



انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی



موسسه تحقیقات خاک و آب

# پژوهش‌های خاک

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

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۵ / شماره ۳ / سال ۱۴۰۰

صفحه

فهرست

عنوان

۲۱۷ ..... ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در برخی خاک‌های شور جنوب استان خوزستان  
ابوالفضل آزادی، جمال بنی نعمة و سیدعلیرضا سیدجلالی

۲۳۵ ..... تأثیر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی کلزا  
جلال قادری، محمد حسین داوودی و کاظم خاوازی

درجه‌بندی نمایه کیفیت حاصلخیزی خاک بر مبنای عملکرد برنج در شالیزارهای بخش  
کوحصفهان استان گیلان ..... ۲۵۳  
شهریار بابازاده جعفری، محمد فیضیان و ناصر دوات‌گر

بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی مراحل مختلف رشد نیشکر و برآورد ظرفیت  
ترسیب کربن آلی ..... ۲۶۹  
ابوالفضل آزادی، سیدعلیرضا سیدجلالی، رمضانعلی دهقان و میرناصر نویدی

ارزیابی برهمکنش سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد، وضعیت تغذیه‌ای و کیفیت  
خیار گلخانه‌ای (*Cucumis sativus*) در شرایط تنش سرمایی ..... ۲۸۷  
مجید بصیرت، سید مجید موسوی و مجید عباسپور

تخمین مقاومت کششی خاک با استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی در برخی از  
اراضی پسته‌کاری رفسنجان ..... ۳۰۳  
حسین شیرانی، ناهید اصغری نژاد، سمیه صدر، عیسی اسفندیارپور و حسین شکفته

تأثیر دمای آتشکافت بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوجار تولیدی از ضایعات  
هرس درختان بارور پسته ..... ۳۲۱  
مهدی کریمی

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

انجمن علوم خاک ایران

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی  
پژوهش‌های خاک

جلد 35 شماره (3)

1400

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

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

تمدید شده است

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

ویراستار انگلیسی: دکتر حمید سیادت  
تایپ و صفحه آرایی: کبری علی نژاد  
تعداد انتشار در سال: چهار شماره

پایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش‌های خاک: [www.srjournal.areeo.ir](http://www.srjournal.areeo.ir)  
پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب: [www.swri.ir](http://www.swri.ir)  
پایگاه الکترونیکی انجمن علوم خاک ایران: [www.soiliran.org](http://www.soiliran.org)  
آدرس الکترونیکی دفتر مجله: [majalehsoil@yahoo.com](mailto:majalehsoil@yahoo.com)  
این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC): [www.isc.gov.ir](http://www.isc.gov.ir)  
و همچنین در پایگاه (ISC) از ضریب تأثیر (IF) برخوردار می‌باشد  
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: [www.sid.ir](http://www.sid.ir)  
پایگاه سیولیکا: [www.civilica](http://www.civilica)

آدرس: کرج - میدان استانداری، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: 3177993545  
تلفن و نمابر: (026) 36208796  
آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: [www.srjournal.areeo.ir](http://www.srjournal.areeo.ir)

- 217 ..... ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در برخی خاک های شور جنوب استان خوزستان  
ابوالفضل آزادی، جمال بنی نعمة و سیدعلیرضا سیدجلالی
- 235 ..... تأثیر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی کلزا  
جلال قادری، محمد حسین داوودی و کاظم خاوازی
- 253 ..... درجه بندی نمایه کیفیت حاصلخیزی خاک بر مبنای عملکرد برنج در شالیزارهای بخش  
کوچصفهان استان گیلان  
شهریار بابازاده جعفری، محمد فیضیان و ناصر دواتگر
- 269 ..... بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی مراحل مختلف رشد نیشکر و برآورد ظرفیت  
ترسیب کربن آلی  
ابوالفضل آزادی، سیدعلیرضا سیدجلالی، رمضانعلی دهقان و میرناصر نویدی
- 287 ..... ارزیابی برهمکنش سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد، وضعیت تغذیه ای و کیفیت  
خیار گلخانه ای (*Cucumis sativus*) در شرایط تنش سرمایی  
مجید بصیرت، سید مجید موسوی و مجید عباسپور
- 303 ..... تخمین مقاومت کششی خاک با استفاده از روش های مختلف مدل سازی در برخی از  
اراضی پسته کاری رفسنجان  
حسین شیرانی، ناهید اصغری نژاد، سمیه صدر، عیسی اسفندیارپور و حسین شکفته
- 321 ..... تأثیر دمای آتشکافت بر برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی بیوپار تولیدی از ضایعات  
هرس درختان بارور پسته  
مهدی کریمی

## راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

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

### الف) اصول کلی

- 1- این نشریه صرفاً مقالات پژوهشی (Original Articles) منتج از پژوهش‌های نویسنده و یا نویسندگان در زمینه علوم خاک و آب را منتشر می نماید.
  - 2- مقاله باید به زبان فارسی روان و پیراسته از غلط‌های نگارشی و نوشتاری باشد. از آوردن واژه‌های بیگانه که معادل شناخته شده فارسی دارند جداً خودداری گردد.
  - 3- مسئولیت صحت و سقم مطالب، نظرات و عقاید مندرج در مقالات به عهده نویسندگان مقاله می‌باشد. حقوق معنوی مقالات برای نویسندگان محفوظ می‌باشد.
  - 4- مقاله نباید در هیچ یک از نشریات کشور به چاپ رسیده یا همزمان برای مجلات دیگر ارسال شده باشد این مسئله باید با تأیید کتبی نویسنده مسئول باشد.
- مقالاتی که مبنی بر آزمایش‌هایی است که بیش از 3 سال از خاتمه اجرای آن گذشته است از شانس کمتری برای پذیرش برخوردار خواهد بود و نویسندگان باید علت تأخیر در نوشتن مقاله را توجیه کنند

### ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

#### نحوه نگارش مقاله

- 1- مقاله حداکثر در 15 صفحه A4 با فاصله خطوط 1/5 و حاشیه‌های 3 سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.
- 2- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه آنها مطابق جدول (1) استفاده شود.
- 3- پیش از نقطه (.) و کاما (,) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.
- 4- اصول نگارش زبان فارسی به طور کامل رعایت شده و از به کار بردن اصطلاحات انگلیسی که معادل فارسی آنها در فرهنگستان زبان فارسی تعریف شده‌اند، حتی الامکان پرهیز گردد.

| جدول 1- نوع قلم و اندازه   |                 |                                           |
|----------------------------|-----------------|-------------------------------------------|
| موقعیت استفاده             | نام قلم         | اندازه قلم                                |
| عنوان مقاله                | Nazanin پر رنگ  | 14                                        |
| متن مقاله                  | Nazanin         | 12                                        |
| عناوین بخش‌های مقاله       | Nazanin پر رنگ  | 12                                        |
| نام مؤلفان                 | Nazanin پر رنگ  | 12                                        |
| کلمه چکیده و کلمات کلیدی   | Nazanin پر رنگ  | 12                                        |
| عناوین جداول و اشکال       | Nazanin پر رنگ  | 11                                        |
| متن جداول و شکل‌ها و منابع | Nazanin         | 11                                        |
| متن انگلیسی                | Times New Roman | یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت |

نویسنده(گان) موظف هستند حداکثر 15 روز پس از دریافت نظرات داوران اصلاحات لازم و یا پاسخ را ارسال نمایند. ضمناً ارسال چکیده لاتین مقاله به همراه مقاله الزامی است. ارسال نامه درخواست چاپ مقاله در نشریه پژوهش‌های خاک به همراه فرم تعهد نامه الزامی است. کلیه مقالات پس از دریافت اعلام وصول گردیده و جهت ارزیابی برای داوران مجله ارسال خواهد شد و پس از اتخاذ رأی داوران و تأیید هیئت تحریریه، مقاله در نوبت چاپ قرار خواهد گرفت

#### شناسنامه مقاله

مقالات باید شامل عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی (حداکثر تا 300 کلمه)، واژه‌های کلیدی (Keywords)، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی (در صورت نیاز) و فهرست منابع باشد.

#### برگ شناسه

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

\* نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که با امضای کلیه نگارندگان و الزامی می باشد در قسمت فایل- های پیشنهاد بارگذاری نماید.

#### عنوان مقاله

عنوان مقاله باید روان، گویا، مختصر و مفید بوده و در برگیرنده محتوای تحقیق انجام شده باشد. عنوان مقاله نباید بیش از 20 کلمه باشد. در زیر عنوان نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی و یا تحصیلات و وابستگی سازمانی، تاریخ، آدرس کامل پستی، شماره تلفن همراه و پست الکترونیک نویسندگان مقاله درج گردد.

دقت شود کلمه‌های تشکیل دهنده عنوان با کلمه‌های کلیدی متفاوت باشد.

چکیده: چکیده بایستی شامل حداکثر 300 کلمه بوده و بیانگر زمینه و هدف، تحقیق روش بررسی، یافته‌ها، نتیجه‌گیری و ترجیحاً در یک پارگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

#### واژه های کلیدی:

واژه های کلیدی بایستی 3-6 کلمه باشد. واژه های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه های چکیده فارسی باشد.

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

#### مقدمه

باید دربرگیرنده اهمیت پژوهش انجام شده بوده و به بیان مسئله با مروری بر مطالعات و مشاهدات مرتبط با تحقیق که در گذشته انجام شده پرداخته و به منابع معتبری که در انتهای مقاله ذکر شده، استناد شده باشد و در ادامه وجه تمایز نسبت به مطالعات قبلی و لزوم و وجوب آن و در انتها هدف اصلی پژوهش

نگاشته شود. مقالاتی که تکراری بوده و در گذشته به کرات در داخل و خارج از ایران در مورد آن مطالعاتی انجام شده، در صورتی که وجه تمایز قانع کننده‌ای نداشته باشد چاپ نخواهد شد.

#### مواد و روش‌ها

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

#### نتایج

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

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

#### بحث

یافته‌های جدید و مهم باید با یافته‌های موجود در منابع مقایسه شود و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار گیرد. از تکرار یافته‌ها خودداری شود. مروری بر مقالات گذشته در این بخش گنجانده شود. محدودیت‌های مطالعه باید مورد توجه قرار گیرد. راهکارهای جدید و فرضیه‌های جدید پیشنهاد گردد. یافته‌های جدید و یافته‌های 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 داشته‌اند، تشکر و قدر دانی نمایند. این قسمت باید کوتاه و در حدود 50 کلمه باشد.

#### فهرست منابع

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

..... نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (کریمی و احمدی ، 1389)

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

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش از یک نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف a، b و c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند.

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

بای بوردی و همکاران (1382) گزارش کردند...

اسمیت (2002) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (2002) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (2002) گزارش کردند...

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

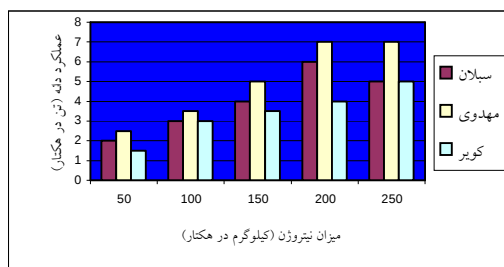
جدول نامناسب

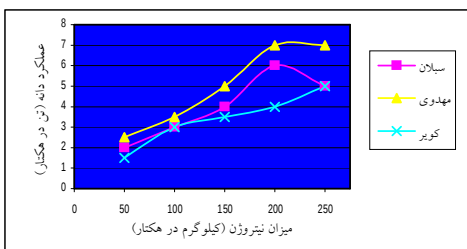
| بافت     | Mge<br>xch | Kavail<br>. | Pava<br>il | OC<br>(%) | TNV<br>(%) | EC<br>(dS. m-<br>1) | pH  | عمق<br>(cm) |
|----------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------------------|-----|-------------|
|          | (Mg.kg-1)  |             |            |        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

جدول مناسب

| بافت     | Mg <sub>ex</sub>       | K <sub>av</sub> | P <sub>av</sub> | OC<br>(%) | TNV<br>(%) | EC<br>(dS.m <sup>-1</sup> ) | pH  | عمق<br>(cm) |
|----------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------|------------|-----------------------------|-----|-------------|
|          | (mg.kg <sup>-1</sup> ) |                 |                 |           |            |                             |     |             |
| لومی رسی | 300                    | 290             | 3/6             | 0/62      | 28         | 7/6                         | 8/3 | 0-30        |
| لومی رسی | 305                    | 295             | 1/60            | 0/50      | 30         | 7/2                         | 8/2 | 30-60       |
| لومی شنی | 286                    | 232             | 1/50            | 0/21      | 33         | 9/5                         | 7/8 | 60-90       |

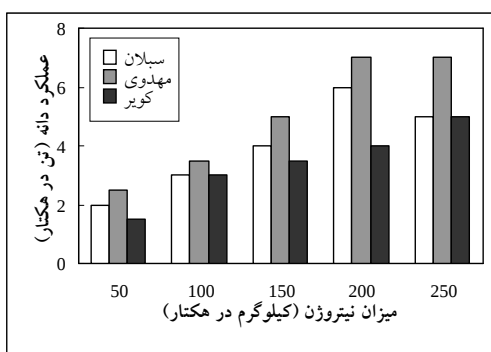
نامناسب



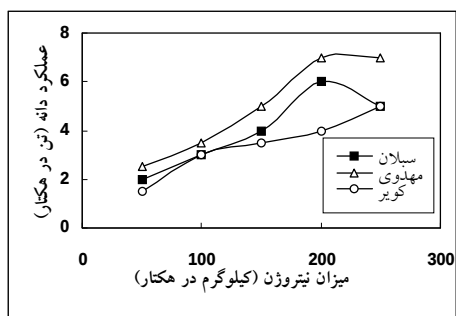


مناسب

نامناسب



مناسب



نشریه پژوهش‌های خاک

## فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب ..... نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

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 خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

## داوران مقالات واصله به دفتر نشریه پژوهش‌های خاک سه ماه سوم سال 1400

---

|                           |         |                       |         |
|---------------------------|---------|-----------------------|---------|
| دکتر احمد اخیانی          | 2 مقاله | دکتر محمد حسین مهدیان | 1 مقاله |
| دکتر علیرضا آستارایی      | 1 مقاله | دکتر عزیز مومنی       | 1 مقاله |
| دکتر شاهین اوستان         | 1 مقاله | دکتر نصرت اله نجفی    | 1 مقاله |
| دکتر ابوالفضل آزادی       | 1 مقاله | دکتر میرناصر نویدی    | 1 مقاله |
| دکتر محید بصیرت           | 1 مقاله | دکتر محمدرضا نیشابوری | 1 مقاله |
| دکتر محمد بای بوردی       | 1 مقاله |                       |         |
| دکتر علیرضا جعفرنژادی     | 3 مقاله |                       |         |
| دکتر محمد حاج عباسی       | 1 مقاله |                       |         |
| دکتر غلامحسین رنجبر       | 2 مقاله |                       |         |
| دکتر حامد رضایی           | 1 مقاله |                       |         |
| مهندس رقیه رضوی           | 1 مقاله |                       |         |
| دکتر سید علیرضا سید جلالی | 1 مقاله |                       |         |
| دکتر کریم شهبازی          | 4 مقاله |                       |         |
| دکتر مسعود کاووسی         | 1 مقاله |                       |         |
| دکتر محی الدین گوشه       | 1 مقاله |                       |         |
| دکتر فرهاد مشیری          | 1 مقاله |                       |         |
| دکتر محمد حسین محمدی      | 2 مقاله |                       |         |



## ارزیابی تناسب سرزمین برای کشت گندم در برخی خاک‌های شور جنوب استان خوزستان

ابوالفضل آزادی<sup>1</sup>، جمال بنی نعمه و سیدعلیرضا سیدجلالی

استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران؛

a.azadi@areeo.ac.ir

مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران؛

jamal\_nn@yahoo.com

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛

ajalali@areeo.ac.ir

دریافت: 1400/5/31 و پذیرش: 1400/7/4

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی و تعیین تناسب کیفی و کمی محصول گندم آبی در برخی اراضی شور جنوب استان خوزستان انجام گرفت. بر اساس مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی منطقه، سیزده سری خاک شناسایی گردید. نیازهای فیزیولوژیک گیاه گندم با استفاده از منابع موجود تعیین و درجه بندی شدند. سپس ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم) انجام شد و در نهایت نقشه‌های مربوطه در محیط GIS تهیه گردید. نتایج نشان داد که متغیرهای اقلیمی در تولید گندم محدودیتی ایجاد نمی‌کند. همچنین، کلاس‌های تناسب اراضی کیفی از کلاس نسبت‌مناسب (S2) تا نامناسب (N) قرار دارد و مهمترین عوامل محدود کننده محدودیت‌های شوری (115-4/7 دسی زیمنس بر متر) و قلیائیت (77-9/9٪)، خصوصیات فیزیکی آهک (60-40٪) و ویژگی‌های حاصلخیزی (اسیدیته) و خیس‌ی خاک می‌باشند. نتایج ارزیابی کمی اراضی نیز نشان می‌دهد که 16260 هکتار معادل 57٪ از اراضی موجود در منطقه برای کشت گندم در کلاس S2 (نسبتاً مناسب) و 1380 هکتار معادل 4٪ در کلاس S3 (تناسب بحرانی) و 12680 هکتار معادل 37٪ در کلاس N (اراضی نامناسب) قرار می‌گیرند. و نهایتاً کلاس‌های کمی واحدهای اراضی در بیشتر واحدها برای کشت گندم با کلاس کیفی تناسب اراضی تطابق دارد و یا از تناسب بالاتری برخوردارند که ناشی از مدیریت بهتر کشت این محصول در منطقه است. بنابراین با توجه به اینکه قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت شوری و قلیائیت می‌باشد لذا برای افزایش تولید و ایجاد سامانه کشاورزی پایدار، عملیات بهسازی اراضی ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** تناسب اراضی کیفی، تناسب اراضی کمی، خصوصیات اراضی، عملکرد گندم

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

## مقدمه

محدودیت‌های ظرفیت تولید منابع اراضی مربوط به شرایط اقلیمی، خاک، لندفرم (شکل زمین)، نوع کاربری و مدیریت اراضی است. مدیریت پایدار منابع اراضی مستلزم سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی بر اساس آگاهی از این منابع است. شناسایی توان تولید هر زمین (خاک) و تناسب آن برای بهره‌برداری‌های مختلف از اهمیت خاصی در استفاده بهینه از اراضی برخوردار است. تنها از طریق بررسی و مطالعات کافی در زمینه شناخت محیط طبیعی و خصوصیات منابع سرزمین است که می‌توان نسبت به انتخاب کاربری متناسب با ظرفیت تولید هر زمین اقدام نمود. بدین ترتیب، ارزیابی تناسب اراضی به‌عنوان راهکاری علمی و کاربردی محسوب می‌گردد. از آنجایی که خاک به‌عنوان دومین عامل محدودکننده رشد محصولات بعد از آب مطرح است، افزایش شناخت نسبت به این عامل مهم، باعث افزایش سطح بهره‌وری از آن خواهد گردید. با توجه به محدودیت منابع، بهره‌برداری بهینه از آن‌ها، یکی از عوامل اصلی دست‌یابی به مدیریت پایدار کشاورزی می‌باشد، بدین منظور، باید کلیه منابع اراضی مورد مطالعه قرار گرفته، توان بهره‌وری آن‌ها مشخص گردیده تا با توجه به نوع قابلیت و استعداد آن‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته و از استفاده غیراصولی که در نهایت منجر به تخریب اراضی می‌گردد، جلوگیری به‌عمل آید (ایوبی و همکاران، 1379).

شوری خاک در ایران، یک مسئله فراگیر و محدودکننده تولید پایدار کشاورزی است به طوری که قسمت‌های زیادی از مناطق خشک و نیمه خشک کشور، به ویژه فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان، مبتلا به سطوح مختلف شوری اند. از مجموع، زمین‌های کشاورزی 6/8 میلیون هکتار دارای خاک‌های مبتلا به درجات مختلف شوری هستند، که از آنها حدود 4/3 میلیون هکتار جزو آندسته از اراضی می‌باشند که به غیر از شوری محدودیت دیگری ندارند و حدود 2/5 میلیون هکتار علاوه بر

شوری دارای محدودیت‌های مربوط به جنس خاک، پستی و بلندی، فرسایش و آب زیرزمینی نیز هستند. فقط 8/4 درصد از کل 6/8 میلیون هکتار اراضی کشاورزی مبتلا به شوری در کشور دارای مسئله آب زیرزمینی در محدوده رشد ریشه هستند (مومنی، 1389). بنابراین با توجه به اینکه عوامل مختلفی از جمله عوامل زمین‌شناختی، توپوگرافی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و مدیریتی، منجر به بروز پدیده شوری منابع خاک شده‌اند، یکی از راه‌های بدست آوردن این عامل مهم ارزیابی تناسب اراضی برای تولیدات مهم در منطقه است (هاشمی، 1396). تعیین تناسب اراضی در کشورهای مختلف از جمله ایران بر اساس راهنمای فائو انجام می‌گیرد (دمتری و همکاران، 2008). تعیین تناسب اراضی برای گیاهان خاص یا روش پیشنهادی از طرف فائو می‌باشد که شامل ارزیابی‌های کیفی و کمی می‌باشد (روزیتزر، 2000). در ارزیابی کیفی تنها جنبه‌های فیزیکی اراضی مورد مطالعه قرار می‌گیرند ولی در ارزیابی کمی علاوه بر جنبه‌های فیزیکی، تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نقش عمده‌ای را در طبقه‌بندی تناسب اراضی ایفا می‌کنند.

تناسب کمی و اقتصادی اراضی نیز از در هم آمیختن داده‌های حاصل از فرآیند انطباق با بررسی‌های مربوط به برآورد هزینه‌ها و درآمدها و نیز اثرات تغییرات وارده بر محیط و تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی و اجتماعی حاصل می‌شود. امروزه ارزیابی تناسب اراضی در بیشتر کشورهای دنیا به ویژه در کشورهای در حال توسعه، محور اصلی روش‌های ارزیابی است چرا که این روش کلیه فاکتورهای مورد نیاز برای استفاده به ویژه از اراضی را مورد توجه قرار می‌دهد (ایوبی و جلالیان، 1385). ارزیابی منابع و تناسب اراضی که بیش از سی سال در جهان بخصوص در کشورهای در حال توسعه بکار گرفته شده است با هدف استفاده بهینه و پایدار از اراضی انجام شده است. به طوری که دهایز و همکاران (2005) کارآیی روش فائو را برای ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی

می‌شود تا ضمن حداکثر بهره‌وری هر زمین برای استفاده آیندگان محافظت شود. بنابراین ضرورت تعیین تناسب اراضی برای استفاده مطلوب از اراضی با در نظر گرفتن عوامل محیطی، اجتماعی و اقتصادی به منظور توسعه پایدار در این مناطق احساس می‌شود. بنابراین با توجه به اهمیت استان خوزستان در تولیدات کشاورزی کشور و جایگاه آن در تولید گندم در این پژوهش سعی شده است تا ارزیابی تناسب سرزمین برای کشت گندم آبی، به‌عنوان یکی از مهمترین محصولات استراتژیک در استان در منطقه شادگان انجام گرفته و نقشه‌های خاک، تناسب کیفی و کمی اراضی برای گندم با استفاده از نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS تهیه شود.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه در شهرستان شادگان، جنوب استان خوزستان بین 30 درجه و 34 دقیقه الی 30 درجه و 48 دقیقه عرض شمالی و 48 درجه و 37 دقیقه الی 48 درجه و 47 دقیقه طول شرقی واقع شده است. وسعت منطقه مورد مطالعه 34000 هکتار می‌باشد. بر اساس آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بندرماهشهر متوسط بارندگی سالانه 214/9 میلیمتر و میانگین درجه حرارت سالانه 25/47 درجه سانتیگراد گزارش شده است. طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (بنائی 1377) رژیم رطوبتی منطقه زریک و رژیم حرارتی منطقه مزیک است رژیم حرارتی و رطوبتی منطقه به ترتیب هایبرترمیک و اریدیک می‌باشد.

#### نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

اطلاعات مربوط به خاک و زمین از مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی دقیق دشت شادگان که در سال 1365 (طاهرزاده و همکاران، 1365) توسط موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده استخراج گردید که در آن 13 سری خاک و 51 واحد اراضی در این منطقه تشخیص و از هم تفکیک شده‌اند. برای کنترل تغییرات

استان داکقان ویتنام مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که عمده اراضی برای محصولات مهم منطقه دارای کلاس تناسب بحرانی و نامناسب هستند. دلیل این عدم تناسب ویژگی‌هایی مانند: شیب زیاد، عمق کم خاک، سنگریزه زیاد و بالا بودن سطح آب زیرزمینی بود. زینالی و همکاران (1395) در مطالعه‌ای در دشت خوی آذربایجان غربی گزارش کردند، عمده واحدهای اراضی برای گندم و جو در کلاس خیلی مناسب و نسبتاً مناسب بوده و برای ذرت و آفتابگردان دارای کلاس نسبتاً مناسب و بحرانی هستند. مطالعه ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی در دشت مغان برای محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، سویا، پنبه، یونجه، چغندرقد و زیتون نشان داد مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشت گندم در منطقه، شیب، گچ، شوری و پ هاش زیاد می‌باشد (مشایخی، 1393). شاکری و مومنی (1390)، در مطالعه تناسب اراضی منطقه آق قلا محدودیت‌های شوری و قلیائیت را مهمترین عامل ایجاد محدودیت در کشت گندم گزارش کردند.

سید جلالی (1395) در پژوهشی در دشت هنام زیر حوزه کرخه با استفاده از روش فائو نشان داد، مهمترین عوامل محدودکننده تناسب کیفی اراضی برای کاشت گندم در 63 درصد از اراضی، محدودیت توپوگرافی و سنگریزه منطقه می‌باشد. موسوی و همکاران (2017) تناسب اراضی دشت قزوین برای کشت گندم آبی را انجام و مشخص نمودند که فاکتورهایی مثل شوری خاک، درصد سنگریزه، عمق خاک، گچ، ماده آلی و بافت و ساختمان خاک محدود کننده می‌باشند. گندم یکی از غلات کلیدی است که در سراسر جهان کشت می‌شود، کالری اولیه و منبع تغذیه برای میلیون‌ها نفر از مردم جهان را فراهم می‌کند (بکر و همکاران، 2010). استان خوزستان با داشتن پتانسیل‌های آب و خاک و همچنین وجود اراضی حاصلخیز یکی از قطب‌های کشاورزی و تولید گندم کشور محسوب می‌شود و از طرفی یکی از الویت‌های اصلی بخش کشاورزی استفاده صحیح از منابع خاک و آب است، بنابراین برنامه‌ریزی اصولی برای استفاده بهینه از اراضی موجب

احتمالی در واحدهای اراضی نمونه برداری مجدد انجام و آزمایشات کامل بر روی آنها صورت گرفت، به طوری که تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی روی نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده (پس از هوا خشک شدن و غربال از الک 2 میلیمتری)، بافت خاک به روش هیدرومتر چهار زمانه (جی و بادر، 1986)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون (الیسون و مودی 1965)، پ‌هاس گل اشباع (ریچاردز، 1954) و هدایت الکتریکی عصاره اشباع (رودز 1982)، کربن آلی به روش ترسوزانی (نلسون و سامرز، 1982) و گچ به روش استون (ریچاردز 1954) اندازه‌گیری شدند.

#### تیپ بهره‌وری اراضی

گندم با نام علمی *Triticum aestivum L* یکی از مهمترین گیاهان زراعی به‌شمار می‌آید که در بین غلات از نظر تولید و سطح زیر کشت در رتبه اول قرار دارد (فائو، 2016) و کشت آن در مناطقی با شرایط آب و هوایی متفاوت امکانپذیر می‌باشد. گرچه کلیه تنش‌های محیطی (اعم از گرما، سرما، خشکی، شوری و غیره) از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند. گندم دارای ارقام گوناگونی است که با توجه به رقم مورد نظر می‌تواند در شرایط آب و هوایی مختلف رشد کند. گندم دارای کشت بهاره و پائیزه می‌باشد، در کشت پائیزه نیاز به آبیاری کم بوده و امکان استفاده از نزوالت آسمانی پائیزه و زمستانه وجود دارد. در طی چرخه‌ی زندگی گندم پاییزه حدود 2300 درجه روز است و نیاز حرارتی ارقام بهاره کمتر از زمستانه و نزدیک 1300 تا 1400 درجه روز می‌باشد. درجه حرارت مناسب برای جوانه‌زدن بذر 25-20 درجه سانتیگراد می‌باشد (امام، 1386). دمای اپتیمم برای گرده‌افشانی و پرکردن دانه گندم از 22-12 درجه سانتیگراد متفاوت است. قرارگیری گیاهان در دماهای بالاتر از این محدوده عملکرد را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهند (فاروق و همکاران، 2011). میانگین درجه حرارت روزانه بالای 27 درجه و خصوصاً درجه حرارت‌های حداکثر روزانه بیشتر از 32 درجه سانتیگراد

سبب افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز و نهایتاً کاهش وزن هزار دانه را در پی خواهد داشت. گندم در خاک‌های عمیق با زهکشی مناسب، حاصلخیز و خشتی بهترین رشد را دارد. اگرچه این گیاه نسبت به باتلاقی بودن زمین حساس بوده اما تا حدودی می‌تواند در مقابل بالا بودن سطح آب زیرزمینی مقاومت کند. بطور کلی با استناد نشریه 29 آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (فائو، 1985)، حد آستانه تحمل گندم به شوری خاک 6 دسی زیمنس بر متر است و این بدان معنی است که چنانچه شوری (عصاره اشباع) خاک در طول دوره رشد و نمو گیاه از این میزان بیشتر شود گندم تحت تنش شوری قرار گرفته و کاهش عملکرد برای آن حادث می‌گردد. بطوری که به ازاء افزایش هر 1/4 دسی زیمنس بر متر از آستانه، 10% کاهش عملکرد رخ می‌دهد (آیر و وستکوت، 1985).

#### ارزیابی کیفی، کمی تناسب اراضی

در مطالعه حاضر، ابتدا دوره رشد گیاه گندم در منطقه مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بندر ماهشهر با روش فائو و تبخیر تعرق با روش پنمن مانیتث محاسبه گردید. در مرحله بعد جهت ارزیابی کیفی تناسب اراضی، ویژگی‌های اقلیمی مورد نظر شامل درجه حرارت و رطوبت نسبی در مراحل مختلف دوره رشد بوده و ویژگی‌های خاک و پستی و بلندی مورد ارزیابی شامل درصد شیب، میکرورلیف، سیل‌گیری، وضعیت زهکشی، بافت و ساختمان خاک، درصد سنگریزه، عمق خاک، میزان آهک و گچ موجود در خاک، شوری و قلیائیت و اسیدیته بررسی گردید. به طوری که خصوصیات نظیر شیب، میکرورلیف، سیل‌گیری، وضعیت زهکشی، به همان صورتی که در کارت تشریح پروفیل ثبت شده بودند مورد ارزیابی قرار گرفتند. و ویژگی‌های نظیر بافت خاک، سنگریزه، آهک، گچ، شوری و قلیائیت، عمق خاک و اسیدیته با استفاده از میانگین‌گیری وزنی از طریق ضرایب وزنی تعیین شدند و در نهایت مقادیر شاخص آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت

به سر) که مقدار تولید بحرانی عملکردی است که سود آوری‌های حاصل از آن تنها هزینه‌های متغیر را می‌پوشاند، به عبارت دیگر سود آوری برابر با کل هزینه‌های متغیر می‌باشد و یا نسبت درآمد به هزینه برابر یک باشد (جدول 3). بر اساس معادله زیر محاسبه شد.

$$\text{هزینه کل} = \frac{\text{تولید بحرانی}}{\text{قیمت یک واحد تولید}}$$

به منظور بررسی صحت روش ارزیابی، رابطه رگرسیونی بین تولید مشاهده شده در مزرعه و تولید پیش بینی شده برقرار گردید. سپس براساس ارزیابی کمی تناسب اراضی نیاز به محاسبه تولید پتانسیل می‌باشد، که در این مدل با استفاده از پتانسیل ژنتیکی محصول و ویژگی‌های گیاهی آن با استفاده از داده‌های اقلیمی مانند تابش خورشیدی و درجه حرارت، مقدار تولید زیست توده محصول برآورد می‌شود. که براساس ویژگی‌های اقلیمی مانند دمای متوسط روزانه و شبانه در طول فصل رشد، تعداد ساعتهای آفتابی، عرض جغرافیایی، شاخص سطح برگ، ضریب برداشت، درصد رطوبت دانه و روش فتوسنتزی محصول، تولید پتانسیل محصولات مورد نظر با استفاده از روش فائو به وسیله معادله 2 و داده‌های جدول 1 محاسبه شد (سایس و همکاران 1991).

$$Y = [ (0.36 \text{ bgm} \cdot \text{KLAI} \cdot \text{Hi}) / (1/L) + 0.25 \text{ Ct} ]$$

در آن، Y میزان تولید پتانسیل بر حسب کیلوگرم در هکتار، bgm بیشینه میزان تولید بیوماس ناخالص بر حسب کیلوگرم در هکتار در ساعت، KLAI ضریب شاخص سطح برگ، Hi ضریب برداشت (بخشی از کل بیوماس که از نظر اقتصادی قابل استفاده است)، L طول فصل رشد و Ct ضریب تنفس بوده که با استفاده از ضریبی خاص و میانگین دما در طول فصل رشد محاسبه می‌شود. سرانجام مقدار تولید پتانسیل با احتساب رطوبت برای محصول مورد مطالعه محاسبه گردید.

تولید پیش‌بینی شده به وسیله حاصلضرب تولید پتانسیل هر محصول در شاخص خاک محاسبه شد.

احتیاجات رویشی تیپ بهره‌وری از جداول ارائه شده مشخصات اراضی با نیازهای تیپ بهره‌وری گندم که توسط سایز و همکاران (1993) و سید جلالی و همکاران، (1398) گردآوری شده است تطبیق داده شد و شاخص خاک به روش پارامتریک از نوع ریشه دوم (خدیر، 1986) تعیین گردید (سایس و همکاران، 1991، 1993). در روش پارامتری به هر ویژگی از اراضی یک درجه‌بندی عددی اختصاص داده می‌شود (بین 0 و 100). اگر ویژگی اراضی برای نوع استفاده از اراضی دارای شرایط مطلوب باشد به آن عدد 100 و اگر شرایط نامطلوب باشد نسبت به محدودیتی که ایجاد می‌کند عدد کمتری اختصاص می‌یابد. از این درجه بندی عددی برای تعیین شاخص استفاده خواهد شد. معادله مورد استفاده در روش پارامتریک به صورت معادله شاخص خاک به روش ریشه دوم (خدیر، 1986) بصورت زیر می‌باشد:

$$I = R_{min} \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \dots}$$

که در آن، I شاخص اراضی،  $R_{min}$  کمترین درجه بین تمام خصوصیات A، B، C و... درجات خصوصیات دیگر می‌باشد. پس از تعیین کلاس‌های کیفی تناسب اراضی، ارزیابی کمی در واحدهای اراضی مختلف منطقه صورت گرفت.

جهت انجام مطالعات کمی تناسب اراضی، اطلاعات مختلف مدیریتی، میزان تولید واقعی در واحدهای مختلف اراضی با تهیه پرسشنامه‌ها و مشاورت با کشاورزان بدست آمد. تولید واقعی میزان تولید متوسط چندین سال زارع بوده که تحت یک مدیریت و نهاده مشخص، بدون تأثیر عوامل غیرمترقبه‌ای نظیر آفات، سیل و غیره به دست می‌آید. این مقدار تولید معمولاً با آماربرداری از مزارع زارعین انجام می‌گیرد که در این مطالعه نیز جهت تجزیه و تحلیل جداول سایس در مورد محصول بررسی شده میزان تولید واقعی یا مشاهده شده برای هر محصول در هر واحد اراضی به کمک آمار موجود در جهاد کشاورزی شادگان و اطلاعات کسب شده از کشاورزان محلی اندازه‌گیری شد. سپس تولید بحرانی (عملکرد سر

شاخص خاک پارامتری است که از آمیختن درجات تناسب ویژگی‌ها یا کیفیت اراضی به جز پارامتر اقلیم با روش ریشه دوم محاسبه می‌شود (سایس و همکاران، 1993). به منظور بررسی صحت روش ارزیابی کمی تناسب اراضی رابطه رگرسیونی به منظور بررسی صحت روش ارزیابی، رابطه رگرسیونی بین تولید مشاهده شده در مزرعه و تولید پیش بینی شده برقرار گردید. در صورت معنی دار بودن رابطه فوق بین شاخص اراضی محاسبه شده به روش پارامتریک در ارزیابی کیفی و تولید مشاهده شده در مزرعه به وسیله نرم افزار SPSS برقرار گردیده و حدود کلاس‌های کمی با روش سایس و همکاران (1991) تعیین شدند. در مرحله بعد با داشتن مقدار شاخص اراضی در هر واحد اراضی کلاس‌های کمی برای محصول گندم مشخص شدند.

