد از هر رخداد بارش در محل خروجی حوضه با استفاده از بطری پلاستیکی اقدام به نمونه‌برداری از رسوبات معلق شد. بعد از ته‌نشست از کاغذ صافی رد شدند. در مرحله‌ی آخر هر کدام از نمونه‌ها که خشک شدند به طور مجزا با دستگاه ترازوی دیجیتال اندازه گیری شدند. تاریخ و میزان رسوب معلق پس از خشک شدن (گرم در لیتر) در جدول ۲ ارائه شده است.

نمونه برداری از منابع رسوب

با توجه به تغییر کاربری انجام شده، نمونه‌ها شامل دو گروه منابع سطحی (جنگل، مرتع، باغ و کشاورزی) و منابع زیر سطحی (کناره رودخانه) انتخاب شدند. بعد از تعیین نقاط نمونه‌برداری، عملیات میدانی آغاز شد. جهت نمونه برداری از منابع رسوب، با استفاده از بیلچه فلزی و پاکت مخصوص نمونه برداری، از عمق ۵-۰ سانتی‌متری از نقاط مشخص شده نمونه برداری منابع سطحی صورت گرفت. همچنین از کناره‌ی رودخانه به عنوان منابع زیرسطحی بودند از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری، نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های جمع آوری شده، به آزمایشگاه ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین انتقال داده شدند. ابتدا در هوای آزاد خشک شدند سپس درون آون قرار گرفتند و با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به طور کامل رطوبت خود را از دست دادند.

جهت آماده‌سازی برای اندازه‌گیری غلظت عناصر ژئوشیمیایی، هضم اسیدی انجام شد. ابتدا اندازه غالب که کمتر از ۶۳ میکرون بود تعیین گردید. (پالی و همکاران، ۲۰۱۰؛ پالازون و نواز، ۲۰۱۷؛ تیچر و همکاران، ۲۰۱۸) از هر کدام از نمونه‌ها، یک گرم وزن و در بالن ریخته شد و با محلول اسید روبیک ترکیب و تبدیل به قرص شدند. قرص‌های آماده شده جهت اندازه گیری غلظت عناصر ژئوشیمیایی در دستگاه XRF(X-ray fluorescence) واقع در آزمایشگاه کانساران بینالود قرار داده شده و آنالیز انجام شد.۲۳ غلظت عنصر ژئوشیمیایی شامل آرسنیک(As)، باریم(Ba)، کلسیم(Cao)،کلر(CI)، مس (Cu)، کروم (Cr)، نیکل Ni)، گوگرد (S)، سرب(Pb)، استرانسیوم (Sr)، وانادیم(V) ، روی (Zn)، در واحد (ppm) و درصد اکسید شامل: آلومینیوم اکسید (Al_2O_3)، اکسید آهن(Fe_2O_3)، اکسید پتاسیم(K_2O) ، اکسید منگنز (MnO)، اکسید منیزیم(MgO)،سدیم اکسید(Na_2O) ، پنتا اکسید فسفر(P_2O_5) ،سیلیسیم دی اکسید (SiO2)، تیتانیوم اکسید(TiO_2) اندازه گیری شد. ۳۶ شاخص‌های هوازدگی بر اساس نسبت مولکولی عناصر به کار رفته در هر فرمول به طور جداگانه محاسبه شد. نام تمامی شاخص‌ها و مشخصات هر کدام از آنها به همراه منبع مورد استفاده در جدول ۱، ارائه شده است. غلظت هر عنصر بر حسب پی پی ام (ppm)، بر اساس نسبت ترکیب عنصر به اکسیدهای عنصر محاسبه شد (اولی و کایشون، ۲۰۰۰، موتا و همکاران، ۲۰۰۳).

شاخص های هوازدگی

شاخص‌های هوازگی شیمیایی بر اساس ترکیب عناصـر اصـلی سنگ و خاک بنا شده‌اند. بیشتر این شاخص‌ها نسبت‌های مولکولی و درصد وزنی بین گروه-های متفاوت اکسیدهای اصلی است. (ریگانی و همکاران، ۲۰۱۹). فرض اصلی در فرمول کردن ان شاخص‌ها رفتار عنصرهای شیمیایی است که به تنهایی به وسیله درجه هوازدگی کنترل می‌شود. انتظار می‌رود که با افزایش شدت هوازدگی، اکسیدهای اصلی شامل: اکسید

آهن(Fe_2O_3)، تیتانیوم اکسید(TiO_2) و آلومینیوم اکسید (Al_2O_3) که به عنوان اکسیدهای غیر متحرک هستند در خاک مانده و اکسیدهای کلسیم، منیزیوم، سدیم، پتاسیم و سیلیس که متحرک هستند کاهش یافته و مقدار آب ساختاری افزایش یابد.

در این پژوهش، بر اساس درصد عناصر اکسیدهای اصلی که در بالا معرفی شدند، ۳۶ شاخص هوازدگی محاسبه شد.

جدول ۱- شاخص‌های هوازدگی ، معادلات و منابع مورد استفاده در پژوهش

شاخص هوازدگی($mg\ Kg^{-1}$)	معادله	منبع
شاخص هوازدگی پارکر[۲]	$[2Na_2O/0.35+MgO/0.9+2K_2O/0.25+CaO/0.7]\times100$	(پارکر،۱۹۷۰)
شاخص پراکسی تغییر شیمیایی[۳]	$[Al_2O_3\ /(Al_2O_3+Na_2O)]\ \times100$	(کالرس،۲۰۰۰)(بوگلت و همکاران، ۲۰۱۱)
شاخص تولید[۴]	$[(SiO_2\times100)\ (SiO_2+TiO_2+Fe_2O_3+Al_2O_3)]$	(راکستون، ۱۹۶۸)
[۵]نسبت آ ال کا	$[(K_2O\ (K_2O+Na_2O))]\ \times100$	(هارنویز و مور، ۱۹۸۸)
شاخص غنی شدگی[۶]	$[SiO_2\ /(K_2O+Na_2O+CaO+MgO)]$	ان جی،)(لی و همکاران، ۱۹۹۵) ۲۰۰۱)
شاخص تغییر شیمیایی[۷]	$[Al_2O_3\ /(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)]\ \times100$	(نبیت و یانگ، ۱۹۸۲)
نسبت سزکوئی اکسید[۸]	$[SiO_2/\ (Al_2O_3+Fe_2O_3)]$	(مویجین، ۱۹۶۶)
شاخص آلومینیوم به سدیم و پتاسیم[۹]	$[Al_2O_3/\ (K_2O+Na_2O)]$	(هارنویز و مور، ۱۹۸۸)
شاخص آی آر [۱۰]	CIA/WIP	(گرازانتی و همکاران، ۲۰۱۴)
شاخص باقی مانده وگت[۱۱]	$[(Al_2O_3+K2O)\ (MgO+CaO+Na_2O)]$	(وگت، ۱۹۲۷)
شاخص آر[۱۲]	SiO_2/Al_2O_3	(راکستون، ۱۹۶۸)
شاخص هوازدگی شیمیایی[۱۳]	$[Al_2O_3\ /(Al_2O_3+CaO+Na_2O]\ \times100$	(هارنویز و مور، ۱۹۸۸)
شاخص تغییر پلاژیوکلاس[۱۴]	$[Al_2O_3\text{-}K_2O)/\ (Al_2O_3+CaO+Na_2O\text{-}K_2O]\ \times100$	(فدو و همکاران، ۱۹۹۵)
شاخص کالماگ[۱۵]	$[Al_2O_3\ /(Al_2O_3+CaO+MgO)]$	(اوداجرا و همکاران، ۲۰۱۶ نوردت و وداریس،۲۰۱۰)
شاخص پتانسیل هوازدگی[۱۶]	$[(K2O+Na2O+CaO+MgO\text{-}H2O).\ (SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O3+FeO+TiO_2+CaO+MgO+Na_2O+K_2O)]\ \times100$	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸) (ریچه، ۱۹۴۳)(ایفران، ۱۹۹۶)
شاخص برون۱[۱۷]	Ln (FeAs)	(برون و همکاران، ۲۰۰۳)(مک لمور و همکاران، ۲۰۰۸)

WIP (Weathering Index of Parker) [2]

[3] CPA (Chemical Proxy of Alteration)

PI (Product Index) [4]

ALK Ratio [5]

LC (Leaching coefficient) [6]

CIA (Chemical Index of alteration) [7]

Kr (Silica- Sesquioxide Ratio) [8]

AKN (Alumina to potassium-sodium oxide Ratio) [9]

IR [10]

V (Vogt's Residual Index) [11]

R [12]

CIW (Chemical Index of Weathering) [13]

Index of PIA (Plagioclase Alteration)[14]

CALMAG Index [15]

CIA (Chemical Index of alteration) [16]

Brown1 [17]

شاخص برون۲[۱۸]	$Ln /((CaO+Na_2O)\ Al_2O_3)$	
شاخص دبلیو آی۱ [۱۹]	$[(SiO_2+CaO)\ (Fe_2O_3+ TiO_2)]$	دارمودی و همکاران، ۲۰۰۵)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص دبلیو آی۲[۲۰]	$[(SiO_2+CaO)\ (Al_2O_3+ Fe_2O_3+TiO_2)]$	دارمودی و همکاران، ۲۰۰۵)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص منیزیوم[۲۱]	$100\times (Al_2O_3\ (Al_2O_3+ MgO))$	(می نارد، ۱۹۹۲)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص آر سی[۲۲]	$[(Al_2O_3+Fe_2O_3).(K_2O+Na_2O+CaO+MgO)]$	لی و همکاران، ۱۹۹۵)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص بی آی۱[۲۳]	$[(K_2O+Na_2O)/ Al_2O_3]$	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص بی آی۲[۲۴]	$[(CaO+MgO) /Al_2O_3]$	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص بی آی۳[۲۵]	$[(K_2O+Na_2O+MgO)\ Al_2O_3]$	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص آی ای[۲۶]	$[(K_2O+Na_2O)/ (K_2O+MgO+Na_2O+CaO)]$	(پیچه و جبراک، ۲۰۰۴)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص چیتل بروف[۲۷]	$[(CaO+MgO+Na_2O)/ TiO_2]$	(چیت بوروگ، ۱۹۹۱)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص کالمن[۲۸]	$[(K_2O+Na_2O+CaO+MgO) /(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)]$	(کلمن، ۱۹۸۲)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص بریکلند[۲۹]	$[SiO_2 /(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)]$	(بیرکلند، ۲۰۰۳)(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص بی آ[۳۰]	$[(K_2O+Na_2O+CaO)\ Al_2O_3]$	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص سیلی کات آلومینییوم[۳۱]	$[(SiO_2/TiO_2)\ [(SiO_2TiO_2)+(SiO_2..Al_2O_3)+(Al_2O_3TiO_2)]]\times100$	(جایاواردنا و ایزاوا، ۱۹۹۴)
		(بااومن و همکاران، ۲۰۱۴)
شاخص اف ای ان جی[۳۲]	$[Al_2O_3+Fe_2O_3)/ (Na_2O+K_2O+MgO+P_2O_5]$	
شاخص اس اف[۳۳]	SiO_2/Fe_2O_3	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص اس آ[۳۴]	SiO_2/Al_2O_3	
میزان سزکوئی اکسید[۳۵]	$Al_2O_3+Fe_2O_3$	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص آ اف[۳۶]	Al_2O_3/Fe_2O_3	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)
شاخص آ اس[۳۷]	Al_2O_3/ SiO_2	(مک لمور و همکاران،۲۰۰۸)

---

[18] Brown2
[19] WI-1
[20] WI-2
[21] Mg Index
[22] Rc (Residual coefficient)
[23] ba1
[24] ba2
[25] ba3
[26] AI
[27] Chittleborough
[28] Colman
[29] Birkeland
[30] Ba (Bases to Alumina)
[31] STI (Silica-titania Index)
[32] FENG
[33] SF
[34] SA
[35] SOC (Sesquoxide content)
[36] AF
[37] AS

Index of Chemical Alteration (CIA)، شاخص شیمیایی تغییر (دگرگونی)، توسط نسبیت و یانگ (۱۹۸۲) ابداع شده است در مطالعات گسترده‌ای مورد استفاده قرارگرفته است، پایه و مبنایی برای بررسی تغییرات شیمیایی بر اساس عناصر آلومینیوم- سیلیکات به شمار می‌آید (حدادچی، ۲۰۱۳، موتا، ۲۰۰۳) اگر مقدار شاخص شیمیایی تغییر بین ۵۰ تا ۶۰ باشد، نشان از مراحل ابتدایی بودن هوازدگی است، اگر بین ۶۰ تا ۸۰ باشد، شدت متوسط هوازدگی را نشان می‌دهد و در طبقه‌بندی سوم، اگر نرخ هوازدگی به‌دست‌آمده بین ۸۰ تا ۱۰۰ باشد، هوازدگی شدید رخ‌داده است (موتا، ۲۰۰۳)؛ و نشان می دهد بیشتر ساختار سیلیکات سنگ‌بستر از بین رفته است. شاخص هوازدگی پارکر (WIP)، توسط پارکر (۱۹۷۰) ارائه شد، برخلاف میزان شاخص تغییر شیمیایی (CIA)، مقدار شاخص هوازدگی پارکر (WIP) کمتر، نشان از نرخ هوازدگی بالاتر را دارد. (شائو، ۲۰۱۲).