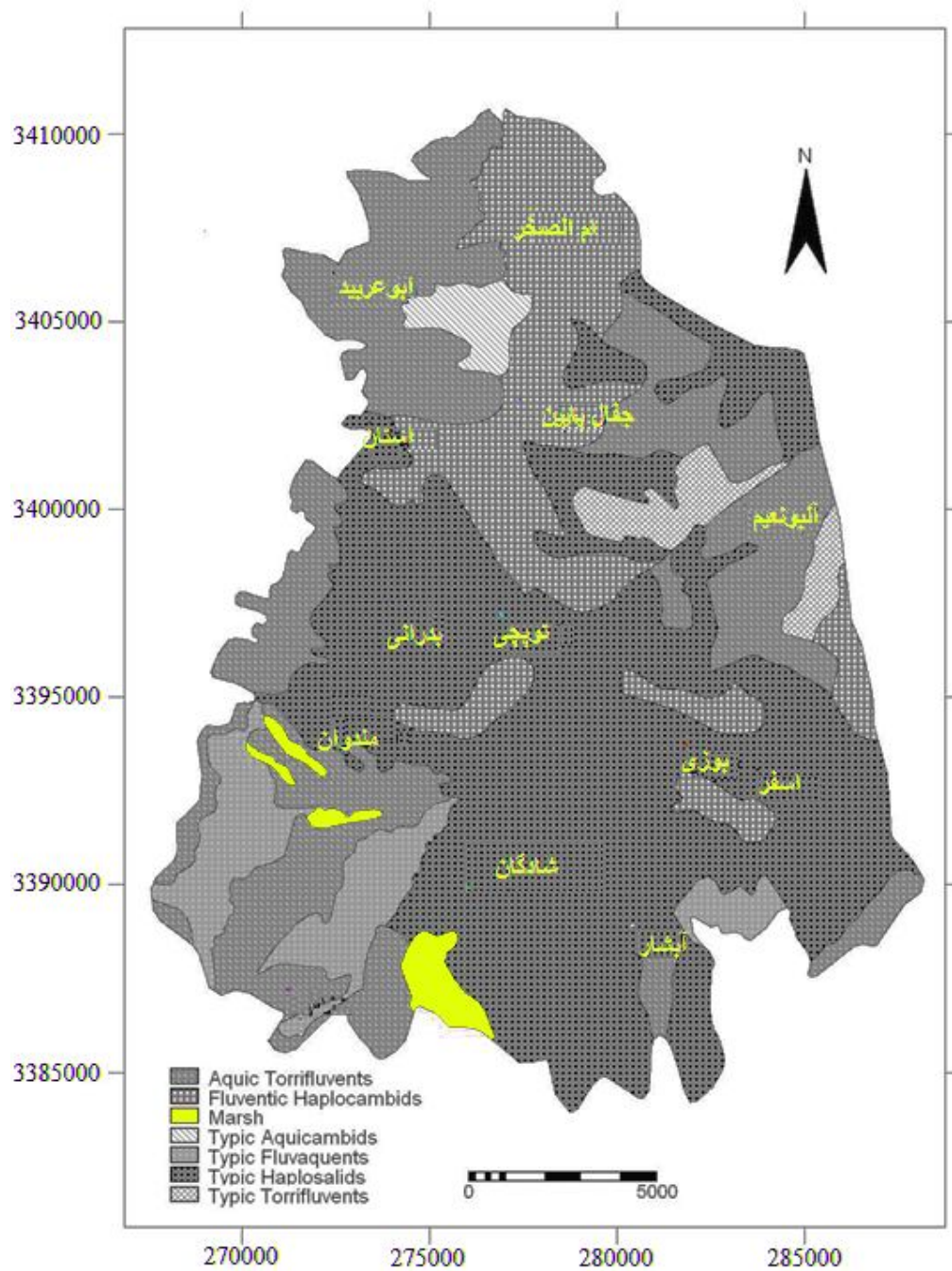
### نتایج و بحث

منطقه مورد مطالعه جزء مناطق خشک با حدود 214 میلیمتر بارندگی سالیانه می‌باشد که این میزان بارندگی بعلت عدم تناسب پراکنش آن و همچنین بافت خاک سطحی سنگین باعث وقوع سیلاب‌های در فصول بارندگی گردیده که نتیجه این امر علیرغم وجود بیش از

حدود 40 درصد آهک در خاک‌ها نتوانسته است افق‌های ژنتیکی نظیر کلسیک و جیپسیک را باعث گردد. حالت-های ماندابی و میزان بارندگی کم و نیز سطح آب زیر زمینی بالا توأم از عوامل شوری زاری در منطقه محسوب می‌شود که تبخیر خیلی زیاد و درجه حرارت بالا در تسریع آن دخالت دارد. وجود بادهای تند در منطقه نیز باعث انتقال نمک از شوره‌زارهای اطراف به اراضی قابل کشت شده که این خود نیز باعث افزایش شوری در منطقه شده است (طاهرزاده و همکاران، 1365). مطالعات خاکشناسی انجام شده در منطقه شادگان نشان دهنده این است که 13 سری خاک مشتمل بر سری‌های خاک شبیشه، شادگان، آبشار، حمودی، بوزی، سیبخیه، ام الصخر، شاخه، شهاب، جراحی، حدبه و گرمه و خنافره بر اساس خصوصیات نظیر درصد شیب، وضعیت زهکشی، وضعیت سیل‌گیری و شور و قلیائیت 51 فاز سری تفکیک شدند (طاهرزاده، 1365). خاک‌های منطقه با کمک کلید طبقه‌بندی خاک آمریکا (2014) در دو رده اتی‌سولز و ایریدی سولز قرار گرفتند. ویژگی‌های رده‌بندی خاک‌های 13 سری خاک و نقشه خاکشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه به ترتیب در جدول 1 و شکل 1 آورده شده است.

جدول 1 - طبقه بندی خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس سیستم (Keys to Soil Taxonomy, USDA, 2014)

| شماره | سری خاک  | راسته     | زیر گروه               | فامیل خاک                              |
|-------|----------|-----------|------------------------|----------------------------------------|
| 1     | شبیشه    | Aridisols | Typic Haplosalids      | Fine Silty, Carbonatic, Hyperthermic   |
| 2     | شادگان   | Aridisols | Typic Haplosalids      | Fine, Carbonatic, Hyperthermic         |
| 3     | آبشار    | Aridisols | Typic Haplosalids      | Coarse Loamy, Carbonatic, Hyperthermic |
| 4     | حمودی    | Aridisols | Fluventic Haplocambids | Fine Loamy, Carbonatic, Hyperthermic   |
| 5     | بوزی     | Aridisols | Fluventic Haplocambids | Fine, Carbonatic, Hyperthermic         |
| 6     | سیبخیه   | Aridisols | Typic Aquicambids      | Fine Loamy, Carbonatic, Hyperthermic   |
| 7     | ام الصخر | Entisols  | Aquic Torrifluvents    | Fine Loamy, Carbonatic, Hyperthermic   |
| 8     | شاخه     | Entisols  | Typic Torrifluvents    | Fine Loamy, Carbonatic, Hyperthermic   |
| 9     | شهاب     | Entisols  | Aquic Torrifluvents    | Fine, Carbonatic, Hyperthermic         |
| 10    | جراحی    | Entisols  | Aquic Torrifluvents    | Fine Loamy, Carbonatic, Hyperthermic   |
| 11    | حدبه     | Entisols  | Aquic Torrifluvents    | Fine, Carbonatic, Hyperthermic         |
| 12    | گرمه     | Entisols  | Aquic Torrifluvents    | Fine, Carbonatic, Hyperthermic         |
| 13    | خنافره   | Entisols  | Typic Fluvaquents      | Fine Loamy, Carbonatic, Hyperthermic   |



شکل 1- نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

### ارزیابی کیفی

در آزمایش‌ها و مطالعات خاک و زمین‌نما انجام و در آخر نتایج ارزیابی اقلیمی با نتایج ارزیابی زمین‌نما و خاک تلفیق و شاخص نهایی اراضی تعیین می‌گردد.

برای انجام ارزیابی کیفی تناسب اراضی به روش فائو ابتدا دوره‌های مختلف رشد گیاهان مورد مطالعه تعیین شده سپس ارزیابی اقلیمی با استفاده از داده‌های اقلیمی، ارزیابی زمین‌نما و خاک با توجه به اطلاعات به‌دست آمده

## دوره رشد در منطقه مورد مطالعه

بر اساس تجزیه اطلاعات اقلیمی به روش فائو مشخص شد، دوره رشد منطقه از نظر رطوبتی از یکم آذرماه شروع و دهم اردیبهشت پایان می‌پذیرد و طول آن 161 روز می‌باشد. فصل رشد محصول گندم منطقه خارج از این دوره می‌باشد ولی با توجه به اینکه کشت آبی محصول گندم مورد نظر با فرض تامین آب کافی از منابع سطحی و زیرزمینی در فصل رشد این محصولات انجام می‌گیرد این مسئله مشکلی ایجاد نمی‌کند. از نظر حرارت نیز گندم در طول سال دچار محدودیت نمی‌شود و بنابراین دوره رشد از نظر حرارتی برای محصول مهیا می‌باشد. سپس مقایسه نیازهای اقلیمی، خاک و توپوگرافی محصول گندم با خصوصیات واحدهای مختلف به روش پارامتریک انجام شده که نتایج آن به طور خلاصه مشتمل بر شاخص اقلیم، کلاس اقلیم، شاخص اراضی و کلاس نهایی کیفی تناسب در جدول 2 ارائه شده است. ارزیابی اقلیم برای گندم آبی، در منطقه مورد مطالعه نشان داد که اقلیم منطقه برای کشت گندم آبی با روش پارامتریک خیلی مناسب (S<sub>1</sub>) است و هیچ محدودیتی را ایجاد نمی‌کند. محنت کش (1373) در منطقه شهرکرد و آزادی و باقرنژاد (2018) در منطقه اقلید استان فارس نیز نشان دادند که اقلیم منطقه برای رشد گندم مناسب بوده است.

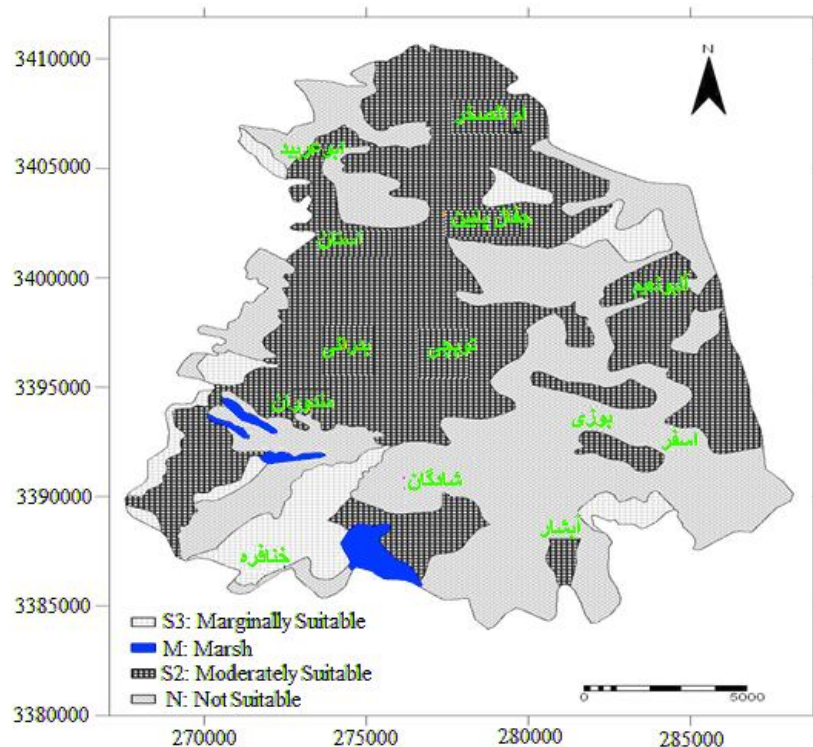
پس از جمع‌بندی منابع و تجزیه و تحلیل داده‌ها، برای تمامی پارامترهای مؤثر در ارزیابی کیفی مناطق مستعد کشت محصول انجام پذیرفت، در نهایت کلاس‌های تناسب کیفی هر یک از واحدها تعیین (جدول 2) و نقشه ارزیابی کیفی برای محصول گندم طبق شکل 2 تهیه گردید. و طبق پهنه‌بندی تناسب اراضی به‌دست آمده در جدول 2، منطقه شادگان جهت کشت تیپ بهره‌وری گندم، دارای کلاس تناسب نسبتاً مناسب (S<sub>2</sub>) تا نامناسب (N) می‌باشد. نتایج مطالعه تناسب کیفی اراضی بیانگر این واقعیت است که عمده‌ترین ویژگی‌های ایجاد کننده محدودیت، ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله مقدار زیاد آهک خاک (40-60 درصد) و ویژگی‌های شیمیایی از

جمله میزان شوری (4/7-115 دسی زیمنس بر متر) و قلیائیت شدید (9/9-77 درصد) و در برخی واحدها محدودیت‌های خیزی خاک (وضعیت زهکشی و سیل‌گیری) و اسیدیته می‌باشد که امکان کشت این محصول را محدود کرده است. به طوری که طبق پهنه‌بندی تناسب اراضی به‌دست آمده در شکل 2، حدود 16/5 درصد معادل 5550 هکتار دارای تناسب نسبتاً مناسب (S<sub>2</sub>)، حدود 34 درصد معادل 11490 هکتار دارای کلاس تناسب بحرانی (S<sub>3</sub>) و حدود 48 درصد معادل 16260 هکتار منطقه جهت کشت تیپ بهره‌وری گندم، دارای کلاس تناسب نامناسب (N) می‌باشد. و بررسی واحدهای خاک موجود در منطقه نیز نشان داد که واحدهای 4.1، 4.2، 4.3، 4.5، 5.1، 5.2، 5.3 و 7.1 بواسطه محدودیت‌های فیزیکی آهک و خیزی خاک از قبیل سیل‌گیری تناسب نسبتاً مناسب دارند که پس از انجام عملیاتی چون کنترل سیلاب دارای تناسب آبی نسبتاً مناسب با محدودیت آهک می‌باشد و مساحتی حدود 7/82 هکتار از اراضی مورد مطالعه را شامل می‌شوند.

واحدهای 1.3، 1.5، 8.1 و 9.1 با مساحتی حدود 7770 هکتار، بواسطه محدودیت‌های فیزیکی از قبیل آهک، خیزی خاک از قبیل سیل‌گیری و محدودیت‌های شوری و قلیائیت، تناسب فعلی نسبتاً مناسب بوده که پس از آبشویی و کنترل سیلاب دارای تناسب آبی نسبتاً مناسب با محدودیت آهک می‌باشد. واحدهای 4.4، 12.2، 12.3 و 13.2 با مساحت حدود 4740 هکتار، بدلیل محدودیت‌های زهکشی، آهک، سیل‌گیری و شوری و قلیائیت تناسب فعلی نسبتاً مناسب بوده که پس از آبشویی و کنترل سیلاب دارای تناسب آبی نسبتاً مناسب با محدودیت آهک می‌باشد. واحد 12.1 بواسطه محدودیت‌های فیزیکی از قبیل آهک، سیل‌گیری و محدودیت‌های زهکشی تناسب فعلی نسبتاً مناسب دارد و مساحت حدود 440 هکتار را دارا می‌باشد. واحدهای 10.1، 10.3 و 11.6 (با مساحتی حدود 710 هکتار) بدلیل

می‌باشد. در برخی واحدها نیز وضعیت زهکشی و سیل‌گیری نیز مشکل‌ساز می‌باشد. محنت‌کش (1378) در منطقه دشت شهرکرد، شاکری و همکاران (1394) در منطقه برم الوان استان کهگیلویه و بویر احمد و آزادی و ابطی (1394) در منطقه کافت‌ر استان فارس نیز نشان دادند که مهمترین محدودیت‌های کشت گندم در منطقه شامل محدودیت‌های فیزیکی خاک، توپوگرافی و زهکشی در واحدهای مختلف بوده است. بازگیر (1377) در منطقه تالاندشت استان کرمانشاه نیز نشان داد که مهمترین خصوصیات فیزیکی محدود کننده برای گندم درصد سنگریزه در عمق و سطح بوده است. نتایج بررسی‌های روزبهرانی و همکاران (1397) در غرب شهرستان اهواز نشان داد حدود 30/4 درصد اراضی دارای تناسب متوسط و 26 درصد مساحت اراضی زراعی منطقه برای کشت گندم آبی نامناسب است و مهمترین عوامل محدودکننده نیز شوری و قلیائیت، آهک و اسیدیته واحدهای اراضی می‌باشد.

محدودیت‌های خیزی خاک از قبیل سیلگیری تناسب فعلی بحرانی داشته که پس از انجام عملیاتی چون کنترل سیلاب دارای تناسب آبی نسبتاً مناسب با محدودیت آهک می‌باشد. واحدهای 2.3، 9.2، 11.1، 12.6، 13.1 و 13.3 (2510 هکتار مساحت) بواسطه محدودیت‌های شوری و قلیائیت، تناسب بحرانی داشته که پس از آبشویی دارای تناسب آبی نسبتاً مناسب با محدودیت آهک می‌باشد. واحدهای 1.1، 1.2، 1.4، 1.6، 1.7، 2.2، 3.1، 3.2، 3.3، 3.4، 7.2، 8.2، 8.3، 8.4، 9.3، 10.2، 10.4، 10.5، 11.2، 11.3، 11.4، 11.5، 12.4 و 12.5 بواسطه محدودیت‌های شوری و قلیائیت، تناسب فعلی نامناسب بوده که پس از آبشویی دارای تناسب آبی نسبتاً مناسب با محدودیت آهک بوده و مساحتی حدود 14470 هکتار از اراضی مورد مطالعه را دارا است. نهایتاً بررسی تناسب کیفی اراضی منطقه نشان می‌دهد که برای کشت آبی محصول گندم خصوصیات خاک بیشترین محدودیت را ایجاد کرده و در اکثر واحدهای اراضی مشکل عمده زیادی شوری و قلیائیت و در مرحله بعد مازاد آهک



شکل 2 - پهنه‌بندی جغرافیایی کلاس‌های تناسب کیفی اراضی در منطقه مورد مطالعه برای کشت گندم آبی

جدول 2- ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای گندم

| واحد<br>اراضی | شاخص<br>اقلیم | کلاس<br>اقلیم | شاخص<br>اراضی | کلاس<br>کیفی | واحد<br>اراضی | شاخص<br>اقلیم | کلاس<br>اقلیم | شاخص<br>اراضی | کلاس<br>یفی        | واحد<br>اراضی | شاخص<br>اقلیم | کلاس<br>اقلیم | شاخص<br>اراضی | کلاس<br>کیفی       |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|
| 1.1           | 97/85         | S1            | 14/1          | N1n          | 4.4           | 97/85         | S1            | 33/2          | S3fns <sub>w</sub> | 10.4          | 97/85         | S1            | 5/1           | N2n                |
| 1.2           | 97/85         | S1            | 5/94          | N2n          | 4.5           | 97/85         | S1            | 53/7          | S2fs               | 10.5          | 97/85         | S1            | 5/1           | N2n                |
| 1.3           | 97/85         | S1            | 58/6          | S2fns        | 5.1           | 97/85         | S1            | 54/3          | S2fs               | 11.1          | 97/85         | S1            | 29            | S3n                |
| 1.4           | 97/85         | S1            | 25/0          | N1n          | 6.1           | 97/85         | S1            | 54/8          | S2fs               | 11.2          | 97/85         | S1            | 9/4           | N2n                |
| 1.5           | 97/85         | S1            | 42/7          | S3fns        | 6.2           | 97/85         | S1            | 54/8          | S2fs               | 11.3          | 97/85         | S1            | 6/25          | N2n                |
| 1.6           | 97/85         | S1            | 7/4           | N2n          | 7.1           | 97/85         | S1            | 5/4           | N2n                | 11.4          | 97/85         | S1            | 5/7           | N2n                |
| 1.7           | 97/85         | S1            | 7/4           | N2n          | 7.2           | 97/85         | S1            | 53/5          | S2fns              | 11.5          | 97/85         | S1            | 4/2           | N2n                |
| 2.1           | 97/85         | S1            | 9/6           | N2n          | 8.1           | 97/85         | S1            | 33/8          | S3fns              | 11.6          | 97/85         | S1            | 32/9          | S3f                |
| 2.2           | 97/85         | S1            | 9/2           | N2n          | 8.2           | 97/85         | S1            | 5/8           | N2n                | 12.1          | 97/85         | S1            | 49            | S3fsw              |
| 2.3           | 97/85         | S1            | 20/1          | N1n          | 8.3           | 97/85         | S1            | 23/8          | N1n                | 12.2          | 97/85         | S1            | 39            | S3fns <sub>w</sub> |
| 3.1           | 97/85         | S1            | 4/7           | N2n          | 8.4           | 97/85         | S1            | 5/3           | N2n                | 12.3          | 97/85         | S1            | 39            | S3fns <sub>w</sub> |
| 3.2           | 97/85         | S1            | 6/8           | N2n          | 9.1           | 97/85         | S1            | 29            | S3fns              | 12.4          | 97/85         | S1            | 6             | N2n                |
| 3.3           | 97/85         | S1            | 7/2           | N2n          | 9.2           | 97/85         | S1            | 47/7          | S3fns              | 12.5          | 97/85         | S1            | 6/2           | N2n                |
| 3.4           | 97/85         | S1            | 4/7           | N2n          | 9.3           | 97/85         | S1            | 6/7           | N2n                | 12.6          | 97/85         | S1            | 25/5          | S3n                |
| 4.1           | 97/85         | S1            | 45/7          | S3fs         | 10.1          | 97/85         | S1            | 29/3          | S3n                | 13.1          | 97/85         | S1            | 15/62         | N1n                |
| 4.2           | 97/85         | S1            | 45/7          | S3fs         | 10.2          | 97/85         | S1            | 4/31          | N2n                | 13.2          | 97/85         | S1            | 41/03         | S3fns <sub>w</sub> |
| 4.3           | 97/85         | S1            | 52/2          | S2fs         | 10.3          | 97/85         | S1            | 29/3          | S3f                | 13.3          | 97/85         | S1            | 15/62         | N1n                |

w: محدودیت زهکشی و سیل گیری، s: محدودیت فیزیکی خاک (آهک، بافت، عمق)، n: محدودیت شوری و قلیائیت، f: محدودیت حاصلخیزی

## ارزیابی کمی تناسب اراضی

در ارزیابی کمی، تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نقش عمده‌ای را در طبقه‌بندی تناسب اراضی ایفا می‌نماید. تنها از طریق تجزیه و تحلیل هزینه و درآمد می‌توان مرز بین کلاس‌های تناسب را دقیقاً تعیین کرد. زیرا در این مرز تنها تفاوت فایده و هزینه بوده که برخلاف ویژگی‌های اراضی و یا رشد محصول، دستخوش تغییرات ناگهانی می‌شود. به عبارتی ارزیابی کمی بر اساس عملکرد زمین بوده و برای انجام این نوع ارزیابی نیاز به تولید پتانسیل محصول، تولید بحرانی و تولید مشاهده شده می‌باشد.

بنابراین، ابتدا پتانسیل تولید گندم آبی به روش فائو (سایس و همکاران، 1991)، بر اساس پارامترهای تابش خورشیدی، ساعات آفتابی و روش فتوسنتزی محصول، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت در منطقه مطالعاتی پتانسیل عملکرد گندم آبی 6980 کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. پتانسیل مورد انتظار در واحدهای خاک، به دلیل تأثیر عوامل محدود کننده بین 293/2 تا 4090/3 کیلوگرم در هکتار است. این کاهش عملکرد بواسطه تأثیر عوامل محدودکننده از قبیل آهک، شوری و قلیائیت و خисی زمین و اسیدیته است. بطوری که کمترین میزان پتانسیل تولید مربوط به واحد اراضی با حدود 53 درصد آهک، 49 دسی‌زیمنس بر متر شوری و 56/5 درصد سدیم قابل تبادل می‌باشد که این خصوصیت‌ها باعث محدودیت زیاد و نهایتاً اختصاص کمترین مقدار شاخص برای این واحد در بین واحدهای مورد مطالعه شده است.

نصیری و کوچکی (1388) میانگین پتانسیل عملکرد گندم آبی در سطح استان خراسان رضوی 6900 گزارش کردند. برای محاسبه تولید پیش بینی شده، ابتدا شاخص خاک برای هر واحد اراضی با توجه به نوع محصول محاسبه شد. سپس تولید پیش‌بینی‌شده از طریق ضرب شاخص خاک (شاخص اراضی بدون تأثیر عوامل اقلیمی) هر واحد اراضی، در پتانسیل تابشی حرارتی محاسبه گردید. از شاخص خاک برای جلوگیری از تأثیرگذاری مجدد ویژگی‌های اقلیمی، بجای شاخص اراضی استفاده می‌گردد (ایوبی و جلالیان، 1389). جهت بررسی صحت روش ارزیابی، بین میزان تولید مشاهده شده و تولید پیش‌بینی شده برای هر محصول یک رابطه رگرسیون خطی برقرار گردید و چون دارای سطح

معنی‌داری بالایی (0/985) بین تولید مشاهده شده و پیش‌بینی شده بودند. این ارتباط آماری معنی‌دار نشان‌دهنده صحت روش ارزیابی و درجه بندی صحیح خصوصیات اراضی می‌باشد. و سپس بعلاوه معنی‌دار بودن رابطه فوق بین تولید مشاهده شده و شاخص اراضی رابطه رگرسیونی خطی به نحوی که شاخص اراضی بر روی محور x ها و عملکرد زمین بر روی محور y ها برقرار شد (شکل 3). آنالیز آماری برای گندم معادله زیر را بدست آورده که در آن y میزان تولید و x مقدار شاخص اراضی را نشان می‌دهد. معادله  $y=70/016x+58/147$  ضریب تشخیص این معادله برابر 0/98 بوده که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد و نشان‌دهنده ارتباط معنی‌داری بین شاخص اراضی و تولید مشاهده شده است. همانگونه که در شکل 3 مشاهده می‌شود با افزایش شاخص اراضی که بیانگر مرغوبیت زمین است میزان عملکرد آن افزایش می‌یابد. حدود کلاس‌های کمی تناسب اراضی براساس تولید بحرانی (با توجه به مجموع هزینه‌ها و قیمت محصول به میزان 905 کیلوگرم در هکتار برآورد شد) و میزان تولید پتانسیل و بر طبق روش پیشنهادی فائو محاسبه (سایس و همکاران، 1991) و خلاصه نهایی آن در جدول 4 آورده شده است.

حدود کلاس‌های کمی اراضی براساس میزان تولید و بر اساس دستورالعمل سایس (1991) به ترتیب زیر تعیین گردید (جدول 4): مرز بین کلاس S1 و S2، 75 درصد تولید پتانسیل محصول است.

$$S2 \text{ و } S1 \text{ مرز بین } = 5235 \text{ Kg/ha} = 75\% \times 6980$$

مرز بین کلاس S2 و S3 به اندازه مجموع تولید بحرانی و 40 درصد آن

$$S3 \text{ و } S2 \text{ مرز بین } = 1267 \text{ Kg/ha} = 40\% \times 905 + 905$$

مرز بین کلاس S3 و N به اندازه 10 درصد پائین تر از تولید بحرانی است.

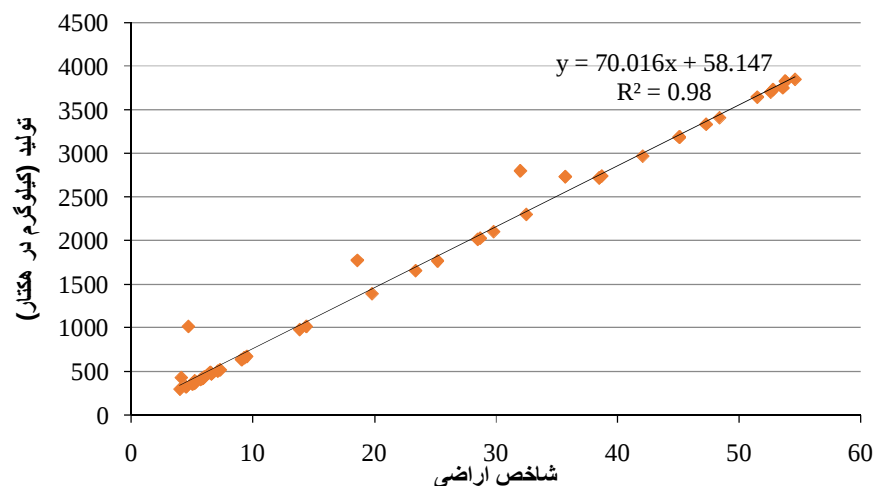
$$S3 \text{ و } N \text{ مرز بین } = 814/5 \text{ Kg/ha} = 10\% \times 905 - 905$$

حدود کلاس‌های اراضی را نیز می‌توان با استفاده از معادله  $y=70/016x+58/147$  برحسب شاخص اراضی بیان کرد. تعیین حدود کلاس‌ها بر حسب شاخص اراضی دارای این مزیت است که در یک واحد اراضی با خصوصیات مشخص به وسیله محاسبه شاخص اراضی می‌توان میزان تولید را برآورد کرد.

جدول 3- ارزیابی کمی تناسب اراضی برای گندم در منطقه مورد مطالعه

| واحد<br>اراضی | تولید پیش‌بینی<br>شده | شاخص<br>اراضی | کلاس کمی | واحد<br>اراضی | تولید پیش‌بینی<br>شده | شاخص<br>اراضی | کلاس کمی | واحد<br>اراضی | تولید پیش‌بینی<br>شده | شاخص<br>اراضی | کلاس کمی |
|---------------|-----------------------|---------------|----------|---------------|-----------------------|---------------|----------|---------------|-----------------------|---------------|----------|
| 1.1           | 984/2                 | 14/1          | *S3      | 4.4           | 2317/4                | 33/2          | S2       | 10.4          | 356/0                 | 5/1           | N2       |
| 1.2           | 414/6                 | 5/94          | N2       | 4.5           | 3748/3                | 53/7          | S2       | 10.5          | 356/0                 | 5/1           | N2       |
| 1.3           | 4090/3                | 58/6          | S2       | 5.1           | 3790/1                | 54/3          | S2       | 11.1          | 2024/2                | 29            | S2       |
| 1.4           | 1745/0                | 25/0          | S2       | 6.1           | 3825/0                | 54/8          | S2       | 11.2          | 656/1                 | 9/4           | N2       |
| 1.5           | 2980/5                | 42/7          | S2       | 6.2           | 3825/0                | 54/8          | S2       | 11.3          | 436/3                 | 6/25          | N2       |
| 1.6           | 516/5                 | 7/4           | N2       | 7.1           | 376/9                 | 5/4           | N2       | 11.4          | 397/9                 | 5/7           | N2       |
| 1.7           | 516/5                 | 7/4           | N2       | 7.2           | 3734/3                | 53/5          | S2       | 11.5          | 293/2                 | 4/2           | N2       |
| 2.1           | 670/1                 | 9/6           | N2       | 8.1           | 2359/2                | 33/8          | S2       | 11.6          | 2296/4                | 32/9          | S2       |
| 2.2           | 642/2                 | 9/2           | N2       | 8.2           | 404/8                 | 5/8           | N2       | 12.1          | 3420/2                | 49            | S2       |
| 2.3           | 1403                  | 20/1          | S2       | 8.3           | 1661/2                | 23/8          | S2       | 12.2          | 2722/2                | 39            | S2       |
| 3.1           | 328/1                 | 4/7           | N2       | 8.4           | 369/9                 | 5/3           | N2       | 12.3          | 2722/2                | 39            | S2       |
| 3.2           | 474/6                 | 6/8           | N2       | 9.1           | 2024/2                | 29            | S2       | 12.4          | 418/8                 | 6             | N2       |
| 3.3           | 502/5                 | 7/2           | N2       | 9.2           | 3329/5                | 47/7          | S2       | 12.5          | 432/8                 | 6/2           | N2       |
| 3.4           | 328/1                 | 4/7           | N2       | 9.3           | 467/7                 | 6/7           | N2       | 12.6          | 1779/9                | 25/5          | S2       |
| 4.1           | 3189/9                | 45/7          | S2       | 10.1          | 2045/21               | 29/3          | S2       | 13.1          | 1090/3                | 15/62         | S3       |
| 4.2           | 3189/9                | 45/7          | S2       | 10.2          | 300/8                 | 4/31          | N2       | 13.2          | 2863/9                | 41/03         | S2       |
| 4.3           | 3643/6                | 52/2          | S2       | 10.3          | 2045/1                | 29/3          | S2       | 13.3          | 1090/3                | 15/62         | N1       |

\*S2: نسبتاً مناسب، S3: تناسب بحرانی، N1: در شرایط فعلی نامناسب، N2: نامناسب دائمی



شکل 3- ارتباط رگرسیونی بین شاخص اراضی و تولید محصول برای گندم

جدول 4- حدود کلاس‌های کمی تناسب اراضی برای محصول گندم آبی (تولید بر حسب کیلوگرم بر هکتار)

| شاخص اراضی |           |             |        | تولید بحرانی (کیلوگرم در هکتار) |            |           |       | محصول |
|------------|-----------|-------------|--------|---------------------------------|------------|-----------|-------|-------|
| N          | S3        | S2          | S1     | N                               | S3         | S2        | S1    | گندم  |
| <9/6       | 9/6-16/33 | 16/33-75/43 | >75/43 | <814/5                          | 814/5-1267 | 1267-5235 | >5235 |       |

نهایتاً بررسی تناسب نتایج ارزیابی کمی تناسب اراضی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه مجموع حدود 16260 هکتار معادل 57 درصد از اراضی در کلاس نسبتاً مناسب (S2) برای کشت گندم، 1380 هکتار معادل 4 درصد در کلاس تناسب بحرانی (S3) و 12680 هکتار معادل 37 درصد از اراضی در کلاس نامناسب (N) برای کشت قرار داشته و تولید در این اراضی اقتصادی نخواهد بود. که عامل اصلی ایجاد کننده محدودیت شوری و قلیائیت و در مرحله دوم میزان آهن و پیرو آن خیزی زمین و اسیدیت می‌باشد. و با توجه با اینکه تمام واحدهای مورد مطالعه دارای قابلیت هدایت الکتریکی بالا (بیش از 4 دسی زیمنس بر متر) و به استثنای سه واحد از اراضی بقیه داری قلیائیت بیش از 15 درصد ( $ESP > 15$ ) می‌باشند لذا جهت برداشت اقتصادی بایستی مدیریت جامعی اعمال گردد. به طوری که اصلاح و بهسازی خاک و اراضی با محدودیت شوری و سدیمی شامل روشهایی است که یکی از مهم‌ترین روش‌های بهبود خاک‌های شور دفع نمک از خاک است که به دو طریق زهکشی و آب‌شویی صورت

نتایج ارزیابی کمی تناسب واحدهای اراضی نشان دهنده این است که کلاس کمی تناسب واحدهای اراضی برای محصول گندم دارای کلاس S2، S3 و N می‌باشد (جدول 3 و شکل 4). نتایج ارزیابی کمی تناسب اراضی (جدول 3) نشان داد که کلاس تناسب کمی در تعدادی از واحدها با کلاس تناسب کیفی (جدول 2) تطابق دارد و یا در سطح بالاتر است و این به دلیل سطح مدیریت بهتر و شرایط واحدهای اراضی است. میزان تولید یک زمین هیچ‌گاه به مقدار تولید پتانسیل یک محصول نمی‌رسد زیرا محدودیت‌های آب، خاک و مدیریت از مقدار آن می‌کاهند و عملکردی که پس از اعمال محدودیت‌های آب، خاک و مدیریت بدست می‌آید به تولید واقعی خیلی نزدیک خواهد بود. شاخص‌های خاک محاسبه شده نیز موید این مطلب هستند. این نتیجه‌گیری با نتایج مطالعات رستمی‌نیا و همکاران (1389)، جلالیان و همکاران (1386)، محنت کش (1378) و زینالی و همکاران (1395) مطابقت دارد.

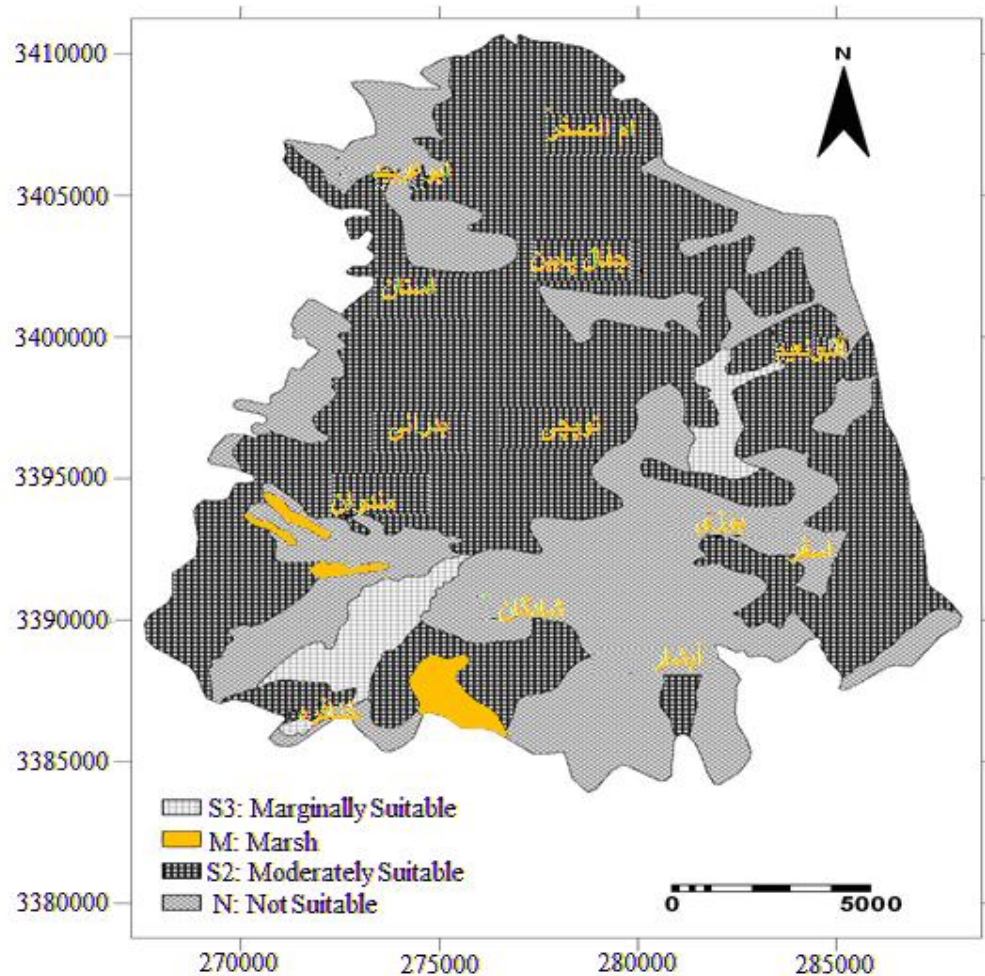
روش بستگی به امکانات تخصصی و تکنیکی منطقه مورد اجرا دارد. مؤثرترین شیوه در اصلاح و بهسازی چنین خاک‌هایی اعمال روش تلفیقی می باشد که بایستی با مشورت متخصصین امر انجام شود (مشیری و همکاران، 1393). بنابراین اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در گرو اعمال مدیریت بر عملیات آبیاری، افزودن کسر آبشویی بر نمک‌های محلول، تعمیق سطح ایستابی و بهبود شرایط زهکشی خاک به همراه کاربرد مواد اصلاح کننده می‌باشد (پذیرا، 1391). که به نظر می‌رسد با استفاده از راهکارهای مدیریتی فوق و انجام اقدامات اصلاحی و بهبود خواص فیزیکی خاک، امکان بهبود کلاس اراضی و افزایش راندمان تولید در اکثر واحدها امکان‌پذیر خواهد بود.

### نتیجه‌گیری

ارزیابی تناسب اراضی، جهت انتخاب بهترین استفاده از منابع خاک و آب حائز اهمیت است. این تحقیق با هدف امکان سنجی کشت گندم در اراضی شور (با دامنه 4/7 تا 115 دسی زیمنس بر متر) جنوب استان خوزستان انجام پذیرفت. پتانسیل تولید گندم آبی به روش سایش برای منطقه مورد مطالعه برابر با 6980 کیلوگرم در هکتار بدست آمد و پتانسیل تولید اراضی برای واحدهای مجزا شده اراضی با توجه به پتانسیل تولید آب و هوایی فوق الذکر و تأثیر عوامل محدود کننده در خاک تخمین زده شد، محدودیت‌های زیاد شوری و قلیائیت، آهک، خیسی خاک و اسیدیته بالا باعث شده است تا مقدار پتانسیل تولید در واحدهای اراضی بین 293/2 تا 4090/3 کیلوگرم در هکتار متغیر باشد. همچنین مطابق نتایج ارزیابی کیفی وجود محدودیت‌های اراضی موجبات قرار گرفتن حدود 16/5 درصد اراضی در کلاس S2 (نسبتاً مناسب)، 34 درصد اراضی در کلاس تناسب بحرانی (S3) و 48 درصد در کلاس تناسب نامناسب (N) می‌باشد.

می‌گیرد و بکارگیری این دو روش توأم مؤثرترین روش محسوب می‌شود. نکته‌ای که باید در نظر گرفته شود انجام آب شویی در فصول سرد سال است. درست است که در فصول گرم سال حلالیت نمک‌ها بیشتر بوده اما منابع آبی در فصول سرد بیشتر در دسترس است، تبخیر سطحی که موجب بازگشت نمک از افق‌های زیرین به سطح خاک می‌شود نیز کمتر صورت می‌گیرد و در این فصول زمین معمولاً خالی از گیاه است. راه کار بعدی اصلاح ساختمان خاک و تبدیل نمک‌ها می‌باشد. این روش به دو صورت ترکیب حجم بسیار زیادی ژئیس و در مواردی نیز گوگرد به خاک صورت می‌گیرد که در خاک‌های شور و قلیایی برای اصلاح خاک باید از گوگرد استفاده شود. برای تسریع واکنش‌های تبدیلی می‌بایست خاک به صورت مرطوب نگهداری شود.

روش‌های دیگر مدیریت خاک‌های شور در زیرمجموعه کنترل و به زراعی طبقه‌بندی می‌شوند که کاهش تبخیر سطحی (مالچ پاشی، نگه‌داشتن بقایای کشت قبلی در سطح خاک، جمع‌آوری گیاهان وجین شده و علف‌های هرز و قرار دادن آن‌ها بین ردیف‌های کشت و ..)، روش آبیاری، تواتر آن و حجم آب آبیاری (استفاده از حجم آب آبیاری به دفعات متعدد ولی با حجم آب کمتر آبیاری و تبدیل روش‌های کرتی و نشتی به روش‌های بارانی و قطره‌ای و ..)، استفاده از روش‌های صحیح کاشت بذر متناسب با خاک‌های شور (کشت در محل داغ آب که کمترین میزان املاح را دارد)، کشت گونه‌های مقاوم و یا شور پسند و تغییر و اصلاح بافت خاک به کمک مواد آلی (به‌خاطر خاصیت بافری به متعادل کردن پ‌هاش خاک کمک می‌کنند در کنار این تأثیر مهمی به نگهداری آب در خاک، پوک شدن و افزایش خلل و فرج خاک و به بهبود دانه‌بندی خاک نیز کمک می‌کند که همین امر باعث توسعه‌ی ریشه و رشد بیشتر ریشه گیاهان در خاک خواهد شد). به طور کلی اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی مبتنی بر اعمال روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که انتخاب نوع روش و یا تلفیقی از چند



شکل 4- پراکنش جغرافیایی کلاس‌های تناسب کمی اراضی در منطقه مورد مطالعه برای کشت گندم

می‌شود، بنابراین جهت نیل به عملکرد اقتصادی و پایدار، برنامه‌های مدیریتی جامع در خصوص کنترل سطح آبهای زیرزمینی، نظارت بر مدیریت زراعی و کاربری اراضی و کنترل تغییرات شوری در خاک ضروری بوده و به نظر می‌رسد با انجام اقدامات اصلاحی و بهبود خواص فیزیکی خاک، امکان افزایش راندمان تولید در اکثر واحدهای اراضی امکان‌پذیر خواهد بود.

در حالیکه در روش کمی با اعمال مدیریت بهتر، بالغ بر 57 درصد اراضی برای تیپ بهره‌وری گندم در کلاس S2 (نسبتاً مناسب) می‌باشند. بنابراین با توجه به اینکه عمده‌ترین عوامل محدود کننده پتانسیل تولید اراضی و کاهش عملکرد منطقه بواسطه نامناسب بودن عوامل خاکی و تأثیر عوامل محدود کننده موجود از قبیل شوری و قلیائیت، آهک، خیسبی خاک و اسیدیته بالا نسبت داده

## فهرست منابع:

۱. ایوبی، ش. 1375. ارزیابی تناسب کیفی اراضی برای محصولات زراعی مهم منطقه برآآن شمالی (اصفهان). پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. ایوبی، ش.، جلالیان، ا.، گیوی، جواد. 1380. ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای محصولات زراعی مهم منطقه برا آن شمالی در استان اصفهان. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 5 (1): 57-76.
۳. آزادی، ا.، ابطحی، س. ع. 1394. ویژگی‌های پیدایشی و کانی‌شناسی خاک‌ها تحت تأثیر توپوگرافی و سطح آب زیرزمینی و ارزیابی تناسب اراضی منطقه کافت‌ر استان فارس. مجله انسان و محیط زیست، 13 (2) (33-پیاپی 44)، 57-75.
۴. پذیرا، ا. 1391. امکان بهسازی خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از بهسازهای شیمیایی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، 1 (4): 27-44.
۵. جلالیان، ا.، رستمی نیا، م.، ایوبی، ش.، امینی، ا. م. 1386. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی برای گندم، ذرت و کنجد در دشت مهران، استان ایلام. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 11 (42): 393-403.
۶. رستمی نیا، م.، محمودی، ش.، ترابی گل سفیدی، ح.، پذیرا، ا.، بابایی، س. 1389. ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی برای برنج، گندم و سیب زمینی در دشت شیروان، استان ایلام. مجله پژوهش در علوم زراعی. 2 (7): 75-89.
۷. روزبهرانی، م.، شیخ داوودی، م. ج.، عساکره، ع. 1397. ارزیابی تناسب اراضی غرب شهرستان اهواز برای کشت گندم آبی با تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی. تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی، 19 (71)، 81-98.
۸. زینالی، م.، جعفرزاده، ع.، شهبازی، ف.، اوستان، ش. 1395. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی برای گندم، جو، ذرت و آفتابگردان در بخشی از دشت خوی. دانش آب و خاک، 3 (2): 15-29.
۹. سادات هاشمی، س. 1396. بررسی تناسب اراضی خاکهای شور و سدیمی، دشت شوشاب ملایر، استان همدان سومین همایش ملی علوم و تکنولوژی‌های نوین زیستی، ایران. ملایر
۱۰. سید جلالی، س. ع. 1394. تعیین پتانسیل تولید اراضی برای گندم در مناطق گتوند و شوشتر استان خوزستان. نشریه مدیریت اراضی. 3 (1): 15-23.
۱۱. سیدجلالی، س. ع.، دهقان، ر.، آزادی، ا.، زین الدینی میمند، ع.، نویدی، م. ن.، محمداسماعیل، ز. 1399. بررسی تأثیر عوامل خاکی بر رشد نیشکر در اراضی تحت کشت نیشکر در استان‌های خوزستان و مازندران. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 3 (359-345).
۱۲. سیدجلالی، س. ع. 1395. ارزیابی تناسب اراضی برای گندم در دشت هنام زیرحوزه کرخه، استان لرستان. ششمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.
۱۳. سیدجلالی، ع. ر.، زین الدینی، ع.، نویدی، م. ن.، محمداسماعیل، ز. 1398. نیازهای رویشی گیاهان مهم زراعی کشور. موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۴. شاکری، س.، اولیایی، ح. ر.، ابطحی، ع.، آزادی، ابوالفضل. 1394. مطالعه خاک شناسی و تناسب اراضی خاک‌های شور و گچی منطقه برم الوان استان کهگیلویه و بویراحمد. مجله انسان و محیط زیست. 13 (3): 15-27.
۱۵. گیوی، جواد. 1376. ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای نباتات زراعی و باغی، نشریه شماره 1015. موسسه تحقیقات خاک و آب. 100 صفحه.

۱۶. محنت کش، ع. 1378. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی منطقه شهرکرد برای محصولات زراعی مهم منطقه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۷. مشایخی، ف. 1393. ارزیابی کیفی و کمی مناسب بودن زمین برای محصولات رایج در منطقه خداآفرین، دشت مغان، دانشگاه شاهد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
۱۸. مشیری، ف و همکاران. 1393. راهنمای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گندم، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور. 81 صفحه.
۱۹. مومنی، ع. 1389. "تعیین پراکنش جغرافیایی عناصر غذایی در اراضی زیرکشت گندم آبی در استان‌های فارس، خوزستان و گلستان." مجله پژوهش‌های خاک، 24(3): 203-215.
۲۰. نصیری محلاتی، م، ع. کوچکی. 1388. پهنه بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان: برآورد پتانسیل و خلأ عملکرد. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ج. 7(2): 695-709.
21. Alison LE and Moodie CD, 1965. Carbonate Pp. 1379-1369. In: Black CA and et al (ed), Method of Soil Analysis. Part 2. 2th Ed. Monograph No. 9. America Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
22. Ayers, R.S. and Westcot, D.W., 1985. *Water quality for agriculture* (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
23. Azadi, A., & Baghernejad, M. 2018. Qualitative land suitability assessment and estimating land production potential for main irrigated crops in northern of Fars province. *Agriculture & Forestry/Poljoprivredai Sumarstvo*, 64(4).
24. Banai MH, 1998. Map of moisture and temperature regime of Iranian soils. Soil and Water Research Institute, Tehran.
25. Becker-Reshef A, E. Vermote A, M. Lindeman and B. C. Justice. 2010. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 114: 1312–1323.
26. Dhaeze D, Deckers J, Rase D, Phong TA and Loi HV, 2005. Environmental and socio-economic impacts of institutional reforms on the agriculture sector of Vittnam Land suitability assessment for Robusta Caffee in the Dak Gan region. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105:59-76.
27. Dmitry, H., Torbert, A., and Krueger, E. 2008. Evaluation of agricultural land suitability: Application of fuzzy indicators, (Eds.): ICCSA 2008, Part I, LNCS 5072, pp. 475–490.
28. FAO. 1996. Agro-ecological zoning, Guidelines. FAO soils bulletin No: 76.
29. FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistical database. Available online: [www.fao.org](http://www.fao.org).
30. FAO. Rome. 12. FAO. 1997. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development, FAO, Rome, Italy. 212.
31. Farroq, M., Bramley, H., Palta, J.A. and Siddique, K.H.M. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain filling phases. *Crit. Rev Plant Sci*. 30: 1-17.
32. Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle-size Analysis Pp. 383–412. In: Klute A (ed). Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods. Agronomy monograph 9(2ed). American Society of Agronomy, Madison, WI.
33. Mousavi S, R., F, Sarmadian, Z, Alijani, A, Taati. 2017. Land suitability evaluation for irrigating wheat by Geopedological approach and Geographic Information System: A case study of Qazvin plain, Iran. *Eurasian J Soil Sci*, 6 (3). P: 275.
34. Nelson W and Sommers L, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp.532-81. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis. Part2.Chemical and Microbiological Methodes. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

35. Richards LA, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil. U.S.S. Laboratory. USDA Handb. No 60,
36. Roades JD, 1982. Soluble salts. Pp. 167-179. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Methods, 2nd ed, Agron, Monogr, 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
37. Rossiter, D.G. 2000. Methodology for soil resource inventories. Revised version, soil science division. International institute for aerospace survey and earth science (ITC). 132 pp.
38. Sys, C., Van-Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. Land evaluation. Part II. Methods in land evaluation, international training center for post graduate soil scientist. Ghent University, Ghent. 247 p.

## تأثیر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی کلزا

جلال قادری<sup>1</sup>، محمد حسین داوودی و کاظم خاوازی

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ایران؛ ghaderij@yahoo.com

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران؛ davoodi\_mh@yahoo.com

استاد پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران؛ khavazik@yahoo.com

دریافت: 1400/1/24 و پذیرش: 1400/7/4

### چکیده

پایین بودن قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، یکی از مهم‌ترین عوامل بروز کمبود آن‌ها در گیاهان کشت شده در خاک- های آهکی می‌باشد. بنابراین هر گونه راهکاری برای حل این مشکل دارای اهمیت است. در این پژوهش چهار سطح کود گوگردی شامل (0)، (250 کیلوگرم گوگرد و 5 کیلوگرم تیوباسیلوس)، (500 کیلوگرم گوگرد و 10 کیلوگرم تیوباسیلوس)، (1000 کیلوگرم گوگرد و 20 کیلوگرم تیوباسیلوس)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار و در چهار مزرعه با گوگرد قابل جذب متفاوت در استان کرمانشاه در سال زراعی 1397-98 اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس این آزمایش نشان داد که اثر گوگرد، مکان مزرعه، و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد دانه، درصد روغن، وزن هزار دانه و غلظت عناصر غذایی در دانه کلزا در مناطق چغانرگس و ماهیدشت، نجف آباد و قمشه در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ )، معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد دانه، درصد روغن، وزن هزار دانه و غلظت عناصر غذایی در دانه کلزا با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد عنصری همراه با 20 کیلوگرم باکتری تیوباسیلوس در هکتار بود. بهترین تیمار از لحاظ عملکرد دانه در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب 474، 756، 647 و 406 کیلوگرم افزایش نشان داد. افزایش درصد روغن نسبت به تیمار شاهد در مناطق ذکر شده به ترتیب 2/1، 1/4 و 0/5 درصد بود.

واژه‌های کلیدی: غلظت عناصر غذایی، درصد روغن، وزن هزار دانه.

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: کرمانشاه، میدان سپاه پاسداران، بلوار جام جم، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی.

## مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) با داشتن بیش از 40 درصد روغن دانه و کنجاله سرشار از پروتئین و از مهم-ترین دانه های روغنی عمده در جهان است (فائو، 2007) که کیفیت روغن آن بسیار مناسب و در کشور ما نیز بیش از 90 درصد روغن مصرفی کشور از خارج وارد می شود (بای بوردی، 2010). تولید این محصول مانند بسیاری از محصولات زراعی دیگر در سطح بازدهی مطلوب در خاک های آهکی کشور، همواره با مشکلاتی نظیر بالابودن pH خاک، کم بودن درصد کربن آلی خاک و دسترسی پایین به عناصر غذایی از جمله فسفر و عناصر کم مصرف مواجه بوده است (ملکوتی و همکاران، 1387). برای رفع این مشکل و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در این خاک ها، استفاده از مواد اسیدی نظیر گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس که بتواند pH خاک را حداقل در مقیاس کوچک در اطراف ریشه ها کاهش داده و قابلیت جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر، آهن و روی را افزایش دهد، به عنوان یک راهکار عملی و مؤثر اشاره شده است (ملکوتی و همکاران، 1387؛ بشارتی و همکاران، 1395؛ کریمی زارچی و همکاران، 2014). بررسی ها نشان داده اند که اگر گوگرد عنصری در خاک مصرف شود، با فراهم بودن شرایط اکسیداسیون آن، مقادیر قابل توجهی از گوگرد مصرفی در یک فصل زراعی توسط ریزجانداران خاکی (به ویژه باکتری های جنس تیوباسیلوس) اکسید و تولید اسید سولفوریک می کند که باعث کاهش pH خاک، افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک و جذب آنها توسط گیاه و در نهایت رشد و عملکرد گیاه می شود (خادم و همکاران، 1394).

گوگرد پس از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم چهارمین عنصر عمده مورد نیاز اکثر گیاهان زراعی می باشد. این عنصر یک جزء تشکیل دهنده اسیدهای آمینه سیستمین و متیونین و بخشی از پروتئین ها است که نقش مهمی را در ساخت کلروفیل و ویتامین های بیوتین و فعالیت ATP سولفوریلز در سلول های گیاهی ایفا می کند

(موتیور و همکاران، 2011). احمد و همکاران (1998) گزارش کردند که کاربرد گوگرد، عملکرد دانه ارقام مختلف کلزا از 30 الی 46 درصد افزایش داد. همچنین افزایش عملکرد، درصد روغن، پروتئین و عناصر غذایی در دانه کلزا بوسیله محققان متعددی دیگری با کاربرد گوگرد گزارش شده است (جکسون، 2000؛ مالهی و گیل، 2002؛ مالهی و همکاران، 2007). در تحقیقی توسط کندیل و گاد (2012) نتیجه گیری کردند که کاربرد گوگرد از منابع مختلف، باعث افزایش تعداد بوته در متر مربع، تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، درصد روغن، عملکرد و غلظت عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس) در دانه کلزا شد. به طوریکه عملکرد و درصد روغن با کاربرد 300 کیلوگرم گوگرد در هکتار از منابع گوگرد عنصری به ترتیب 31/93 و 39/8، تیوسولفات آمونیم 44/68 و 53/43، سولفات آمونیم 50/19 و 61/17 درصد افزایش نسبت به شاهد داشتند. طبسی و همکاران (2017) گزارش کردند که با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد در هکتار، بیش-ترین عملکرد، درصد روغن و درصد پروتئین در دانه در ارقام مختلف کلزا بدست آمد. مومن و همکاران (1390) گزارش کردند که مصرف گوگرد، موجب افزایش وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن گردید و بیش ترین عملکرد دانه و درصد روغن کلزا با مصرف 400 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 تن در هکتار کمپوست بود. رحیمیان (1390) گزارش کرد که با افزایش میزان گوگرد تا سطح 500 کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه و ماده خشک کل و درصد روغن به ترتیب 4/39، 15/38 و 1/69 درصد افزایش یافت. بناری و همکاران (1392) به این نتیجه رسیدند که افزایش گوگرد تا 400 کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و درصد روغن آفتابگردان شد. کریمی و همکاران (2012) گزارش کردند که مصرف گوگرد عنصری دارای تأثیر معنی داری روی pH خاک، نیتروژن

کل و مقدار فسفر و روی قابل استفاده در خاک دارد. هم- چنین اشاره کردند که کمترین مقدار pH خاک، بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم و نیتروژن کل در خاک و بیشترین مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روغن در دانه کلزا با کاربرد 4500 کیلوگرم در هکتار گوگرد و 50 تن در هکتار کود کمپوست بود. گوهرگانی (1394) گزارش کرد که مصرف 800 کیلوگرم بر هکتار گوگرد توأم با تیوباسیلوس، موجب افزایش معنی‌دار آهن و روی خاک و آهن در دانه کلزا شد، اما تأثیری بر روی و مگنیز دانه نداشت. هم‌چنین میرزاپور و همکاران (1396) به این نتیجه رسیدند که با کاربرد گوگرد در مزارع کلزا، علاوه بر کاهش pH و افزایش قابلیت دسترسی فسفر، روی و آهن قابل استفاده خاک، بالاترین عملکرد و اجزای آن در کلزا با 2000 کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس بدست آمد و در این شرایط عدم مصرف کود فسفاته را پیشنهاد کردند.

بنابراین با توجه به آهکی بودن خاک‌های استان کرمانشاه، پایین بودن دسترسی به عناصر غذایی توسط گیاهان (فسفر و عناصر کم مصرف)، انجام تحقیقاتی در خصوص نقش گوگرد در تأمین نیازهای غذایی کلزا با توجه به سطح زیرکشت آن (3500 هزار هکتار در سال زراعی 98-1397) ضروری بود. لذا هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر گوگرد بر عملکرد و برخی از خصوصیات کیفی کلزا در چهار منطقه از خاک‌های این استان کرمانشاه با گوگرد قابل جذب متفاوت بود.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق شامل چهار تیمار کودی گوگردی در سال زراعی 98-1397، در چهار منطقه چغانرگس، ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت، نجف‌آباد و قمشه استان کرمانشاه به ترتیب با مشخصات طول و عرض جغرافیایی بر حسب UTM (چغانرگس 3802526-662511، ماهیدشت، 3795264-670366، نجف‌آباد، 691900-3776780، قمشه، 3768703-658173)، که خاک مزارع

آزمایشی از مقادیر مختلف گوگرد قابل جذب (7، 13، 18 و 27 میلی‌گرم در کیلوگرم) برخوردار بودند، بر روی کلزای آبی رقم اوکاپی اجرا شد. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار و با استفاده از تیمارهای زیر انجام گرفت. تیمارها شامل: 1- شاهد بدون مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس 2- 250 کیلوگرم گوگرد و 5 کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس 3- 500 کیلوگرم گوگرد و 10 کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس 4- 1000 کیلوگرم گوگرد و 20 کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس بود. این آزمایش در هریک از مناطق دارای 12 کرت آزمایشی بود. منبع گوگرد، گوگرد عنصری تولید پالایشگاه صنعت نفت بود. قبل از کاشت یک نمونه خاک مرکب از عمق صفر الی 30 سانتی‌متری از هر چهار مزرعه به‌طور جداگانه برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک تهیه که نتایج تجزیه آن‌ها در جدول یک نشان داده شده است. در نمونه‌های خاک، بافت به روش هیدرومتری (بویکوس، 1962)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (1934)، pH گل اشباع به‌وسیله الکتروود شیشه‌ای (مکلین، 1982)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج (بلاک و همکاران، 1965)، فسفر قابل جذب با روش اولسن (1954)، آهن و روی قابل استفاده با عصاره گیر DTPA (لیندسی و نورول، 1978) و با دستگاه جذب اتمی و گوگرد با روش منوکلسیم فسفات (فکس و همکاران، 1965) اندازه‌گیری شد.

گوگرد به‌صورت پودری بر اساس تیمارهای کودی همراه با باکتری تیوباسیلوس قبل از کاشت کاملاً با خاک مخلوط شد. در این آزمایش به ازای هر 100 کیلوگرم کود گوگرد مصرفی، 2 کیلوگرم باکتری تیوباسیلوس از گونه *T. neapolitanous* با حامل پرلینت تهیه شده، توسط بخش تحقیقات بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شد. متوسط جمعیت باکتری در هرگرم مایه تلقیح  $10^7$  بود.

جدول 1- میانگین نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

| مکان     | pH * | هدایت الکتریکی<br>(dS m <sup>-1</sup> ) | کربنات کلسیم<br>کل | نیتروژن کل<br>درصد | کربن<br>آلی | فسفر                | گوگرد | آهن  | روی  | بافت خاک      |
|----------|------|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|---------------------|-------|------|------|---------------|
|          |      |                                         |                    |                    |             | میلی گرم در کیلوگرم |       |      |      |               |
| چغانرگس  | 7/8  | 0/56                                    | 16                 | 0/11               | 1/17        | 13                  | 7     | 6/30 | 0/8  | رسی سیلتی     |
| ماهیدشت  | 7/9  | 0/6                                     | 25                 | 0/11               | 1/14        | 9/6                 | 13    | 7/30 | 0/7  | لوم رسی سیلتی |
| نجف‌آباد | 7/8  | 0/85                                    | 30                 | 0/1                | 1/06        | 11                  | 18    | 7/7  | 0/92 | لوم رسی سیلتی |
| قمشه     | 7/9  | 1                                       | 35                 | 0/09               | 0/97        | 15                  | 27    | 7/50 | 0/95 | رسی سیلتی     |

\* کل اشباع (saturated paste) \*\* عصاره گل اشباع (saturated paste extract).

درجه سانتی‌گراد قرار داده و نیتروژن کل به روش کج‌لدال (بورش و همکاران، 1982)، فسفر به روش طیف‌سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 470 نانومتر، گوگرد به روش کدورت‌سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 420 نانومتر، آهن و روی به روش خاکسترکردن خشک و با دستگاه جذب اتمی (رایان و همکاران، 2007) قرائت شدند. درصد روغن با دستگاه سوکسله (بای‌بوردی و ملکوتی، 1382) اندازه‌گیری شد. برای انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار آماری MSTAT-C استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

### نتایج و بحث

بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد مقادیر مختلف گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک، سبب ایجاد تغییرات معنی‌داری در پارامترهای اندازه‌گیری شده در عملکرد کمی و کیفی کلزا نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف گوگرد) شده است. هم‌چنین با افزایش سطوح گوگرد مصرفی همراه با باکتری تیوباسیلوس، روند صعودی غلظت فسفر، گوگرد، آهن و روی قابل‌جذب و درصد روغن نیز در دانه کلزا در مناطق مورد آزمایش مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر عوامل آزمایش و اثرهای برهم‌کنش آن‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی کلزا در جدول 2 نشان داده شده است.

حد بحرانی گوگرد قابل استفاده خاک، برای گندم، ذرت و کلزا به ترتیب 12، 15 و 20/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (خادمی و همکاران، 1390). کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفات به اساس تجزیه خاک و کود حیوانی پوسیده شده به مقدار 5 تن در هکتار به‌طور یکنواخت در تمام تیمارها و 20 روز قبل از کاشت مصرف شدند. هر کرت آزمایشی به مساحت 16 مترمربع شامل 20 خط کاشت به طول 4 متر، که فاصله ردیف‌ها و بذور به ترتیب 20 و 5 سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت از 97/6/28 الی 97/6/30 و رقم استفاده شده اوکاپی بود. کشت با دستگاه کارنده وینتراشتاگر و مقدار بذر مصرفی 8 کیلوگرم در هکتار بود. آبیاری در هر چهار مزرعه با استفاده از سیستم آبیاری بارانی (کلاسیک ثابت) بود. سایر عملیات زراعی مانند تنک کردن بر اساس نیاز انجام شد. برای مبارزه با علف‌های هرز باریک برگ در پاییز از سم سوپرگلانت به مقدار یک لیتر در هکتار و در اوایل بهار برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ از سم لونترال به مقدار یک لیتر در هکتار استفاده شد. در زمان رسیدگی کامل به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از حذف اثر حاشیه، 9 مترمربع برداشت شد. پس از برداشت محصول و محاسبه عملکرد، نمونه‌های دانه کلزا از تیمارهای آزمایشی، برای اندازه‌گیری عناصر غذایی آماده شد که پس از شستشو با آب مقطر و با آون در دمای 70 درجه سانتی‌گراد خشک و توسط آسیاب برقی پودر شدند. سپس مقدار 0/5 گرم از نمونه آسیاب شده به‌روش هضم مرطوب روی اجاق الکتریکی در دمای 200 الی 300

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر مقادیر مختلف گوگرد در مکان‌های مختلف بر عملکرد، درصد روغن و غلظت عناصر غذایی در دانه کلزا

| میانگین مربعات |          |           |         |         |         |               |           |              | درجه آزادی | منبع تغییرات            |
|----------------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------------|-----------|--------------|------------|-------------------------|
| درصد پروتئین   | روی      | آهن       | گوگرد   | فسفر    | نیتروژن | وزن هزار دانه | درصد روغن | عملکرد دانه  |            |                         |
| 1/ 823*        | 35/571*  | 179/710** | 0/009*  | 0/065** | 0/065*  | 0/788**       | 1/019**   | 330196/132** | 3          | مکان                    |
| 0/245          | 6/542    | 5/992     | 0/001   | 0/001   | 0/009   | 0/010         | 0/074     | 7865/917     | 8          | خطای مکان               |
| 3/35**         | 18/381** | 14/416**  | 0/007** | 0/007** | 0/119** | 0/483**       | 3/936**   | 658700/910** | 3          | گوگرد                   |
| 0/167**        | 1/688**  | 0/427*    | 0/001*  | 0/001*  | 0/005** | 0/048**       | 0/254**   | 11899/428**  | 9          | اثر متقابل گوگرد و مکان |
| 0/051          | 0/400    | 0/132     | 0/001   | 0/001   | 0/002   | 0/006         | 0/028     | 1619/631     | 24         | خطای کل                 |
| 1/25           | 2/35     | 0/62      | 4/66    | 3       | 1/25    | 2/03          | 0/91      | 1            |            | ضریب تغییرات            |

\*\*معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

\* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار

## عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین مرکب این پژوهش نشان داد که بین تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس و مکان‌های مختلف به طور جداگانه و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) وجود داشت (جدول 2). بیشترین مقدار افزایش آن با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس و در ماهیدشت بود (جدول 3). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه کلزا در منطقه چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه به ترتیب نسبت به تیمار شاهد 647، 756، 474 و 406 کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. هم-چنین کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد دانه به ترتیب در ماهیدشت (4960 کیلوگرم در هکتار) و قمشه (4316 کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول 4 و 5).

در نجف آباد و قمشه بین تأثیر تیمارهای گوگردی 250، 500 و 1000 کیلوگرم در هکتار بر عملکرد دانه کلزا اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه آماری قرار گرفتند که این در نتیجه بالابودن مقدار گوگرد قابل جذب اولیه و مقدار آهک موجود در خاک در مناطق مورد آزمایش است (جدول 1). تأثیر مثبت گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد دانه را علاوه بر نقش مستقیم گوگرد در تغذیه گیاه، می‌توان به تأثیر آن‌ها در کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه نیز نسبت داد که به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی و در نهایت به افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک می‌کند و افزایش عملکرد را می‌توان به بهبود جذب عناصر غذایی نسبت داد (رحیمیان، 1390؛ بشارتی و همکاران، 1395). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد همین عامل سبب افزایش غلظت عناصر غذایی، درصد پروتئین، درصد روغن، سوخت و ساز مواد فتوسنتزی، وزن هزاردانه و نهایتاً افزایش عملکرد دانه کلزا شده است. وقتی خاکی کمبود گوگرد داشته و به آن توجه نشود، گیاهان به حداکثر تولید

نخواهند رسید، حتی اگر بقیه عناصر غذایی به حد کافی در خاک وجود داشته باشد (ملکوتی و همکاران، 1387). بوم و همکاران (2007) گزارش کردند که کاربرد گوگرد همراه با تلقیح بذر با باکتری تیوباسیلوس، باعث ایجاد شرایط مناسب رشد، استقرار سریع‌تر گیاهچه و بهره‌مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه شد. چنین وضعیتی باعث گردید که گیاه شرایط مناسب‌تری را در جهت پرکردن دانه‌ها داشته باشد و عملکرد دانه افزایش یابد. نتیجه این تحقیق با نتایج بابایی و همکاران (1391) مطابقت داشت که کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد در هکتار برای افزایش درصد روغن و عملکرد سویا مناسب می‌باشد و تأثیر سطوح گوگرد بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مشابهی مبنی بر تأثیر مثبت گوگرد و تیوباسیلوس در افزایش عملکرد نیز توسط شرفی و همکاران (1389) در گیاه کلزا، صفاری و همکاران (1390) و قبادی و همکاران (1392) در گیاه سیب زمینی گزارش شده است.

## وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین مرکب این پژوهش نشان داد که بین تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس و مکان‌های مختلف به‌طور جداگانه و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر وزن هزار دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) وجود داشت (جدول 2). بیشترین مقدار افزایش آن با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس بود کمترین افزایش وزن هزار دانه در چغانرگس و قمشه و بیشترین آن در ماهیدشت و نجف آباد بود (جدول 3). نتایج نشان داد با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، وزن هزار دانه در هر چهار منطقه افزوده شد که اختلاف آن در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه نسبت به تیمار شاهد به-ترتیب 0/8، 0/6، 0/43 و 0/11 گرم بود (جدول 4 و 5). بیش‌ترین افزایش وزن هزاردانه در مناطقی بود که مقدار گوگرد قابل جذب آن‌ها پایین بود، و به کاربرد گوگرد عکس العمل مثبت‌تری نشان دادند. وزن هزاردانه از

مهم‌ترین صفات برای افزایش عملکرد دانه در کلزا می‌باشد. همبستگی عملکرد دانه با وزن هزاردانه، نشان‌دهنده نقش وزن هزاردانه بر عملکرد دانه است. افزایش گوگرد، باعث افزایش طول مدت پرشدن دانه، افزایش غلظت ساکارز و در نهایت وزن هزار دانه می‌شود (رحیمیان، 1391). در این آزمایش مشخص شد که کاربرد گوگرد، سبب افزایش غلظت عناصر غذایی مانند روی شد که این عنصر، باعث افزایش تولید تنظیم کننده‌های رشد مثل ایندول استیک اسید، کربوهیدرات‌ها، متابولیسم نیتروژن و در نتیجه سبب افزایش عملکرد و اجزای آن می‌شود. هم‌چنین فراهم بودن عناصر کم مصرف و پر مصرف در مراحل بعدی رشد که سبب افزایش تجمع آسیمیلات در دانه و سنگین‌تر شدن آن می‌شود (ابراهیمیان، 2010). نتایج مشابهی نیز توسط چقازردی و همکاران (1392) و نخ زری مقدم و همکاران (1394) گزارش شده است.

#### درصد روغن دانه

نتایج مقایسه میانگین مرکب این پژوهش نشان داد که بین تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس و مکان‌های مختلف به طور جداگانه و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر درصد روغن دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) وجود داشت (جدول 2). بیشترین مقدار افزایش آن با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس و در ماهیدشت بود (جدول 3). نتایج نشان داد با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، درصد روغن دانه در هر چهار منطقه افزوده شد که اختلاف آن در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب  $1/3$ ،  $1/4$ ،  $2/1$  و  $0/5$  درصد بود. کم‌ترین درصد روغن به ترتیب در چغانرگس و قمشه و بیش‌ترین مقدار آن در ماهیدشت و نجف آباد بود (جدول 4 و 5). افزایش درصد روغن با کاربرد مقادیر مختلف گوگرد در مناطقی که گوگرد قابل جذب اولیه آن‌ها پایین بود، بیش‌تر بود که حاکی از نیاز گیاه و تأثیر مثبت کاربرد گوگرد بود. در این آزمایش مشخص شد هرچه مقدار گوگرد قابل جذب اولیه خاک

افزایش یافت، نقش گوگرد مصرفی بر درصد روغن کم‌تر بود. گوگرد باعث افزایش اسیدهای چرب در گیاه و در نتیجه درصد روغن می‌شود. حضور باکتری تیوباسیلوس نیز برای جذب بهتر گوگرد و افزایش درصد روغن لازم است. گوگرد به شکل گروه تیول در ساختار کوآنزیم A شرکت می‌کند که این کوآنزیم در تشکیل استیل کوآنزیم A به عنوان شروع کننده مسیر بیوسنتزی اسیدهای چرب اهمیت ویژه‌ای دارد (سالوا و همکاران، 2010). کمبود گوگرد ممکن است سبب کاهش فعالیت آنزیم استیل کوآنزیم A کربوکسیلاز، تولید ماده اولیه بیوسنتز اسید چرب و مسیر بیوسنتزی آن و در نتیجه سبب کاهش درصد روغن می‌شود (الطاف و همکاران، 2000). راوی و همکاران (2010) گزارش کردند که گوگرد در تشکیل گلوکوزیدها و گلیکوزینولات‌ها و فعال سازی آنزیم‌ها دخیل است و به این ترتیب باعث افزایش درصد روغن می‌شود. تأثیر مثبت گوگرد بر درصد روغن توسط رحیمیان (1390) در گیاه کلزا، صفاری و همکاران (1390) در گیاه گلرنگ و نخ زری مقدم و همکاران (1394) در آفتابگردان نیز گزارش شده است.