آزمون براکت یا دامنه

در فن منشأیابی رسوب، در حین جداسازی و انتقال رسوب، ردیاب‌ها در طی حرکت ممکن است دچار تغییر شوند، لذا در اولین قدم لازم است با استفاده از آزمون براکت، آن دسته از ردیاب‌هایی که دچار این تغیر شوند حذف شوند (لامبا، ۲۰۱۵). طیف وسیعی از عوامل در محیط‌های طبیعی ازجمله اکسایش مجدد، دما، انتقال ذرات انتخابی، جذب و دفع یا بارش و انحلال می‌توانند در حفاظت از ردیاب‌ها اثر بگذارند؛ بنابراین ردیاب رسوب باید رفتار حفاظت شده در طول جداسازی و انتقال در طول حوضه آبخیز از خود نشان دهد (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۹).

بر این اساس، اولین قدم برای انتخاب ردیاب-هایی که دچار تغییر نشدند، آزمون مناسب جهت شناسایی و حذف این ردیاب‌ها می‌باشد. در این پژوهش در مرحله اول یک براکت استاندارد یا تست دامنه برای شناسایی ردیاب‌های غیرمحافظت شده مورد استفاده قرار گرفت. به‌موجب این آزمون، غلظت ردیاب‌ها در نمونه‌های رسوب معلق (جمع‌آوری‌شده از رخدادهای بارندگی در خروجی حوضه اصلی) با محدوده حداقل و حداکثر مربوط به نمونه‌های منابع رسوب مقایسه شدند و ردیاب تمام نمونه‌های رسوبی که غلظت‌ها بالاتر یا پایین‌تر از همه نمونه‌های منبع را نشان می‌دادند، در مرحله اول حذف‌شده‌اند. در مرحله دوم، ردیاب‌ها با استفاده از یک آزمایش دقیق‌تر بررسی شدند که به‌موجب آن میانگین غلظت نمونه رسوب برای هر ردیاب باید در محدوده میانگین غلظت متوسط نمونه منبع مربوط باشد. زمانی که بیشتر از ده درصد نمونه‌های رسوب در رخدادهای بارندگی خارج از مقدار متوسط منابع قرار بگیرند، این فرض را نشان می‌دهد که ردیاب نماینده منابع رسوب نیست و از تجزیه و تحلیل‌های بعدی حذف می‌شود، در مرحله سوم بی‌پلات‌ها از ردیاب‌های انتخاب‌شده در منشایابی ترکیبی آماری تأیید شده نهایی، برای مقایسه نمونه‌های منابع و رسوب استفاده شدند (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۸).

آنالیزهای آماری برای تشخیص منابع

در مرحله‌ی بعد از آزمون براکت یا دامنه، در قالب یک روش آماری دومرحله‌ای برای انتخاب ترکیب بهینه از ردیاب‌هایی که قادر به جداسازی منابع رسوب هستند، استفاده شد. بدین منظور با استفاده از آماره H، یا کروسکال والیس در آزمون ناپارامتری، توانایی هرکدام از ردیاب‌ها در تفکیک منابع رسوب که شامل کاربری اراضی و کناره آبراهه است بررسی شد. درنتیجه ردیاب‌هایی که سطح معنی‌داری آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ باشد، منابع رسوب را از هم تفکیک می‌کنند و وارد مرحله‌ی دوم می‌شوند؛ و سایر ردیاب‌هایی که معنی‌دار نبودند، حذف می‌گردند. سپس در مرحله‌ی بعد آنالیز تابع تشخیص گام‌به‌گام، برای کاهش خصوصیات انتخابی اولیه به طوری‌که دارای حداقل همبستگی و حداکثر توان تفکیک را بین منابع رسوب دارا باشند، به کار گرفته‌شده است. آنالیز تشخیص، راهکاری است برای آنکه متغیرها را در قالب گروه‌های مجزا از هم تفکیک کنیم، به صورتی‌که هر گروه در عین

اینکه با گروه دیگر شباهت و همبستگی دارد، از انسجام لازم نیز برای تفکیک برخوردار باشد. محاسبات مربوط به دو مرحله در نرم‌افزار SPSS انجام شد. (حدادچی و همکاران، ۲۰۱۳).

تعیین سهم نسبی منابع سطحی و زیرسطحی در تولید رسوب

روش اصلاح‌شده Mix SIR Bayesian که توسط نصرتی (۲۰۱۴) ابداع شده است، نسبت توزیع رسوبات حاصله از منابع مختلف را اندازه‌گیری می‌نماید. مقدار نسبی رسوبات موجود، با محاسبه میانگین و واریانس پارامترهای هر منبعی رسوبی i و مجموعه نهایی ترکیبی بهینه از ردیاب‌ها است. j تعیین توزیع مناسب ردیاب‌های پیشنهادی ترکیب‌های رسوبی موردنظر که از محل تجمع رسوبات جمع‌آوری می‌شوند، با محاسبه مقادیر پیشنهادی برای میانگین μ_j و انحراف معیار σ_j ترکیب رسوبات بر اساس مقادیر تصادفی fi که شامل fq می‌باشند، صورت می‌گیرد.

$$\mu j = \sum_{i=1}^{n} (f \times mj) \qquad (1)$$

$$\sigma j = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} fi^2 \times sj^2} \qquad (2)$$

در رابطه شماره (۱) مقدار m_j مقدار میانگین بوده و sj^2 در رابطه شماره (۲) نیز j امین واریانس ردیاب‌های رسوبات است. سرانجام بر اساس مقادیر μj و σj برای هر یک از روش‌های انگشت‌نگاری‌های مرکب محاسبه و با توجه به ترکیب رسوبات پیشنهادشده، رابطه احتمال داده‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود. K امین مشخصات ردیاب نمونه رسوبی شماره j نشان‌دهنده Xkj در معادله بالا است.

$$L(x|\hat{\mu}_i, \hat{\sigma}_j) = \prod_{k=1}^{n} \prod_{j=1}^{n} \left[\frac{1}{\hat{\sigma}_j \times \sqrt{2 \times \pi}} \times exp - \frac{(x_{ij} - \hat{\mu}_i)2}{2 \times \hat{\sigma}_j 2} \right] \qquad (3)$$

نتایج و بحث

نتایج نمونه برداری رسوب معلق در جدول ۱، ارائه شده است. بیشترین رسوب معلق در رخداد بارش ۵ فروردین ۱۴۰۰ جمع آوری شده است و کمترین نرخ متعلق به رخداد ۱۹ بهمن ۹۹ می‌باشد. در جدو۲، اطلاعات مربوط به نمونه برداری رسوب معلق ارائه شده است.

جدول ۲- تاریخ و میزان رسوب معلق پس از خشک شدن (گرم در لیتر)

تاریخ بارش	وزن(گرم)	تاریخ بارش	وزن(گرم)	تاریخ بارش	وزن(گرم)	تاریخ بارش	وزن(گرم)
۹۹/۱۱/۱۹	۱۱	۹۹/۱۲/۵	۱۹	۹۸/۱۲/۲۷	۱۸	۱۴۰۰/۱/۵	۴۰
۱۴۰۰/۲/۱۱	۱۹	۱۴۰۰/۱/۲۱	۴۰	۱۴۰۰/۱/۱۷	۱۲	۱۴۰۰/۱/۲۰	۱۲

محاسبه‌ی شاخص‌های هوازدگی

۳۶ شاخص هوازدگی به‌عنوان ردیاب مورداستفاده قرار گرفتند. در جدول 3، میانگین نرخ هوازدگی در هر کدام از منابع ارائه شده است. بر اساس شاخص تغییر شیمیایی (CIA)، تمامی کاربری‌ها در مرحله‌ی ابتدایی یا اولیه فرسایش قرار دارند. شاخص هوازدگی پارکر (WIP) نشان می‌دهد، شدت هوازدگی در اراضی کشاورزی نسبت به سایر کاربری‌ها مقداری بیشتر است. شاخص تولید (PI)، شاخص دبلیو آی۲(WI-2) ، آ اس (AS)، میزان سزکوئی اکسید (SOC) ، آر (R) ، ba1، به دلیل عناصر پایه‌ی مشترک اکسید آلومینیوم(Al_2O_3)، اکسید آهن (Fe_2O_3) و اکسید سیلیس (SiO_2) جهت محاسبه‌ی شاخص در یک محدوده ی یکسان هوازدگی قرار دارند.

جدول ۳- میانگین نرخ هوازدگی در کاربری‌های منطقه موردمطالعه

شاخص‌های هوازدگی($mg\ Kg^{-1}$)	جنگل	مرتع	کشاورزی	باغ	کناره آبراهه
شاخص هوازدگی پارکر	50/42	50/02	48/58	50/18	53/66
شاخص پراکسی تغییر شیمیایی	85/86	83/18	84/90	83/84	82/52
شاخص تولید	87/18	87/43	87/57	87/40	87/50
نسبت آ ال کا	61/53	54/24	58/72	55/70	53/95
شاخص هوازدگی شیمیایی	48/96	46/27	49/31	43/98	41/06
شاخص سیلی کات آلومینییوم	1042/38	1239/28	1062/37	1241/98	1125/85
نسبت سزکوئی اکسید	7/33	7/40	7/58	7/37	7/48
شاخص آلومینیوم به سدیم و پتاسیم	2/35	2/26	2/34	2/30	2/18
شاخص باقی مانده وگت	7/58	7/37	8/73	6/84	6/35
شاخص آر	9/38	9/47	9/69	9/50	9/84
شاخص آی آر	0/98	0/93	1/04	0/88	0/77
شاخص کالماگ	0/47	0/47	0/50	0/45	0/42
شاخص برون۱	0/80	0/94	0/82	1/03	1/19
شاخص برون۲	0/17	0/20	0/18	0/19	0/21
شاخص دبلیو آی۱	26/64	28/40	27/72	27/98	26/70
شاخص دبلیو آی۲	7/28	7/50	7/52	7/55	7/70
شاخص منیزیوم	66/89	71/01	71/42	71/82	71/45
شاخص آر سی	0/83	0/82	0/92	0/77	0/72
شاخص بی آی۱	0/43	0/44	0/43	0/44	0/46
2شاخص بی آی	1/13	1/14	1/05	1/23	1/38
شاخص بی آی۳	0/92	0/85	0/84	0/83	0/86
شاخصای آی	0/28	0/28	0/30	0/26	0/25
شاخص چیتل بروف	13/38	16/56	12/93	17/55	17/71
شاخص کالمن	1/42	1/47	1/35	1/54	1/69
شاخص بریکلند	6/82	6/96	7/06	6/94	7/00
شاخص بی آی	1/06	1/18	1/07	1/28	1/44
شاخص اس تی آی	1042/38	1239/28	1062/37	1241/98	1125/85
شاخص اف ای ان ج	1/38	1/49	1/54	1/54	1/51
شاخص اس اف	33/65	34/08	35/00	32/95	31/20
شاخص اس آ	9/38	9/47	9/69	9/50	9/84
میزان سزکوئی اکسید	1/44	1/40	1/42	1/38	1/40
شاخص آ اف	3/59	3/60	3/62	3/47	3/17
شاخص آ اس	0/11	0/11	0/10	0/11	0/10

آزمون آماری کروسکال والیس

همانطور که در جدول ۴ قابل مشاهده است، در اولین گام پس از محاسبه‌ی شاخص‌های هوازدگی، با استفاده از آزمون براکت، آن دسته از شاخص‌هایی که در دامنه قرار نگرفتند، حذف شدند. شاخص‌های تائید شده شامل شاخص‌های: پراکسی تغییر شیمیایی، تغییر شیمیایی، کالمگ، برون۱، شاخص برون2، منیزیوم، بی آی، ای آی، کالمن، بی آی بودند که بعد از آزمون کروسکال والیس وارد مرحله‌ی تحلیل تشخیص شدند. به بیان روشن‌تر، در این مرحله، شاخص‌هایی که سطح معنی‌داری آنها کمتر از ۰/۰۵ درصد بود انتخاب شدند، یعنی این شاخص‌ها با احتمال ۹۵ درصد می‌توانند به عنوان ردیاب، جهت تفکیک واحدهای کاربری اراضی برای منشأیابی رسوب به کار گرفته شوند.