#### درصد پروتئین دانه

نتایج مقایسه میانگین مرکب این پژوهش نشان داد که بین تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس و مکان‌های مختلف به طور جداگانه و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر درصد پروتئین دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) وجود داشت (جدول 2). نتایج نشان داد که بیشترین مقدار افزایش آن با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس بود. با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، درصد پروتئین در هر چهار منطقه افزوده شد که اختلاف آن در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب  $1/2$ ،  $1/43$ ،  $1/47$  و  $0/7$  درصد بدست آمد (جدول 3، 4 و 5). کم‌ترین درصد پروتئین در قمشه ( $17/67$  درصد) و بیشترین آن در نجف آباد ( $18/52$  درصد) با کاربرد 1000 کیلوگرم در هکتار گوگرد مشاهده

شد (جدول 5). افزایش درصد پروتئین، ناشی از مشارکت گوگرد در ساختمان اسید آمینه‌های مانند سیستین و متیونین می‌باشد که باعث افزایش درصد پروتئین می‌شوند (ملکوتی و همکاران، 1387). کمبود اسید آمینه‌های گوگرد دار مهم‌ترین عامل محدودکننده ارزش بیولوژیکی پروتئین می‌باشد. کاهش میزان پروتئین گیاهان مبتلا به کمبود گوگرد، با ساختن ترجیحی پروتئین‌هایی همبستگی دارد که میزان اسید آمینه‌های میتونین و سیستین در آن‌ها کم‌تر و میزان دیگر اسیدهای آمینه آن‌ها، مانند آرژینین و اسید آسپارتیک، بیش‌تر است. کم‌تر بودن میزان گوگرد در پروتئین‌ها، بر کیفیت غذایی آن‌ها اثر قابل ملاحظه می‌گذارد. اسید آمینه سیستین اولین ترکیب ارگانیک است که در تولید متابولیت‌های اولیه (پروتئین‌ها، گلوکاتین‌ها) نقش

کلیدی دارد. گلوکاتین‌ها برای فعالیت مکانیسم‌های دفاعی سلول و مقابله با استرس‌های زنده و غیرزنده بسیار ضروری می‌باشند (پدler و همکاران، 2000).

#### فسفر دانه

نتایج مقایسه میانگین مرکب این پژوهش نشان داد که بین تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس و مکان‌های مختلف به‌طور جداگانه و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت فسفر دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) وجود داشت (جدول 2). بیشترین مقدار افزایش آن با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس بود (جدول 6).

جدول 3- مقایسه میانگین اثر اصلی مقادیر مختلف گوگرد عنصری در مکان‌های مختلف بر برخی از خصوصیات کمی و کیفی کلزا

| گوگرد<br>(کیلوگرم در هکتار) | عملکرد دانه<br>(کیلوگرم در هکتار) | وزن هزار دانه<br>(گرم) | روغن<br>(درصد)     | پروتئین<br>(درصد)  |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 0                           | 4003 <sup>d</sup>                 | 3/69 <sup>d</sup>      | 40/53 <sup>d</sup> | 17/44 <sup>d</sup> |
| 250                         | 4277 <sup>c</sup>                 | 3/92 <sup>c</sup>      | 40/95 <sup>c</sup> | 17/86 <sup>c</sup> |
| 500                         | 4423 <sup>b</sup>                 | 4/01 <sup>b</sup>      | 41/53 <sup>b</sup> | 18/29 <sup>b</sup> |
| 1000                        | 4547 <sup>a</sup>                 | 4/17 <sup>a</sup>      | 41/87 <sup>a</sup> | 18/66 <sup>a</sup> |

\* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح 1 در صد.

جدول 4- مقایسه میانگین اثر اصلی مکان در کاربرد مقادیر گوگرد مختلف بر برخی از خصوصیات کمی و کیفی کلزا

| مکان     | عملکرد دانه<br>(کیلوگرم در هکتار) | وزن هزار دانه<br>(گرم) | روغن<br>(درصد)      | پروتئین<br>(درصد)   |
|----------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| چغانرگس  | 4205 <sup>c</sup>                 | 3/69 <sup>b</sup>      | 41/16 <sup>ab</sup> | 17/82 <sup>ab</sup> |
| ماهیدشت  | 4540 <sup>a</sup>                 | 4/12 <sup>a</sup>      | 41/47 <sup>a</sup>  | 18/25 <sup>ab</sup> |
| نجف آباد | 4329 <sup>b</sup>                 | 4/21 <sup>a</sup>      | 41/31 <sup>a</sup>  | 18/52 <sup>a</sup>  |
| قمشه     | 4176 <sup>c</sup>                 | 3/77 <sup>b</sup>      | 40/79 <sup>b</sup>  | 17/67 <sup>b</sup>  |

\* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح 1 در صد.

جدول 5- نتایج تجزیه مرکب مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد در مکان‌های مختلف بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی کلزا

| مکان     | گوگرد<br>(کیلوگرم در هکتار) | عملکرد دانه<br>(کیلوگرم در هکتار) | وزن هزار دانه<br>(گرم) | روغن<br>(درصد)      | پروتئین<br>(درصد)   |
|----------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| چغا نرگس | 0                           | 3850 <sup>h</sup>                 | 3/3 <sup>g</sup>       | 40/2 <sup>i</sup>   | 17/1 <sup>i</sup>   |
|          | 250                         | 4134 <sup>fg</sup>                | 3/6 <sup>f</sup>       | 40/7 <sup>fh</sup>  | 17/6 <sup>fi</sup>  |
|          | 500                         | 4340 <sup>d</sup>                 | 3/7 <sup>f</sup>       | 41/4 <sup>cd</sup>  | 18/3 <sup>bc</sup>  |
|          | 1000                        | 4497 <sup>c</sup>                 | 4/1 <sup>bd</sup>      | 42/3 <sup>a</sup>   | 18/3 <sup>bd</sup>  |
| ماهیدشت  | 0                           | 4200 <sup>ef</sup>                | 3/8 <sup>ef</sup>      | 40/8 <sup>fh</sup>  | 17/67 <sup>eh</sup> |
|          | 250                         | 4470 <sup>c</sup>                 | 4/07 <sup>cd</sup>     | 41/3 <sup>ce</sup>  | 18/07 <sup>cg</sup> |
|          | 500                         | 4638 <sup>b</sup>                 | 4/23 <sup>ac</sup>     | 41/6 <sup>bc</sup>  | 18/2 <sup>cf</sup>  |
|          | 1000                        | 4956 <sup>a</sup>                 | 4/40 <sup>a</sup>      | 42/2 <sup>a</sup>   | 19/1 <sup>a</sup>   |
| نجف آباد | 0                           | 4050 <sup>g</sup>                 | 3/97 <sup>de</sup>     | 40/7 <sup>gh</sup>  | 17/73 <sup>dh</sup> |
|          | 250                         | 4290 <sup>de</sup>                | 4/20 <sup>bc</sup>     | 41/1 <sup>df</sup>  | 18/23 <sup>ce</sup> |
|          | 500                         | 4454 <sup>c</sup>                 | 4/27 <sup>ab</sup>     | 41/47 <sup>cd</sup> | 18/80 <sup>ab</sup> |
|          | 1000                        | 4524 <sup>c</sup>                 | 4/40 <sup>a</sup>      | 42 <sup>ab</sup>    | 19/30 <sup>a</sup>  |
| قمشه     | 0                           | 3910 <sup>h</sup>                 | 3/71 <sup>f</sup>      | 40/5 <sup>hi</sup>  | 17/3 <sup>hi</sup>  |
|          | 250                         | 4216 <sup>ef</sup>                | 3/77 <sup>f</sup>      | 40/7 <sup>fh</sup>  | 17/5 <sup>gi</sup>  |
|          | 500                         | 4260 <sup>de</sup>                | 3/80 <sup>ef</sup>     | 41 <sup>efg</sup>   | 17/9 <sup>ch</sup>  |
|          | 1000                        | 4316 <sup>d</sup>                 | 3/8 <sup>ef</sup>      | 41 <sup>efg</sup>   | 18 <sup>cg</sup>    |

\* حروف مشابه در هر ستون نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد.

\*\* برای گروه بندی‌های که شامل تعداد زیادی حروف می‌باشد، در جدول به صورت خلاصه روی اعداد ذکر شده است مثلاً abcde به صورت ae.

خود ادامه دهند. هم‌چنین کمبود فسفر، موجب کاهش فتوسنتز به دلیل کاهش بازیافت ریبولوز بیس فسفات و ATP می‌شود (جاکوب و لاولور، 1992).

در این پژوهش نیز به نظر می‌رسد، همین عامل یکی از عواملی است که سبب افزایش غلظت فسفر در دانه کلزا شده است در این پژوهش، میزان فسفر قابل-جذب خاک‌های مورد آزمایش کم‌تر از حد بحرانی فسفر برای کلزا بود. لذا انتظار می‌رفت که مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد با کاهش موضعی pH خاک و افزایش حلالیت ترکیبات حاوی فسفر موجود در خاک، سبب افزایش غلظت فسفر در دانه کلزا در مناطق مختلف مورد آزمایش شده و در نتیجه عملکرد دانه کلزا افزایش یافت. لذا بخشی از پاسخ گیاه به تیمارهای مختلف گوگرد به پایین بودن فسفر خاک بر می‌گردد. در تأیید این موضوع، در پژوهشی در یک خاک لوم شنی که مقدار فسفات و سولفات قابل جذب آن کم‌تر از حد بحرانی برای ذرت بود،

نتایج تجزیه مرکب نشان داد با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، غلظت فسفر در دانه در هر چهار منطقه افزوده شد که اختلاف آن در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب 0/07، 0/08، 0/05 و 0/03 درصد بود. کم‌ترین غلظت فسفر به ترتیب در قمشه و نجف آباد و بیش‌ترین مقدار آن در ماهیدشت و چغانرگس مشاهده شد (جدول 7 و 8). کاربرد گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس در خاک، باعث تشدید اکسیداسیون گوگرد شده و با کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه به افزایش حلالیت عناصر غذایی تثبیت شده و در نهایت به جذب عناصر غذایی کمک می‌کند (بشارتی و همکاران، 1395). فسفر جزئی از ترکیب ساختمانی مولکول‌های (های) مهم از جمله اسید-های نوکلئیک، فسفولیپیدها و ATP می‌باشد و در کنترل واکنش‌های آنزیمی و تنظیم مسیرهای متابولیکی شرکت می‌نماید، در نتیجه گیاهان بدون آن نمی‌توانند به رشد

مانند سیستمین و متیونین می‌شود که در تشکیل پروتئین نقش اساسی دارند. نتایجی مشابهی توسط مصطفوی راد و همکاران (1390)، جسکون (2000)، مالهی و همکاران (2007) و کندیل و گاد (2012) گزارش شده است.

#### آهن دانه

نتایج مقایسه میانگین مرکب این پژوهش نشان داد که بین اثر اصلی تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس و مکان‌های مختلف به طور جداگانه در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت آهن دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ( $P < 0.05$ )، وجود داشت (جدول 2). بیشترین مقدار افزایش مقدار آهن در دانه کلزا با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس بود (جدول 6). کم‌ترین غلظت آهن در دانه در قمشه و نجف آباد و بیش‌ترین غلظت آن در ماهیدشت مشاهده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، غلظت آهن در دانه در هر چهار منطقه افزوده شد که اختلاف آن در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه نسبت به تیمار شاهد به- ترتیب 3/8، 2/5، 2/1 و 1/9 میلی‌گرم در کیلوگرم دانه بود (جدول 7 و 8).

در این پژوهش، میزان آهن قابل جذب خاک‌های مورد آزمایش کم‌تر از حد بحرانی آهن برای کلزا بود. لذا انتظار می‌رفت که مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد با تولید اسید سولفوریک و کاهش موضعی pH خاک سبب افزایش غلظت آهن در دانه کلزا در مناطق مختلف مورد آزمایش شده و در نتیجه عملکرد دانه کلزا افزایش یافت. لذا بخشی از پاسخ گیاه به تیمارهای مختلف گوگرد به پایین بودن آهن قابل استفاده خاک بر می‌گردد. آهن یکی از عناصر ضروری کم مصرف برای رشد گیاهان است. با اینکه مقدار کل این عنصر در خاک زیاد است، لیکن برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها از جمله pH قلیایی، کمبود مواد آلی، مصرف بیش از اندازه کودهای فسفردار، تغذیه آهن گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و

قبل از کشت گیاه، در چهار تیمار منابع مختلف گوگرد به خاک اضافه شد و موجب افزایش عملکرد ذرت گردید. بدیهی است که اکسایش گوگرد ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه، با انحلال و آزاد کردن فسفر موجود در آن، باعث افزایش فسفات قابل جذب در ذرت شد (برومفلد و همکاران، 1981). نتایجی مشابهی توسط جسکون (2000)، مالهی و همکاران (2007) و کندیل و گاد (2012) و مصطفوی راد و همکاران (1390)، گزارش شده است که کاربرد گوگرد، فراهمی، غلظت و جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف را در دانه کلزا افزایش می‌دهد.

#### گوگرد دانه

نتایج مقایسه میانگین مرکب این پژوهش نشان داد که بین تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس و مکان‌های مختلف به طور جداگانه بر غلظت گوگرد دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) وجود داشت (جدول 2). بیشترین مقدار افزایش آن با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس بود (جدول 6). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، غلظت گوگرد در دانه در هر چهار منطقه افزوده شد که اختلاف آن در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب 0/06، 0/06، 0/05 و 0/05 درصد بود. کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت گوگرد در دانه به- ترتیب در قمشه (0/36 درصد) و ماهیدشت (0/42 درصد) مشاهده شد (جدول 7 و 8). به نظر می‌رسد که کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس توانسته است، از طریق کاهش pH خاک اطراف ریشه به حلالیت عناصر غذایی در خاک آهکی افزوده و به افزایش رشد و نمو گیاه کمک نماید. گوگرد، جزو ساختمان اسیدهای آمینه سیستمین و متیونین و در نتیجه جزو ساختمان پروتئین‌هاست. هر دوی این اسیدهای آمینه، برای ساخت دیگر ترکیبات دارای گوگرد، مانند کوآنزیم‌ها و فرآورده‌های ثانوی گیاهان لازم هستند (ملکوتی و همکاران، 1387). افزایش غلظت گوگرد در دانه، باعث افزایش مقدار اسید آمینه‌های

فراهمی آن را کاهش می‌دهد. آهن یکی از اجزای آنزیم-های اکسیدازی نظیر کاتالاز و پراکسیدازها است که در شرایط کمبود آهن، فعالیت هر دو گونه آنزیم کاهش می‌یابد (ملکوتی و همکاران، 1387). نتیجه این آزمایش نشان داد که مصرف گوگرد با باکتری تیوباسیلوس تأثیر مثبتی بر میزان جذب عناصر غذایی کم‌مصرف از جمله آهن از خاک و ذخیره آن در دانه داشته است که با نتایج امانی و همکاران (1386) بر روی سویا و گوهرگانی (1394) در گیاه کلزا هماهنگی دارد.

#### روی دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد بین اثر اصلی گوگرد و برهم‌کنش گوگرد و مکان آزمایشی بر غلظت روی در دانه کلزا، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ )، و اثر مکان آزمایشی بر غلظت روی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ( $P < 0.05$ )، وجود داشت (جدول 2). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار افزایش مقدار آهن در دانه کلزا با کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس بود (جدول 6). با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، غلظت روی در دانه در

هر چهار منطقه افزوده شد که اختلاف آن در چغانرگس، ماهیدشت، نجف آباد و قمشه نسبت به تیمار شاهد به-ترتیب 2/6، 3/2، 5/2 و 1/4 میلی گرم در کیلوگرم دانه بود. کم‌ترین غلظت روی در دانه کلزا در قمشه و بیش‌ترین غلظت آن در چغانرگس مشاهده شد (جدول 7 و 8). کاربرد گوگرد و اکسیداسیون آن، باعث کاهش موضعی pH خاک شده و در نتیجه سبب افزایش غلظت روی در دانه کلزا در مناطق مختلف مورد آزمایش شد و در مناطقی که غلظت گوگرد قابل جذب خاک آن‌ها مانند چغانرگس و ماهیدشت کم بود، بیش‌تر افزایش یافت. عنصر روی به عنوان کوفاکتور آنزیم‌هایی همچون کربنیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، آلدولازها، کربوکسی پپتیداز، سوپراکسید دیسموتاز، RNA پلیمراز، ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز و فسفولیپازها عمل می‌کند. هم‌چنین این عنصر برای سنتز تریپتوفان، پیش ماده سنتز ملاتونین، اسید نیکوتینیک و اکسین، ضروری است (پدلر و همکاران، 2000). نتایجی مشابهی توسط جسکون (2000)، مالهی و همکاران (2007) و کندیل و گاد (2012)، مصطفوی راد و همکاران (1390) و گوهرگانی (1394) گزارش شده است.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر اصلی مقادیر مختلف گوگرد عنصری در مکان‌های مختلف بر برخی از خصوصیات کمی و کیفی کلزا

| گوگرد<br>(کیلوگرم در هکتار) | نیتروژن           | فسفر              | گوگرد              | آهن                 | روی                |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                             |                   | درصد              |                    | میلی گرم در کیلوگرم |                    |
| 0                           | 3/29 <sup>d</sup> | 0/42 <sup>c</sup> | 0/35 <sup>c</sup>  | 57/29 <sup>d</sup>  | 25/39 <sup>c</sup> |
| 250                         | 3/37 <sup>c</sup> | 0/44 <sup>b</sup> | 0/39 <sup>b</sup>  | 58/39 <sup>c</sup>  | 26/61 <sup>b</sup> |
| 500                         | 3/45 <sup>b</sup> | 0/47 <sup>a</sup> | 0/40 <sup>ab</sup> | 59/13 <sup>b</sup>  | 27/55 <sup>a</sup> |
| 1000                        | 3/52 <sup>a</sup> | 0/47 <sup>b</sup> | 0/41 <sup>a</sup>  | 59/86 <sup>a</sup>  | 28/25              |

\* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح 1 درصد.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر اصلی مکان در کاربرد مقادیر گوگرد مختلف بر غلظت عناصر غذایی در دانه کلزا

| مکان     | نیتروژن            | فسفر              | گوگرد              | آهن                 | روی                 |
|----------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|          |                    | درصد              |                    | میلی گرم در کیلوگرم |                     |
| چغانرگس  | 3/36 <sup>ab</sup> | 0/50 <sup>a</sup> | 0/40 <sup>ab</sup> | 61/16 <sup>a</sup>  | 29/29 <sup>a</sup>  |
| ماهیدشت  | 3/44 <sup>ab</sup> | 0/52 <sup>a</sup> | 0/42 <sup>a</sup>  | 62/42 <sup>a</sup>  | 27/03 <sup>ab</sup> |
| نجف آباد | 3/49 <sup>a</sup>  | 0/39 <sup>b</sup> | 0/38 <sup>ab</sup> | 57/17 <sup>b</sup>  | 26/23 <sup>ab</sup> |
| قمشه     | 3/33 <sup>b</sup>  | 0/38 <sup>b</sup> | 0/36 <sup>b</sup>  | 53/93 <sup>b</sup>  | 25/25 <sup>b</sup>  |

\* حروف مشابه در هر ستون بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح 1 درصد.

جدول 8- نتایج تجزیه مرکب مقایسه میانگین تأثیر مقادیر مختلف گوگرد در مکان‌های مختلف بر غلظت عناصر غذایی دانه کلزا

| مکان     | گوگرد<br>(کیلوگرم در هکتار) | نیتروژن            | فسفر               | گوگرد              | آهن                 | روی                 |
|----------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|          |                             |                    | درصد               |                    | میلی گرم در کیلوگرم |                     |
| چغانرگس  | 0                           | 3/22 <sup>h</sup>  | 0/46 <sup>d</sup>  | 0/36 <sup>eh</sup> | 59 <sup>e</sup>     | 26/3 <sup>df</sup>  |
|          | 250                         | 3/32 <sup>eh</sup> | 0/49 <sup>cd</sup> | 0/41 <sup>ad</sup> | 61 <sup>d</sup>     | 28/7 <sup>b</sup>   |
|          | 500                         | 3/46 <sup>bc</sup> | 0/53 <sup>ab</sup> | 0/41 <sup>ad</sup> | 61/8 <sup>cd</sup>  | 30/7 <sup>a</sup>   |
|          | 1000                        | 3/45 <sup>bc</sup> | 0/52 <sup>ab</sup> | 0/42 <sup>ac</sup> | 62/8 <sup>ab</sup>  | 31/5 <sup>a</sup>   |
| ماهیدشت  | 0                           | 3/3 <sup>dg</sup>  | 0/48 <sup>cd</sup> | 0/38 <sup>cg</sup> | 61/2 <sup>d</sup>   | 25/9 <sup>dg</sup>  |
|          | 250                         | 3/4 <sup>cf</sup>  | 0/50 <sup>bc</sup> | 0/43 <sup>ab</sup> | 62/2 <sup>bc</sup>  | 26/8 <sup>ce</sup>  |
|          | 500                         | 3/4 <sup>be</sup>  | 0/56 <sup>a</sup>  | 0/43 <sup>ab</sup> | 62/8 <sup>ab</sup>  | 27/2 <sup>bd</sup>  |
|          | 1000                        | 3/6 <sup>a</sup>   | 0/54 <sup>a</sup>  | 0/44 <sup>a</sup>  | 63/5 <sup>a</sup>   | 28/2 <sup>bc</sup>  |
| نجف آباد | 0                           | 2/35 <sup>cg</sup> | 0/37 <sup>fg</sup> | 0/35 <sup>fh</sup> | 56 <sup>h</sup>     | 24/8 <sup>fg</sup>  |
|          | 250                         | 3/45 <sup>bd</sup> | 0/39 <sup>eg</sup> | 0/37 <sup>dh</sup> | 56/9 <sup>g</sup>   | 25/9 <sup>dg</sup>  |
|          | 500                         | 3/54 <sup>ab</sup> | 0/4 <sup>ef</sup>  | 0/39 <sup>bf</sup> | 57/7 <sup>fg</sup>  | 26/7 <sup>ce</sup>  |
|          | 1000                        | 3/64 <sup>a</sup>  | 0/42 <sup>e</sup>  | 0/40 <sup>ae</sup> | 58/1 <sup>f</sup>   | 27/4 <sup>bd</sup>  |
| قمشه     | 0                           | 3/26 <sup>gh</sup> | 0/36 <sup>g</sup>  | 0/33 <sup>h</sup>  | 53 <sup>k</sup>     | 24/5 <sup>g</sup>   |
|          | 250                         | 3/31 <sup>fh</sup> | 0/37 <sup>fg</sup> | 0/35 <sup>gh</sup> | 53/5 <sup>jk</sup>  | 25/03 <sup>fg</sup> |
|          | 500                         | 3/37 <sup>cg</sup> | 0/39 <sup>eg</sup> | 0/37 <sup>dh</sup> | 54/3 <sup>ij</sup>  | 25/6 <sup>eg</sup>  |
|          | 1000                        | 3/39 <sup>cf</sup> | 0/39 <sup>eg</sup> | 0/38 <sup>cg</sup> | 54/9 <sup>i</sup>   | 25/9 <sup>dg</sup>  |

\* حروف مشابه در هر ستون در نیتروژن، روی و پروتئین در بین تیمارهای کودی نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و در فسفر و آهن در سطح احتمال پنج درصد.

\*\* برای گروه بندی‌های که شامل تعداد زیادی حروف می‌باشد، در جدول به صورت خلاصه روی اعداد ذکر شده است مثلاً abcde به صورت ae.

به‌طورکلی نتایج این تحقیق در مناطق مختلف نشان داد عملکرد، درصد روغن، درصد پروتئین، غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، آهن و روی در دانه کلزا با مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس افزایش یافت که این ناشی از کاهش pH خاک در نتیجه اکسیداسیون گوگرد عنصری توسط باکتری‌های تیوباسیلوس و تولید اسیدسولفوریک و افزایش حلالیت عناصر غذایی در خاک است. در این پژوهش مشاهده شد تیمار 1000 کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با 20 کیلوگرم باکتری تیوباسیلوس، بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد و میزان عناصر غذایی قابل‌جذب بوسیله کلزا در مکان‌های آزمایشی داشت که با نتایج بابایی و همکاران (1391) و بشارتی و همکاران (1395) نیز مطابقت داشت که به این

نتیجه رسیدند که کاربرد 1000 کیلوگرم گوگرد برای افزایش درصد روغن و عملکرد در گیاهان کلزا و ذرت مناسب می‌باشد. نتایجی مشابهی همچنین توسط موتیور و همکاران (2011) گزارش شده است که با مصرف 5 تن گوگرد در هکتار، بیش‌ترین عملکرد ذرت دانه‌ای و مقدار جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، گوگرد، آهن و روی بدست آمد. آن‌ها اشاره کردند که یک همبستگی مثبت میان عملکرد و مقدار جذب عناصر غذایی وجود دارد. سلیم‌پور و همکاران (2010) گزارش کردند که عملکرد دانه کلزا با کاربرد گوگرد و سنگ فسفات در مقایسه با تیمار شاهد 22/2 درصد افزایش یافت. همچنین بالوئی و همکاران (2009) اظهار داشتند که کاربرد 150 الی 300 کیلوگرم در هکتار گوگرد، باعث افزایش

معنی‌داری در عملکرد دانه، قسمت‌های هوایی و شاخص برداشت در سویا شد. در این آزمایش کمترین افزایش عملکرد دانه کلزا و سایر خصوصیات کیفی آن در منطقه قمشه، که خاک آن از مقدار گوگرد قابل جذب و درصد آهک بیش‌تری برخوردار بود، مشاهده شد. مقدار گوگرد قابل جذب و درصد آهک آن به‌ترتیب 27 میلی‌گرم در کیلوگرم و 35 درصد بود. همچنین تفاوت معنی‌داری بین کاربرد تیمارهای 250، 500 و 1000 کیلوگرم گوگرد عنصری در هکتار و باکتری تیوباسیلوس روی عملکرد و غلظت عناصر غذایی در دانه کلزا در این منطقه وجود نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند.

بیشترین افزایش عملکرد، غلظت عناصر غذایی و درصد روغن در دانه کلزا در مقایسه با تیمار شاهد در مناطق چغانرگس و ماهیدشت که دارای مقدار گوگرد قابل جذب و درصد آهک کم‌تری بودند، بدست آمد. مقدار گوگرد قابل جذب و درصد آهک در چغانرگس و ماهیدشت به‌ترتیب 7 میلی‌گرم در گیلوگرم، 16 درصد و 13 میلی‌گرم در کیلوگرم و 25 درصد بود. بنابراین مشخص شد هر چه مقدار گوگرد قابل جذب و درصد آهک خاک بیش‌تر شد، تأثیر مصرف گوگرد عنصری بر عملکرد، غلظت عناصر غذایی و درصد روغن در کلزا کم‌تر بود. مصرف بیش از اندازه گوگرد با تبدیل مقدار زیادی از کربنات کلسیم خاک به گچ، باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک (شوری) و غلظت بالای یون کلسیم در محلول خاک و در نتیجه تبدیل یون‌های فسفات به صورت فسفات‌های مختلف کلسیم و کاهش غلظت فسفر قابل جذب در خاک می‌شود (بابایی و همکاران، 1391). اثر بخشی گوگرد منوط به آکسایش آن و تولید اسید سولفوریک است که بستگی به حاصلخیزی خاک، جمعیت ریزجانداران اکسید کننده گوگرد در خاک، رطوبت و درجه حرارت خاک، pH خاک، ماده آلی و مدیریت محصول دارد (کلر و همکاران، 2013؛ بشارتی، 2017). در این آزمایش مشخص شد در مناطقی که مقدار گوگرد قابل جذب بالاتری دارند، نیازی به استفاده

کمی گوگرد دارند. در خاک چغانرگس در مقایسه با قمشه که دارای درصد آهک و گوگرد قابل جذب کمتر و درصد کربن آلی بیش‌تر می‌باشد و تأثیر کاربرد گوگرد بر عملکرد و سایر خصوصیات کیفی اندازه‌گیری شده در کلزا بیش‌تر بود و در قمشه با 35 درصد آهک و 27 میلی‌گرم در کیلوگرم گوگرد قابل جذب، عملکرد و غلظت عناصر غذایی دانه کلزا کمتر تحت تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس قرار گرفت و اختلاف معنی‌داری در غلظت عناصر غذایی مانند فسفر، گوگرد، آهن و وری در دانه در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده نشد که نتایج مشابهی توسط موتیور و همکاران (2011) گزارش شده است که کاربرد مقادیر مختلف گوگرد، تأثیر مثبتی بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در خیار نداشت که این نتایج را می‌توان بوسیله خصوصیات خاک محل آزمایش توضیح داده شود و این برخلاف آنچه مرسوم است که هر چه درصد آهک خاک بیش‌تر باشد، نیاز به کاربرد گوگرد بیش‌تر می‌باشد (بشارتی و همکاران، 1395).

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در تمامی مزارع مورد آزمایش، کاربرد گوگرد عنصری بر افزایش عملکرد، غلظت عناصر غذایی، درصد پروتئین و روغن در دانه کلزا امیدوارکننده بود و این بیانگر پتانسیل خوب گوگرد برای کاربرد در بخش کشاورزی می‌باشد. در این تحقیق مشخص شد که مصرف گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس در مناطق چغانرگس و ماهیدشت بر عملکرد، غلظت عناصر غذایی و درصد روغن دانه کلزا مؤثرتر بود. این مناطق دارای گوگرد قابل جذب و درصد آهک کمتری در مقایسه با سایر مناطق بودند. بنابراین هر خاکی دارای پتانسیل خاص خود است و تنها درصد کربنات کلسیم، معیار مناسبی برای کاربرد گوگرد در خاک‌های آهکی نمی‌باشد. ضروری است به‌منظور مدیریت مصرف بهینه گوگرد و رعایت جنبه‌های اقتصادی، قبل از کاشت محصولات زراعی علاوه بر درصد کربنات کلسیم، مقدار قابل جذب عناصر غذایی از جمله گوگرد، هدایت

حاوی بنیان سولفات‌ها نظیر سولفات پتاسیم، سولفات روی، سولفات منگنز در قبل از کاشت استفاده می‌شود، باید پس از محاسبه گوگرد موجود در آن منبع یا منابع کودی از مقدار گوگرد پیشنهادی، کسر شود. ضروری است که تحقیقاتی در خصوص اثرات باقی‌مانده گوگرد در خاک و تأثیر آن روی محصولات زراعی به ویژه دانه‌های روغنی انجام شود تا مدت زمان کاربرد هر چند سال یک بار آن نیز مشخص شود.

الکتریکی و درصد کربن آلی خاک اندازه‌گیری و در توصیه کودی لحاظ شود. با توجه به نتایج بدست آمده این تحقیق، مصرف 500-1000 کیلوگرم گوگرد همراه با 20 کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس، برای مناطقی که مقدار گوگرد قابل جذب خاک آن‌ها، پایین‌تر از حد بحرانی گوگرد قابل جذب در خاک باشد، پیشنهاد می‌شود. همچنین هرچه مقدار هدایت الکتریکی خاک بیشتر باشد، مقدار کود گوگردی توصیه شده کمتر خواهد بود. لازم به ذکر است در صورتی از سایر منابع کودی که

### فهرست منابع:

1. امانی، ف.، رئیس، ف.، پیرانوند، ن.، موسوی شلمانی، م. ا. 1386. رشد و عملکرد دو رقم سویا در سطوح مختلف گوگرد تحت شرایط گلخانه‌ای. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، 6 شهریور 1386 - دانشگاه تهران، کرج.
2. بابایی، پ.، گلچین، ا.، بشارتی، ح.، افضلی، ح. 1391. تأثیر کود میکروبی گوگرد بر جذب عناصر غذایی و عملکرد سویا در مزرعه. مجله پژوهش خاک (علوم خاک و آب). جلد 26 شماره 2، ص 146-152.
3. بای بوردی، ا.، ملکوتی، م.، ج. 1382. اثرات سطوح ازت و منگنز بر عملکرد و کیفیت دو رقم کلزای پاییزه. مجله علمی و پژوهشی خاک و آب. جلد 17 شماره 1، ص 1-8.
4. بشارتی، ح.، خسروی، ه.، مستشاری، م.، کامران میرزاشاهی، ک.، قادری، ج.، ذبیحی، ح. 1395. بررسی اثر تیوباسیلوس، گوگرد و فسفر بر شاخص‌های رشد ذرت در برخی از مناطق ایران. مجله علمی و پژوهشی تحقیقات کاربردی خاک. انتشارات دانشگاه ارومیه. جلد 4 شماره 1، ص 103-112.
5. بناری، ع.، موسوی نیک، م.، بهدانی، م. ع.، بشارتی، ح. 1392. تأثیر مقادیر کود آلی گوگرد و تقسیط نیتروژن بر عملکرد و اجزاء آن در آفتابگردان. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد 6 شماره 1، ص 1-15.
6. خادم، ا. 1386. تأثیر مواد آلی و گوگرد بر قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در خاک‌های آهکی، گچی و اسیدی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان. ایران.
7. خادمی، ز.، بلالی، م.، ر. اسدی، ف.، شهبازی، ک.، رضایی، ح.، فیض الله زاده اردبیلی، م.، بارزگان، ک. و طهرانی، م. ح. 1390. افزایش کارایی کودهای پرمصرف و بررسی نقش گوگرد و منیزیم بر افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گندم. گزارش نهایی شماره 1703، انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب، 424 ص.
8. رحیمیان، ز. 1390. اثر گوگرد و تیوباسیلوس به همراه ماده آلی بر صفات کمی و کیفی کلزا. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد 12 شماره 3، ص 19-27.
9. شرفی، س.، عباس دخت، ح.، چائی چی، م.، ر. اردکانی، م.، ر. قاسمی، ث. 1389. بررسی تأثیر رقم، تلقیح بذر با تیوباسیلوس و اشکال مختلف کاربرد نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پاییزه. علوم گیاهان زراعی ایران. جلد 41 شماره 3، ص 459-468.

10. صفاری، م.، مددی زاده، م.، شریعتی نیا، ف. 1390. بررسی آثار تغذیه‌ای عناصر نیتروژن، بور و گوگرد بر خصوصیات کمی و کیفی دانه گلرنگ. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. جلد 42 شماره 1، ص 133-141.
11. قبادی، م.، جهان بین، ش.، اولیایی، ح.، مطلبی فرد، ر.، پرویزی، و. 1392. تأثیر کودهای زیستی فسفر بر عملکرد و جذب فسفر در سبب زمینی. نشریه دانش آب و خاک. جلد 23 شماره 2، ص 125-138.
12. گوهرگانی، ج. 1394. مدیریت مصرف گوگرد بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف در خاک و دانه کلزا در یک خاک آهکی. نشریه علمی و پژوهشی زیست شناسی خاک. انتشارات موسسه تحقیقات خاک وآب. جلد 4 شماره 3، ص 73-82.
13. مصطفوی راد، م.، طهماسبی سروستانی، ز.، مدرس ثانوی، س.ع. م.، قلاوند، ا. 1390. ارزیابی عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان عناصر ریزمغذی بذر در ارقام پر محصول کلزا تحت تأثیر مقادیر مختلف گوگرد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد 40 شماره 1، ص 43-60.
14. ملکوتی، م. ج.، کشاورز، پ.، کریمیان، ن. 1387. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، 550 ص.
15. مومن، ا.، پازوکی، ا.، ممیزی، ح. ر. 1392. اثر گوگرد گرانوله و کمپوست بر خصوصیات گندم بم منطقه سمنان. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد 3 شماره 9، ص 35-46.
16. میرزاپور، م. ه.، خاوازی، ک.، محمد رضا نایینی، م. ر. 1396. تأثیر کاربرد گوگرد، باکتریهای تیوباسیلوس و فسفر بر عملکرد کلزا و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک. نشریه زیست شناسی خاک. جلد 5 شماره 2، ص 109-122.
17. نخ زری مقدم، ع.، غفاری، س.، راحمی کاریزکی، ع.، صلاحی فراهی، م. 1394. اثر سطوح مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن دانه آفتابگردان در منطقه گنبد. نشریه تولید گیاهان روغنی. جلد 2 شماره 2، ص 25-34.
18. Ahmed, A. Z. 2013. Study Influence Of Elemental Sulphur Compared with Foliar Spray Fertilizers on Productivity and Maintenance Calcareous Soil. Nature and Science. 11(5):26-34.
19. Altaf, A., Khanand, V., and Abdin, M. Z. 2000. Effect of sulphur fertilization on oil accumulation, acetyl-Co A concentration and acetyl-Co A carboxylase activity in the developing seeds of rapeseed (*Brassica napus* L.). Australian Journal of Agriculture. 51: 1023-1029.
20. Balloei, F., Ardakani, M. R., Rejali, F., Ramzanpoor, M. R., Alizade, G. R., and Mohebbati, F. 2009. Effect of Thiobacillus and Mycorrhiza fungi under different levels of sulfur on yield and yield components of soybean. International Symposium "Root Research and Applications", RootRAP, Boku, Vienna, Austria.
21. Besharati, H. 2017. Effects of sulfur application and Thiobacillus inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. Journal of Plant Nutrition. 40:447-56. doi:10.1080/01904167.2016.1245326.
22. Black, C. A., Evans, D. D., and Dinauer, R. C. 1965. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 653-708.
23. Boem, G. F. H., Prysupa, P., and Ferraris, G. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. Journal of Plant Nutrition. 30(1): 93-104.
24. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal. 54(5): 464-465.