جدول ۴- نتایج آزمون کروسکال والیس و سطح معنی‌داری

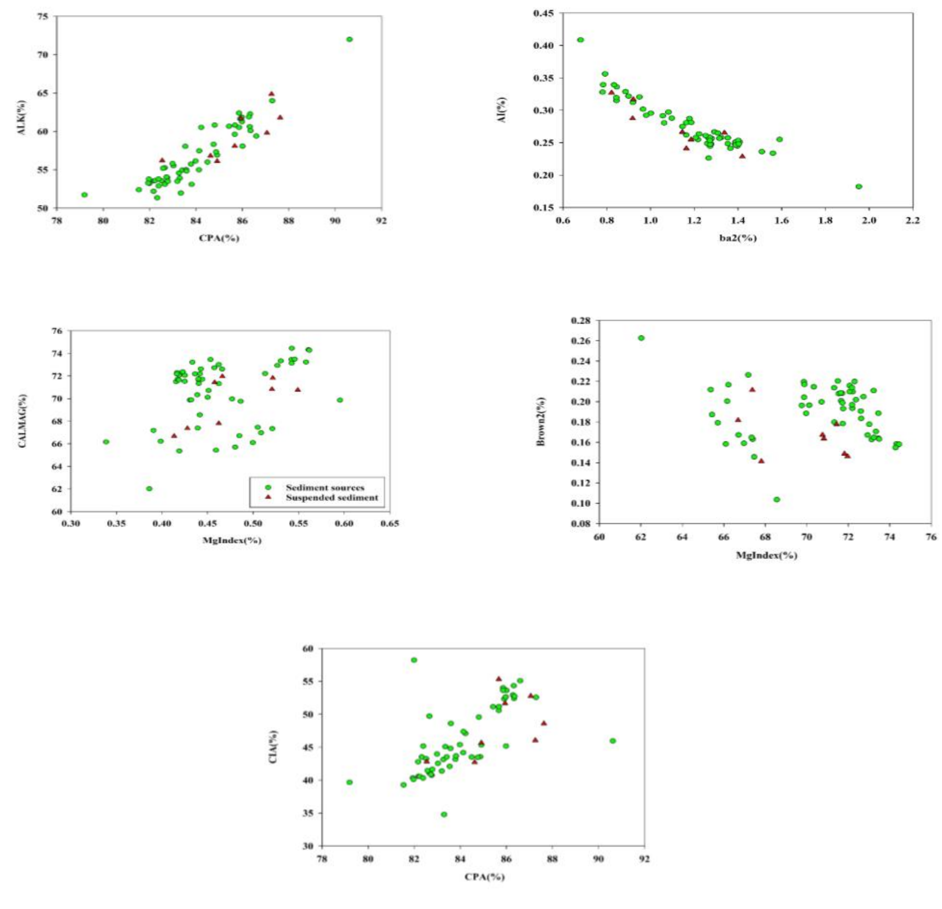
ردیاب	کروسکال- والیس	سطح معنی‌داری
شاخص پراکسی تغییر شیمیایی	27/622	0/000
شاخص تغییر شیمیایی	22/338	0/000
نسبت آ ال کا	29/772	0/000
شاخص کالمگ	18/976	0/001
شاخص برون۱	22/735	0/000
شاخص برون2	27/622	0/000
شاخص منیزیوم	18/134	0/001
شاخص بی آی ۱	18/976	0/001
شاخص ای آی۲	12/402	0/015
شاخص کالمن	20/154	0/000
شاخص بی ای	22/338	0/000

آزمون آماری تحلیل تشخیص

جدول ۴، مراحل مختلف اضافه شدن خصوصیات ردیاب را در توابع تشخیص به روش گام‌به‌گام و تأثیر آن‌ها را بر توان جداسازی منابع رسوب برای کاربری اراضی نشان می‌دهد. در مرحله‌ی تحلیل تشخیص که آخرین مرحله قبل از اجرای مدل است، ردیاب‌های بالاترین درصد توان تفکیک‌پذیری را داشتند و به‌عنوان ترکیب بهینه وارد مرحله‌ی نهایی شدند. ویلکس لامبدا معیاری مناسب از نسبت اختلاف‌های درون‌گروهی به اختلاف‌های بین گروهی است. در هر مرحله متغیری وارد تابع شده که در سطح ۰/۰۵ یا کمتر معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در جدول ۴، مشخص‌شده است با اضافه شدن هر ردیاب مقدار ویلکس لامبدا کاهش‌یافته و سطح معنی‌داری بهتر شده است و درنتیجه توان جداسازی تحلیل و میزان تفکیک بین گروه‌ها افزایش‌یافته است. شکل ۳، نمودار پلات‌های جفتی را نشان می‌دهد، در هر نمودار غلطت یک جفت از ردیاب‌های رسوب و منابع رسوب به نمایش در می‌آید. در واقع به شکل گرافیکی خلاصه‌ی ۳ آزمون براکت یا دامنه، کروسکال والیس و تحلیل تشخیص را نشان می‌دهد. حاکی از آن است که ردیاب های ژئوشیمیایی در طول مسیر در حوزه‌ی آبخیز به خروجی یعنی محل نمونه برداری رسوب دچار تغیرات نشدند. (Nosrati et al.,2018). برای مثال، نسبت آ ال کا (ALK) با شاخص تغییر شیمیایی (CPA) پراکنش و توزیع یکسان و هم‌جهت دارند و می‌توانند در تفکیک منابع رسوب قوی‌تر عمل کنند.

جدول ۴- مراحل مختلف اضافه شدن خصوصیات ردیاب

گام	ردیاب	آماره
1	شاخص تغییر شیمیایی	0/125
2	نسبت آ ال کا	0/054
3	شاخص منیزیوم	0/028
4	شاخص بی آی ۱	0/017
5	شاخص کالمگ	0/003



شکل ۲- نمودار پلات های جفتی غلظت چند ردیاب ژئوشیمیایی

تعیین منابع رسوب

نتایج حاصل از اجرای مدل منشأیابی در حوضه آبخیز چهل چای نشان داد در بین منابع سطحی و زیرسطحی، کاربری کشاورزی، ۸۸/۶ درصد کل رسوب را تولید می‌کند. سهم سایر کاربری‌ها به ترتیب مرتع(۴/۱)، باغ(۲/۳) و آبراهه(۵) درصد می‌باشد. در اراضی شیب دار، تحت تأثیر عملیات شخم، روان آب با سرعت بیشتری جریان پیدا می‌کند و فرسایش خاک و تولید رسوب با شدت و سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. (سالمی و همکاران،۲۰۱۳؛ رابینت و همکاران، ۲۰۱۸؛ و دی موراس و همکاران،۲۰۰۶). لذا در منطقه‌ی مورد مطالعه بیشترین سهم در تولید رسوب معلق را به خود اختصاص دادند. نتیجه‌ی پژوهش با مطالعه‌ی آرناب و همکاران(۲۰۲۳) مطابقت دارد، آنان با استفاده از فن منشأیابی رسوب و مدل‌های فیزیکی سنجش رسوب، سهم نسبی کاربری‌ها و

نرخ رسوب را برآورد کردند، بر این اساس، کاربری جنگل کمترین سهم و کمترین نرخ رسوب داشتند و در مقابل، کاربری کشاورزی بیشترین نرخ فرسایش و بالاترین سهم را در تولید رسوب داشتند. بر اساس بازدیدهای میدانی، علی‌رغم وجود کشت محصولاتی ازجمله گندم، اراضی اورزی تحت تأثیر قدرت فرسایندگی باران قرارگرفته، انفصال مواد بیشتر شده و شست و شوی ورقه‌ای را ایجاد می‌کند به طوریکه رواناب سهم کمی در جداسازی مستقیم ذرات دارد و عمدتاً قطرات باران، هوازدگی و شخم زمین این نقش را بر عهده می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای نخستین بار در استان گلستان و در حوضه آبخیز چهل چای از شاخص‌های هوازدگی به عنوان ردیاب برای تعیین سهم نسبی فرسایش سطحی (کشاورزی، جنگل، مرتع و باغ) و زیر سطحی (کناره آبراهه) استفاده شد. نتیجه‌ی اجرای مدل نشان داد، از میان منابع رسوب، زمین‌های کشاورزی بیشترین سهم نسبی را در تولید رسوب داشتند. در این پژوهش اکسید سدیم (Na_2O) ، اکسید آلومنیوم (Al_2O_3) و منیزیوم‌Mg عناصر اصلی و سازنده‌ی شاخص‌های نهایی هستند، در واقع شدت و ضعف این عناصر گویایی وضعیت فرسایش حوضه و اساس تفکیک منابع رسوب هستند، وزن بالای این عناصر نشان می‌دهد، رسوبات منطقه تحت تأثیر هوازدگی شدید سیلی‌کاته قرار نگرفتند. براساس میزان شاخص تغییرشیمیایی CIA، تمام کاربری-ها در مرحله‌ی هوازدگی ابتدایی هستند. پس می‌توان با اقدامات مدیریتی مناسب از شدت فرسایش کم کرد و اقدامات حفاظتی برای تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش انجام داد.

فرسایش خاک و تولید رسوب مخصوصا در کشور در حال توسعه ای که دغدغه ی امنیت غذا و تامین معیشت دارد، یک موضوع مهم است. کشاورزی، منبع در آمد اصلی اهالی شهرستان مینودشت و روستاهای اطراف را شامل می شود، با توجه به بازدیدهای میدانی صورت گرفته، متاسفانه توجه به حفاظت خاک همانند اکثر حوضه های آبخیز کشورکم می باشد. دغدغه اصلی کشاورزان نجیب حوضه علاوه بر تامین آب، تامین کود و سم با قیمت کمتر است چرا که محصول نهایی آنها را واسطه ها با نازل ترین قیمت خریداری میکنن، متاسفانه تامین حفظ و کیفیت خاک و جلوگیری از تولید رسوب بیشتر آنچنان که شایسته و ضروری است، اجرا نمی شود. لذا کاربرد اصلی این پژوهش این است که با استفاده از عناصر ژئوشیمیایی، سهم نسبی منابع سطحی و زیر سطحی را در تولید رسوب محاسبه کردند. و به طور مستند و علمی به متولین امر حفاظت خاک و آبخیز داری به اثبات برسانند که کشاورزی، عامل تخریب خاک حوضه است تا اقدامات موثر و اجرایی در جهت جلوگیری هر چه بیشتر از تخریب خاک صورت گیردپیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی از ردیاب‌های نو کلوئیدی ازجمله سزیوم ۱۳۷ و سرب ۲۱۰ در بررسی اثر دامنه‌ها در فرسایش و رسوب استفاده شود؛ و همچنین ازآنجاکه این پژوهش بر مبنای عملیات میدانی و تکنیک های آزمایشگاهی بوده، پیشنهاد می‌شود، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و محاسبه‌ی شاخص‌های فرسایش و رسوب در انواع کاربری ها، نتایج کار با نتایج به‌دست‌آمده مطابقت داده شود.

سپاسگزاری

این پژوهش در راستای حمایت از رساله‌ی دکتری با همکاری بنیاد ملی علم ایران، با شماره قرار داد ۹۹۰۱۹۴۸۸ انجام شده است که نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

فهرست منابع

۱. حکیم‌خانی، ش. ۱۳۸۹. ارزیابی اهمیت نسبی انواع فرسایش در تولید رسوب (بررسی موردی: حوزه قره آقاج، ماکو). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۳ (۱)، صفحات ۱۳-۲۷.

۲. صادقی، س.ح.ر، نجفی.س، منشایابی رسوبات آبی در حوزه های آبخیز مفاهیم، روش‌ها و فناوری های نوین. ۱۳۹۳. دانشگاه تربیت مدرس، سازمان جهاد دانشگاهی.

3. Baumann, F. Schmidt, K., Dörfer, C., He, J.-S., Scholten, T., & Kühn, P. 2014. Pedogenesis, permafrost, substrate and topography: Plot and landscape scale interrelations of weathering processes on the central-eastern Tibetan Plateau. Geoderma, 226, 300-316.

4. Birkeland, P., Shroba, R., Burns, S., Price, A., & Tonkin, P. 2003. Integrating soils and geomorphology in mountains—an example from the Front Range of Colorado. Geomorphology, 55(1-4), 329-344.

5. Blake, W. H., Boeckx, P., Stock, B. C., Smith, H. G., Bodé, S., Upadhayay, H. R., . . . Lizaga, I. 2018. A deconvolutional Bayesian mixing model approach for river basin sediment source apportionment. Scientific reports, 8(1), 13073.

6. Brown, D. J., Helmke, P. A., & Clayton, M. K. 2003. Robust geochemical indices for redox and weathering on a granitic laterite landscape in Central Uganda. Geochimica et Cosmochimica Acta, 67(15), 2711-2723.

7. Buggle, B., Glaser, B., Hambach, U., Gerasimenko, N., & Marković, S. 2011. An evaluation of geochemical weathering indices in loess–paleosol studies. Quaternary International, 240(1-2), 12-21.

8. Carter, J., Owens, P. N., Walling, D. E., & Leeks, G. J. 2003. Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. Science of the total environment, 314, 513-534.

9. Cashman, M. J., Gellis, A., Sanisaca, L. G., Noe, G. B., Cogliandro, V., & Baker, A. 2018. Bank-derived material dominates fluvial sediment in a suburban Chesapeake Bay watershed. River Research and Applications, 34(8), 1032-1044.

10. Chittleborough, D. 1991. Indices of weathering for soils and palaeosols formed on silicate rocks. Australian Journal of Earth Sciences, 38(1), 115-120.

11. Collins, A., & Walling, D. 2007. Sources of fine sediment recovered from the channel bed of lowland groundwater-fed catchments in the UK. Geomorphology, 88(1-2), 120-138.

12. Collins, A. L., Walling, D. E., & Leeks, G. J. 1997. Fingerprinting the origin of fluvial suspended sediment in larger river basins: combining assessment of spatial provenance and source type. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 79(4), 239-254.

13. Colman, R. F. 1983 . Affinity labeling of purine nucleotide sites in proteins. Annual review of biochemistry, 52(1), 67-91.

14. Cullers, R. L. 2002 . Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. Chemical geology, 191(4), 305-327.

15. Darmody, R., Thorn, C., & Allen, C. 2005 . Chemical weathering and boulder mantles, Kärkevagge, Swedish Lapland. Geomorphology, 67(1-2), 159-170.

16. De Moraes, J. M., Schuler, A. E., Dunne, T., Figueiredo, R. d. O., & Victoria, R. L. 2006 . Water storage and runoff processes in plinthic

soils under forest and pasture in Eastern Amazonia. Hydrological Processes: An International Journal, 20(12), 2509-2526.

17. Das, A., Remesan, R., Collins, A. L., & Gupta, A. K. 2023 . The spatio-temporal dynamics of suspended sediment sources based on a novel indexing approach combining Bayesian geochemical fingerprinting with physically-based modelling. Journal of Environmental Management, 345, 118649.
18. Fedo, C. M., Wayne Nesbitt, H., & Young, G. M. 1995 . Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. Geology, 23(10), 921-924.
19. Garzon-Garcia, A., Laceby, J.P., Olley, J.M. and Bunn, S.E., 2017. Differentiating the sources of fine sediment, organic matter and nitrogen in a subtropical Australian catchment. Science of the total environment, 575, pp.1384-1394.
20. Garzanti, E., Padoan, M., Setti, M., López-Galindo, A., & Villa, I. M. 2014 . Provenance versus weathering control on the composition of tropical river mud (southern Africa). Chemical geology, 366, 61-74.
21. Gellis, A., & Gorman Sanisaca, L. 2018 . Sediment fingerprinting to delineate sources of sediment in the agricultural and forested Smith Creek Watershed, Virginia, USA. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 54(6), 1197-1221.
22. Guo, Y., Yang, S., Su, N., Li, C., Yin, P., & Wang, Z. 2018 . Revisiting the effects of hydrodynamic sorting and sedimentary recycling on chemical weathering indices. Geochimica et Cosmochimica Acta, 227, 48-63.
23. Haddadchi, A., Ryder, D. S., Evrard, O., & Olley, J. 2013 . Sediment fingerprinting in fluvial systems: review of tracers, sediment sources and mixing models. International Journal of Sediment Research, 28(4), 560-578. doi:https://doi.org/10.1016/S1001-6279(14)60013-5
24. Harnois, L., & Moore, J. M. 1988 . Geochemistry and origin of the Ore Chimney Formation, a transported paleoregolith in the Grenville Province of southeastern Ontario, Canada. Chemical geology, 69(3-4), 267-289.
25. Hencher, S. 2004 . Weathering and erosion processes in rock–implications for geotechnical engineering. Paper presented at the Proceedings symposium on Hong Kong soils and rocks.
26. Hughes, A. O., Olley, J. M., Croke, J. C., & McKergow, L. A. 2009 . Sediment source changes over the last 250 years in a dry-tropical catchment, central Queensland, Australia. Geomorphology, 104(3-4), 262-275.
27. Jayawardena, U. d. S., & Izawa, E. 1994 . A new chemical index of weathering for metamorphic silicate rocks in tropical regions: A study from Sri Lanka. Engineering Geology, 36(3-4), 303-310.
28. Jones, J., Duerdoth, C., Collins, A., Naden, P., & Sear, D. 2014 . Interactions between diatoms and fine sediment. Hydrological processes, 28(3), 1226-1237.
29. Koiter, A., Owens, P., Petticrew, E., & Lobb, D. 2013 . The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for identifying sediment sources in river basins. Earth-Science Reviews, 125, 24-42.
30. Lamba, J., Karthikeyan, K., Thompson, A. M., Malhotra, K., Huisman, N. L., Panuska, J., & Peaslee, G. 2019 . Using Atmospheric Fallout Radionuclides 137Cs and 210Pbxs to Identify Sources of Suspended

Sediment in an Agricultural Watershed. Transactions of the ASABE, 62(2), 529-538.

31. Li, C., & Yang, S. 2010 . Is chemical index of alteration (CIA) a reliable proxy for chemical weathering in global drainage basins? American Journal of Science, 310(2), 111-127.

32. Li, S.-L., Liu, C.-Q., Li, J., Lang, Y.-C., Ding, H., & Li, L. 2010 . Geochemistry of dissolved inorganic carbon and carbonate weathering in a small typical karstic catchment of Southwest China: Isotopic and chemical constraints. Chemical geology, 277(3-4), 301-309.

33. Li, W., Qian, H., Xu, P., Hou, K., Zhang, Q., Chen, Y., . . . Ren, W. 2023 . Tracing sediment provenance in the Yellow River, China: Insights from weathering, recycling, and rock compositions. Catena, 220, 106727.

34. Malhotra, H., Vandana, Sharma, S., & Pandey, R. 2018 . Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. Plant nutrients and abiotic stress tolerance, 171-190.

35. Malhotra, K., Lamba, J., Srivastava, P., & Shepherd, S. 2018 . Fingerprinting suspended sediment sources in an urbanized watershed. Water, 10(11), 1573.

36. Maynard, J. 1992 . Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols. The Journal of Geology, 100(3), 279-289.

37. McLemore, V. T., Dunbar, N., Tachie-Menson, S., & Donahue, K. 2010). The Effect of Weathering on the Acid-Producing Potential of the Goathill North Rock Pile, Questa mine, NM. CRC Press, Taylor and Francis Group, London, Tailings and Mine Waste, 10, 213-227.

38. Motha, J., Wallbrink, P., Hairsine, P., & Grayson, R. (2003 . Determining the sources of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia. Water resources research, 39(3).

39. Nesbitt, H., & Young, G. M. 1982 . Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. nature, 299(5885), 715-717.

40. Ng, C. W. W., Guan, P., & Shang, Y. 2001 . Weathering mechanisms and indices of the igneous rocks of Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 34(2), 133-151.

41. Nordt, L., & Driese, S. 2010 . New weathering index improves paleorainfall estimates from Vertisols. Geology, 38(5), 407-410.

42. Nosrati, K., Haddadchi, A., Collins, A. L., Jalali, S., & Zare, M. R. 2018. Tracing sediment sources in a mountainous forest catchment under road construction in northern Iran: comparison of Bayesian and frequentist approaches. Environmental Science and Pollution Research, 25(31), 30979-30997.

43. Nosrati, K., & Collins, A. L. 2019 . A soil quality index for evaluation of degradation under land use and soil erosion categories in a small mountainous catchment, Iran. Journal of Mountain Science, 16(11), 2577-2590.

44. Nosrati, K., Collins, A. L., & Fiener, P. 2020 . Using catchment characteristics to model seasonality of dissolved organic carbon fluxes in semi-arid mountainous headwaters. Environmental Monitoring and Assessment, 192(11), 674.

45. Nosrati, K., Collins, A. L., & Madankan, M. 2018 . Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources using different multivariate statistical techniques and the Modified MixSIR model. Catena, 164, 32-43.