25. Bromfield, A. R., Hancock, I. R., and Debenhm, D. F. 1981. Effect of ground rock phosphate and elemental S on yield and P uptake of maize in western Kenya. *Experimental Agriculture*, 17: 383-387.
26. Ebrahimian, E., Bybordi, A., and Pasban Eslam, B. 2010 Efficiency of zinc and iron application methods on sunflower. *Food, Agriculture and Environment*. 8(3): 783-789.
27. Food and Agriculture Organization. 2007. Available at <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>. Last access on 20.03.2008.
28. Fox, R. L., Alson, R. A., and Rhoades, H. F. 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. *Soil Science Society of American, Proceedings*. 21: 287-292.
29. Kaler, A. S. 2013. Elemental sulfur effects on nutrient availability in organic soil having variable calcium carbonate. MS thesis, Florida University, Gainesville, FL.
30. Kandil, H., and Gad, G. 2012. Growth and oil production of canola as affected by different sulphur sources. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2(5): 5196-5202.
31. Karimi, F., Bahmanyar, M. A., and Shahabi, M. 2012. Investigation the effects of sulfur and cattle manure application on macronutrient availability in calcareous soil and accumulation in leaf and seed of canola. *European Journal of Experimental Biology*. 2 (3): 836-842.
32. Karimizarchi, M., Aminuddin, H., Khanif, M. Y., and Radziah, O. 2014a. Elemental sulfur application effects on nutrient availability and sweet maize response (*Zea mays* L.) in a high pH soil of Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*. 18: 75-86.
33. Jackson, G. D. 2000. Effects of nitrogen and sulfur on canola yield and nutrient uptake. *Agronomy Journal*. 92:644-649.
34. Jacob, J., and Lawlor, D.W. 1992. Dependence of photosynthesis of sunflower and maize on phosphate supply, ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/ oxygenase activity, and ribulose-1,5-biphosphate pool size. *Plant Physiology*. 98:801-807.
35. Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
36. Malhi, S. S., and Gill, K. S. 2002. Effectiveness of sulphate-S fertilization at different growth stages for yield, seed quality and S uptake of canola. *Canadian of Journal and Plant Science*. 82:665-674.
37. Malhi, S. S., Y. Gan., and Raney, J. P. 2007. Yield, seed quality, and sulfur uptake of *Brassica* oilseed crops in response to sulfur fertilization. *Agronomy Journal*. 99:570-577.
38. McLean, E. 1982. Soil pH and lime requirement. *Methods of Soil Analysis-Part2. Chemical and Microbiological properties. Agronomy Monograph*, 9.2, pp. 199-224.
39. Motior, M. R., Abdou, A. S., Fareed, H. A. D., and Sofian, M. A. 2011. Responses of sulfur, nitrogen and irrigation water on *Zea mays* growth and nutrients uptake. *Australian Journal of Crop Science*. 5(3): 347-357.
40. Motior, M. R., Abdou, A. S., Al-Darwish, H. F., El-Tarabily, K. A., Awad, M. A., Golam, F., and Sofian-Azirun, M. 2011. Influence of elemental sulfur on nutrient uptake, yield and quality of cucumber grown in sandy calcareous soil. *Australian Journal of Crop Science*. 5:1610-15.
41. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe F. S., and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U. S. Department of Agriculture Circular*, pp: 939.
42. Pedler, J. F., Parker, D. R., and Crowley, D. E. 2000. Zinc deficiency- induced phyto siderophore release by the Triticaceae is not consistently expressed in solution culture. *Planta*. 211: 120- 126.

43. Ryan, J., Estefan, G., and Rashid, A. 2007. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, Icarda, 172p.
44. Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., and Dharmatti, P. R. 2010. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal of Agricultural Science. 21(3): 382-385.
45. Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., and Miransari, M. 2010. Enhancing phosphorus availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Australian Journal of Crop Science. 4:330-34.
46. Salwa, A. I., Eisa, M. M., Abass, M., and Behary, S. S. 2010. Amelioration productivity of sandy soil by using Amino acids, sulphur and micronutrients for sesame production. American Science. 6(11): 250-257.
47. Tabasi, A., Dadashi, M. R., and Faraji, A. 2017. Effect of different sulfur levels plus Thiobacillus on yield and yield components of Canola (*Brassica Napus* L.) cultivars in Gorgan, Iran. Azarian Journal of Agriculture. 4(3): 87-94.
48. Walkley, A., and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37(1): 29-38.



## درجه‌بندی نمایه کیفیت حاصلخیزی خاک بر مبنای عملکرد برنج در

### شالیزارهای بخش کوچصفهان استان گیلان

شهریار بابازاده جعفری، محمد فیضیان<sup>1</sup> و ناصر دوات‌گر

دانشجوی دکتری دانشگاه لرستان؛ babazadeh50@yahoo.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان؛ feizian.m@lu.ac.ir

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ n.davatgar@areeo.ac.ir

دریافت: 1400/2/8 و پذیرش: 1400/9/29

#### چکیده

برنج (*Oryza sativa L.*) یکی از محصولات زراعی و راهبردی کشور است. یکی از عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد برنج، شناخت وضعیت حاصلخیزی و کیفیت خاک‌های شالیزاری است. این مطالعه با هدف تعیین کیفیت حاصلخیزی خاک و شناسایی عوامل محدود کننده آن در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان انجام شد. بدین منظور، پیش از کشت برنج، تعداد 130 نمونه خاک مرکب سطحی با توزیع جغرافیایی یکنواخت برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت خاک تهیه شد و سپس عملکرد برنج در 70 موقعیت مکانی اندازه‌گیری شد. از تجزیه به مؤلفه اصلی و منطق فازی به ترتیب برای تهیه مجموعه حداقل داده‌های مؤثر و رتبه‌بندی کیفی ویژگی خاک استفاده شد. پس از تعیین شاخص کیفیت خاک با استفاده از الگوریتم تلفیقی ارتباط آن با عملکرد برنج به روش‌های آماری (گرسیون) و آمار مکانی بررسی شد. ویژگی‌های نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و آهن قابل استفاده، درصد رس و سیلت و گنجایش تبادل کاتیونی به عنوان مجموعه حداقل داده‌های مؤثر، 72% از تغییرات خاک‌های مطالعه شده را توصیف نمودند. اراضی شالیزاری واقع در نیمه غربی کوچصفهان محدودیت بیشتری در نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده خاک داشتند. این خاک‌ها همچنین کیفیت حاصلخیزی کمتری داشتند. بخشی از اراضی واقع در شمال و شمال شرقی ناحیه مطالعه شده با شاخص کیفیت خاک بیشتر از 0/95 در گروه خاک‌های خیلی حاصلخیز قرار داشتند. در این خاک‌ها عملکرد برنج نیز نسبت به دیگر مناطق بیشتر بود. کمترین میزان عملکرد برنج رقم هاشمی به مقدار 3500 کیلوگرم در هکتار در نیمه جنوبی و بالاترین عملکرد 5272 کیلوگرم در هکتار در نیمه شرقی ناحیه مطالعه شده بدست آمد. با توجه به کمبود نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده به ترتیب در 36% و 50% از اراضی مطالعه شده، لازم است توصیه کودی این عناصر غذایی به صورت ویژه مکان و متناسب با کیفیت حاصلخیزی خاک انجام شود.

**واژه‌های کلیدی:** مجموعه حداقل داده‌ها، نیتروژن کل خاک، فسفر قابل استفاده، نمایه کیفیت خاک

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: لرستان، خرم‌آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

## مقدمه

برنج از جمله محصولات زراعی است که در سبد غذایی خانوار ایرانی نقش مهمی دارد (حیدری کمال آبادی و همکاران، 1395). مصرف سرانه برنج در ایران 38 کیلوگرم است (علی نیا و همکاران، 1394). استان گیلان 26 درصد تولید و 24/6 درصد سطح زیر کشت شلتوک کشور را دارا است (آمارنامه کشاورزی، 1398). در این استان هر ساله بیش از 200 هزار بهره‌بردار در سطحی بیش از 238 هزار هکتار از اراضی شالیزاری، برنج کشت می‌کنند (بی‌نام، 1398). بهبود بهره‌وری اراضی شالیزاری می‌تواند ابزار مهمی برای افزایش تولید و تأمین امنیت غذایی باشد. یکی از ابزارهای مدیریت بهینه اراضی، آگاهی از کیفیت خاک است. مفهوم کیفیت خاک در برگرفته ارزیابی ویژگی‌ها و فرآیندهای خاک است، زیرا آنها به توانایی عملکرد خاک به عنوان مؤلفه‌ای از یک زیست بوم سالم مربوط می‌شوند (بونمان و همکاران، 2018). ارزیابی کیفیت خاک در مسایل مربوط به تولید پایدار و امنیت غذایی، پایداری محیطی و نیز کیفیت و سلامت تغذیه انسان کمک می‌کند. شناخت کیفیت خاک در سامانه‌های مختلف مدیریتی با استفاده از شاخص کیفیت خاک  $(SQI)^1$  امکان پذیر است.

شاخص کیفیت خاک  $(SQI)$  به بهره‌برداران کمک می‌کند تا اثرات مثبت و منفی فعالیت‌های مدیریتی بر تولید محصول را ارزیابی کنند (بهادری و پوراکایاستا، 2014). کیفیت خاک، گنجایش عملکردی یک خاک است (دوران و پارکین، 1994؛ کارلن و همکاران، 1994؛ شوکلا و همکاران، 2006). ارزیابی مناسب کیفیت خاک نیاز به اندازه‌گیری تعداد زیادی از ویژگی‌ها دارد (بولودا و همکاران، 2014). کیفیت خاک را نمی‌توان مستقیم اندازه‌گیری کرد زیرا کارکردهای ویژه آن که توسط زیست بوم‌ها ارائه می‌شود، متغیر بوده و به ویژگی‌ها و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بی‌شمار خاک متکی هستند که می‌توانند در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت

باشند (دوران، 2002؛ نانی پیری و همکاران، 2003؛ ون دینینگن و همکاران، 2006؛ اشپیگل و همکاران، 2015). بدین ترتیب انتخاب یک مجموعه پیش فرض از ویژگی‌های خاک به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک صحیح نیست، زیرا این مجموعه در بین نظام‌های کشاورزی و بسته به اهداف مدیریتی متفاوت هستند.

تعیین شاخص کیفیت خاک  $(SQI)$  در سه گام انجام می‌شود: 1) انتخاب روش‌هایی برای تهیه یک مجموعه حداقلی از داده‌ها<sup>2</sup>  $(MDS)$ ، 2) تبدیل ویژگی‌های کمی خاک به ویژگی (متغیر) کیفی (از طریق نمره-دهی) و تعیین وزن هر یک از آنها و 3) تلفیق ویژگی کیفی در یک شاخص کیفیت خاک (آندریوس و همکاران، 2002).

دلی و همکاران (2018) در بررسی اثر ویژگی‌های شیمیایی اراضی شالیزاری منطقه کینیکی ژاپن بر عملکرد برنج گزارش کردند که در ناحیه مطالعه شده از تعداد نه ویژگی بررسی شده، تنها سیلیسیم، پتاسیم قابل استفاده و نیتروژن (به شکل آمونیوم) تأثیر مثبتی بر عملکرد برنج داشت. آنها همچنین اعلام کردند عملکرد تحت تأثیر مدیریت کشت و نوع رقم برنج نیز قرار دارد. دارسو وینو و همکاران (2017) در مطالعه ارزیابی شاخص کیفیت خاک‌های شالیزاری اندونزی گزارش کردند، از بین کل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های مطالعه شده ویژگی‌های مؤثر در شاخص کیفیت خاک اراضی شالیزاری عبارت از کربن آلی، چگالی ظاهری، پتاسیم قابل استفاده و نیتروژن کل بودند.

لیو و همکاران (2015) در پژوهشی در جنوب چین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک‌های شالیزار را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که بین شاخص کیفیت خاک و مقدار عملکرد برنج همبستگی مثبت و معنی‌دار  $(R^2=0/20)$  وجود دارد.

<sup>2</sup> Minimum Data set

<sup>1</sup> Soil Quality Index

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه

منطقه مطالعه شده شامل اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان از توابع شهرستان رشت به مساحت 11320 هکتار در مختصات جغرافیایی  $49^{\circ} 41'$  تا  $49^{\circ} 53'$  شرقی و  $37^{\circ} 13'$  تا  $37^{\circ} 20'$  شمالی است. این ناحیه دارای خاک‌های آبرفتی با شیب کمتر از 1 درصد و اقلیم منطقه بر پایه روش‌های طبقه‌بندی دومارتن و آمبرژه، بسیار مرطوب است. همچنین طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (بنایی، 1377) خاک‌های منطقه مطالعه شده دارای رژیم‌های رطوبتی بودیک و رژیم حرارتی مزیک و بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی، در رده‌های انتی سول، اینسپتی سول و آلفی سول طبقه‌بندی می‌شوند. بلندترین و پست‌ترین نقاط آن به ترتیب دارای ارتفاع 22/8 و 21/24- متر از سطح دریا است. میانگین درجه حرارت سالیانه، 15/8 درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه، 1359 میلی‌متر می‌باشد و بیشترین کاربری اراضی منطقه، کشت محصول برنج است.

### نمونه‌برداری خاک و تجزیه آزمایشگاهی

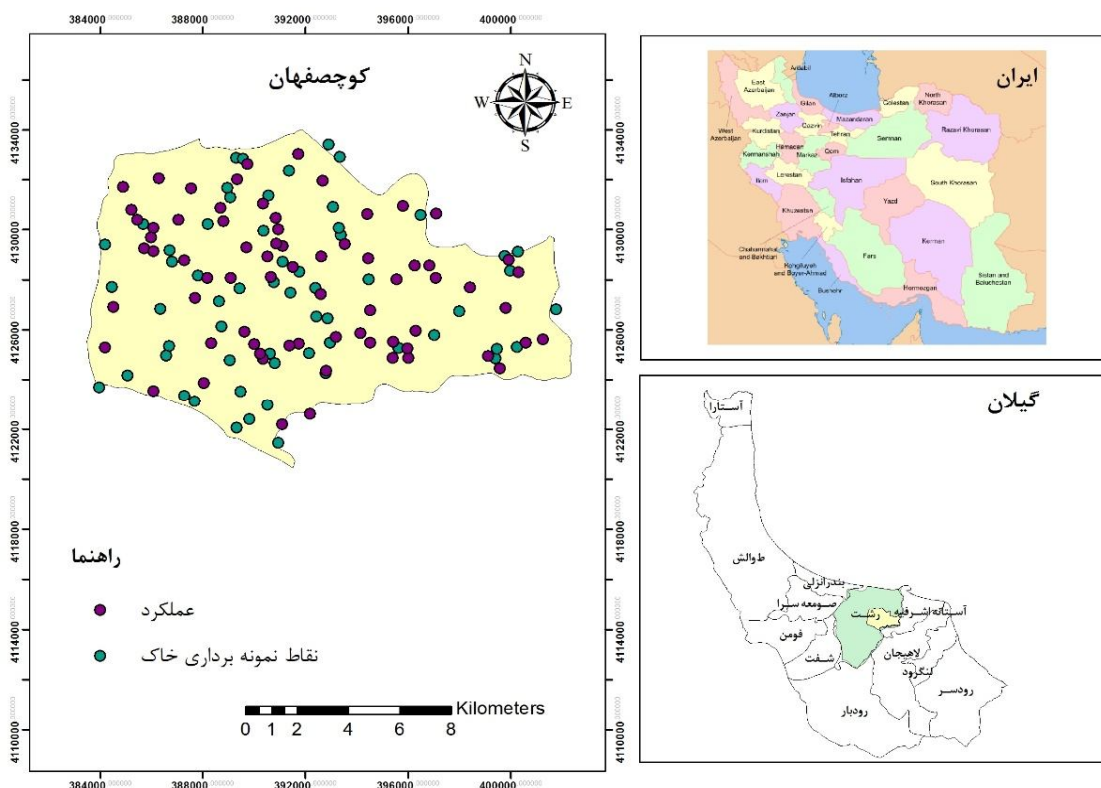
تعداد 130 نمونه خاک سطحی مرکب اراضی شالیزاری از عمق 0-30 سانتی متر با توزیع جغرافیایی یکنواخت پس از ثبت موقعیت جغرافیایی با دستگاه GPS نمونه‌برداری شد. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده و نقاط نمونه‌برداری در شکل یک نشان داده شده است. همچنین پرسش‌نامه‌ای در برگیرنده اطلاعات زراعی، مدیریت کود و آب برای هر یک از کشاورزان تهیه و تکمیل شد. نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتر بایکاس، واکنش خاک (pH) در گل اشباع با الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به روش هدایت سنجی، کربن آلی (OC) به روش اکسیداسیون تر، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش جایگزینی با استات سدیم در  $pH=7$ ، فسفر قابل استفاده

ارزیابی‌های صورت گرفته نشان داد که اراضی شالیزاری استان گیلان دارای محدودیت حاصلخیزی خاک هستند (دواتگر و همکاران، 1394). ارزیابی کیفیت حاصلخیزی اراضی شالیزاری استان گیلان بیشتر در دشت فومنات واقع در غرب استان انجام شد که نتایج نشان دهنده وجود تغییرات مکانی در عناصر غذایی پرمصرف و غیر یکنواختی در کیفیت حاصلخیزی خاک بود (دلسوز خاکی و همکاران، 2017؛ دواتگر و همکاران، 1398). شهرستان رشت که بخش کوچصفهان در آن قرار دارد، دارای بیشترین سطح کشت برنج در استان گیلان است. یکی از تنگناها و مشکلات توسعه در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان پایین بودن مقدار عملکرد برنج است (اسدی پرور و همکاران، 1393). مقدار توصیه عمومی کودی برای گیاه برنج (رقم هاشمی) در استان گیلان عبارت از مصرف 60 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره، 45 کیلوگرم پتاسیم فسفر از منبع سوپر فسفات و 100 کیلوگرم اکسید پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم است (پاداشت دهکائی و همکاران، 1394).

مصرف این مقدار ثابت و توزیع یکنواخت کود سبب می‌شود که در مناطق دارای حد کفایت عناصر غذایی، بیش بود عناصر غذایی، افزایش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست محیطی مطرح شود؛ اما در مناطق دچار کمبود عناصر غذایی، کود مصرف شده جبران نیازمندی عناصر غذایی گیاه را ننموده و کمبود عنصر غذایی در خاک همچنان باقی می‌ماند. این بدین معنی است که توصیه‌های موجود، تغییرپذیری حاصلخیزی خاک و تنوع مزارع را از نظر وضعیت عرضه عناصر غذایی به گیاه و نیز پاسخ محصول در نظر نمی‌گیرند. بنابراین تعیین شاخص کیفیت حاصلخیزی و بهره‌وری خاک می‌تواند راهگشا باشد. این مطالعه با هدف: (1) ارزیابی کیفیت حاصلخیزی اراضی شالیزاری، (2) تعیین ویژگی‌های موثر بر آن و (3) بررسی تأثیر شاخص کیفیت خاک بر عملکرد برنج در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان شهرستان رشت انجام شد.

فیزیولوژی گیاه در 70 موقعیت جغرافیایی از سطحی به ابعاد 1 متر × 1 متر از مزرعه برداشت و پس از شمارش تعداد بوته‌ها و جداسازی کاه از خوشه، عملکرد دانه پس از توزین و تصحیح وزن در رطوبت 14 درصد محاسبه شد.

(Ava.P) به روش اولسن، نیتروژن کل (TN) بر اساس روش کج‌دال، پتاسیم قابل استفاده (Ava.K) به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، عناصر کم‌مصرف قابل استفاده: روی (Zn)، آهن (Fe)، منگنز (Mn) و مس (Cu) به روش عصاره‌گیری با DTPA اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، محصول برنج به هنگام رسیدگی



شکل 1- موقعیت جغرافیایی بخش کوچصفهان و نقاط نمونه برداری خاک و عملکرد برنج در اراضی شالیزاری مطالعه شده

### تجزیه و تحلیل‌های آماری

(وبستر و البور، 2000). برای انجام تحلیل آمار توصیفی از نرم افزار SPSS (version 16.0) استفاده شد.

### ارزیابی کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک (SQI) به روش مجموعه حداقل داده در سه گام تعیین شد (اندروز و همکاران، 2002 و 2003). در گام نخست با استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی<sup>1</sup> ویژگی‌هایی که نماینده بهتری از

آمار توصیفی شامل آماره‌های میانگین، میان، انحراف معیار، واریانس، تقارن (جولگی)، شکل (کشیدگی) و ضریب تغییرات برای پی بردن به ویژگی‌های آماری جامعه متغیرهای مورد مطالعه محاسبه شدند. بررسی توزیع فراوانی نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد. داده‌هایی که دارای توزیع فراوانی نرمال نبودند با استفاده تبدیل لگاریتمی یا ریشه مربعات به توزیع نرمال تبدیل شدند

<sup>1</sup> Principle Component Analysis

عوامل موثر بر کیفیت خاک بودند به عنوان مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) انتخاب شدند.

این کار با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) در نرم افزار SPSS (version 16.0) انجام شد. از آزمون کایسر-مایر-اولکین<sup>1</sup> (KMO) و آزمون کروی بارتلت<sup>2</sup> در انجام PCA برای بررسی تناسب و کفایت داده‌ها استفاده شد. در صورتی که مقدار آزمون KMO بزرگ‌تر از 0/6 و آزمون بارتلت معنی‌دار شوند، انجام PCA سودمند خواهد بود. در این تحلیل، مولفه‌هایی که دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بوده به عنوان مولفه اصلی (PC) جدا و بر اساس وزن ویژگی‌های خاک در هر عامل و مقدار بار عاملی آنها، مجموعه حداقل داده تعیین شد. در هر مولفه اصلی، ویژگی با بزرگ‌ترین بار عاملی به عنوان نخستین ویژگی انتخاب می‌شود و سپس اگر هر ویژگی دیگری در محدوده ده درصد بیشترین بار عاملی ویژگی نخست قرار گیرد به عنوان ویژگی‌های مهم بعدی در نظر گرفته می‌شود (اندروز و همکاران، 2004). هنگامی که در یک مولفه اصلی بیش از یک ویژگی انتخاب شد میزان ضریب همبستگی بین آنها تعیین کننده است. در هر مولفه فقط متغیرهایی که در دامنه 10 درصد از بزرگ‌ترین بار عاملی قرار دارند در مولفه باقی‌مانده و بقیه حذف می‌شوند (اندروز و همکاران، 2002b). با توجه به این که ویژگی‌های گزینش شده در MDS دارای واحدهای متفاوت بودند، برای حذف اثر واحدها استاندارد شدند. در گام دوم برای تبدیل ویژگی‌های کمی گزینش شده به ویژگی‌های کیفی از توابع عضویت فازی به عنوان توابع نمره‌دهی استفاده شد. با استفاده از توابع فازی موسوم به نمره‌دهی خطی، کمیت ویژگی‌های خاک به اعداد پیوسته در دامنه بین 0/1 تا 1 تبدیل شدند (ولاسکوئز و همکاران، 2007).

$$Y = 0.1 + \left( \frac{X-b}{a-b} \right) \times 0.9 \quad (\text{رابطه 1})$$

$$Z = 1 - \left( \frac{X-b}{a-b} \right) \times 0.9 \quad (\text{رابطه 2})$$

که در آن یک نشان دهنده عضویت کامل ویژگی مورد نظر دارای مقادیر مطلوب (بیشتر از سطح بحرانی) و یک دهم مرز نداشتن عضویت در مجموعه (مقدار ویژگی در کمترین) است. Y و Z مقادیر متغیرها بعد از تبدیل داده‌ها، X مقادیر داده‌های اولیه و a و b به ترتیب حد بحرانی پایین و بالا را در هر یک از متغیرها نشان می‌دهند. بر پایه بررسی منابع انجام شده به غیر از پتاسیم قابل استفاده (کاووسی و همکاران 1385) برای دیگر ویژگی‌های مجموعه MDS سطح بحرانی در اراضی شالیزاری کشور تعیین نشده است. از این رو در مطالعه حاضر برای سطوح بحرانی بالا و پایین متغیرها با استفاده از سطوح پیشنهادی منابع بین المللی (دابرمن و ابرتور، 1997 و دابرمن و فیرهوست، 2000) و نظرات کارشناسی (دوات‌گر و همکاران، 1398 و ملکوتی و کاوسی، 1383) استفاده شد. از رابطه یک برای تابع تبدیل خطی "بیشتر بهتر است"، از رابطه دو برای تابع تبدیل خطی "کمتر بهتر است" و برای حالت "بهینه بهتر است" از ترکیب دو رابطه یک و دو استفاده شد (تس فان جن، 2014).

در گام سوم پس از تعیین تابع عضویت ویژگی‌های گزینش شده در مجموعه حداقل داده، سرانجام شاخص کیفیت خاک با استفاده از رابطه زیر تعیین شد (سان و همکاران، 2003):

(رابطه 3)

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

که در آن SQI شاخص کیفیت خاک،  $W_i$  وزن هر یک از ویژگی‌ها،  $N_i$  امتیاز هر یک از ویژگی‌های مؤثر در کیفیت خاک و n تعداد ویژگی‌های مجموعه حداقل داده است. برای بدست آوردن وزن ( $W_i$ ) هر ویژگی واقع در MDS از تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد و مقدار واریانس هر مولفه اصلی ( $PC_i$ ) به مجموع کل واریانس همه مولفه‌های اصلی که دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک بودند تقسیم شد. خارج قسمت آن به عنوان وزن خاص به هر یک از ویژگی‌های زیر مجموعه هر مولفه اختصاص داده شد (سان و همکاران، 2003).

<sup>1</sup>. Kaiser Criterion

<sup>2</sup>. Bartlett's test

محاسبات مربوط به توابع فازی با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

### آمار مکانی

پیش از استفاده از روش درونیابی زمین آماری، بررسی توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف صورت گرفت. داده‌ای که دارای توزیع نرمال نبود، با تبدیل‌های مناسب به توزیع نرمال تبدیل شد. برای تجزیه و تحلیل ساختار متغیرهای ناحیه‌ای مطالعه شده از نیم تغییرنما استفاده شد. تغییرنما در حقیقت سنجش گر میانگین عدم شباهت داده‌ها در دو موقعیت مکانی است (یانگ و همکاران، 2005). وبستر و الیور (2000) کمترین نمونه نیازمند برای بدست آوردن یک نیم تغییرنمای پایدار را 100 نمونه ذکر کرده‌اند. در این مطالعه از 130 نمونه خاک استفاده شد. برای محاسبه نیم تغییرنما از رابطه زیر استفاده شد (لوپز-گرانادوس و همکاران، 2002):

(رابطه 4)

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

که در آن  $\gamma(h)$  نیم واریانس،  $N(h)$  تعداد جفت نقاطی است که فاصله آنها از هم به اندازه  $h$  است.  $Z(x_i)$  و  $Z(x_i+h)$  مقدار متغیر در دو نقطه است که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند. برای برازش بهترین مدل تئوری (خطی، نمایی و کروی) بر نیم تغییرنمای تجربی از مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد (سان و همکاران، 2003). تمام متغیرهای مطالعه شده از مدل‌های دارای سقف (کروی و نمایی) پیروی کردند (نتایج نشان داده نشده است). مدل نیم تغییرنمای دارای سقف، نشان دهنده وجود ساختار مکانی در این متغیرها است و می‌توان از مولفه‌های آن در فرآیند درونیابی کریجینگ استفاده کرد. برای ارزیابی صحت پهنه‌بندی متغیرها از آماره‌های میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) استفاده شد. ارزیابی ساختار مکانی با استفاده از نرم افزار GS+

(نسخه 5.1) و پهنه بندی ویژگی‌ها و شاخص‌های کیفی خاک با استفاده از Arc GIS (نسخه 10.3.1) انجام شد.

### نتایج و بحث

#### آمار توصیفی

خلاصه آماره‌های توصیفی برای ویژگی‌های خاک شالیزارهای مطالعه شده در جدول یک نشان داده شد. بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف قابلیت هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، مس قابل استفاده و درصد شن از توزیع غیرنرمال پیروی کردند. برای متغیرهای غیرنرمال با ضریب چولگی بزرگتر از یک (شن، فسفر و مس قابل استفاده) از تبدیل لگاریتمی و متغیرهای با ضریب چولگی بین نیم تا یک (قابلیت هدایت الکتریکی و نیتروژن کل) از ریشه مربعات استفاده شد (وبستر و الیور، 2000).

دامنه غلظت آهن قابل استفاده در اراضی مطالعه شده بین 3 تا 240 و میانگین آن 93 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. آهن به عنوان یکی از عناصر کم مصرف در کشت برنج ضروری است، اما غلظت زیاد آن سبب سمیت، ریزش برگ‌ها و مرگ گیاه برنج می‌شود (بورگس و همکاران، 2001). سطح بحرانی برای آشکار شدن کمبود آهن برای گیاه برنج، 4 تا 5 میلی‌گرم در کیلوگرم و برای سمیت آهن بیشتر از 300 میلی‌گرم در یک لیتر محلول خاک در نظر گرفته شده است (دابرمن و فیرهورست، 2000). دامنه روی قابل استفاده در اراضی مطالعه شده بین 1/7 تا 58/1 و میانگین آن 13 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. سطح بحرانی برای آشکار شدن کمبود روی برای گیاه برنج، 0/8 میلی‌گرم در کیلوگرم است (دابرمن و فیرهورست، 2000). کمینه غلظت مس و منگنز قابل استفاده در خاک‌های شالیزاری مطالعه شده به ترتیب 3/6 و 9/9 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که بیشتر از حد بحرانی این دو عنصر به ترتیب 0/2 و 1 میلی‌گرم در کیلوگرم (دابرمن و فیرهورست، 2000) است. با توجه به آن که کمینه عناصر کم مصرف (روی، آهن، مس و منگنز) بیشتر از حد بحرانی این عناصر در اراضی شالیزاری است، از

دابرمن و ابرتور (1997) نشان دادند که خاک‌هایی که از گنجایش تبادل کاتیونی بیشتر از 20 سانتی مول بر کیلوگرم برخوردار باشند از توانایی بیشتری در نگهداری و عرضه عناصر غذایی برخوردار خواهند بود.

این رو نیازی به مصرف کودهای حاوی این عناصر نخواهد بود. گنجایش تبادل کاتیونی یکی از ویژگی‌های شیمیایی مهم خاک است که در جذب و رهاسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نقش مؤثری دارد. دامنه گنجایش تبادل کاتیونی در اراضی مطالعه شده بین 17 تا 49 و میانگین آن 36/23 سانتی مول بار در کیلوگرم خاک بود.

جدول 1- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک

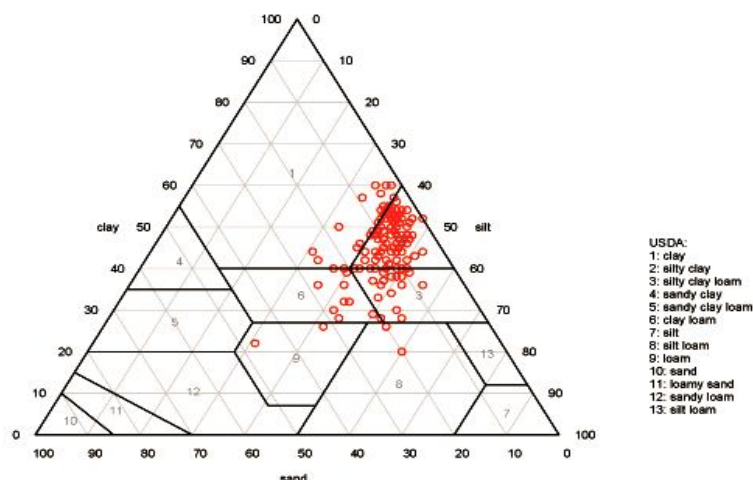
| نوع متغیر | واحد                        | کمینه | بیشینه | میانگین | انحراف معیار | واریانس | میان | چولگی  | کشی‌دگی | ضریب تغییرات (درصد) |
|-----------|-----------------------------|-------|--------|---------|--------------|---------|------|--------|---------|---------------------|
| EC        | دسی زیمنس بر متر            | 0/61  | 2/77   | 1/41    | 0/405        | 0/164   | 1/35 | 0/819  | 1/023   | 28/7                |
| pH        | -                           | 6/33  | 7/60   | 7/19    | 0/187        | 0/035   | 7/21 | -1/011 | 3/45    | 2/6                 |
| CEC       | سانتی مول بار / کیلوگرم خاک | 17    | 49     | 36/23   | 4/65         | 21/69   | 36   | -0/563 | 1/58    | 12/9                |
| OC        | درصد                        | 0/74  | 5/72   | 2/24    | 0/909        | 0/827   | 1/99 | 1/133  | 1/34    | 40/6                |
| TN        | درصد                        | 0/07  | 0/56   | 0/218   | 0/085        | 0/007   | 0/2  | 1/09   | 1/39    | 39/3                |
| AP        | میلی گرم/کیلوگرم            | 2/8   | 41/70  | 12/44   | 8/34         | 69/65   | 9/65 | 1/76   | 2/98    | 67/0                |
| AK        | میلی گرم/کیلوگرم            | 95    | 390    | 258     | 54/84        | 3007/5  | 258  | -0/027 | -0/068  | 21/2                |
| Fe        | میلی گرم/کیلوگرم            | 3     | 204    | 93      | 30/10        | 906/03  | 92/1 | 0/521  | 2/22    | 32/3                |
| Cu        | میلی گرم/کیلوگرم            | 3/6   | 25/7   | 9       | 2/253        | 5/07    | 8/5  | 4/04   | 27/89   | 26/1                |
| Mn        | میلی گرم/کیلوگرم            | 9/9   | 107/7  | 32      | 18/55        | 344/2   | 26   | 1/683  | 3/12    | 58/6                |
| Zn        | میلی گرم/کیلوگرم            | 1/7   | 58/1   | 13      | 9/48         | 90/05   | 9/7  | 1/793  | 4/13    | 72/6                |
| Si        | درصد                        | 31    | 60     | 44      | 5/02         | 25/26   | 44   | 0/13   | 0/61    | 11/4                |
| C         | درصد                        | 20    | 60     | 44/56   | 8/19         | 67/13   | 45   | -0/585 | 0/161   | 18/4                |

EC: قابلیت هدایت الکتریکی، pH: واکنش خاک، CEC: گنجایش تبادل کاتیونی، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل، Ava.P: فسفر قابل استفاده، Ava.K: پتاسیم قابل استفاده، Fe: آهن قابل استفاده، Cu: مس قابل استفاده، Mn: منگنز قابل استفاده، Zn: روی قابل استفاده، Silt: سیلت، Clay: رس

شاخص برای شن، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، روی و منگنز قابل استفاده بیش از 35 درصد بود. علت CV زیاد در فسفر قابل استفاده و نیتروژن کل می‌تواند ناشی از عوامل مدیریتی مانند تفاوت در مدیریت زراعی کشاورزان، شدت گل‌خراشی، تاریخ کاشت، مدیریت آبیاری و تفاوت در نوع و مقدار مصرف کودهای دارای نیتروژن و فسفر باشد (دواتگر و همکاران، 1398). نتایج ارزیابی پرسشنامه‌های تهیه شده از کشاورزان نشان داد که مصرف کودهای اوره در دامنه 46 تا 300 با میانگین 200 کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات 30/5 درصد، سوپرفسفات تریپل از 0 تا 167 با میانگین 84 کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات 52 درصد، سولفات پتاسیم از 0 تا 100 با

انطباق توزیع اندازه ذرات معدنی خاک بر مثلث بافت نشان داد که بیشتر خاک‌های شالیزاری ناحیه مطالعه شده به ترتیب در کلاس‌های بافتی نسبتاً سنگین رسی سیلتی و لوم رسی سیلتی قرار دارند (شکل 2). ضریب تغییرات (CV) معیاری از تغییر پذیری نسبی است. ویل‌دینگ و درس (1983) متغیرهای با CV بیشتر از 35 درصد را در گروه متغیرهای با تغییرات زیاد گروه بندی کردند. هرگاه ضریب تغییرات یک ویژگی از خاک زیاد باشد، نشان دهنده تنوع عوامل تأثیر گذار بر رفتار آن ویژگی است (ترانگمار و همکاران، 1985). روی قابل استفاده دارای بیشترین مقدار ضریب تغییرات (72/6 درصد) و pH (2/6 درصد) کمترین است. مقدار این

میانگین 18 کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات 19 درصد قرار داشتند.



شکل 2- توزیع بافت نمونه‌های خاک مطالعه شده در مثلث کلاس بافت طبقه بندی USDA.