46. Raigani ZM, Nosrati K, Collins AL. . ۲۰۱۹.Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources in a large Iranian catchment under dry-land

cultivation and rangeland farming: Combining geochemical tracers and weathering indices. Journal of Hydrology: Regional Studies;.۲۴:۱۰۰۶۱۳

47. Owens, P. N. 2020 . Soil erosion and sediment dynamics in the Anthropocene: a review of human impacts during a period of rapid global environmental change. Journal of Soils and Sediments, 20, 4115-4143.
48. Palazón, L., & Navas, A. 2017 . Variability in source sediment contributions by applying different statistic test for a Pyrenean catchment. Journal of Environmental Management, 194, 42-53.
49. Piché, M., & Jébrak, M. 2004 . Normative minerals and alteration indices developed for mineral exploration. Journal of Geochemical Exploration, 82(1-3), 59-77.
50. Price, J. R., & Velbel, M. A. 2003 . Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. Chemical geology, 202(3-4), 397-416.
51. Pulley, S., Foster, I., & Antunes, P. 2015 . The uncertainties associated with sediment fingerprinting suspended and recently deposited fluvial sediment in the Nene river basin. Geomorphology, 228, 303-319.
52. Robinet, J., von Hebel, C., Govers, G., van der Kruk, J., Minella, J. P., Schlesner, A., . . . Vanderborght, J. 2018 . Spatial variability of soil water content and soil electrical conductivity across scales derived from Electromagnetic Induction and Time Domain Reflectometry. Geoderma, 314, 160-174.
53. Ruxton, B. P. 1968 . Measures of the degree of chemical weathering of rocks. The Journal of Geology, 76(5), 518-527.
54. Sandaruwan, C., Adikaram, M., Madugalla, N., Pitawala, A., Ishiga, H., & Udagedara, T. 2022 . Mineralogy and geochemistry of beach sediments associated with the Precambrian crystalline rocks (Vijayan Complex) of Sri Lanka; perspective for heavy minerals. Regional Studies in Marine Science, 55, 102579.
55. Sadeghi SH, Singh JK. Derivation of Flood Hydrographs for Ungauged Upstream Subwatersheds Using a Main Outlet Hydrograph. Journal of Hydrologic Engineering. ۲۰۱۰;۱۵(۱۲):.۶۹–۱۰۵۹
56. Shao, J., Yang, S., & Li, C. 2012 . Chemical indices (CIA and WIP) as proxies for integrated chemical weathering in China: inferences from analysis of fluvial sediments. Sedimentary Geology, 265, 110-120.
57. Salemi, L. F., Groppo, J. D., Trevisan, R., de Moraes, J. M., de Barros Ferraz, S. F., Villani, J. P., . . . Martinelli, L. A. 2013 . Land-use change in the Atlantic rainforest region: Consequences for the hydrology of small catchments. Journal of Hydrology, 499, 100-109.
58. Tiecher, T., Minella, J. P. G., Evrard, O., Caner, L., Merten, G. H., Capoane, V., . . . dos Santos, D. R. (2018 . Fingerprinting sediment sources in a large agricultural catchment under no-tillage in Southern Brazil (Conceição River). Land degradation & development, 29(4), 939-951.
59. von Eynatten, H. 2004 . Statistical modelling of compositional trends in sediments. Sedimentary Geology, 171(1-4), 79-89
60. Walling, D. E. 2013 . The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. Journal of Soils and Sediments, 13, 1658-1675.
61. Wang, N., Jiao, J., Bai, L., Zhang, Y., Chen, Y., Tang, B., . . . Wang, H. 2020 . Magnitude of soil erosion in small catchments with different land

use patterns under an extreme rainstorm event over the Northern Loess Plateau, China. Catena, 195, 104780.

62. Wilkes, M. A., Gittins, J. R., Mathers, K. L., Mason, R., Casas-Mulet, R., Vanzo, D., . . . Gurnell, A. 2019 . Physical and biological controls on fine sediment transport and storage in rivers. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 6(2), e1331.

63. Rowell, DL.1994. Soil science methods and Application. part7. Measurement of the composition of soil solution. 146p

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۱۴۰۳/ ۳۰۵-۳۱۴
https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2025.366406.754

اثر زغال زیستی باگاس نیشکر بر تجمع و توزیع نیتروژن، فسفر، ویژگی‌های ریشه و عملکرد گندم در خاک‌های آلوده به سرب و نیکل

شهیاد تخمه چیان، سید کیوان مرعشی *و تیمور بابایی نژاد

کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.sh_t1352@yahoo.com

دانشیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.marashi_47@yahoo.com

استادیار، گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.timoorba@yahoo.com

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۴/۳۰ و پذیرش:۱۴۰۳/۱۰/۲۹

چکیده

از مشکلات اصلی خاک‌های آلوده وجود مقادیر بالای عناصرسنگین و سمی به¬ویژه سرب و نیکل می¬باشد که منجر به اختلال در رشد و کاهش عملکرد گیاهان می‌گردد. استفاده از زغال زیستی به عنوان یکی از راه حل¬ها برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر زغال زیستی نیشکر بر تجمع و توزیع نیتروژن، فسفر، رشد ریشه، و عملکرد دانه گندم در خاک‌های آلوده به سرب و نیکل بود. این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل مقادیر زغال زیستی نیشکر در چهار سطح شامل: صفر (شاهد)، ۲٪، ۴٪ و ۶٪ وزنی خاک، و نوع خاک در دو سطح آلوده و غیرآلوده به سرب و نیکل بود. در این آزمایش بیشترین و کمترین نیتروژن و فسفر ریشه، ساقه و دانه بترتیب در شرایط خاک آلوده و غیرآلوده مشاهده شد. همچنین با افزایش مصرف زغال زیستی تغییراتی در نحوه تجمع این عناصر در راستای ایجاد شرایط مناسب برای گیاه حاصل شد که متعاقب آن در بهبود رشد ریشه و افزایش عملکرد دانه تاثیر معنی‌دار داشت. بیشترین و کمترین عملکرد دانه بترتیب در خاک غیرآلوده و آلوده مشاهده شد و با افزایش مصرف زغال زیستی در خاک آلوده و غیر آلوده عملکرد دانه افزایش یافت و این افزایش تا سطح ۴٪ زغال زیستی ادامه یافت. بطور کلی نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط خاک آلوده و غیر آلوده به سرب و نیکل، کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر در تجمع نیتروژن و فسفر در گیاه نقش موثری دارد و مصرف زغال زیستی تا سطح ۴٪در خاک‌های آلوده و غیر آلوده برای بهبود عملکرد پیشنهاد می شود.

واژه های کلیدی: آلودگی محیط زیست، جذب عناصر، عملکرد گندم، فلزات سنگین

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول:marashi_47@yahoo.com

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از مهم‌ترین غلات تامین کننده نیاز غذایی انسان در کشورهای مختلف محسوب می‌شود (میت‌والی و همکاران، ۲۰۱۰). آلودگی و تخریب محیط زیست، از نتایج صنعتی شدن اجتماعات بشری است. در این خصوص آلودگی خاک به فلزات سنگین از جمله آلودگی‌هایی است که در سال‌های اخیر شدیداً مورد توجه قرار گرفته است(کاباتا پندیاس، ۲۰۰۱). مطالعات نشان می‌دهد که برخی از فلزات سنگین در غلظت‌های زیاد اثرات سمی بر گیاهان دارند(لی و همکاران، ۲۰۱۵). نیکل یکی از فلزات سنگین است که در غلظت‌های کم اثر سمی در گیاهان ندارد(بایکو و همکاران، ۲۰۰۶) ولی تجمع بیش از حد نیکل در ریشه و اندام‌های گیاهی منجر به سوختگی برگ، رشد ضعیف گیاه بروز ناهنجاری‌هایی در متابولیسم گیاهی و کاهش عملکرد میگردد(یانگ، ۱۹۹۶). همچنین بیان شده است که افزایش نیکل ممکن است منجر به علائم کمبود عناصر غذایی گردد، بطور مثال در شرایط افزایش نیکل جذب کلسیم، آهن، منگنز، منیزیم، فسفر و روی در گیاه کاهش می‌یابد(برون و دیتز، ۱۹۹۵). سرب ازجمله عناصر سنگین می‌باشد که به دلیل انباشت زیاد در بخش سطحی خاک، به راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و پس از جذب از طریق ریشه منجر به تغییر در فرایندهای متابولیکی گیاه و در نهایت اختلال در رشد و نمو گیاهان می‌گردد(قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). محققان بیان کرده اندکه افزایش غلظت سرب منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه و بروز مشکلات جدی در امر کشاورزی از طریق کاهش محصول می‌گردد (شارما و دوبی، ۲۰۰۵). بیان شده است که گیاهان توانایی زیادی در جذب سرب از طریق ریشه‌ها دارند. سرب از طریق اختلال در فعالیت ناقل‌های غشای سلول‌های ریشه باعث کاهش جذب عناصر ضروری و ایجاد علائم کمبود در گیاهان می‌شود(قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات نشان می‌دهد که سرب و نیکل می‌توانند از طریق فاضلاب‌های شهری، حشره‌کش‌ها، کودها، آبیاری با هرز آب‌ها و صنایع ذوب فلزات وارد خاک‌ها شوند(یانگ و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین ارائه روشی نسبتاً سریع و مطمئن که آثار جنبی نامطلوب برای سلامت محیط زیست نداشته باشد جهت کاهش اثرات نامطلوب ناشی از جذب فلزات سنگین ضروری بنظر می‌رسد(گلچین و همکاران، ۲۰۰۶). در این میان زغال‌های زیستی[1] موادی آلی با تخلخل بالا می باشند که به دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی فعال و فراوان در جذب سطحی فلزات سنگین به ویژه در محیط‌های آبی بسیار مؤثر می‌باشند(سوهی و همکاران، ۲۰۰۹). زغال‌های زیستی محصولات غنی از کربن هستند که تحت عملیات حرارتی با اکسیژن کم و یا در شرایط عدم وجود اکسیژن تهیه می‌شوند. کاربرد این مواد هم از لحاظ کشاورزی و هم از لحاظ زیست محیطی مفید می‌باشد(ماستو و همکاران، ۲۰۱۳). از دیگر خواص زغال‌های زیستی می‌توان به جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی و افزایش بهره‌وری از کود، بهبود خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و کاهش مقاومت کششی خاک و نفوذ بهتر ریشه اشاره نمود(کناولز و همکاران، ۲۰۱۱). در منطقه جنوب خوزستان به دلیل کشت نیشکر هر ساله مقادیری زیادی باگاس تولید می‌شود که به عنوان تولیدات جانبی محسوب شده و عمده آن به صورت ضایعات از بین می‌رود(حاجی شرفی و همکاران، ۱۳۹۵). این مواد می‌توانند در راستای تولید زغال زیستی و کاهش اثرات آلودگی خاک‌های ناشی از فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرند. لیو و همکاران(۲۰۱۸) گزارش کردند که زغال زیستی اثر مثبت و معنی‌داری بر جذب و کاهش مقادیر نیکل در خاک دارد و می‌توانند در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک کمک کند. احمد و همکاران(۲۰۱۴) و موهان و همکاران(۲۰۱۶) اظهار کردند که زغال زیستی‌های تهیه شده از بقایای کشاورزی و جنگلی توانایی بسیار خوبی برای جذب عناصر سنگین دارند. دومر و همکاران(۲۰۱۶) در بررسی اثر زغال

[1]- Biochar

زیستی‌های به دست آمده از باگاس نیشکر، پسماند جنگل‌های اکالیپتوس، کرچک، پوسته نارگیل سبز بر جذب کادمیم، مس، سرب و روی بیان کردند که همه انواع زغال زیستی بکار برده شده تا حدود ۹۵ درصد آلودگی آب به فلزات سنگین را کاهش می‌دهند. بی‌ریا و همکاران(۱۳۹۶) اظهار کردند که کاربرد زغال زیستی نیشکر باعث کاهش غلظت کادمیوم و سرب در ریشه و اندام هوایی و افزایش کلروفیل، سطح برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک ریشه و اندام هوایی ذرت گردید. دیوبند هفشجانی و همکاران(۱۳۹۶) اعلام نمودند که زغال زیستی باگاس نیشکر با تیمار ۱۰ گرم بر کیلوگرم خاک بیشترین تاثیر را در افزایش ظرفیت تبادل آنیونی خاک و کمترین تاثیر را در کاهش اسیدیته خاک نشان داد.

با توجه به اینکه یکی از دلایل کاهش یا افزایش عملکرد دانه در شرایط آلودگی خاک در مقایسه با خاک غیر آلوده می‌تواند مربوط به نحوه تاثیر آلودگی بر جذب عناصر غذایی باشد. بر این اساس در این آزمایش نحوه تجمع و توزیع نیتروژن و فسفر در ریشه به عنوان اولین مرحله جذب، سپس ساقه و در نهایت دانه مورد بررسی قرار گرفته است. ضمنا با توجه به اهمیت زغال زیستی در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، نحوه تاثیر آن بر تجمع و توزیع عناصر غذایی و در نهایت بر رشد ریشه و عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بصورت گلدانی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۷ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل مقادیر مختلف زغال زیستی باگاس نیشکر در چهار سطح شامل: صفر (شاهد)، ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی خاک و آلودگی خاک در دو سطح خاک غیر آلوده و آلوده به سرب و نیکل بود. برای بررسی موارد فوق از خاک مزرعه منطقه مورد آزمایش از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری استفاده شد. خاک جمع آوری شده به دو قسمت تقسیم گردید. نیمی از آن به عنوان خاک غیر آلوده استفاده شد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	EC (dS/m)	pH	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	OC (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Sand (%)	Silt %)	Clay (%)	بافت خاک
۰-۳۰	۴/۶	۷/۷۹	۲۲/۱۶	۳۸/۵	۰/۴۸	۰/۰۵	۵/۲	۱۸۱	۱۶	۳۵	۴۹	رسی

نیمه دوم آن به منظور تهیه خاک آلوده به سرب و نیکل مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور مقادیری از نمک نیکل(نیترات نیکل) و سرب(نیترات سرب) جهت آلوده سازی بر اساس وزن خاک محاسبه گردید. محاسبه مقادیر سرب و نیکل، براساس مقادیر بیشتر از استاندارد آلایندگی اراضی کشاورزی به ترتیب به میزان ۵۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شد(سلیمانی امین آبادی، ۱۳۸۲). به عبارت دیگر مقادیر سرب و نیکل اضافه شده به خاک به گونه ای در نظر گرفته شد که بعد از آلودگی مقادیر آنها در خاک بترتیب معادل ۵۰۰ و ۲۵۰ میلی گرم در کیلوگرم گردد. مقادیر نمک محاسبه شده پس از حل کردن در آب، بوسیله یک سمپاش بطور یکنواخت به خاک اضافه و خاک آلوده شده به گلدان‌هایی با ارتفاع ۵۰ و قطر ۲۰ سانتی‌متر اضافه شد. سپس جهت دوره انکوباسیون و تکامل یافتن واکنش‌های آلاینده خاک، به مدت دو هفته در شرایط رطوبتی ظرفیت زراعی نگهداری شدند (کریمی، ۱۳۸۷). برای تولید زغال زیستی از باگاس نیشکر استفاده شد. بدین منظور باگاس

نیشکر پس از خشک کردن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس بصورت فشرده در محفظه فلزی در بسته گرمادهی اولیه به مدت دو ساعت اعمال و سپس محفظه‌ها به درون کوره دست‌ساز در شرایط بدون اکسیژن به مدت سه ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس، تحت فرآیند گرماکافت آهسته قرار داده شد. بعد از سرد شدن کوره، محتویات آن تخلیه و پس از شستشو با آب و خشک نمودن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد (راجکوویچ و همکاران، ۲۰۱۱). در این آزمایش از گلدان‌هایی با ارتفاع ۵۰ و قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. وزن خاک در هر گلدان ۱۰ کیلوگرم و از گندم رقم چمران-۲ استفاده شد. در هر گلدان ۱۰ بذر کشت شد که پس از سبزشدن در مرحله سه برگی به تعداد ۵ بوته تنک شدند. میزان نیتروژن و فسفر ریشه، ساقه و دانه در زمان برداشت نهایی اندازه گیری شد. درصد نیتروژن به روش کجدال اندازه‌گیری شد. برای تعیین فسفر از روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۷۰ نانومتر (غازان‌شاهی، ۱۳۸۵) استفاده شد. جهت تعیین ماده خشک ریشه، از ۳ گلدان در مرحله گلدهی نمونه‌برداری شد. بدین صورت که گلدان را شکافته و به آرامی خاک را از ریشه ۵ بوته جدا کرده و پس از شستشو در آزمایشگاه از طریق خشک کردن در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید (فتحی و چرم، ۲۰۱۳). عملکرد دانه ازطریق برداشت ۳ گلدان برای هر تیمار و خرمن‌کوبی آنها تعیین شد. نتایج بدست آمده با استفاده از برنامه آماری SAS و مقایسه میانگین تیمارها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

نیتروژن

در این آزمایش اثر نوع خاک بر نیتروژن ساقه و دانه، اثر زغال زیستی بر نیتروژن دانه و اثر متقابل نوع خاک و زغال زیستی در ریشه، ساقه و دانه معنی‌دار بود(جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل نوع خاک و زغال زیستی نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن در بخش‌های مختلف گیاه در خاک آلوده و کمترین مقدار در خاک غیر آلوده حاصل شد(جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که در خاک آلوده با افزایش درصد زغال زیستی، درصد نیتروژن کاهش ولی در خاک غیر آلوده افزایش یافت(جدول ۳). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد در خاک‌های آلوده به نیکل هنگامی که از اوره به عنوان منبع نیتروژن استفاده می‌شود، غلظت نیتروژن کل گیاه بیشتر بوده است(طباطبایی، ۲۰۰۹؛ سوهی و همکاران، ۲۰۰۹) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. پالاسیوس و همکاران(۱۹۹۸) نیز در بررسی اثر نیکل بر گوجه فرنگی مشاهده نمودند که بین نیتروژن و نیکل رابطه هم افزایی وجود دارد و کاربرد نیکل سبب افزایش غلظت نیتروژن کل گیاه شد. مطالعات همچنین نشان می‌دهد که افزودن زغال زیستی به دلیل سطح ویژه زیاد و تراکم بار سطحی بالا، در نگه‌داری عناصر غذایی و کاهش شستشوی آنها و همچنین در افزایش آب قابل استفاده موثر می‌باشند(لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ لایرد و همکاران، ۲۰۱۰) که با نتایج این تحقیق در خصوص افزایش درصد نیتروژن گیاه در خاک‌های غیرآلوده در شرایط کاربرد زغال زیستی مطابقت داشت.

فسفر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع خاک بر فسفر دانه، اثر زغال زیستی بر فسفر ریشه و دانه و اثر متقابل نوع خاک و زغال زیستی بر فسفر ریشه، ساقه و دانه از نظر آماری معنی‌دار بود(جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین فسفر دانه در خاک آلوده و کمترین آن در خاک غیر آلوده مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد عناصر سنگین سرب و نیکل باعث افزایش فسفر قابل جذب توسط گیاه شده باشند(شعیبی نوبریان و همکاران ،۱۳۹۱). نتایج همچنین نشان داد که در خاک‌های‌آلوده و غیر آلوده با افزایش

کاربرد زغال زیستی، غلظت فسفر در اندام‌های مختلف گیاه کاهش یافت (جدول ۳). بیان شده است که جذب عناصر غذایی تابع دو عامل رشد سیستم ریشه‌ای گیاه و فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشد(دیوبند هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این آزمایش به نظر می‌رسد که زغال زیستی با جذب عناصر ضروری خاک، مانع از دسترسی گیاه به این فسفر شده است (موسوی و همکاران، ۱۴۰۲)، به طوری که با افزایش کاربرد زغال زیستی، غلظت فسفر در ریشه و دانه گندم نیز به طور معنی‌داری کاهش یافت. در این خصوص تیس و ریلیگ(۲۰۰۹) نیز بیان کردند که کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند قابلیت دسترسی فسفر به دلیل نگهداشت این عناصر در خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

جدول ۲ - نتایج تجزیه واریانس اثر نوع خاک و زغال زیستی باگاس نیشکر بر تجمع و توزیع نیتروژن، فسفر، ماده خشک ریشه و عملکرد دانه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن			فسفر			ماده خشک ریشه	عملکرد دانه
		ریشه	ساقه	دانه	ریشه	ساقه	دانه		
نوع خاک	۱	۰/۰۱۲۱۵ ns	۰/۱۰۵۳۴ **	۱/۳۶۸ **	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۱۶۰۲ ns	۰/۲۶۸ **	۲/۳۴۴ *	۱۹۵/۴۵**
زغال زیستی	۳	۰/۰۰۹۰۵ ns	۰/۰۳۱۲۴ ns	۰/۲۲۹ **	۰/۱۲۱ **	۰/۰۱۰۰۳ ns	۰/۱۲۹**	۹/۵۲۸ *	۹۰/۷۰*
نوع خاک × زغال زیستی	۳	۰/۰۶۰۲۵ **	۰/۱۰۰۳ **	۰/۴۵۸**	۰/۰۶۳ **	۰/۱۳۴ **	۰/۰۳۸ *	۱/۱۷۲ *	۵۴/۸۰**
خطای آزمایش	۱۶	۰/۰۱۰۰۰	۰/۰۱۰۲۶	۰/۰۱۳۰۲	۰/۰۱۰۰۰	۰/۰۱۰۵۳	۰/۰۱۰۵۸	۶/۶۳۳	۴۷/۹۰
ضریب تغییرات (٪)		۸/۷۸	۹/۱۶	۶/۵۱	۸/۳۸	۵/۰۹	۸/۱۵	۱۵/۳۳	۱۰/۹۵

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns: عدم معنی‌داری

جدول ۳ – نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و زغال زیستی باگاس نیشکر بر تجمع و توزیع نیتروژن، فسفر، ماده خشک ریشه و عملکرد دانه گندم

منابع تغییرات		نیتروژن (درصد)			فسفر (میلی‌گرم درکیلوگرم)			ماده خشک ریشه (گرم در گلدان)	عملکرد دانه (گرم درگلدان)
نوع خاک	زغال زیستی	ریشه	ساقه	دانه	ریشه	ساقه	دانه	دانه	
آلوده	صفر درصد	۰/۸۱ a	۰/۸۷ a	۲/۴۶ a	۰/۶۷ a	۰/۶۶ a	۱/۷۹ a	۵/۷۱ c	۲۵/۴۱ g
	۲ درصد	۰/۷۱ b	۰/۸۶ a	۲/۴۱ a	۰/۶۶ a	۰/۴۷ b	۱/۵۱ b	۵/۸۰ c	۲۸/۸۵ ef
	۴ درصد	۰/۶۳ bcd	۰/۵۸ bcd	۲/۲۶ ab	۰/۴۶ cd	۰/۳۷ c	۱/۳۱ cd	۸/۳۴ a	۳۲/۸۹ abc
	۶ درصد	۰/۵۷ c	۰/۵۲ cd	۲/۰۰ b	۰/۱۹ e	۰/۳۶ cd	۱/۳۲ cd	۵/۸۶ c	۳۰/۱۲ def
غیر آلوده	صفر درصد	۰/۵۳ cd	۰/۴۳ d	۱/۲۰ c	۰/۵۵ bc	۰/۵ b	۱/۳۵ c	۶/۰۷ bc	۳۱/۸۲ bcd
	۲ درصد	۰/۵۷ c	۰/۶۲ bc	۱/۲۰ c	۰/۵۹ b	۰/۳۱ d	۱/۳۱ cd	۷/۶۸ ab	۳۳/۱۳ ab
	۴ درصد	۰/۷۸ ab	۰/۵۹ bcd	۱/۸۰ bc	۰/۵ c	۰/۳۵ cd	۱/۱۸ de	۸/۹۴ a	۳۴/۴۱ a
	۶ درصد	۰/۶۶ bc	۰/۶۶ b	۲/۰۱ b	۰/۳۵ d	۰/۳۳ cd	۱/۲۴ d	۵/۸۷ c	۳۱/۰۸ bcde

اعدادی که درهرستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند.