نمودند. در مولفه اصلی اول (PC1) ویژگی کربن آلی و بدنبال آن نیتروژن کل دارای بیشترین بار عاملی (به ترتیب 0/92 و 0/93) بودند. کربن آلی مهم‌ترین منبع تأمین کننده بومی نیتروژن در خاک است. از این رو می‌توان این مؤلفه را در ارتباط با عامل بومی تأمین نیتروژن در خاک در نظر گرفت. از آنجایی که ضریب همبستگی خطی بین این دو ویژگی برابر با 0/96 ( $P \leq 0.01$ ) بود، تنها نیتروژن کل به عنوان یکی از ویژگی‌های مجموعه (MDS) انتخاب شد. در مولفه اصلی دوم (PC2) سه ویژگی به ترتیب پتاسیم قابل استفاده (0/81)، گنجایش تبادل کاتیونی (0/79) و رس (0/73) دارای بیشترین بار عاملی بودند. رس و گنجایش تبادل کاتیونی بر پتاسیم خاک مؤثر هستند. از این رو مولفه دوم را می‌توان به عنوان عوامل مؤثر بر پتاسیم قابل استفاده در نظر گرفت. از آنجایی که این ویژگی‌ها دارای ضریب همبستگی زیاد نبودند، هر سه به عنوان ویژگی‌های مستقل برای مجموعه (MDS) انتخاب شدند.

در مولفه اصلی سوم (PC3) آهن و فسفر قابل استفاده دارای بیشترین بار عاملی به ترتیب (0/78 و

دامنه pH خاک در اراضی مطالعه شده بین 6/33 تا 7/60 و میانگین آن 7/19 است. pH مناسب خاک برای برنج بین 6 تا 7 است، چون در این pH قابلیت دسترسی بیشتر عناصر پر مصرف و کم مصرف زیاد است (دابرمن و فیرهورست، 2000).

#### تعیین مجموعه حداقل داده‌ها

ضرایب همبستگی خطی بین ویژگی‌های مطالعه شده در جدول دو نشان داد که از 77 جفت مقایسه، 50 جفت آن در سطح احتمال یک و پنج درصد دارای همبستگی معنی‌دار بودند که این پدیده احتمال موفقیت در کاهش داده‌ها از راه تجزیه به مولفه‌های اصلی را توجیه می‌کند. در این مطالعه اندازه ضریب KMO، 0/76 (بیشتر از 0/6) و مقدار آزمون بارتلت (Bartlett's test) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان می‌دهند تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش داده و متغیرهای مطالعه شده سودمند باشد.

بر مبنای تجزیه مولفه‌های اصلی چهار مؤلفه دارای مقادیر ویژه بیش از یک بودند (جدول 3). این چهار مؤلفه 72/07 درصد از تغییرات خاک‌ها را توصیف

0/64 بودند. از آنجا که آهن و فسفر از عناصر ضروری برای رشد گیاه برنج هستند، این دو ویژگی به عنوان مولفه سوم در نظر گرفته شدند. این دو ویژگی دارای ضریب همبستگی خطی بالایی ( $r=0/55^{**}$ ) نبودند. در نتیجه هر دو ویژگی به عنوان ویژگی‌های مستقل در مجموعه (MDS) انتخاب شدند. در مولفه اصلی چهارم (PC4) سیلت دارای بیشترین بار عاملی (-0/790) بود و ویژگی دیگری با بار عاملی در محدوده 10 درصدی آن وجود نداشت و بنابراین به عنوان آخرین ویژگی برای (MDS) انتخاب شد. سیلت به همراه رس، ذرات غالب معدنی در اجزای بافت خاک منطقه بودند (جدول 1). سیلت نقش مستقیم در ذخیره عناصر غذایی ندارد، اما به همراه رس در نگهداری بیشتر آب مؤثر هستند و به نظر می‌رسد با افزایش رطوبت در خاک امکان دسترسی شکل محلول عناصر غذایی به گیاه بیشتر فراهم باشد.

#### وضعیت ناحیه‌ای ویژگی مجموعه حداقل داده‌ها

در مجموعه داده‌های حداقل ویژگی‌هایی از عناصر غذایی (نیتروژن کل، فسفر و آهن قابل استفاده) و مرتبط با بهره‌وری و حاصلخیزی خاک (رس، سیلت، کربن آلی و گنجایش تبادل کاتیونی) قرار گرفتند. دابرمین و اوبرتور (1997) سطح بحرانی رس را برای خاک‌های شالیزاری 35 درصد اعلام نمودند. بر این مبنا فقط در حاشیه شرقی ناحیه مطالعه شده مقدار رس کمتر از 35 درصد است (شکل 3-الف). رس خاک بر ذخیره عناصر غذایی و نگهداری آب مؤثر است. از سوی دیگر فوژن دو و همکاران (2016) نشان دادند که در خاک‌های با کلاس بافت رسی مقدار محصول بیشتر از خاک‌های با بافت شنی بود. کربن آلی خاک مهم‌ترین منبع عرضه بومی نیتروژن کل در خاک است (دابرمین و اوبرتور، 1997). سطح بحرانی کربن آلی در خاک‌های شالیزار دو درصد است (دابرمین و فیروست، 2000). نزدیک به 35 درصد از اراضی شالیزاری کوچصفهان (5466 هکتار) دارای کربن آلی کمتر از دو درصد بود (شکل 3-ج). توزیع مکانی دو ویژگی کربن آلی و نیتروژن کل خاک شباهت زیادی داشتند (شکل 3 - ج و د). در اراضی دچار

محدودیت کربن آلی توانایی خاک در عرضه بومی نیتروژن خاک کم می‌شود. نیتروژن عنصری بسیار پویا در خاک است و سطح بحرانی آن برای گیاه برنج در کشور تعیین نشده، هر چند به نقل از دوات‌گر همکاران (2015) و ملکوئی و کاوسی (1383) کمیت 0/2 درصد گزارش شده است. اراضی شالیزاری واقع در بخش‌هایی از شمال، جنوب، غرب و مرکز خاک‌های مطالعه شده دارای نیتروژن کل کمتر از 0/2 درصد بودند (شکل 3-د). توزیع مکانی فسفر قابل استفاده و کربن آلی خاک در نیمه غربی با یکدیگر شباهت داشتند (شکل 3-ج و ه). سلطانی و همکاران (1396) با ارزیابی تغییرات مکانی شکل‌های مختلف فسفر و فسفر قابل استفاده نیز نشان دادند که بین توزیع مکانی فسفر قابل استفاده و کربن آلی شباهت وجود دارد. پانگ و چن (2019) نشان دادند که افزایش کربن آلی خاک منجر به افزایش فسفر قابل استفاده و آسانی توانایی جذب فسفر توسط گیاه می‌شود.

نزدیک به 50 درصد از سطح اراضی شالیزاری مطالعه شده دارای غلظت فسفر قابل استفاده کمتر از سطح بحرانی 12 میلی‌گرم در کیلوگرم (کریمی امیرکیاسر و همکاران، 1392) بودند. به نظر می‌رسد این وضعیت افزون بر تأثیر کمبود کربن آلی در برخی از نواحی می‌تواند ناشی از استمرار کشت برنج بدون مصرف کودهای فسفاته توسط کشاورزان باشد. نتایج ارزیابی پرسش‌نامه‌ای نیز نشان داد که 60 درصد از کشاورزان از کودهای فسفره به مقدار کم استفاده می‌کنند. عواملی مانند نداشتن آگاهی از نقش عنصر فسفر در افزایش کمی و کیفی عملکرد گیاه برنج، فقدان منابع کافی از کودهای فسفره، افزایش قیمت کود (به علت حذف یارانه) و وجود کودهایی با کیفیت کم در استقبال نکردن کشاورزان نسبت به مصرف کودهای فسفره در آن‌ها زیاد است. غلظت پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های مطالعه شده در دامنه 95 تا 390 با میانگین 258 میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت (جدول 1). با توجه به سطح بحرانی 120 میلی‌گرم در کیلوگرم (کاوسی و همکاران، 1385) تقریباً تمام منطقه از نظر پتاسیم قابل استفاده در حد کفایت بود

جدول 2- ضریب همبستگی خطی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی شالیزاری

|     | EC     | pH      | OC      | TN     | AP      | AK     | CEC    | Fe      | Cu     | Mn     | Zn    | Si      | C |
|-----|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|---------|---|
| pH  | 0/59** |         |         |        |         |        |        |         |        |        |       |         |   |
| OC  | 0/78** | -0/63** |         |        |         |        |        |         |        |        |       |         |   |
| TN  | 0/77** | -0/61** | 0/95**  |        |         |        |        |         |        |        |       |         |   |
| AP  | 0/27** | -0/35** | 0/43**  | 0/39** |         |        |        |         |        |        |       |         |   |
| AK  | 0/18*  | -0/089  | 0/068   | 0/1    | -0/096  |        |        |         |        |        |       |         |   |
| CEC | 0/153  | -0/159  | 0/25**  | 0/28** | 0/042   | 0/40** |        |         |        |        |       |         |   |
| Fe  | 0/32** | -0/52** | 0/49**  | 0/49** | 0/55**  | 0/21*  | 0/035  |         |        |        |       |         |   |
| Cu  | 0/155  | -0/31** | 0/17*   | 0/19*  | 0/21    | 0/24** | 0/20   | 0/19*   |        |        |       |         |   |
| Mn  | 0/66** | -0/48** | 0/79**  | 0/82** | 0/39**  | 0/20*  | 0/32** | 0/41**  | 0/15   |        |       |         |   |
| Zn  | 0/139  | -0/17*  | 0/23**  | 0/24** | 0/134   | 0/20*  | 0/102  | 0/27**  | 0/23** | 0/25** |       |         |   |
| Si  | 0/106  | -0/135  | 0/114   | 0/109  | 0/20*   | -0/20* | 0/127  | 0/122   | -0/168 | 0/06   | -0/11 |         |   |
| C   | -0/10  | 0/17*   | -0/26** | 0/25** | -0/39** | 0/63** | 0/32** | -0/24** | 0/13   | -0/13  | 0/0   | -0/49** |   |

جدول 3- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای انتخاب ویژگی‌های موثر به عنوان مجموعه حداقل داده‌ها

| مولفه‌های اصلی        | مولفه 1 | مولفه 2 | مولفه 3 | مولفه 4 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| ارزش ویژه             | 4/79    | 2/28    | 1/26    | 1/02    |
| درصد واریانس          | 36/87   | 17/58   | 9/71    | 7/90    |
| درصد واریانس تجمعی    | 36/8    | 54/4    | 64/17   | 72/07   |
| قابلیت هدایت الکتریکی | 0/88    | 0/043   | 0/026   | 0/049   |
| اسیدیته گل اشباع      | -0/66   | 0/027   | -0/37   | -0/062  |
| گنجایش تبادل کاتیونی  | 0/24    | 0/79    | 0/007   | -0/306  |
| کربن آلی              | 0/93    | -0/001  | 0/219   | -0/05   |
| نیترژن کل             | 0/93    | 0/034   | 0/212   | -0/04   |
| فسفر قابل جذب         | 0/30    | -0/16   | 0/63    | -0/31   |
| پتاسیم قابل جذب       | 0/06    | 0/81    | 0/19    | 0/28    |
| آهن قابل جذب          | 0/34    | 0/003   | 0/78    | -0/05   |
| مس قابل جذب           | 0/16    | 0/04    | 0/34    | 0/60    |
| منگنز قابل جذب        | 0/82    | 0/16    | 0/20    | -0/04   |
| روی قابل جذب          | 0/08    | 0/15    | 0/59    | 0/28    |
| سیلت                  | 0/08    | -0/09   | 0/15    | -0/79   |
| رس                    | -0/19   | 0/72    | -0/25   | 0/46    |

اعداد پررنگ دارای بیشترین بار عاملی بودند. اعداد پررنگ که زیر آنها خط کشیده شده است به عنوان MDS انتخاب شدند.

( شکل 3- و )، از این رو احتمال پاسخ گیاه

برنج به مصرف کود پتاسیم کم خواهد بود. مهم‌ترین علت کافی بودن غلظت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده می‌تواند آورد پتاسیم از راه رودخانه سپیدرود به عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب این اراضی باشد. غلظت پتاسیم در آب رودخانه سپیدرود در دامنه 2/7 تا 4/7 با میانگین 3/8 میلی‌گرم در لیتر قرار داشت (دوات‌گر و همکاران، 1394). نیاز آبی گیاه برنج در استان گیلان 9385 مترمکعب در هکتار است (یزدانی و همکاران، 1399). از این رو انتظار می‌رود در طول فصل رشد 35/66 کیلوگرم در هکتار پتاسیم به خاک افزوده شود. توزیع مکانی آهن قابل استفاده به علت آن که غلظت آن در تمام خاک‌های

ناحیه مطالعه شده بیشتر از سطح بحرانی بود نشان داده نشده است.

#### تعیین شاخص کیفیت خاک

در مجموعه حداقل داده‌ها مقدار هر یک از ویژگی‌های رس، سیلت، گنجایش تبادل کاتیونی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم و آهن قابل استفاده با استفاده از تابع نمره‌دهی خطی (روابط 1 و 2) به مقادیر بین یک دهم تا یک تبدیل شدند. حدود بحرانی و نوع تابع خطی استفاده شده برای این ویژگی‌ها در جدول چهار نشان داده شدند. مقدار SQI برای هر نمونه خاک مطالعه شده در دامنه 0/62 تا 1 با میانگین 0/93 قرار داشت که نشان دهنده وضعیت نسبی خوب کیفیت خاک منطقه است.

جدول 4- حدود بحرانی پایین (b) و بالا (a) ویژگی‌های MDS برای استفاده در توابع تبدیل خطی

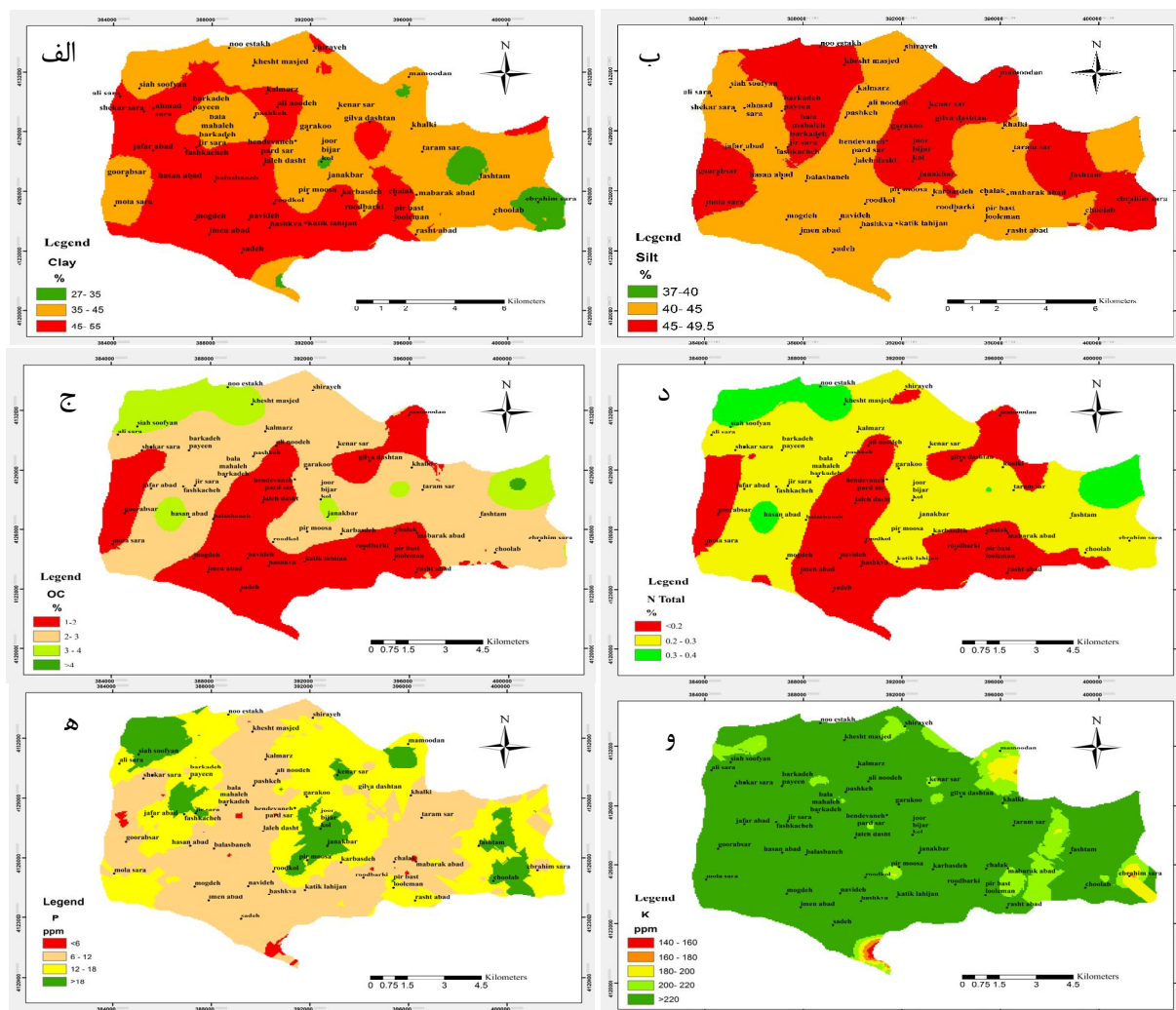
| ویژگی‌ها | واحد                  | b   | a   | نوع تابع خطی   |
|----------|-----------------------|-----|-----|----------------|
| CEC      | Cmol <sup>+</sup> /kg | 10  | 20  | بیشتر بهتر است |
| TN       | %                     | 0/1 | 0/2 | بیشتر بهتر است |
| OC       | %                     | 1   | 2   | بیشتر بهتر است |
| P(Av)    | mg/kg                 | 6   | 12  | بیشتر بهتر است |
| K(Av)    | mg/kg                 | 120 | 160 | بیشتر بهتر است |
| Fe       | mg/kg                 | 2/5 | 4/5 | بیشتر بهتر است |
| Silt     | %                     | 0   | 38  | بیشتر بهتر است |
| Clay     | %                     | 27  | 35  | بیشتر بهتر است |

با افزایش شاخص کیفیت خاک عملکرد گیاه به صورت خطی افزایش می‌یابد (شکل 3). بر مبنای ضریب تبیین ( $R^2$ ) شاخص کیفیت خاک توانست 39 درصد از تغییرات عملکرد گیاه را توجیه کند. تغییرات عملکرد گیاه افزون بر ویژگی‌های خاک تابعی از خصوصیات ژنتیکی گیاه و مدیریت زراعی است (میرنیا و محمدیان، 1384). دی‌لی و همکاران (2018) نشان دادند که کیفیت خاک می‌تواند تاثیر مثبت بر میزان محصول داشته باشد. دابرن و فیره‌ورست (2000) نیز بیان داشتند در برنج فاریاب بخشی از کاهش عملکرد می‌تواند ناشی از کمبود نیتروژن، فسفر، پتاسیم و دیگر عناصر غذایی خاک باشد. این یافته‌ها دلالت می‌کند که شاخص کیفیت خاک می‌تواند به

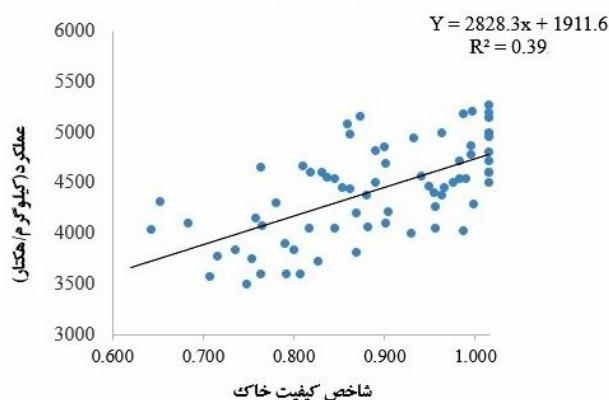
عنوان ابزاری امید بخش برای تلفیق اثر ویژگی‌های حاصلخیزی خاک در تصمیم‌سازی مدیریتی استفاده شود. پهنه‌بندی شاخص SQI نشان داد که بیشتر اراضی از کیفیت حاصلخیزی خوبی برخوردارند. اراضی شالیزاری واقع در غرب و جنوب کوچصفهان از کیفیت حاصلخیزی خاک ضعیف‌تری نسبت به بخش‌های شمالی برخوردار می‌باشند (شکل 4- الف). این اراضی از محدودیت بیشتری در مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده برخوردار بودند (شکل 3). اراضی واقع در شمال، شرق و مرکز با شاخص کیفیت خاک بیشتر از 0/9، وضعیت حاصلخیزی مناسب داشتند. در این اراضی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده از سطح بحرانی بیشتر بودند (شکل 3). میانگین عملکرد محصول

عناصر غذایی به نظر می‌رسد برخی از عوامل اصلی کلیدی شکاف عملکرد برنج در این مناطق کمبود کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و مدیریت نامناسب مصرف کودهای شیمیایی باشد. بر پایه توزیع مکانی SQI و عملکرد، بیشترین سطح اراضی به شاخص SQI بزرگ‌تر از 0/9 و عملکرد بیشتر از 4000 کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (شکل 5 و جدول 5).

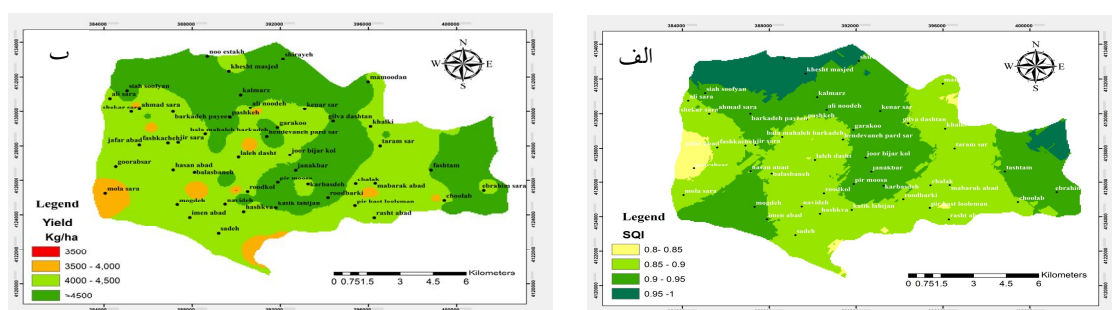
برنج (رقم هاشمی) در استان گیلان 4336 کیلوگرم در هکتار است (بی‌نام، 1398). دامنه تغییرات عملکرد گیاه برنج در منطقه بین 3500 و 5272 با میانگین 4366 کیلوگرم در هکتار بود. مقادیر عملکرد بزرگ‌تر از 4500 کیلوگرم در هکتار در بخش‌های شمالی، شرقی و مرکزی بدست آمد. اما اراضی واقع در غرب و جنوب از عملکرد کمتری برخوردار بودند. با توجه به نقشه‌های توزیع



شکل 3- توزیع مکانی ویژگی‌های مجموعه حداقل داده‌ها به روش کریجینگ در اراضی شالیزاری کوچصفهان



شماره 4- رابطه بین عملکرد برنج و شاخص کیفیت خاک



شماره 5- نقشه تخمین عملکرد و شاخص کیفیت خاک در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان

جدول 5- مساحت کلاس‌های شاخص کیفیت خاک (SQI) و عملکرد در اراضی مطالعه شده کوچصفهان

| کلاس SQI | مساحت اراضی (هکتار) | کلاس عملکرد (کیلوگرم در هکتار) | مساحت اراضی (هکتار) |
|----------|---------------------|--------------------------------|---------------------|
| 0/8_0/85 | 446                 | کوچتر از 3600                  | 3                   |
| 0/85_0/9 | 7462                | 3600-4000                      | 695/5               |
| 0/9_0/95 | 6250                | 4000-4500                      | 8579                |
| 0/95_1   | 1478                | بیشتر از 4500                  | 6357                |

## نتیجه‌گیری نهایی

نشان داد تعیین کیفیت خاک با استفاده از مجموعه حداقل داده‌ها و شاخص‌های تلفیقی کیفیت خاک، راهکارهای خوبی برای دستیابی به تولید مطلوب و کاهش شکاف عملکرد با توجه به وضعیت حاصلخیزی و کیفیت خاک منطقه است. نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده خاک از مهم‌ترین ویژگی‌های اصلی مؤثر بر کیفیت خاک و عملکرد در ناحیه مطالعه شده بودند. با توجه به غیر یکنواختی در توزیع مکانی نیتروژن کل و فسفر قابل

بهبود بهره‌وری خاک اراضی شالیزاری ابزار مهمی برای دستیابی به تولید پایدار و اقتصادی است. یکی از ابزارهای مدیریت اراضی و بهبود بهره‌وری خاک بررسی کیفیت خاک است. از اقدامات مؤثر برای کاهش خلاء عملکرد، مشخص کردن کیفیت، توان و محدودیت‌های خاک است. نتایج پژوهش حاضر

استفاده و کمبود این دو به ترتیب در 36 و 50 درصد از  
ارضای لازم است توصیه کودی این عناصر غذایی  
بصورت ویژه مکان و متناسب با وضعیت عناصر غذایی  
در خاک انجام شود.

### فهرست منابع:

1. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، آ. 1399. آمارنامه کشاورزی سال زراعی 1397-98 جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی. 89 صفحه
2. اسدی پرور، م.، کریمی، ش. و ساجدی، م. 1393. سیمای کشاورزی مرکز جهاد کشاورزی کوچصفهان. گزارش تحلیلی از فعالیت‌های بخش کوچصفهان. انتشارات سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان
3. بنائی، م.ح. 1377. نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران، مقیاس 1:250000. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
4. بی‌نام. 1398. آمار وضعیت برنج کاری استان گیلان. سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان
5. پاداشت دهکایی، ف.، تجددی طلب، ک.، حسینی چالستری، م.، و همکاران 1394. راهنمای برنج (کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت). انتشارات نشر آموزش کشاورزی. 757 صفحه
6. حیدری کمال آبادی، ر.، نبی زاده زوالپیرانی، م.، مجاوریان، س.م.، خانکشی پور، غ. و دزیانی، س. 1395. عوامل موثر بر مقدار مصرف برنج در سبد غذایی خانوارهای شهرستان رشت. نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه. شماره 96: 109-126
7. دوات‌گر، ن.، زارع، ا.، شکوری کتیگری، م.، رضائی، ل. و همکاران. 1394. بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری استان گیلان. نشریه مدیریت اراضی. جلد 3، شماره 1: 1-13.
8. دوات‌گر، ن.، شکوری کتیگری، م.، رضائی، ل.، دلسوز خاکی، ب.، شکری واحد، ح. و کاووسی، م. 1398. تغییرات مکانی وضعیت حاصلخیزی خاک شالیزارهای بخش جنوبی دشت فومنات. نشریه پژوهش‌های خاک. جلد 33 شماره 2: 141-155
9. دوات‌گر، ن.، کاووسی، م.، یزدانی، م.ر.، رضایی، م.، شکوری کتیگری، م.، رضائی، ل.، رودپیما، م.، دریغ گفتار، ف.، پیکان، م.، احمدزاده، س.، کشتکار، ف. و عطار، ا. 1394. شناسایی و ارزیابی منابع آلاینده و کیفیت آب‌های سطحی کشاورزی دشت گیلان با استفاده از سامانه GIS (فاز اول دشت مرکزی گیلان). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور
10. علی‌نیا، ف.، نوری دلاور، م.ز.، حسینی چالستری، م.، و قدسی، م. 1394. تحول در تولید برنج کشور از طریق معرفی ارقام پرمحصول سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور
11. کاووسی، م. و م.ج.، ملکوتی، 1385. تعیین حد بحرانی پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم در شالیزارهای گیلان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 10، صفحات 113 الی 124.
12. کریمی امیرکیاسر، م.، کاووسی، م. و شکری واحد، ح. 1392. غلظت بحرانی فسفر در خاک‌های شالیزار استان گیلان. نشریه دانش آب و خاک. جلد 23 شماره 1: 123-134.
13. محمود سلطانی، ش.، دوات‌گر، ن.، شکوری، م. و م.، پیکان. 1396. تغییرات مکانی شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد 25 شماره 5: 93-109.
14. ملکوتی، م.ج. و کاووسی، م. 1383. تغذیه متعادل برنج. انتشارات سنا.

15. میرنیا، خ و محمدیان، م. 1384. برنج، اختلالات عناصر غذایی، مدیریت عناصر غذایی، انتشارات دانشگاه مازندران. 436 صفحه.

16. یزدانی، م. ر.، اسدی، ر و عرب زاده، ب. 1399. تعیین آب مصرفی برنج در استان‌های گیلان و مازندران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور

17. یزدانی، م. 1379. تعیین مقدار عرضه پتاسیم توسط منابع مختلف آب آبیاری به شالیزارهای استان گیلان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور

18. Andrews S.S., Karlen D.L. and C.A. Cambardella, 2004. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal. 68:1945-1962.
19. Andrews, S. S, and C. R. Carroll. 2002. Designing a soil quality assessment for sustainable agroecosystem management. Ecological Applications. 11: 1573–1585.
20. Andrews, S. S., Florab, C. B. Mitchell, J. P., and Karlen, D. L. 2003. Growers perceptions and acceptance of soil quality indices. Geoderma, 114: 187– 213.
21. Andrews, S.S., Mitchell, P.J., Mancinelli, R., Karlen K.L., Hartz T.K., Horwath W.R., Pettygrove G.S., Scow K.M., and Munk D.S. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. Agronomy Journal. 94: 12–23.
22. Bhaduri, D., and Purakayastha, T.J., 2014. Long-term tillage, water and nutrient management in rice-wheat cropping system: assessment and response of soil quality. Soil Tillage Research. 144: 83–95.
23. Boluda, R., Roca-Pérez, L., Iranzo, M., Gil, C., and Mormeneo, S., 2014. Determination of enzymatic activities using a miniaturized system as a rapid method to assess soil quality. European Journal of Soil Science. 65: 286–294.
24. Borges, M., DeMello, W.V., Abrahao, A.P., Jordao, C.P., and Simas, N.B. 2001. Methods for evaluation of easily deducible iron and manganese in paddy soils. Communication Soil Science and Plant Analysis. 32: 3009-2203.
25. Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z.G., de Goede, R., Mäder, P., Sukkel, W., Brussaard, L., 2018. Soil quality – a review. Soil Biology and Biochemistry. 120, 105–125. Bullock, D.G., 1992. Crop rotation. Critical Reviews in Plant Sciences. 11: 309–326.
26. D Li, T Nanseki, Chomei, Y and Fukuhara, Y .2018. Impact of soil chemical properties on rice yield in 116 paddy fields sampled from a large-scale farm in Kinki region, Japan. 4<sup>th</sup> International Conference on Agricultural and Biological Sciences., Hangzhou, China
27. Darsowiyono S., Rosariastuti R. Pranoto P. and, Okvitasari F. 2017. Assessment of paddy soil quality index based on differences in the productivity of paddy in Wonogiri Regency. Journal of Agricultural Studies, 5 (2):181-189.
28. Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A., Torabi Golsefidi, H., 2017. Assessment of two soil fertility indices to evaluate paddy fields for rice cultivation. Sustainability 9: 1–13
29. Doberman, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice nutrient disorders and nutrient management. International Rice Research Institute.
30. Dobermann, A., Oberthur, T., 1997. Fuzzy mapping of soil fertility. a case study on irrigated rice land in the Philippines. Geoderma, 77: 317–339.
31. Doran JW, Parkin BT. Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA, editors. Defining Soil quality for a Sustainable Environment. Madison: Soil Science Society of America Journal.1994. pp. 3–21.
32. Doran, J.W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. Agriculture, Ecosystems and Environment. 88: 119–127.

33. Dou F, Soriano J, Tabien RE, Chen, K. 2016. Soil texture and cultivar Effects on Rice (*Oryza sativa*, L.) Grain Yield, Yield Components and Water Productivity in Three Water Regimes. PLoS ONE 11(3): e0150549.
34. Karlen, D.L., Stott, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A.(Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America. Madison; WI, pp.53–72.
35. Liu, Z., Zhou, W., Li, S., He, P., Liang, G., Lv, J., and Jin, H. 2015. Assessing soil quality of gleyed paddy soils with different productivities in subtropical China. Catena. 133: 293-302.
36. Lopez-Granados, F., M. Jurado-Exposito., S. Atenciano., A. Garcia-Ferrer., M. Sanchez de la Orden., and L. Garcia-Torres. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. Plant and Soil. 246: 97–105.
37. Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G., 2003. Microbial diversity and soil functions. European Journal Soil Science. 54: 655–670
38. Shukla, M. K., Lal, R and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research, 87(2): 194-204.
39. Spiegel, H., Zavattaro, L., Guzmán, G., D'Hose, T., Pecio, A., Lehtinen, T., Schlatter, N., ten Berge, H., and Grignani, C., 2015. Compatibility of agricultural Management Practices and Mitigation and Soil Health: Impacts of Soil Management Practices on Crop Productivity, on Indicators for Climate Change Mitigation, and on the Chemical, Physical and Biological Quality of Soil.
40. Sun, B., Zhou, S., and Zhao, Q., 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma. 115 (1-2):85-99
41. Tesfahunegn, G.B., 2014. Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in northern Ethiopia. Applied and Environmental Soil Science. <https://doi.org/10.1155/2014/646502>
42. Trangmar, B.B., Yost, R.S., and Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy. 38: 45-94.
43. Van Diepeningen, A.D., de Vos, O.J., Korthals, G.W., van Bruggen, A.H.C., 2006. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. Applied Soil Ecology. 31:120–135.
44. Velasquez, E., Lavelle, P., and Andrade, M. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. Soil Biology and Biochemistry. 39(12): 3066-3080.
45. Webster, R., and Oliver, M. A. 2000. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley and Sons.
46. Wilding, L.P., and Dress, L.R. 1983. Spatial variability and pedology. In: Wilding, L.P., Smeckand, N.E., and Hall, G.F. (eds.). Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interactions. Elsevier Science Pub. Pp: 83-116.
47. Yang, X., Chen, X., and Yang, X., 2019. Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. Soil and Tillage Research, 187: 85-91.
48. Yong, J., Wenju, L., Dazhong, W., Yuge, Z., and Wenbo, C. 2005. Spatial heterogeneity of DTPA extractable zinc in cultivated soils induced by city pollution and use. Science in China Series. C: Life Science. 48 (1): 82-91.

## بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی مراحل مختلف رشد نیشکر و برآورد ظرفیت ترسیب کربن آلی

ابوالفضل آزادی<sup>1</sup>، سیدعلیرضا سیدجلالی، رمضانعلی دهقان و میرناصر نویدی

استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛

a.azadi@areeo.ac.ir

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ a.jalali@areeo.ac.ir

مریی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛

ramezanalidehghan@gmail.com

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ mnavidi@swri.ir

دریافت: 1400/2/21 و پذیرش: 1400/7/4

### چکیده

مطالعه حاضر جهت بررسی مراحل مختلف رشد نیشکر (پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان ذخیره کربن آلی خاک در برخی اراضی نیشکر جنوب خوزستان انجام گرفت. بدین منظور تعدادی خاکرخ (پروفیل) در مزارع نیشکر حفر شد و تعداد 30 سایت انتخاب گردید و پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی در پنج تیمار (مراحل رشد نیشکر) و شش تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت کشت نیشکر و مراحل مختلف رشد در خاک‌های کشت و صنعت نیشکر سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ذخیره کربن آلی خاک شد. بطوری که آبیاری فراوان و آبخویی و کشت دراز مدت نیشکر طی مراحل مختلف رشد منجر به کاهش قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، سدیم محلول خاک، مقدار پتاسیم قابل جذب، و افزایش درصد شن و مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک شد. از این رو، برای جلوگیری از پیامدهای منفی احتمالی و خالی شدن خاک از عناصر غذایی به ویژه پتاسیم، لازم است به طور دوره‌ای ویژگی‌های کامل خاک‌های مورد مطالعه بررسی شوند تا با ارزیابی این تغییرات بتوان روش‌های مدیریتی مناسبی برای حفظ کیفیت خاک انجام داد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین مقادیر ذخیره کربن آلی خاک نشان داد که میزان ترسیب کربن خاک در تیمارهای موجود در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. بطوری که بیشترین مقدار ترسیب کربن در تیمار راتون 3 به میزان 28/84 تن در هکتار و کمترین مقدار در تیمار راتون 4 به میزان 15/50 تن در هکتار بود. دلیل بیشتر بودن مقدار ذخیره کربن را می‌توان به پوشش گیاهی بیشتر و در نتیجه وجود بقایای گیاهی بیشتر نسبت داد زیرا بقایای گیاهی با کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش رطوبت برای رشد گیاهان، اثر مثبتی بر پوشش گیاهی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارند. به‌طور کلی، مدیریت بهینه مزارع نیشکر نقش مهمی در بهبود ظرفیت ترسیب کربن اتمسفری ایفا می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های خاک، راتون نیشکر، ذخیره کربن آلی خاک

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

## مقدمه

خاک، یکی از مهمترین ارکان محیط زیست و تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. بنابراین شناخت جنبه‌های مختلف آن و جمع آوری اطلاعات و داده‌های مختلف و دقیق در راستای استفاده بهینه و پایدار و جلوگیری از تخریب این منبع با ارزش با استفاده از روش‌های کمی و آماری امکانپذیر است (محمدی، 1385). تغییر کاربری اراضی و کشت فشرده و دراز مدت در اراضی کشاورزی دنیا، ویژگی‌های خاک را در سطوح گسترده تحت تأثیر قرار داده و سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده است (رضاپور و همکاران، 2013). بنابراین مطالعه تغییرات ویژگی‌های خاک در اثر کشت دراز مدت، با هدف ایجاد تعادل میان میزان تولید و حفظ و بهبود کیفیت منابع اراضی، می‌تواند در شناسایی مدیریت‌های پایدار و به دنبال آن جلوگیری از تخریب روز افزون خاک بسیار مؤثر باشد (تقی پور و همکاران، 1394). کشت و کار مکانیزه نیشکر در استان خوزستان با شرایط آب و هوایی و خاک ویژه با قدمتی بیش از پنجاه سال در حال انجام است. با وجود اهمیتی که این گیاه در کشور دارد، کشت و زرع آن با معضلاتی روبروست که از آن جمله می‌توان به تراکم و تخریب ساختمان خاک اشاره کرد. ذرات خاک به ندرت به صورت منفرد و مجزا از هم یافت می‌شوند. خاکدانه‌ها از نوآرایی، هم آرایی و سیمانی شدن ذرات توسط واسطه‌هایی از جمله کربن آلی، ترشحات میکروارگانیزم‌ها، پل‌های یونی، رس و کربنات‌ها شکل می‌گیرند (برونیک و لال، 2005). بنابراین در حال حاضر، تخریب ساختمان خاک و ایجاد سله‌های سطحی از جمله مشکلاتی است که کشت و صنعت‌های نیشکر استان خوزستان با آن روبرو هستند. از طرفی مقدار کمی و تفسیر پایداری خاکدانه‌ها علاوه بر ویژگی‌های ذاتی خاک به عوامل خارجی همچون روش اندازه‌گیری نیز وابسته می‌باشد (ژانگ و هوم، 2001). با وجود استفاده مداوم از کودهای شیمیایی، عملکرد زراعی نیشکر روند

کاهشی داشته است. طولانی بودن دوره کشت نیشکر (12 تا 14 ماه)، مصرف زیاد آب آبیاری (30000 مترمکعب در هر هکتار در 25 الی 30 نوبت آبیاری) و استفاده گسترده از ماشین آلات سنگین کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت نیشکر، می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهد. کشت نیشکر به‌ویژه کشت مستمر به صورت تک کشتی به دلیل شخم عمیق، کوددهی بیش از حد، عدم بازیافت بقایای آلی و استفاده گسترده از ادوات کشاورزی می‌تواند سبب کاهش کیفیت خاک شود (بهروان و همکاران، 1392 و لندی و همکاران، 1397). چگالی ظاهری بهینه خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه  $Mg\ m^{-3}$  <sup>3</sup> 1/3-1/2 گزارش شده است (هانسیگی، 2001). هامبورگ (1968) گزارش کرد که با افزایش چگالی ظاهری خاک از 1/1 به محدودکننده  $1/6\ Mg\ m^{-3}$  توسعه ریشه نیشکر به تدریج کند می‌شود. حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه  $Mg\ m^{-3}$  1/8-1/9 است که در این حد از فشردگی خاک، رشد و توسعه ریشه عملاً متوقف می‌شود. در چنین خاک‌های فشرده، دسترسی به اکسیژن کم بوده که منجر به کاهش جذب آب و مواد غذایی می‌شود. با توجه به این که حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای ریشه گیاه بسته به نوع بافت خاک فرق می‌کند، بنابراین، اخیراً پژوهشگران حد بحرانی چگالی ظاهری را به‌عنوان تابعی از درصد رس خاک بیان نموده و برای مستقل نمودن چگالی ظاهری بحرانی از بافت خاک، از کمیت چگالی ظاهری نسبی (درجه تراکم) استفاده کرده‌اند (هاکانسون و لیپیک، 2000).

نتایج مطالعات مختلف نشان داده که ارتباط زیادی میان سابقه کشت و ویژگی‌های شیمیایی خاک از جمله مواد آلی خاک وجود دارد (بهروان و همکاران، 1392). در این رابطه سیلوا و همکاران (2007) با بررسی اثر کشت مداوم نیشکر بر مواد آلی خاک در برزیل گزارش کردند که درصد ماده آلی خاک پس از 2 سال کشت کاهش

یافت در حالیکه کشت دراز مدت نیشکر، موجب افزایش ماده آلی خاک شده است. عملیات مدیریتی در کاربری زراعت، مهمترین عامل تعیین کننده و قابل کنترل در تغییرپذیری کربن آلی خاک می باشد. برخی از این عملیات‌ها شامل تغییر کاربری عرصه‌های جنگل و مرتع به زراعت، کاربرد ادوات و شدت خاک ورزی، آیش و تناوب زراعی، مدیریت بقایای گیاهی، کاربرد کودهای سبز و کودهای دامی می باشد. در مطالعه‌ای در آمریکا نشان داده شد که می‌توان در عرصه‌های زراعی با اعمال خاکورزی حفاظتی، بین 30 تا 105 میلیون تن کربن به ذخیره کربن اراضی افزود. ضمن آن که اعمال سیستم تناوبی کشاورزی حفاظتی بین 14 تا 29 میلیون تن کربن آلی به ذخیره این خاک‌ها اضافه نمود (فولت، 2001).

تخمین پتانسیل ترسیب کربن خاک، نیز یک فرآیند پیچیده است و به دانستن این که زمین چگونه اداره می‌شود و تحت عملیات مدیریتی مختلف چه میزان کربن ترسیب شده است، نیازمند می‌باشد. از راهکارهایی که امروزه برای مدیریت میزان کربن پیشنهاد می‌شود، افزایش میزان تجمع کربن به شیوه ترسیب کربن است که از طریق ایجاد یا افزایش میزان نگهدارنده‌های کربن (گیاهان) انجام می‌شود. فاکتورهایی مانند شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی طبیعی، بافت خاک و زهکشی می‌توانند میزان و مدت زمانی که کربن می‌تواند ذخیره شود را تحت تأثیر قرار دهند.

کشت گیاه نیشکر با شرایط منحصر به فرد جهت رشد مانند دوره کشت طولانی، مصرف زیاد آب و استفاده گسترده از ادوات سنگین کشاورزی در مراحل مختلف کشت و کار، می‌تواند بر خصوصیات خاک و در نتیجه حفظ منابع خاک، اثرات مختلفی داشته باشد. بنابراین با توجه به اینکه گیاه نیشکر با دارا بودن چرخه فتوسنتزی چهار کربنه و تولید زیست توده فراوان از گیاهان زراعی اصلی استان خوزستان محسوب می‌شود و نیشکر گیاهی چند منظوره است که عمدتاً در قسمت‌های جنوب غربی ایران کشت می‌شود. کربن آلی خاک کلیدی‌ترین عامل در

باروری و کیفیت خاک و حفاظت محیط زیست، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و تنها ابزار شناخته شده برای اصلاح تغییرات اقلیمی و کاهش گازهای گلخانه‌ای در جو می‌باشد. آگاهی از وضعیت ذخیره کربن آلی خاک و تأثیر مراحل مختلف رشد گیاه در ذخیره کربن آلی خاک، در راستای کاهش تغییرات اقلیمی ناشی از گازهای گلخانه‌ای امری لازم و ضروری می‌باشد. تاکنون در مورد تأثیر مراحل مختلف رشد نیشکر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و قابلیت ترسیب کربن در خاک مزارع نیشکر ایران پژوهش‌های کافی و جامعی صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر جهت بررسی اثر مراحل مختلف رشد نیشکر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ارزیابی ظرفیت ترسیب کربن برخی اراضی کشت و صنعت نیشکر جنوب استان خوزستان شده انجام است.

## مواد و روش‌ها

### توصیف منطقه مورد بررسی

استان خوزستان در محدوده ای به وسعت 63213 کیلومتر مربع و طول جغرافیایی 40° 47' تا 39° 50' شرقی و 29° 57' تا 33° 00' عرض شمالی قرار گرفته است. با توجه به وجود منابع غنی آب و خاک در جلگه خوزستان، اهمیت و قدمت کشت و تولید نیشکر در این استان، برای اجرای این پروژه کشت و صنعت‌های جنوب استان انتخاب گردید (سید جلالی و همکاران، 1399). بدین منظور تعدادی پروفیل و مته در مزارع کشت و صنعت‌های جنوب استان خوزستان (شکل 1) حفر و با توجه به ماهیت تحقیق حاضر تعداد 30 سایت برای این پژوهش انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت (خصوصیات اقلیمی، فیزیوگرافی و مواد مادری در سیستم‌های فوق‌الذکر کاملاً مشابه یکدیگر می‌باشد). و در ضمن پرسشنامه توصیف کاربری سرزمین برای این نقاط نیز تکمیل گردید و اطلاعات شناسنامه مزارع این کشت و صنعت‌ها از جمله اطلاعات موجود مربوط به مراحل مختلف رشد نیشکر بررسی شد. سپس

بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و تراکم خاک، ترسیب کربن در خاک رویشگاه گیاه نیشکر در پنج مرحله رشد گیاه پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4 (کشت سال اول به پلنت و کشت سال دوم به بعد به راتون 1، 2، 3 و... موسوم است) به عنوان تیمار با 6 تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در انجام گردید. با توجه به اینکه، در پیمان کیوتو نیز برای کنترل انتشار کربن، چگالی کربن خاک تا عمق 30 سانتیمتر به عنوان معیار یا استاندارد بین المللی انتخاب شده است (نیشابوری و ریحانی تبار، 1389)، بنابراین نمونه برداری خاک از عمق 0 تا 30 سانتیمتری صرف نظر از نوع افق خاکرها انجام شد.

#### اندازه گیری های آزمایشگاهی

نمونه های خاک برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شده و پس از هوا خشک شدن و آماده سازی نمونه ها، در نهایت خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاکها شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (بویکوس، 1962)، pH خاک در گل اشباع (توماس، 1996)، هدایت الکتریکی (راول، 1994)، کربنات کلسیم معادل به روش خشی سازی با اسیدکلریدریک به روش آلیسون و مودی (1965)، تیتراسیون برگشتی با اسیدکلریدریک 5 نرمال (آنجیونونی و همکاران، 1996)، میزان کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (والکی و بلک، 1934)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (کائو، 1996)، چگالی ظاهری (BD) به روش سیلندری (بلک و هارتگ، 1986)، نسبت جذب سدیم (SAR) به کمک روش های معمول آزمایشگاهی شامل اندازه گیری کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک توسط روش کمپلکسومتری و از طریق تیتراسیون با ورسین در حضور معرف های اریوکروم بلک تی و موروکساید و سدیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک و به وسیله دستگاه فلیم فتومتر (پاک و همکاران، 1982) اندازه گیری شدند.

میزان ترسیب کربن موجود در خاک بر حسب تن بر هکتار بر اساس معادله زیر برآورد شد.  $CS = OC \times BD \times E$  (٪) که در آن CS: مقدار ترسیب کربن در خاک بر حسب،  $ton \cdot ha^{-1}$ ، OC: کربن آلی برحسب درصد، BD: جرم مخصوص ظاهری بر حسب  $g \cdot cm^{-3}$ ، و E ضخامت لایه خاک برحسب cm برای ارزیابی تراکم پذیری خاکهای مورد بررسی از شاخص فیزیکی تحت عنوان جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص ظاهری نسبی (RBD) استفاده شد (ویسی تبار و همکاران، 1394). برای محاسبه این شاخص در ابتدا جرم مخصوص ظاهری مرجع ( $BD_{Ref}$ ) با توجه به درصد رس خاک با استفاده از معادله جونز (1983) محاسبه شد:

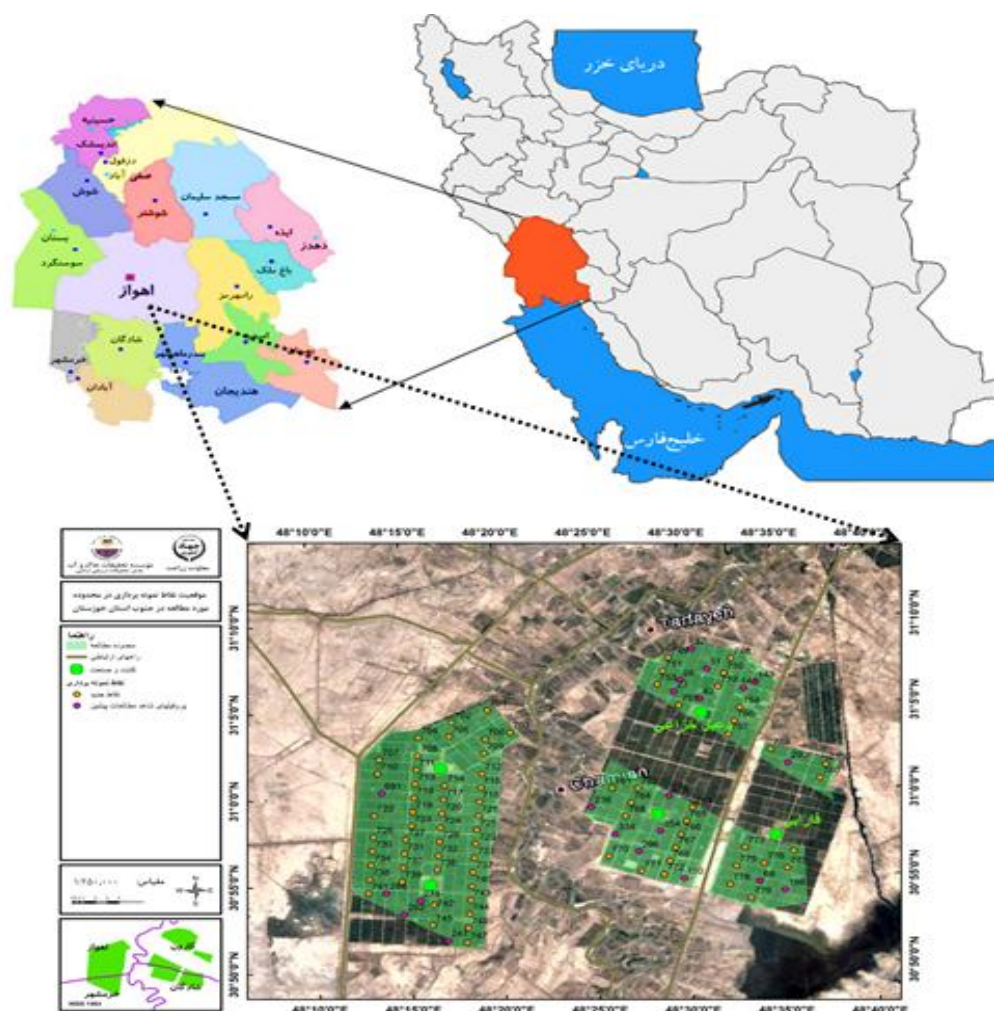
$$BD_{Ref} (Mg \cdot m^{-3}) = 1/985 - 0/00857 \text{ clay\%}$$

در نهایت جرم مخصوص ظاهری نسبی (RBD) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$RBD = \frac{BD}{BD_{Ref}}$$

#### پردازش آماری داده ها

در پژوهش حاضر نقاط مطالعاتی به نحوی انتخاب شدند که تا حد ممکن اثرات سایر عوامل مانند مدیریت، اقلیم تا حد ممکن برای تمام مزارع شرایط تقریباً مشابهی داشته باشد تا بتوان اثرات مراحل مختلف رشد نیشکر بر خصوصیات خاک و ترسیب کربن را از نظر آماری تجزیه و تحلیل نمود. تجزیه و تحلیل آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراحل مختلف رشد، در قالب طرح کاملاً تصادفی (پنج تیمار با شش تکرار) و با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بررسی شد. با توجه به نرمال بودن داده ها برای مقایسه میانگین ویژگی های خاک و اندوخته کربن در خاک از آزمون دانکن در سطح احتمال 0/01 درصد و برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه و محل حفر پروفیل و مته در کشت و صنعت های خوزستان

## نتایج و بحث

### شرح کلی خاک‌های اراضی مورد بحث

مناطق مورد مطالعه از لحاظ فیزیوگرافی، دشت آبرفتی رودخانه ای محسوب می‌شود. خاک غالب منطقه مورد مطالعه در راسته‌های اریدی سولز و انتی سولز قرار دارد. بافت خاک کلاً متوسط تا سنگین (گاهی بسیار سنگین) همراه با نفوذپذیری آهسته تا خیلی آهسته است. املاح محلول و کربناتها در بیشتر افق‌های خاک به مقدار زیاد وجود داشته و در برخی مناطق تجمع نمک‌های محلول منجر به تشکیل افق نمکی در خاک شده است. خاک‌ها عموماً بدون ساختمان یا دارای ساختمان ضعیف

می‌باشند. در سطح وسیعی از اراضی به همراه شوری خاک حالت سدیمی بودن نیز مشاهده می‌شود. عمده‌ترین سازندهای زمین شناسی سنگهای دوران دوم و سوم زمین شناسی است که غالباً به رخساره آهک، شیل، مارن، گچ و کنگلومرا دیده می‌شوند.

### نتایج آماری اراضی مورد مطالعه

بررسی نتایج آمار توصیفی خصوصیات اراضی نیشکرانتخابی مورد مطالعه ارائه شده در جدول 1 نشان می‌دهد دامنه تغییرات آهک زیاد بوده و مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب 39/50، 49/90 و 45/22

درصد می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد شوری خاک از 1/44 تا 14/50 دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. مقدار میانگین این خصوصیت در اراضی مورد بررسی 4/71 دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین درصد شن حدود 17/86 درصد و حداقل و حداکثر آن 5/00 و 30/00 درصد می‌باشد. نکته قابل توجه این است که بافت غالب اراضی مورد بررسی متوسط تا بافت‌های سنگین‌تر قرار دارند. مقدار رس در اراضی نیشکر بررسی شده متغیر بوده و از 24/00 تا 50/00 درصد تغییر می‌کند. تأثیر مقادیر رس بر رشد و عملکرد گیاه نیشکر متفاوت است. اسیدیته خاک در اراضی بررسی شده از 7/66 تا 8/37 متغیر و میانگین اسیدیته خاک 8/02 گزارش شده است. دامنه تغییرات این ویژگی نسبت به سایر خصوصیات اراضی محدودتر می‌باشد. میانگین، حداقل و حداکثر پتاسیم قابل جذب به ترتیب 116/03، 37/62 و 263/23 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر فسفر قابل جذب به ترتیب 4/23، 0/00 و 12/40 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین فسفر خاک در اراضی نیشکر بررسی شده از حدود بحرانی گیاه نیشکر (10 تا 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر است. ظرفیت تبادل کاتیونی در اراضی بررسی شده از 8/89 تا 24/25 متغیر و میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک 14/44 سانتی مول بر کیلوگرم گزارش شده است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ویژگی مهمی به حساب می‌آید در زمین‌های خوزستان به دلیل کمبود ماده آلی و نوع رس غالب که عمدتاً ایلیت و کلریت می‌باشد نسبتاً کم است که با عملیات کشت و کار افزایش می‌یابد که چون میزان مواد آلی و بویژه نوع رس خاک تعیین کننده ظرفیت تبادل کاتیونی هر خاک می‌باشد. و ترکیب کانی‌شناسی رس در خلال دوره‌های کوتاه مدت تغییر چندانی ندارد لذا به نظر می‌رسد در تحقیق حاضر سهم میزان ماده آلی در تغییر ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک اهمیت بیشتری داشت. در متغیرهای مطالعه شده، اسیدیته خاک، درصد کربن آلی و نیتروژن قابل جذب، در

یک دامنه کم پراکنده هستند. واریانس و انحراف معیار از شاخص‌های پراکندگی می‌باشند که نتایج آن در جدول آمار توصیفی محاسبه شده است. هر چه مقدار واریانس کمتر باشد، پراکندگی داده‌ها کمتر است و بالعکس. بررسی این شاخص‌ها برای متغیرهای بررسی شده نشان می‌دهد که واریانس متغیرها برای شوری، پتاسیم، شن، سیلت و مقدار رس زیاد و برای اسیدیته، درصد نیتروژن و کربن آلی، ناچیز می‌باشد. بنابراین اکثر داده‌ها دارای گستردگی زیادی هستند. همچنین انحراف استاندارد نیز هر چه کوچک‌تر باشد، نشان می‌دهد متغیرها متجانس‌تر هستند. در جدول آمار توصیفی، حداکثر، حداقل و دامنه تغییرات نیز ذکر شده است. در یک توزیع متقارن، مقدار چولگی صفر و کشیدگی، یک است. در توزیع نامتقارن، مقادیر مثبت و منفی می‌باشند و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، عدم تقارن شدیدتر است. مقادیر چولگی و کشیدگی بین 2 تا 2- قرار داشت. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد از نظر چولگی و کشیدگی، همه داده‌ها نرمال می‌باشند. همانطور که در جدول 1 ارائه شده است بیشترین مقدار چولگی و کشیدگی مربوط به شوری خاک بود. همچنین برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگراف - اسمیرنوف استفاده شد که نتایج آن در جدول 1 مشاهده می‌گردد.

#### ارزیابی تغییرات ویژگی‌های خاک در مراحل مختلف رشد نیشکر

##### خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جداول 2 و 3) نشان داد که در اثر تغییرات مراحل مختلف رشد نیشکر، در اکثر خصوصیات فیزیکی به استثنای جرم مخصوص ظاهری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول 1- برخی پارامترهای آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه

| CEC                      | PH    | EC                 | CCE*  | N     | OC    | CS**                 | K                   | P     | BD                 | SI    | Clay  | Silt  | Sand  |          |
|--------------------------|-------|--------------------|-------|-------|-------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Cmol(+).kg <sup>-1</sup> |       | dS.m <sup>-1</sup> |       | %     |       | ton.ha <sup>-1</sup> | Mg.kg <sup>-1</sup> |       | g.cm <sup>-3</sup> |       | %     |       |       |          |
| 14/48                    | 8/02  | 4/71               | 45/22 | 0/04  | 0/44  | 22/42                | 116/03              | 4/23  | 1/71               | 0/96  | 39/20 | 42/93 | 17/86 | Mean     |
| 4/41                     | 0/17  | 3/08               | 2/35  | 0/02  | 0/20  | 9/84                 | 59/41               | 2/86  | 0/07               | 0/43  | 8/08  | 6/70  | 6/57  | SD       |
| 19/52                    | 0/03  | 9/48               | 5/51  | 0/00  | 0/04  | 96/6                 | 3529/00             | 8/18  | 0/01               | 0/18  | 65/40 | 44/89 | 43/22 | Variance |
| 0/30                     | 0/24  | 1/31               | -0/17 | 0/37  | 0/46  | 0/38                 | 1/02                | 0/93  | -0/31              | 0/31  | -0/45 | 0/12  | -0/02 | Skewness |
| -0/82                    | -0/18 | 1/93               | -0/07 | -0/94 | -0/62 | -0/81                | -0/01               | 0/82  | -0/92              | -1/14 | -1/17 | -0/56 | -0/78 | Kurtosis |
| 15/36                    | 0/71  | 13/06              | 10/40 | 0/06  | 0/71  | 35/75                | 225/61              | 12/40 | 0/27               | 1/49  | 26/00 | 25/00 | 25/00 | Range    |
| 8/89                     | 7/66  | 1/44               | 39/50 | 0/01  | 0/14  | 6/93                 | 37/62               | 0/00  | 1/55               | 0/28  | 24/00 | 30/00 | 5/00  | Minimum  |
| 24/25                    | 8/37  | 14/50              | 49/90 | 0/07  | 0/85  | 42/68                | 263/23              | 12/40 | 1/82               | 1/77  | 50/00 | 55/00 | 30/00 | Maximum  |
| 30/45                    | 2/16  | 65/37              | 5/19  | 45/00 | 44/62 | 43/88                | 51/20               | 67/64 | 4/32               | 44/79 | 20/61 | 15/60 | 36/78 | %CV      |
| 0/970                    | 0/927 | 0/535              | 0/897 | 0/528 | 0/867 | 0/833                | 0/161               | 0/535 | 0/782              | 0/556 | 0/439 | 0/736 | 0/469 | K-S      |

\*کرنات کلسیم معادل، \*\*ترسیب کرین

شیمیایی خاک و میزان ترسیب کربن در مراحل مختلف رشد (جدول 2 و 3) نشان داد که تأثیر تیمارهای مراحل مختلف رشد بر مقادیر جرم مخصوص ظاهری و میزان ترسیب کربن در تراز 1 درصد و بر هدایت الکتریکی در تراز 5 درصد معنی دار است.

از بین خواص شیمیایی خاک نیز فقط میزان قابلیت هدایت الکتریکی و میزان ترسیب کربن به طور قابل توجهی متفاوت بودند، همچنین نتایج جدول نشان داد سیستم های کشت تأثیر قابل توجهی در ذخیره سازی کربن آلی نداشتند (جدول 2). به عبارتی دیگر نتایج تحلیل واریانس برخی ویژگی های فیزیکی و

جدول 2- تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکی خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر

| منابع تغییرات      | درجه آزادی | شن                  | سیلت                | رس                   | پایداری             | جرم مخصوص |
|--------------------|------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| <sup>1</sup> تیمار | 4          | 72/11 <sup>ns</sup> | 94/64 <sup>ns</sup> | 179/75 <sup>ns</sup> | 0/183 <sup>ns</sup> | 0/017**   |
| خطای آزمایش        | 25         | 38/60               | 36/93               | 47/11                | 0/166               | 0/004     |
| خطای استاندارد     | -          | 1/20                | 1/22                | 1/47                 | 0/08                | 0/01      |

<sup>1</sup> پنج مرحله رشد گیاه نیشکر (پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4)، \*\* معنی دار در سطح 1% و \* معنی دار در سطح 5%، <sup>ns</sup> غیر معنی دار

جدول 3- تجزیه واریانس خصوصیات شیمیایی خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر

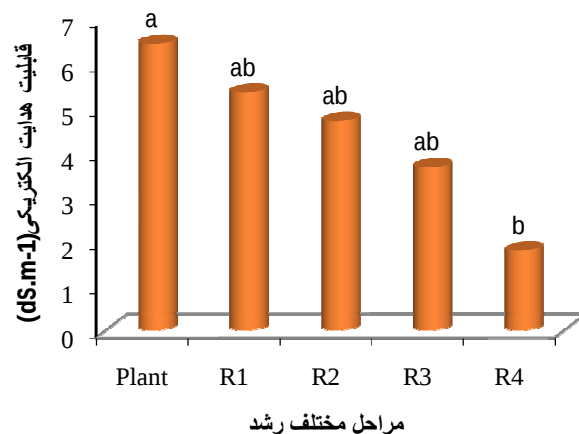
| منابع تغییرات      | درجه آزادی | فسفر قابل جذب       | پتاسیم قابل جذب       | کربن آلی            | ترسیب کربن | آهک                 | هدایت الکتریکی | ظرفیت تبادل کاتیونی | اسیدیته خاک        |
|--------------------|------------|---------------------|-----------------------|---------------------|------------|---------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| <sup>1</sup> تیمار | 4          | 12/18 <sup>ns</sup> | 3791/62 <sup>ns</sup> | 0/039 <sup>ns</sup> | 116/18**   | 10/65 <sup>ns</sup> | 129/92*        | 75/26 <sup>ns</sup> | 0/41 <sup>ns</sup> |
| خطای آزمایش        | 25         | 7/53                | 3487/19               | 0/038               | 5/59       | 4/68                | 753/08         | 10/60               | 0/028              |
| خطای استاندارد     | -          | 0/52                | 1/1                   | 0/03                | 1/51       | 0/42                | 0/56           | 0/80                | 0/03               |

<sup>1</sup> پنج مرحله رشد گیاه نیشکر (پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4)، \*\* معنی دار در سطح 1% و \* معنی دار در سطح 5%، <sup>ns</sup> غیر معنی دار

### اسیدیته و شوری خاک

گیاه نیشکر در شکل های 1 تا 5 نشان داده شده است. میانگین میزان املاح موجود در عصاره خاک اراضی تحت کشت در مراحل مختلف رشد کاهش چشم گیری نشان می دهد به گونه ای که باعث تفاوت معنی داری در تیمارها شده است (شکل 1). به طوری که بیشترین میزان شوری در تیمار پلنت و کمترین میزان املاح در تیمار راتون 4 یا همان تیمار شماره پنج مشاهده شد. کشت نیشکر در زمین های بایر در شرایط اقلیمی خوزستان که آبیاری به میزان زیاد و حدود 30000 مترمکعب در هکتار در سال انجام می شود، باعث کاهش شوری خاک و بهبود شرایط خاک از این لحاظ شده است. این نتایج با یافته های گل (2009) مطابقت دارد که نشان داد املاح محلول اراضی کشت شده به تدریج در اثر آبیاری مکرر، شسته و از خاک خارج می شوند.

اسیدیته خاک در یک منطقه به ماهیت موادمادری، آب و هوای منطقه، مواد آلی و توپوگرافی وابسته است (تامیرات، 1992). اسیدیته خاک در مراحل مختلف رشد و اثر مدیریت های مختلف آن ممکن است تغییر نماید ولی در این پژوهش و با توجه به نتایج تحلیل آماری (جدول 2) تفاوت معنی داری در میزان اسیدیته خاک در مراحل مختلف رشد مشاهده نشد. هرچند این امر می تواند به قدرت زیاد بافری خاک و مقدار بالای کربنات ها در این اراضی نسبت داده شود. میزان نسبی کربنات کلسیم در خاک های این منطقه بالاست که به سبب نوع مواد مادری خاک این مناطق می باشد (جعفری و نادیان، 1393). نتایج مقایسه ی میانگین برخی ویژگی های خاک اندازه گیری شده در مراحل مختلف رشد



شکل 1- مقایسه میانگین میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک در مراحل مختلف رشد نیشکر (پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3، راتون 4)

### بافت خاک و کربنات کلسیم

مراحل مختلف رشد وجود نداشت. در استان خوزستان، با توجه به بالا بودن میزان عناصر کلسیم، منیزیم و بطور کلی املاح موجود در آب آبیاری، روابط تعادلی عناصر در خاک و رسوب و تشکیل کربنات‌ها، به شدت تحت تأثیر غلظت املاح، میزان حجم آبیاری و شستشوی املاح قرار می‌گیرد. و از طرفی میزان نسبی کربنات کلسیم در خاک‌های این منطقه بالاست که به سبب نوع مواد مادری خاک این مناطق می‌باشد (جعفری و نادیان، 1393).

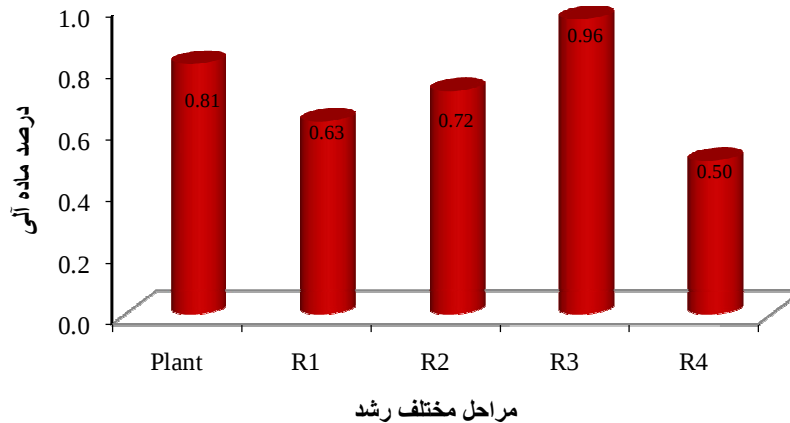
### ماده آلی

نتایج بررسی‌های پژوهش حاضر نشان داد که متوسط ماده آلی خاک مزارع نیشکر مورد آزمایش 0/75 درصد می‌باشد (با انحراف معیار 0/335) و مقادیر حداقل و حداکثر سطح آن به ترتیب 0/25 و 1/47 درصد بدست آمد. و اختلاف معنی‌داری بین مراحل مختلف رشد از نظر ماده آلی وجود نداشت (شکل 2)، هر چند که بیشترین و کمترین میزان درصد ماده آلی در تیمارهای راتون سه و چهار به ترتیب به میزان 0/96 و 0/5 درصد بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که، میانگین ماده آلی خاک مزارع نیشکر مورد آزمایش نسبتاً پایین است، بطوریکه کمتر از 1٪ بوده و علاوه بر مسئله تغذیه، پایداری خاکدانه‌ها نیز به دلیل پایین بودن سطح کربن آلی خاک کم خواهد بود (هازلتون و مرفی، 2016). از آنجا که

بررسی‌های تحلیل آماری نشان داد که میانگین بیشترین درصد شن، سیلت و به طبع آن میزان رس موجود در بافت خاک در مرحله رشد راتون سه، راتون یک و راتون چهار به ترتیب با میانگین 43/5، 17/8 و 42/5 درصد بود که در این اجزا در مراحل مختلف رشد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تغییرات جزئی در میزان نسبی اندازه ذرات در تیمارهای مختلف شاید بدین دلیل باشد که در اثر آبیاری بیشتر و پیشرفت به سمت مراحل رشد بیشتر اراضی ذرات ریز از لایه‌های سطحی شسته شده و به اعماق پایین تر منتقل شده‌اند، هر چند در مراحل مختلف بافت خاک ثابت بود و براساس مثلث بافت خاک، بافت خاک رسی سیلتی (silty clay) بدست آمد. با توجه به واحد فیزیوگرافی منطقه مورد بررسی که دشت آبرفتی محسوب می‌شود، بخشی از تغییرات ممکن است به افزایش ذرات مواد معلق همراه با آب آبیاری و یا حرکت روان آبها نیز نسبت داده شود. لندی و همکاران (1397) نیز در مطالعه خود در خاکهای بایر و خاک‌هایی تحت کشت نیشکر امیر کبیر که به مدت کمتر حدود 5 سال کشت شده بودند در میانگین درصد شن تفاوتی مشاهده نکردند. میانگین کربنات کلسیم حدود 45/22 درصد بدست آمد که بیشترین مقدار در تیمار پلنت مشاهده شد، که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین

خاک سریعتر و بیشتر از هر ویژگی دیگر خاک، تحت تأثیر اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرد، هر گونه تغییر در مدیریت اراضی، می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف داشته باشد. در منطقه مورد مطالعه نیز، مدیریت بقایای گیاهی نقش مهمی در ذخیره کربن آلی خاک داشته است (خورده‌بین و همکاران، 1399).

میزان ماده آلی خاک در هر منطقه توسط اقلیم (دما و رطوبت) و عوامل بیولوژیکی (از جمله برگرداندن بقایای گیاهی) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کنترل می‌شود، در مناطق خشک، به دلیل کمبود برگشت بقایای گیاهی و دمای بالا، میزان کربن آلی خاک، بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرند و چون کربن آلی



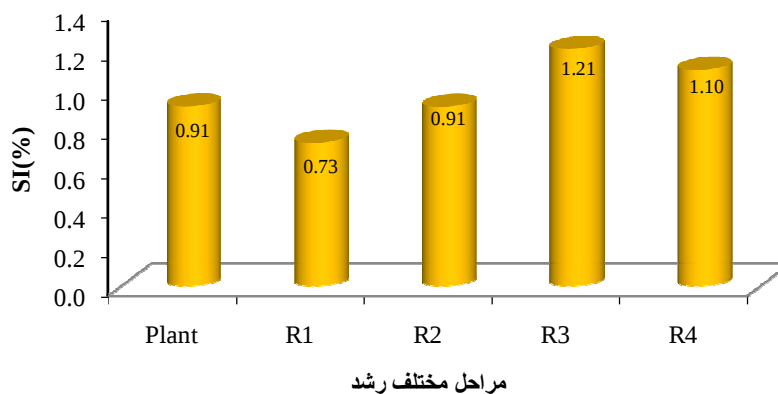
شکل 2- مقایسه وضعیت درصد ماده آلی در اراضی مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد نیشکر (پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3، راتون 4)

#### شاخص پایداری خاکدانه‌ها

شاخص پایداری خاکدانه‌ها (Stability index, SI) که خطر تخریب ساختمان خاک در اثر کشت و کار را نشان می‌دهد با توجه به اطلاعات موجود در پروژه به صورت زیر در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر در اراضی مورد مطالعه محاسبه شد (پیری و همکاران، 1995):  

$$SI = \frac{1.724OC}{(Silt+Clay)} \times 100$$
 که در این معادله OC میزان کربن آلی، (Silt+Clay) مجموعه درصد رس و سیلت است، مقدار SI بزرگتر از 9 درصد نمایانگر پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد. با توجه نتایج به دست آمده در شکل 3 ملاحظه می‌گردد که تیمارهای مختلف (مراحل رشد) از لحاظ پایداری خاکدانه‌ها تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند،

هر چند که بیشترین مقدار شاخص پایداری خاکدانه‌ها (SI) در مرحله رشد راتون 3 (1/21 درصد) و کمترین مقدار آن در اراضی تیمار راتون 1 (به میزان 0/73 درصد) بدست آمد که نتیجه را می‌توان این طوری توجیه کرد که مرحله راتون 3 به علت داشتن حداکثر مقدار ماده آلی در بین مراحل رشد مورد بررسی اراضی نیشکر به علت اینکه کربن آلی خاک عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی مؤثر و کیفیت خاک معرفی شده است از طریق تأثیری که بر هم‌آوری و چسبندگی خاکدانه‌ها داشته توانسته ویژگی‌های ساختمانی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها گردد (نصرتی، 2012).