ماده خشک ریشه

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر نوع خاک، زغال زیستی و اثر متقابل آنها بر ماده خشک ریشه معنی‌دار بود(جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین ماده خشک ریشه در خاک غیر آلوده و کمترین آن در خاک آلوده وجود داشت(جدول ۳). در تحقیقات پیشین نیز بیان شده است که فلزات سنگین نیترات کادمیوم و سرب سبب کاهش وزن خشک ریشه شد(بلوچی و همکاران ۱۳۹۵) که با نتایج این مطالعه همخوانی داشت ضمنا این کاهش به بیشتر بودن این دو عنصر در ریشه و اختلال در فرآیندهای متابولیکی گیاه نسبت داده شده است (رمضانی و قاسمی، ۲۰۱۱). در این آزمایش با افزایش کاربرد زغال زیستی در خاک‌های آلوده و غیرآلوده تا سطح ۴ درصد وزن خشک ریشه افزایش و بعد از آن کاهش یافت(جدول ۳). بریتان و همکاران (۲۰۱۴) اعلام نمودند که با کاربرد زغال زیستی، تراکم توده ریشه و طول ریشه در خاک افزایش یافت. رزاقی و رضایی(۱۳۹۶) دلیل این افزایش را به بهبود وضعیت فیزیکی خاک از لحاظ آب قابل دسترس، تخلخل، هدایت هیدرولیکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به عدم کاربرد بیوچار نسبت دادند. قربانی و امیر احمدی(۱۳۹۷) نیز گزارش دادند که به کار بردن زغال زیستی در سطح ۴٪ تأثیر مثبتی بر افزایش طول ریشه نسبت به شاهد داشته است، اما این تأثیر به لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر نوع خاک، زغال زیستی و اثر متقابل آنها بر عملکرد دانه از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین عملکرد دانه بترتیب در خاک غیرآلوده و آلوده مشاهده شد(جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین همچنین نشان داد که کاربرد زغال زیستی در خاک آلوده و غیر آلوده باعث افزایش عملکرد دانه شد و این افزایش تا سطح ۴٪ زغال زیستی ادامه داشت و از آن به بعد منجر به کاهش در عملکرد دانه گردید. راجکوویچ و همکاران(۲۰۱۲) نیز در یک مطالعه گلخانه‌ای بیان کردند که سطوح بالای مصرف زغال زیستی(۷٪) عملکرد ذرت را کاهش داد در حالیکه سطوح مصرف پایین تر(۵٪ و ۲٪) باعث افزایش عملکرد گردید که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت. این محققین علت عدم تأثیر زغال زیستی بر افزایش عملکرد را حاصلخیزی ذاتی خاک و کافی نبودن سطح مصرف زغال زیستی گزارش نمودند. از دلایل دیگر افزایش عملکرد دانه در شرایط افزایش کاربرد زغال زیستی در شرایط آلودگی خاک به نیکل را میتوان به اثر مثبت و معنی‌داری زغال زیستی بر جذب و کاهش مقادیر نیکل در خاک و بهبود خواص شیمیایی خاک نسبت داد(لیو و همکاران، ۲۰۱۸). رزاقی و رضایی(۱۳۹۶) در بررسی اثر سطوح مختلف زغال زیستی بر خواص فیزیکی خاک با بافت‌های مختلف نشان دادند که کاربرد زغال زیستی سبب بهبود وضعیت فیزیکی خاک با بافت‌های مختلف از لحاظ آب قابل دسترس، تخلخل، هدایت هیدرولیکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به عدم کاربرد زغال زیستی گردید.و می تواند به عنوان یک اصلاح کننده در خاک‌های سنگین و سبک مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط خاک آلوده به سرب و نیکل، تجمع و توزیع نیتروژن و فسفر در بخش‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه و دانه) افزایش معنی‌داری نسبت به نسبت به خاک غیر آلوده داشت و با افزایش مصرف زغال زیستی تغییراتی در نحوه تجمع این عناصر در راستای ایجاد شرایط مناسب برای گیاه حاصل شد که متعاقب آن در بهبود رشد ریشه و افزایش عملکرد دانه تاثیر معنی‌دار داشت. نتایج نشان داد که کاربرد زغال زیستی در خاک‌های غیر آلوده در بهبود شرایط رشدی ریشه و افزایش عملکرد دانه موثر می‌باشد. لذا در این آزمایش مصرف زغال زیستی تا سطح ۴ درصد در خاک‌های آلوده و غیر آلوده جهت بهبود عملکرد پیشنهاد می شود.

فهرست منابع

۱. بلوچی، ح. ر.، امینی، ف.، موحدی دهنوی، م. و عطار زاده، م. ۱۳۹۵. تأثیر بسترهای مختلف آلی بر رشد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی تحت تنش فلزات سنگین. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۶(۲): ۵۷-۷۳

۲. بی‌ریا، م.، معزی، ع، ا. و عامری خواه، ه. ۱۳۹۶. تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر رشد گیاه ذرت در خاک آلوده به کادمیوم و سرب. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲: ۶۰۹-۶۲۶.

۳. حاجی شرفی، ح.، زارعی، ش.، ساکی نژاد، ط. و بیژن پور، ح. ۱۳۹۵. بررسی کاربرد کودهای آلی حاصل از باگاس و کمپوست‌های باگاس نیشکر به منظور افزایش مواد آلی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در مزارع نیشکر (مطالعه موردی کشت و صنعت امیر کبیر). دومین همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکو سیستم‌های کشاورزی، پژوهشکده انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ۱۲ صفحه.

۴. دیوبند هفشجانی، ل.، ناصری، ع.، هوشمند، ع.ل.، عباسی، ف. و سلطانی محمدی، ا. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی. علوم و مهندسی آبیاری (مجله‌ی علمی- پژوهشی)، ۴۴(۱): ۶۴-۷۲.

۵. رزاقی، ف. و رضایی، ن. ۱۳۹۶. اثر سطوح مختلف بیوچار بر خواص فیزیکی خاک با بافت‌های مختلف. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۱(۱): ۷۶-۸۷.

۶. سلیمانی امین آبادی، م. ۱۳۸۲. پالایش خاک‌های آلوده به هدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین سرب و نیکل به وسیله گیاهان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحهٔ ۸۶ – ۵۶.

۷. شعیبی نوبریان، م، ر.، بستانی، ع. و افشاری بدرلو، ت. ۱۳۹۱. بررسی سرنوشت فسفر در خاک‌های آلوده به سرب. منتشر شده در ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست.

۸. غازان شاهی، ج. ۱۳۸۵. آنالیزخاک وگیاه. انتشارات آییژ، تهران، ۲۹۶ صفحه.

۹. قربانی، م. و امیراحمدی، ا. ۱۳۹۷. اثر بیوچار پوسته برنج بر برخی ویژگی های فیزیکی خاک و رشد ذرت در یک خاک لومی. پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)، ۳۲(۳): ۳۰۵-۳۱۸.

۱۰. قربانی، ه.، حیدری، م. و غفاری، م. ۱۳۹۵. تأثیر سطوح مختلف شوری و عناصر سنگین سرب و کادمیوم بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر سدیم و پتاسیم در اسفناج .مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای، ۷ (۱):۲۴-۱۵.

۱۱. کریمی، ر.۱۳۸۷.گیاه پالایی خاکهای آلوده به عناصر کادمیم، سرب و نیکل، سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ۹ صفحه.

۱۲. موسوی، ر.، رسولی صدقیانی م.ح.، سپهر، ا. و برین م. ۱۴۰۲. تأثیر بیوچار غنی‌شده بر رفتار جذب فسفر در خاک‌های شور و غیر شور حوضه دریاچه ارومیه. علوم آب و خاک، ۲۷(۱):۲۳۰-۲۱۷.

13. Ahmad, M., Lee, S.S. Lim, J. E. Lee, S.E. Cho, J.S. Moon, D.H. Hashimoto Y. & O.k. Y.S. 2014. Speciation and phytoavailability of lead and antimony in

a small arms range soil amended with mussel shell, cow bone and biochar: EXAFS spectroscopy and chemical extractions. Chemosphere, 95: 433-441.

14. Baycu, G., Doganay. T., Hakan, O. & Sureyya, G. 2006. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. Environmental Pollution, 143(3): 545-554.
15. Brennan, A., Moreno Jiménez, E., Puschenreiter, M., Antonio Alburquerque, J. & Switzer, C. 2014. Effects of biochar amendment on root traits and contaminant availability of maize plants in a copper and arsenic impacted soil. Plant Soil, DOI 10.1007/s11104-014-2074-0.
16. Brune, A. & Deitz, KJ. 1995. A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel and zinc concentrations. Journal of Plant Nutrition, 18:853–868.
17. Doumer, M., Rigol A., Vidal, M. & Mangrich, A. 2016. Removal of Cd, Cu, Pb, and Zn from aqueous solutions by biochars. Environmental Science and Pollution Research, 23(3): 2684-2692.
18. Fathi, M. & Chorom, M. 2013. The effect of zeolite on heavy metals in soils treated with sewage sludge and corn growth. M.Sc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.
19. Golchin, I. P., Safavi, S. & Ateshnama, K. 2006. Native plant species superabsorbent lead and zinc in the province. Proceedings of the conference on soil, environment and sustainable development. Karaj. pp: 22-21.
20. Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Rotan, Florida, USA.143-157.
21. Knowles, O., Robinson, B., Contangelo, A. & Clucas, L. 2011. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. Science of the Total Environment, 409: 3206-3210.
22. Laird, D.A. Fleming, P.D. Karlen D.L. Wang, B. & Horton, R. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma, 158:436–442.
23. Li, N., Kang, Y., Pan, W., Zeng, L., Zhang, Q. & Luo, J. 2015. Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. Science of the Total Environment, 521-522: 144-151.
24. Liang, B., Lehmann, J. Solomon, D. Kinyangi, J. Grossman, J. O'Neill, B. Skjemstad, J.O. Thies, J. Luizão, F.J. Petersen, J. & Neves, E.G. 2006. Black carbon increases cation exchanges capacity in soils. Soil Science Society of America Journal, 70: 1719–1730.
25. Lyu, H., Gao, B., He, F., Zimmerman, A, R., Ding, C., Huang, H. & Tang, J. 2018. Effects of ball milling on the physicochemical and sorptive properties of biochar: Experimental observations and governing mechanisms. Environmental Pollution, 233 546.
26. Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T., Sarkar, P., George, J. & Ram. L. 2013. Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. Catena, 111: 64-71.
27. Metwali, M.R., Ehab-Manal, H., Tarek, E. & Bayoumi, Y. 2010. Agronomical traits and biochemical genetic markers associated with salt tolerance in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(5): 174-183.
28. Mohan, D., Kumar, A. & Pittman, C.U. 2016. Sustainable biochar-a tool for climate change mitigation, soil management and water and wastewater treatment. Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment. Springer, 949-952.

29. Palacios, G., Gómez, I. Carbonell-Barrachina, A. Navarro, Pedreño J. & Mataix, J. 1998. Effect of nickel oncentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. Journal of Plant Nutrition, 21(10): 2179-2191.
30. Rajkovich, S. Enders, A. & Hanley, K. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, 48:271–284.
31. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R. & Lehmann, J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, 48(3): 271-284.
32. Sharma, P. & Dubey, R.S. H. 2005. Lead toxicity in plants. Journal of Plant Physiology, 17:35–52.
33. Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. & Bol, R. 2009. Biochar’s role in soil and climate change: a review of research needs. CSIRO Land and Water Science Report, 59: 1–57.
34. Tabatabaei, S. J. 2009. Supplements of nickel affect yield, quality, and nitrogen metabolism when urea or nitrate is the sole nitrogen source for cucumber. Journal of Plant Nutrition, 32: 713-724.
35. Thies J. E. & Rillig M.C. 2009. Characteristics of biochar: biological properties. Sterling. In Lehmann, J. and Joseph, S. (eds.). Biochar for Environmental Management. Science and Technology. London. Earthscan Publishing, PP: 85-105.
36. Yang, X., 1996. Nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. Journal of Plant Nutrition,19: 265-279.
37. Yang, X.E., Long, X.X., Ye, H.B., He, Z.L., Calvert, D.V. & Stoffella, P.J. 2004. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii Hance*). Plant Soil, 259:181-189.

Effect of Sugarcane Bagasse Biochar on Accumulation and Distribution of Nitrogen, Phosphorus, Root Characteristics and Wheat Grain Yield in Soils Contaminated with Lead and Nickel

Sh.Tokhmehchian, S. K.Marashi*, and T.Babaei Nejad
MSc, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. sh_t1352@yahoo.com
Associate Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. marashi_47@yahoo.com
Assistant Professor, Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. timoorba@yahoo.com

«Research Article»
Received: July 20, 2024 and Accepted: January 15, 2025

Abstract

One of the main problems of contaminated soils is the presence of high amounts of heavy and toxic elements, especially lead and nickel, which leads to disruption in the growth and reduction of plant yield. The use of biochar has been proposed as one of the solutions to solve this problem. The purpose of this study was to investigate the effect of sugarcane biochar on accumulation and distribution of nitrogen and phosphorus absorption, root growth, and wheat grain yield in soils contaminated with lead and nickel. This experiment was carried out using factorial design in a completely randomized layout. The studied factors included the amounts of sugarcane biochar in four levels including: zero (control), 2%, 4%, and 6% of soil weight and the type of soil in two levels: contaminated and non-contaminated by lead and nickel. In this experiment, the maximum and minimum nitrogen and phosphorus absorbed in the root, stem, and grain of the plant were observed in contaminated and non-contaminated soil conditions, respectively. Also, with the increase in the use of biochar, there were changes in the accumulation of these elements in order to create suitable conditions for the plant, which subsequently had a significant effect on improving root growth and increasing grain yield. The maximum and minimum grain yield were observed in non-contaminated and contaminated soils, respectively and with increasing biochar consumption, grain yield increased in both contaminated and non- contaminated soils and this increase continued up to 4% biochar. In general, the results of the experiment showed that in the soil contaminated and non-contaminated with lead and nickel, the use of sugarcane bagasse biochar has an effective role in the accumulation of nitrogen and phosphorus in the plant, and to improve yield, the use of biochar up to 4% in the contaminated and non-contaminated soils is recommended.

Keywords: Absorption of elements, Environmental pollution, Heavy metals, Wheat yield.

*- Corresponding author's email: marashi_47@yahoo.com

Determining the Relative Contribution of Land Use in Sediment Yield by Using Weathering Indices in Chehl Chay Watershed

S. Jalali , K. Nosrati*, and S. Bahrami
Department of Physical Geography, Faculty of Earth Science, University of Shaheid Beheshti, Tehran, Iran
E-mail: sa_jalali@ gmail.com
Department of Physical Geography, Earth Science, University of Shaheid Beheshti,Tehran, Iran.
E-mail: knosrati@ gmail.com
Department of Physical Geography, Earth Science, University of Shaheid Beheshti, Tehran, Iran.
E-mail: bahrami.gh@gmail.com

«**Research Article**»

« Received: July 8, 2024 and Accepted: December 28, 2024 »

Abstract

A significant issue in applied research for the management of watersheds is to know the integrated sediment yield process in watershed. In the recent decades, sediment fingerprinting method was proven as one of the key methods for determining contribution of sediment proportion. This study's purpose was to determine the relative source contribution of surface (forest, pasture, agriculture and gardening) and sub-surface (bank erosion) in sediment yield by using weathering indices in Chehel-Chaye Catchment, Golestan Province, Iran. In eight flood events, suspended sediment sampling was done in March to April 2021. Thirty-six weathering indices were calculated. After Bracket, Kruskal-Wallis, and Discernment Function Analysis, CPA,ALK, MgIndex, ba1, CALMAG Index had the highest discernment percentage in all of the tracers. Based on Bayesian mixing model, the highest proportion of suspended sediment was produced by agricultural land (88/6%), followed by pasture (4/1%), forest (2/3%), and bank erosion(5%) of the suspended sediment. Thus, knowing the high contribution of agriculture in sediment yield, it is necessary to design and implement soil conservation operations according to the location of the watershed.

Keywords: Sediment tracing, Soil conservation, Soil erosion, Geo-chemical tracers

* - Corresponding author, email address: knosrati@sbu.ac.ir

Effect of Rooting and Canopy of Pistachio Trees with Different Ages on Some Soil Properties in Robat Plain

E. Amini, N. Yaghmaeian*, and S. Abrishamkesh

PhD candidate, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran; E-mail: amini.elahe.ea@gmail.com
Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran. E-mail: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir
Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran. E-mail: sabrishamkesh@guilan.ac.ir

«Research Article»

Received: May 19, 2024 and Accepted: December 23, 2024

Abstract

The effects of trees through their root system and shading on soil characteristics lead to their effect on fertility, protection, and improvement of soil quality. In order to investigate the effect of trees age and canopy on some soil characteristics, soil samples were taken from the depths of 0-30, 30-60, and 60-90 cm from two middle canopy and edge canopy areas of 9-, 17-, and 25-years-old pistachio orchards and three control positions (without tree) in Robat Plain, Shahr-e Babak City. Soil characteristics were measured by standard methods. After the factorial test with two factors of land use and depth, the analysis of significant parameters was done in a split-split plot design and in the form of a completely random design including age (main factor), distance (first sub-factor), and soil depth (second sub-factor) in three replicates. The results showed that pistachio trees had no effect on the percentage of clay content, apparent specific gravity, mean weight diameter of soil grain, and equivalent calcium carbonate. The effect of orchard age was significant only on soil basal respiration and available potassium, and the highest amount of soil basal respiration and available potassium belonged to the 9-year-old trees. By increasing the distance from the tree, the average percentage of organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and microbial respiration decreased and the growth average showed a significant increase. With increasing soil depth, average organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and microbial respiration decreased significantly. Also, the interaction effect of age, distance from the tree, and soil depth on growth and microbial respiration was significant. In general, the changes in soil properties in the studied pistachio orchards were affected more by soil depth and canopy, so that soils in the surface layer and the middle canopy were in a more favorable condition. Considering the higher absorption of pistachio tree roots from the edge canopy, in order to prevent the reduction of soil fertility, in addition to applying fertilizer based on the results of soil test, attention should be paid to fertility managing and use of organic matter in these orchards.

Keywords: Canopy, Pistachio orchards, Soil fertility, Tree age

* - Corresponding author's email: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

Impact of Threshold Levels on Soil Quality Indicators in Some Orchards and Paddy Fields in the Marvu'ak Region, Lorestan Province

A. Salmanpour*

Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorram-Abad, Iran.**anahidsalmanpour@yahoo.com**

«**Research Article**»

Received: August 19, 2024 and Accepted: December 23, 2024

Abstract

This study aimed to compare Integrated and Nemoro soil quality indicators and investigate the impact of determining or not determining critical limits in scoring fuzzy and sigmoidal functions in apricot orchards and paddy fields near the Maru’ak dam in Dorud city, Lorestan Province. Twenty sites, including 10 apricot orchards and 10 rice fields, were selected for soil sampling. Samples were collected from a depth of 0 to 30 cm, and 16 soil and land properties were identified for the total dataset (TDS). Gravel content, bulk density, texture, salinity, acidity, calcium carbonate percentage, organic carbon, and available nutrient elements including P, K, Fe, Mn, Zn, and Cu, were measured. Slope percentages were also obtained by field observation and Google Earth software. Principal component analysis was utilized for weight assignment and minimum dataset (MDS) selection. Scoring of soil properties was carried out using fuzzy functions with specified threshold levels for each land use, as well as sigmoid functions without threshold limits. Subsequently, the integrated and Nemoro quality indicators were calculated and classified. Based on the results, soil acidity, available Fe, available K, and available Mn were identified as MDS and the most important factors controlling soil quality in the region. For both TDS and MDS, the integrated quality index values were greater than 0.6 (indicating high quality), and the Nemoro quality index values were less than 0.4 (moderate quality). This shows that there is a difference in soil quality evaluation when using various indices. Comparisons showed that MDS indices aligned closely with TDS indices across both land uses, suggesting that specific properties may serve as substitutes for overall soil properties. Furthermore, the results indicated that the absence of threshold limits in sigmoid functions did not accurately represent the conditions of Fe pollution in paddy fields, resulting in slightly higher indices than in orchards. This highlights that threshold limits can greatly affect how results are interpreted and how management strategies are developed. Further research is recommended to conduct additional research to establish standardized threshold limits for soil characteristics in different regions of Iran where such limits are not available.

Keywords: Integrated quality index, Nemoro quality index, Fuzzy functions, Sigmoid functions

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

Physiological and Nutritional Responses of Satsuma Mandarin on Gou Tou (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou) Rootstock in Calcareous Soils

A. Asadi Kangarshahi *and N. Akhlaghi Amiri
Associate Professor of Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari. **kangarshahi@gmail.com**
Assistant Professor of Agronomy and Horticultural Science Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. **neginakhlaghi@yahoo.com**

«Research Article»
Received: June 26, 2024 and Accepted: December 23, 2024

Abstract

The Gou Tou (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou) has been reported as one of the rootstocks tolerant to soil lime. Therefore, the present study aimed to evaluate the growth trend and tolerance of this rootstock to the calcareous soils of east of Mazandaran Province. An experiment was conducted for two years in a randomized completely block design in seven soils with calcium carbonate content (2 to 45%). Plant 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 clay texture and total lime content of more than 30%. There was a significant difference in the chlorosis rate of the leaves of seedlings on this rootstock in different soils**,** which was mostly caused by manganese deficiency in the leaves. The average Fe concentration in the roots was 19.43 times the average concentration in the leaves, indicating the 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 6 times higher than its mean concentration in the leaves. Magnesium and sulfur had the highest and lowest transfer efficiency while active Fe and total Fe had the highest and lowest transfer efficiency, respectively. According to the results, the chlorosis rate of the seedlings in different soils differred significantly, which showed this rootstock as relatively tolerant to soil lime. Therefore, Gou Tou can not be a good substitute for orange rootstock in calcareous soils with very high lime content.

Keywords: Calcium Carbonate, Chlorosis rate, Citrus rootstock, Nutrient elements.

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

Evaluation of Nutritional Status of Watermelon (*Citrullus Vulgaris*) by Compositional Nutritional Diagnosis and Its Comparison with Deviation from Optimum Percentage

S.J. Ghoreyshi , E. Sepehr*, and M. Sharifmand
Dept. of Soil Science, Faulty of Agriculture, Tabriz University; Email: Seyyedjavad_ghoreyshi@yahoo.com
Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University; E-mail: e.sepehr@urmia.ac.ir
Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University; E-mail: m.sharifmand@urmia.ac.ir

«Research Article»
Received: May 1, 2024 and Accepted: October 23, 2024

Abstract

Achieving optimum yield is possible by balancing the nutrient elements. Nutritional indicators are used to diagnose nutritional disorders and then optimize the use of chemical fertilizers. Therefore, to optimize the use of fertilizer in watermelon farms in the north of West Azarbaijan Province, the method of compositional nutrient diagnosis (CND) was used and its results were compared with deviation from optimal percentage (DOP) method. For this purpose, soil and leaf samples were prepared from 150 watermelon farms in Poldasht Region and the concentration of nutrients including nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn), copper (Cu) and boron (B) were determined by standard laboratory methods. Then, the farms were classified into two high and low yield groups and the indices of nutrient were calculated by DOP and CND methods. According to the CND method, norms for N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B and residual elements (Rd) were determined as 3.04±0.18, 0.59±0.25, 2.87±0.22, 2.72±0.24, 1.31±0.31, -2.50±0.37, -2.75±0.38, -3/42±0.27, -4.50±0.28, -4.01±0.46 and 6.65±0.15, respectively. Comparison of the results of CND and DOP methods showed that, in both methods, N and K had the most negative indices among the macro elements, while Zn and Fe had the most negative indices, and the most deficiency, among the micro elements; so, the results of both methods were similar. Therefore, based on the indicators of the nutrient elements, it is concluded that the farms with low yield were in unbalanced status in terms of nutritional elements.

Keywords: Nutritional balance, Indicators of the nutrient elements, DOP, CND, Poldasht Region

* -- Corresponding author's email: e.sepehr@urmia.ac.ir

Contents

Subject **Page**

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

Soil and Water Research Institute   Soil Science Society of Iran

Research and Soientific Journal

Iranian Journal of Soil Research

Vol. 38, No. 3
2024

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

Soil and Water Research Institute

Soil Science Society of Iran

Iranian Journal of
Soil Research
(Soil and Water Sciences)

Volume 38 \ No.3\ 2024

ISSN: 2228 -7124

Contents