شکل 3- مقایسه وضعیت درصد پایداری خاکدانه ها در اراضی مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد نیشکر (پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3، راتون 4)

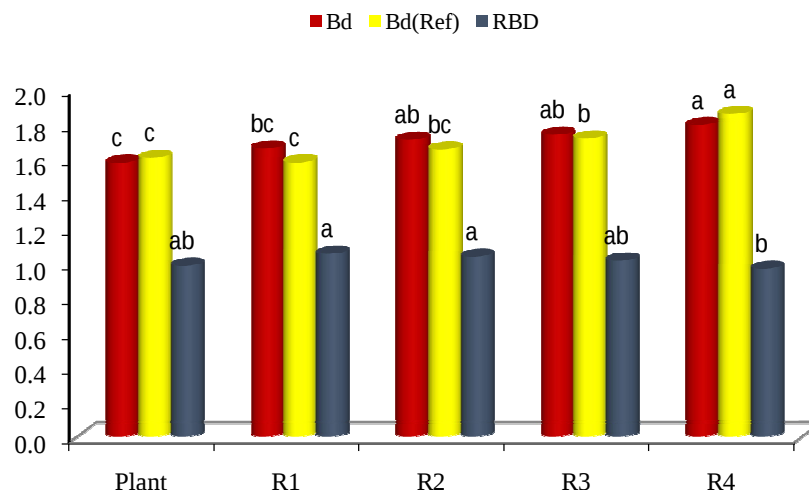
### جرم مخصوص ظاهری

متوقف می‌شود. در چنین خاک‌های فشرده، دسترسی به اکسیژن کم بوده که منجر به کاهش جذب آب و مواد غذایی می‌شود.

مقایسه مقادیر جرم مخصوص ظاهری به دست آمده با حد بهینه (0/85) نتایج نشان داد که بیشتر مقادیر به دست آمده بیش از حد بهینه برای رشد ریشه گیاه بود که بیانگر فشردگی بیش از حد خاک‌های مزارع نیشکر می‌باشد. بنابراین با توجه به تفاوت بافت خاک در مزارع تحت کشت نیشکر، برای بیان درجه فشردگی خاک‌های مختلف و مقایسه نسبی آنها با هم، علاوه بر جرم مخصوص ظاهری، از جرم مخصوص ظاهری نسبی نیز استفاده شد. مقادیر (RBD) خاک در مزارع مورد بررسی در شکل 4 نشان داده شده است. بررسی‌های هکنسون و لیبیک (2000) و ریچرت و همکاران (2009) نشان می‌دهد که برای رشد و نمو ریشه و جذب عناصر غذایی، جرم مخصوص ظاهری نسبی بهینه بین 0/85 تا 0/9 می‌باشد. مقادیر جرم مخصوص ظاهری نسبی نیز تحت تأثیر مراحل مختلف کشت نیشکر و مقایسه جرم مخصوص ظاهری نسبی محاسبه شده با مقدار بهینه پیشنهادی نشان می‌دهد که در تمامی موارد جرم مخصوص ظاهری نسبی خاک مزارع از این حدود بهینه بیشتر است که بیانگر تراکم

جرم مخصوص ظاهری خاک به شدت وابسته به بافت خاک و تراکم ذرات شن، سیلت و رس خاک و ماده آلی و همچنین نحوه آرایش ذرات است (ساکین و همکاران، 2011). پایداری خاکدانه وابسته به تعامل بین ذرات اولیه و ترکیبات آلی است تا بتوان خاکدانه‌های پایدار به وجود آورد که توسط عوامل مختلف مربوط به شرایط محیطی خاک و شیوه‌های مدیریتی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (ایوبی و همکاران، 2011). نتایج پژوهش نشان داد که مراحل مختلف کشت اثر معنی‌دار بر مقدار چگالی ظاهری مزارع داشته است به طوری که بیشترین مقدار به میزان 1/79 گرم بر سانتیمتر مکعب در تیمار راتون 4 و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار پلنت بود و میانگین مقدار در تمام خاک‌های مورد مطالعه 1/71 گرم بر سانتیمتر مکعب بود و در اکثر بافت‌ها و تحت حالت‌های مختلف کشت، چگالی ظاهری خاک از مقدار محدودکننده  $1/6 \text{ Mg m}^{-3}$  بیشتر بود (شکل 4)، هامبورت (1968) گزارش کرد که با افزایش چگالی ظاهری خاک از 1/1 به محدودکننده  $1/6 \text{ Mg m}^{-3}$  توسعه ریشه نیشکر به تدریج کند می‌شود. حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه  $1/8 - 1/9 \text{ Mg m}^{-3}$  است که در این حد از فشردگی خاک، رشد و توسعه ریشه عملاً

و فشردگی بیش از حد خاک های مزارع نیشکر می باشد که با نتایج برانک و همکاران (2006) مطابقت دارد.



شکل 4- مقایسه مقادیر جرم مخصوص ظاهری و ظاهری نسبی در اراضی مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد نیشکر

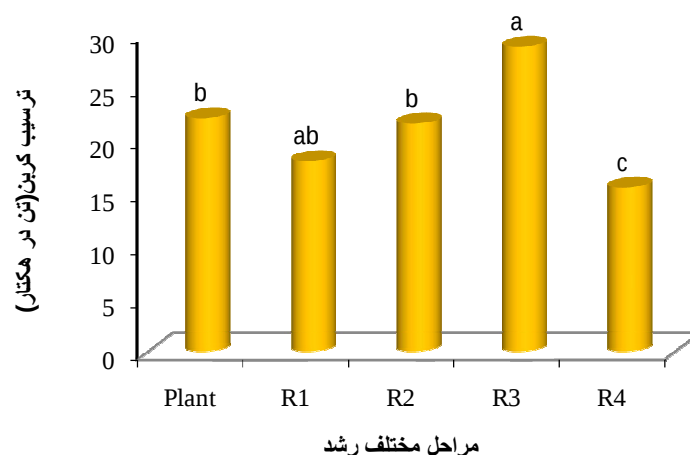
#### اثرات مراحل مختلف رشد نیشکر بر ترسیب کربن

افزایش غلظت دی اکسید کربن در جو زمین به عنوان اصلی ترین عامل تغییرات اقلیمی است که تغییر در اکوسیستم ها و در نتیجه کاهش تنوع زیستی از عواقب و خسارات ناشی از آن می باشد. یکی از گزینه های پیش روی بشر برای جلوگیری از روند افزایشی غلظت کربن در اتمسفر کاهش خروج این گاز از خاک می باشد. ارزان ترین روش برای کاهش خروج گاز دی اکسید کربن از خاک، تبدیل این گاز به ترکیبات آلی یا اصطلاحاً ترسیب کربن می باشد که فرایندی طبیعی در خاک ها است. براساس گزارش های موجود بیشترین علت گرم شدن کره زمین و تغییرات اقلیمی ناشی از آن تأثیر گازهای گلخانه ای به خصوص دی اکسید کربن می باشد. ترسیب کربن در خاک و زیست توده گیاهی به عنوان ساده ترین گزینه و از نظر اقتصادی عملی ترین راهکار ممکن برای کاهش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری است. گیاه نیشکر با دارا بودن چرخه فتوسنتزی چهار کربنه و تولید زیست توده فراوان از گیاهان زراعی اصلی استان خوزستان محسوب می شود. بدین منظور نتایج تجزیه و تحلیل آماری نمونه

خاک رویشگاه گیاه نیشکر در مراحل مختلف رشد نشان داد که مقدار ترسیب کربن در تیمارهای پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4 مطابق با شکل 6 به ترتیب 22/07، 21/۱۸، ۵۶/02، 28/84 و 15/50 تن در هکتار است. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار ترسیب کربن در تیمار راتون 3 به میزان 28/84 تن در هکتار و کمترین مقدار در تیمار راتون 4 به میزان 15/50 تن در هکتار می باشد (شکل 5). همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول 3) نیز نشان دارد که میزان ترسیب کربن خاک در تیمارهای موجود در سطح 1 درصد معنی دار می باشد. دلیل بیشتر بودن مقدار ذخیره کربن را می توان به پوشش گیاهی بیشتر و در نتیجه وجود بقایای گیاهی بیشتر و عدم آتش سوزی بقایای گیاهی نسبت داد زیرا بقایای گیاهی با کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش رطوبت برای رشد گیاهان، اثر مثبتی بر پوشش گیاهی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارند. با توجه به اینکه هر تیمار حدود 25 هکتار می باشد و هرتن کربن آلی معادل 3/67 تن دی اکسید کربن می باشد با میزان دی اکسید کربن با اعمال ضریب مذکور در میزان ترسیب کربن در تیمارهای پلنت،

رس، میزان فسفر و نیتروژن، شوری، اسیدیته و درصد کربن آلی خاک به ترتیب از مهمترین اجزای تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک می‌باشند. به طوری که تیمار راتون 3 با بیشترین مقدار ماده آلی بیشترین مقدار ترسیب کربن را نیز شامل شده است. ریدر و شومان (2002) گزارش کردند که بافت خاک و به ویژه محتوای رس است نقش مهمی در توانایی ترسیب کربن خاک دارند. نتایج مطالعه (گارتن، 2002) نشان داد که ترسیب کربن خاک با ماده آلی و درصد سیلت و رس همبستگی داشت.

راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4 به ترتیب 2025/4، 1978/۱۶۵۳، ۵/۵/2645/9 و 1422/2 تن درهکتار است. بنابراین ذخیره کربن خاک در مراحل مختلف رشد به طور قابل توجهی در این مطالعه متفاوت بود. کربن آلی خاک مستقیماً تحت تأثیر مدیریت مزرعه مانند نوع محصول، کوددهی، شدت خاکورزی، راندمان آبیاری، شیوه‌های برداشت و طول دوره زندگی گیاهان زراعی قرار می‌گیرد (فریباور و همکاران، 2004؛ اسمیت، 2004). با توجه به نتیجه این تحقیق بافت خاک و به ویژه درصد سیلت و



شکل 5- میزان ترسیب کربن خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر

اثر مدیریت‌های مختلف اراضی ممکن است تغییر یابد (آگستو و همکاران، 2002) آهک خاک دارای رابطه مثبت و معنی‌داری با مقدار شاخص پایداری دارد که توجیه این موضوع را می‌توان به نقش مثبت آهک در بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها و تأثیر مثبت بر تغذیه گیاه به دلیل وجود ترکیبات کلسیم و منیزیم نسبت داد (قریشی و همکاران، 1392). همچنین در بین ویژگی‌های مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها، بیشترین نقش مربوط به کربن آلی، میزان سیلت، اسیدیته و شوری و کربنات کلسیم معادل بودند.

نتایج همبستگی نشان داد که بین خصوصیات مورد مطالعه روابط متفاوتی وجود داشت، به طور مثال درصد رس، میزان پتاسیم و نیتروژن و درصد سیلت خاک، اسیدیته و شوری به ترتیب از مهمترین اجزای تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک می‌باشند که رابطه مثبت و معنی‌دار آنها با مقدار ترسیب کربن در جدول 4 ارائه شده است. ریدر و شومان (2002) گزارش کردند که بافت خاک و به ویژه محتوای رس است نقش مهمی در توانایی ترسیب کربن خاک دارند. تغییرات اسیدیته خاک موجب تغییراتی در جذب نیتروژن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد غذایی توسط اکوسیستم می‌شود و در مقدار کربن خاک تغییر ایجاد می‌کند. همچنین اسیدیته خاک در

## نتیجه گیری کلی

نیشکر گیاهی دائمی و از خانواده گرامینه‌هاست که سهم قابل ملاحظه‌ای از شکر مورد نیاز بشر را تولید می‌کند. تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه بطور مطلوب توسط خاک زمانی مهیا می‌شود که خاک از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی محدودیتی نداشته باشد. با این وجود یکسری از عوامل خارجی وجود دارند که می‌توانند این خواص را از حالت مطلوب خود خارج سازند. این گیاه با توجه به داشتن نیاز آبی فراوان و مکانیزه بودن آن در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، بیشتر از هر گیاهی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک اثر گذار بوده و باعث ایجاد تغییراتی در خصوصیات آن می‌گردد. در حقیقت انجام آبیاری‌های فراوان باعث ایجاد آبشویی در خاک گردیده و بدنبال آن تشکیل سخت لایه‌ها می‌گردد همچنین وجود این رطوبت دائمی و انجام کشت و کار در طولانی مدت در این اراضی باعث تسریع در فرایندهای خاکساز می‌گردد که می‌تواند کلیه خصوصیات خاک از جمله بافت، CEC درصد رس و مواد آلی را تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر با مکانیزه شدن کشاورزی و افزایش تعداد تردد، تنش‌های وارده و نهایتاً تراکم خاک-های کشاورزی نیز افزایش یافته است که در این راستا تنش‌های وارده به خاک در مزارع نیشکر بیشتر از مزارع دیگر است. با توجه به این مطالب نتایج تحقیق نشان داد که در اثر تغییرات مراحل مختلف رشد نیشکر، برخی از خصوصیات فیزیکی خاک از جمله جرم مخصوص ظاهری تفاوت معنی‌داری داشتند. از بین خواص شیمیایی خاک از جمله شوری و میزان ترسیب کربن به طور قابل توجهی متفاوت بودند. بیشترین مقدار شاخص پایداری خاکدانه‌ها (SI) در مرحله رشد راتون 3 (1/21 درصد) و کمترین مقدار آن در اراضی تیمار راتون 1 (به میزان 0/73

درصد) بدست آمد که مرحله راتون 3 به علت داشتن حداکثر مقدار ماده‌آلی در بین مراحل رشد مورد بررسی اراضی نیشکر به علت اینکه کربن‌آلی خاک عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی مؤثر و کیفیت خاک معرفی شده است از طریق تأثیری که بر هم‌آوری و چسبندگی خاکدانه‌ها داشته توانسته ویژگی‌های ساختمانی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها گردد. میانگین ترسیب‌کربن در مراحل مختلف رشد تفاوت معنی‌داری داشت، نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار ترسیب کربن در تیمار راتون 3 به میزان 28/84 تن در هکتار و کمترین مقدار در تیمار راتون 4 به میزان 15/50 تن در هکتار می‌باشد. با توجه به نتیجه این تحقیق بافت خاک و به ویژه درصد سیلت و رس، میزان فسفر و درصد کربن آلی خاک به ترتیب از مهمترین اجزای تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک می‌باشند. بنابراین هرگونه تغییر در مدیریت و کاربری می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کیفیت، باروری و تولید داشته باشد و بنابراین مدیریت خاک‌ها و اراضی نقش کلیدی در پایداری نظام تولید خواهد داشت. و ضروری به نظر می‌رسد اقدامات لازم در جهت افزایش پتانسیل ترسیب کربن در عرصه‌های مختلف کشت نیشکر انجام گیرد تا قدمی در راستای کاهش غلظت کربن در جو (هواسپهر) به منظور کاهش تغییر اقلیم برداشته شود.

## سپاسگزاری

مقاله حاضر، از اطلاعات پروژه تحقیقاتی تعیین نیازهای رویشی نیشکر (با شماره مصوب 10-10-014-9452-94003 که از تاریخ 1394/10/01 تا 1398/12/01) استخراج شده است که با حمایت‌های موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده‌است که بدینوسیله تشکر قدردانی بعمل می‌آید.

جدول 4- همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ذخیره کربن خاک اراضی نیشکر مورد مطالعه

|      | sand     | Silt    | clay    | SI      | BD      | P       | K       | OC      | CS      | N       | CCE     | EC      | PH      | SAR     | CEC   | RBD |
|------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-----|
| sand | 1        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |     |
| silt | -0/645** | 1       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |     |
| clay | -0/942** | 0/599*  | 1       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |     |
| SI   | 0/124    | 0/562*  | 0/051   | 1       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |     |
| BD   | 0/112    | 0/551*  | 0/076   | 0/999** | 1       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |     |
| P    | -0/500   | 0/731** | 0/666** | 0/700** | 0/713** | 1       |         |         |         |         |         |         |         |         |       |     |
| K    | -0/901** | 0/549*  | 0/943** | 0/003   | 0/021   | 0/565*  | 1       |         |         |         |         |         |         |         |       |     |
| OC   | 0/063    | 0/595*  | 0/118   | 0/998** | 0/998** | 0/741** | 0/064   | 1       |         |         |         |         |         |         |       |     |
| CS   | -0/307   | 0/921** | 0/573*  | 0/743** | 0/723** | 0/610*  | 0/241   | 0/752** | 1       |         |         |         |         |         |       |     |
| N    | 0/084    | 0/569*  | 0/106   | 0/998** | 0/999** | 0/735** | 0/051   | 0/999** | 0/731** | 1       |         |         |         |         |       |     |
| CCE  | 0/484    | 0/160   | -0/304  | 0/829** | 0/818** | 0/449   | -0/251  | 0/805** | 0/401   | 0/813** | 1       |         |         |         |       |     |
| EC   | -0/494   | 0/796** | 0/653** | 0/768** | 0/779** | 0/579** | 0/590*  | 0/807** | 0/712** | 0/799** | 0/483   | 1       |         |         |       |     |
| PH   | 0/102    | 0/545** | 0/096   | 0/996** | 0/999** | 0/729** | 0/036   | 0/998** | 0/708** | 0/999** | 0/816** | 0/790** | 1       |         |       |     |
| SAR  | -0/619** | 0/519** | 0/711** | 0/262   | 0/267   | 0/745** | 0/800** | 0/306   | 0/296   | 0/297   | 0/247   | 0/728** | 0/282   | 1       |       |     |
| CEC  | -0/478   | 0/245   | 0/689** | 0/248   | 0/274   | 0/628*  | 0/791** | 0/294   | 0/050   | 0/298   | 0/224   | 0/638*  | 0/297   | 0/853** | 1     |     |
| RBD  | 0/080    | 0/570*  | 0/111   | 0/997** | 0/999** | 0/736** | 0/055   | 0/999** | 0/729** | 1/000** | 0/808** | 0/800** | 0/999** | 0/295   | 0/300 | 1   |

## فهرست منابع:

1. ابوعلی، م.، کریمیان اقبال، م. و جعفری، س. 1388. تأثیر کوتاه مدت و طولانی مدت کشت نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک‌ها در استان خوزستان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.
2. تقی پور، آ.، رضاپورس، دولتی، ب. و حمزه نژاد تقلیدآباد، ر. 1394. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در خوی، استان آذربایجان غربی. آب و خاک. 29 (2): 418-431.
3. جعفری، س. و نادیان، ح. 1393. مطالعه تکامل خاک‌ها و تنوع کانی‌های رسی در یک ردیف پستی و بلندی در استان خوزستان. مجله علوم آب و خاک. 18 (69): 151-164.
4. حسن‌لی، ع. م. 1393. تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر منابع آب و محیط زیست. جهاد دانشگاهی مشهد. 201 ص.
5. حمیدرضا، ب.، زند، ا. و شفیع‌یافتی، ف. 1392. مدیریت بهینه در صنعت نیشکر. انتشارات کردگار. 386 ص.
6. خورده بین، صاحب، حاجتی، سعید، لندی، احمد، احمدیان فر، ایمان. 1399. مقایسه روش‌های مختلف داده‌کاوی در پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک در برخی اراضی شهرستان بهبهان. تحقیقات آب و خاک ایران. 51 (4): 1041-1054.
7. سید جلالی، ع.، دهقان، ر.، آزادی، ا.، زین الدینی میمند، ع.، نویدی، م. ن. و محمداسماعیل، ز. 1399. بررسی تأثیر عوامل خاکی بر رشد نیشکر در اراضی تحت کشت نیشکر در استان‌های خوزستان و مازندران. مجله پژوهش‌های خاک. 34 (3): 343-357.
8. قریشی، ر.، گلی کلانپا، ا.، معتمدی، جواد. و کیوان بهجو، ف. 1392. ظرفیت ترسیب کربن در اکوسیستم مرتع و ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع خوی. تحقیقات کاربردی خاک. 2 (1): 34-44.
9. لندی، ا.، پورکیهان، س.، چرم، م.، حاجتی، س. و جعفری، س. 1397. مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی و احداث مزارع نیشکر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی خاک در منطقه جنوب خوزستان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. 8 (2): 43-61.
10. محمدی، ج. 1385. پدومتری. آمار کلاسیک. جلد اول، انتشارات پلک، تهران، 532 صفحه.
11. نیشابوری، م. ر. و ریحانی تبار، ع. 1389. تفسیر نتایج آزمون خاک، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول. 306 ص.
12. ویسی تبار، ع.، همت، ع. و مصدقی، م. ر. 1394. ارزیابی تراکم خاک مزارع نیشکر تحت حالت‌های مختلف کشت به کمک چگالی ظاهری، چگالی ظاهری نسبی و شاخص مخروط خاک. مجله علوم آب و خاک. 19 (72): 93-106.
13. Allison, L.E., and C.D. Moodi. 1962. Carbonates. PP 1379-1396. In: C.A. Black et al. (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2, Am. Soc Agron. Madison, WI.
14. Anghinoni, I., V. C. Baligar, and R. J. Wright. 1996. Phosphorus sorption isotherm characteristics and availability parameters of Appalachian acidic soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 27: 2033-2048.
15. Augusto, L.R, D. Jacques. and A. Roth. 2002. Impacts of several common tree species of European temperate forests on soil fertility, Annals of Forest Science. 59: 233-253.
16. Ayoubi, S., F. Khormali., K. L. Sahrawa., D. Rodrigues. and Lima, A.C., 2011. Assessing impacts of land use changes on soil quality indicators in a Loessial soil in Golestan Province, Iran. Journal of Agriculture Science and Technology, 13:727- 742.
17. Barzegar, A. R., Sh. Mahmoodi., F. Hamed.,i and F. Abdolvahabi. 2005. Long term sugarcane cultivation effects on physical properties of fine textured soils. J. Agric. Sci. Technol. (IRI) 7: 59-68.
18. Blake G.R., and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. p. 363-375. In Klute A. (ed.). Methods of soil analysis. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI.

19. Bouyoucos. C. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*. 45: 464-465
20. Braunack, M. V., J. Arvidsson., and I. Håkansson. 2006. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Sacharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Soil Till. Res.* 89: 103-121.
21. Bronick, C. J., and R.Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 124: 22-3.
22. Chancellor, W. J. 1977. Compaction of soil by agricultural equipment. Bulletin No. 1881. Davis: Division of Agricultural Sciences, University of California.
23. Follett R.F. 2001. Organic Carbon Pools in Grazing Land Soils. In: Follett, R.F., J.M. Kimble and R. Lal (Eds), *The Potential of US Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Lewis Publishers, Boca Raton FL, pp. 65-86.
24. Freibauer, A., M. D. Rounsevell., P. Smith., and J. Verhagen. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*. 122 (1): 1-23.
25. Garten, J.R., T. Charles. 2002. Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in tennessee and South Carolina, USA. *Biomass and Bioenergy*. 23:93-102.
26. Ghorbani, Z., S. Jafari., and B. Khalil Moghaddam. 2013. The effect of soil physicochemical properties under different land use on aggregate stability in some part of Khuzestan province. *J. Soil Manand. Sus. Pro.* 3(2) : 29-51.
27. Gol, C. 2009. The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. *J. Environ. Biol.* 30: 825-830.
28. Håkansson, I. and J. Lipiec. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Till. Res.* 53: 71-85.
29. Hazelton, P., and B. Murphy. 2016. *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?*. CSIRO publishing.
30. Humbert, R. P. 1968. *The Growing of Sugarcane*. Elsevier: Amsterdam.
31. Hunsigi, G. 2001. *Sugarcane in Agriculture and Industry*. Prism Books, Bangalore, India.
32. Jones, C.A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 1208–1211.
33. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In D.L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis*. (pp. 869- 921). SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
34. Moezzi, A., M. Sadeqi Mianrodi., A. Gholami., T. Babaeinejad., and E. panahpour. 2019. Investigation of Long-Term Sugarcane Cultivation Influence on Some Soil Chemical Properties of Karun Agro-industry, Khuzestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 9(1): 165-178.
35. Nosrati, K. 2012. Assessing soil quality indicator under different land use and soil erosion using multivariate statistical techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185: 2895–2907.
36. Page A.L., R.H. Miller., and D.R. Keeney. 1982. *Methods of soil analysis. PartII.Chemical and Microbiological methods*. Second edition, Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA.
37. Pankhurst. C. E., R. C. Magarey., G. R. Sirling., B. L. Blair., M. J. Bell., and A. L. Garside. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. *Soil Till. Res.* 72: 125-137
38. Pieri, C., J. Dumanski., A. Hamblin., and A. Young. 1995. *Land Quality Indicators*. World Bank Discussion Papers, 315.
39. Qadir, M., A. S. Qureshi., and S. A. M. Cheraghi. 2008. Extent and characterisation of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Degradation & Development*. 19(2): 214-227.

40. Reeder, J.D., and G.E. Schuman. 2002. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. *Environmental Pollution*. 116 (3): 457-463.
41. Reichert, J. M., L. E. A. S. Suzuki., D. J. Reinert., R. Horn., and Håkansson, I .2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil and Tillage Research*. 102(2): 242-254.
42. Rezapour, S., A. Taghipour., and A. Samadi. 2013. Modifications in selected soil attributes as influenced by long-term continuous cropping in a calcareous semiarid environment. *Natural Hazards*. 69: 3. 1951-1966.
43. Rowell, DL. 1994. *Soil Science: Methods and Application*. Longman Group, Harlow.
44. Sakin, E., A. Deliboran., E.Tutar. 2011. Bulk Density of Harran Plain Soils in Relation to Other Soil Properties, *African Journal of Agricultural Research*, 6:1750-1757.
45. Silva, A.J.N., M.R. Ribeiro., F.G. Carvalho., V.N. Silva., and L.E.S.F. Silva. 2007. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of Yellow Latosol in Northeast Brazil. *Soil Tillage Research*. 94: 420-424.
46. Smith, P. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy*. 20(3): 229-236.
47. Tamirat, T. 1992. Vertisol of central highlands of Ethiopia: Characterization and evaluation of phosphorus statues. Master's Thesis, Alemaya University, Dire Dawa.
48. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, 5, 475-490.
49. Walkey, A., and I.A., Black .1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis.1. *Experimental. Soil Science*. 79: 459-465.
50. Zhang, B., and R. Horn. 2001. Mechanisms of aggregate stability in Ultisols from subtropical China. *Geoderma*. 99: 145-123.

## ارزیابی برهمکنش سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد، وضعیت تغذیه‌ای و کیفیت خیار گلخانه‌ای در شرایط تنش سرمایی

مجید بصیرت<sup>1</sup>، سید مجید موسوی و مجید عباسپور

استادیار بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه؛ موسسه تحقیقات خاک و آب؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛

majid\_basirat@yahoo.com

استادیار بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه؛ موسسه تحقیقات خاک و آب؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛

majid62mousavi@gmail.com

کارشناس بخش تشکیل و طبقه‌بندی خاک؛ موسسه تحقیقات خاک و آب؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛

mabbaspour25@gmail.com

دریافت: 1400/4/14 و پذیرش: 1400/9/29

### چکیده

هدف هر گلخانه‌دار اتخاذ راهکارهایی است که گیاه بتواند در شرایط تنش دمایی عملکرد خود را حفظ نماید. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف سالیسیلات پتاسیم ( $C_7H_5KO_3$ ) (0/5 و 1 میلی‌مولار) و سیلیکات پتاسیم (0 و 4 در هزار) بر روی عملکرد و وضعیت تغذیه‌ای خیار گلخانه‌ای (*Cucumis sativus*) در شرایط تنش سرمایی (در محدوده دمایی 15 تا 17 درجه سانتی‌گراد به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در کرج اجرا گردید. نتایج نشان داد که سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم در اکثر موارد بطور معنی‌داری غلظت نیتрат و عناصر غذایی در گیاه و کیفیت و عملکرد خیار را تحت تأثیر قرار دادند. همچنین، محلول‌پاشی همزمان آنها به طور معنی‌داری بر عملکرد کل خیار و عملکرد بازارپسند تأثیر گذاشت و بیشترین افزایش عملکرد کل و عملکرد بازارپسند نسبت به تیمار شاهد به ترتیب با 94/91% و 96/01% افزایش در تیمار 0/5 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم بدست آمد. در نتیجه‌ی محلول‌پاشی سالیسیلات و سیلیکات پتاسیم، عناصری مانند نیتروژن، بور، و منگنز در برگ ( $P < 0/05$ ) در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی‌داری افزایش نشان دادند. علاوه بر این، تیمارهای محلول‌پاشی باعث کاهش معنی‌دار محتوای نیترات در ماده خشک برگ خیار شدند؛ از حدود 11% در تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات+4 در هزار سیلیکات پتاسیم تا 78% در تیمار 0/5 میلی‌مولار سالیسیلات+4 در هزار سیلیکات پتاسیم. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق نشان داد که استفاده از سالیسیلات و سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش سرما می‌تواند موجب افزایش عملکرد و ارتقای کیفیت بازارپسندی محصول خیار گردد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت تغذیه‌ای خیار؛ تنش دمای پایین

<sup>1</sup> نویسنده مسئول: کرج، موسسه تحقیقات خاک و آب، بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

## مقدمه

تنظیم درجه حرارت در گلخانه نقش مهمی بر عملکرد محصول دارد که در اکثر موارد به دلایل مختلف از جمله گرانی انرژی برای گرم کردن و یا برق برای خنک کردن، مدیریت مناسبی اعمال نمی‌شود و گیاهان در فصل سرما و گرما عمدتاً دچار تنش و کاهش عملکرد شده و گلخانه‌داران از این وضعیت دچار خسارت‌های فراوان می‌شوند (حقیقی و ابوالقاسمی، 1398).

خیار با نام علمی *Cucumis sativus* L. گیاهی یک ساله و از خانواده کدوئیان بوده و یکی از محصولات گلخانه‌ای عمده‌ی کشور محسوب می‌شود. قرارگیری این گیاه در معرض دماهای سرمازدگی (در محدوده‌ی دمایی کمتر از 17 درجه سانتی‌گراد) ممکن است سبب توقف رشد گیاه، تحریک پژمردگی و آسیب برگ‌ها و افزایش حساسیت گیاه به بیماری‌ها و پاتوژن‌ها شود (جوانمردی، 1388). از طرفی تنش دمایی ممکن است به شدت به نمو زایشی گیاهان آسیب بزند (بنی‌نصب، 2009؛ جوانمردی، 1388). زمانی که گیاهان حساس به سرما در معرض دمای پایین قرار می‌گیرند، یک سری واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل عدم یکنواختی در رسیدن محصول، فرورفتگی‌های سطحی برگ یا میوه، بی‌رنگ شدن محصول، از دست دادن آب و افزایش سرعت تنفس رخ می‌دهد که در نهایت سبب کاهش کیفیت محصول و کاهش بازارپسندی آن شده و در موارد پیشرفته از بین رفتن آن را به دنبال دارد (لونگویلی و همکاران، 2012). بنابراین، هدف اصلی مقاوم‌سازی گیاه در گلخانه، جلوگیری از افت عملکرد است و اگر گیاه را تا حدی به این تغییرات بتوان مقاوم کرد و جلوی افت عملکرد را گرفت، در هزینه تمام شده و مصرف انرژی صرفه جویی بزرگی در سطح کلان کشور می‌شود.

استفاده از مواد شیمیایی برای تحریک رشد و باردهی بیشتر در محصولات کشاورزی همواره از نگرانی‌های مصرف‌کنندگان است. بنابراین، اگر قرار است از ترکیبات محرک رشد یا مقاوم‌کننده گیاه استفاده شود،

می‌بایست منشأ خطرناکی نداشته و یا از لحاظ شیمیایی بی‌خطری آن اثبات شده باشد و یا آلاینده همراه نداشته باشد. سالیسیلیک اسید یک هورمون گیاهی است که منشأ طبیعی و گیاهی داشته و مصرف آن بی‌خطر شناخته شده است (نظر و همکاران، 2011؛ میورا و تادا، 2014). اسید سالیسیلیک نقش مهمی در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده و افزایش مقاومت گیاهان ایفا می‌کند و آسیب‌های ناشی از دماهای پایین را با مکانیسم‌های مختلفی مثل افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی کاهش می‌دهد (سلطانی دلربا و همکاران، 1390).

بیات و همکاران (1390) با مطالعه‌ی اثر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانه‌های خیار تحت شرایط تنش خشکی بیان کردند که سالیسیلیک اسید مصرفی بطور معنی‌داری باعث افزایش رشد گیاه و بیوماس تولیدی در مقایسه با تیمار شاهد شد که این خود بطور معنی‌داری افزایش عملکرد خیار را به دنبال دارد. اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر کاهش تنش شوری در گوجه‌فرنگی نشان داد که در شرایط تنش شوری، این ترکیب باعث افزایش مقاومت به تنش و در نتیجه افزایش عملکرد میوه‌ی تولیدی می‌شود (محمدآبادی و همکاران، 1393). اسید سالیسیلیک از طریق تنظیم ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی، سبب افزایش مقاومت گیاه می‌شود (هاشم‌پور و همکاران، 2014). کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط بروز تنش همچنین فتوسنتز گیاه را از طریق عوامل روزنه‌ای، رنگریزه‌ها و ساختار کلروپلاست و آنزیم‌های دخیل در مراحل فتوسنتز اعمال کرده (قای، 2002) و از طریق افزایش معنی‌دار سطح برگ و نیز محتوای کلروفیل باعث افزایش عملکرد می‌شود (آروین و همکاران، 1390).

سیلیسیم نیز به عنوان یک عنصر مفید برای گیاه شناخته شده است که نقش مثبت آن در تعدیل آثار

تأثیر این نوع مدیریت تغذیه‌ای در شرایط تنش دمای پایین قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های 1397 تا 1398 در گلخانه‌های تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب که دارای سیستم گرمایش و سرمایش کنترل شده بودند بر روی خیار گلخانه‌ای (*Cucumis sativus* L.) اجرا شد. برای بهتر نشان دادن اثر تنش سرمایی بر تغییرات عملکرد، بذر خیار انتخابی از نوع پر گل وارداتی شرکت Meridiem (<https://meridiemseeds.com/en/company/>) بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در شرایط کشت هیدروپونیک (در بستر مخلوط پرلیت 30 درصد- کوکوپیت 70 درصد) اجرا شد. این مواد دارای ویژگی‌های استاندارد به شرح ذیل بودند: پرلیت: دارای قابلیت هدایت الکتریکی 1/6 دسی-زیمنس بر متر؛ pH 6/1؛ ظرفیت تبادل کاتیونی صفر؛ وزن مخصوص ظاهری 0/15 گرم بر سانتی‌مترمکعب؛ خلل و فرج کل 0/88 سانتی‌مترمکعب در سانتی‌مترمکعب؛ ظرفیت نگهداشت رطوبت 0/56 سانتی‌مترمکعب در سانتی‌مترمکعب و کوکوپیت استفاده شده دارای قابلیت هدایت الکتریکی 0/90 دسی‌زیمنس بر متر؛ pH 6/7؛ ظرفیت تبادل کاتیونی 64/4 سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم؛ وزن مخصوص ظاهری 0/11 گرم بر سانتی‌مترمکعب؛ خلل و فرج کل 0/97 سانتی‌مترمکعب در سانتی‌مترمکعب؛ ظرفیت نگهداشت رطوبت 0/87 سانتی‌مترمکعب در سانتی‌مترمکعب بودند. ویژگی‌های شرایط رشدی خیار در گلخانه از مرحله کاشت تا تشکیل میوه که درجه حرارت برای اعمال تنش سرمایی مجدداً تنظیم شد، شامل درجه حرارت  $25 \pm 3$  درجه سانتیگراد در روز و  $18 \pm 2$  درجه سانتیگراد در شب؛ دوره‌ی روشنایی شامل 14 ساعت روشنایی و 10 ساعت تاریکی؛ رطوبت نسبی 65 درصد و شدت نور بین 95 تا 155 وات بر متر مربع نوسان داشت (نومن سلام و همکاران، 2021)

نامطلوب تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی بوسیله‌ی تعدادی از محققین بر روی محصولات نظیر گندم، جو، برنج، آفتابگردان، ذرت، پنبه، گوجه‌فرنگی و خیار گزارش شده است (خان و همکاران، 2015؛ صاحبی و همکاران، 2015؛ موسوی و همکاران، 2018a,b). مکانیسم اثر گذاری سیلیسیم بر تعدیل آثار تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان بیشتر به نقش آن در استحکام دیواره سلولی، تنظیم فعالیت‌های آنزیمی گیاه، تشکیل کمپلکس-های پایدار با عناصر سمی و افزایش زیست‌فرآهمی عناصر غذایی ضروری گیاه از طریق اثرگذاری بر خصوصیات خاک گزارش شده است (موسوی، 2021). اما نکته‌ای که باید توجه داشت این است که غلظت مصرف این مواد، زمان استفاده و نوع گیاه در اثر بخشی آنها بر روی گیاه بسیار موثر است. برای مثال، کواچیک و همکاران (2009) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک در سطح غلظتی پایین (50 میکرومولار) باعث بهبود و در سطح غلظتی بالا (250 میکرومولار) مانع از رشد گیاه *Matricaria Chamomilla* می‌شود. در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثرات متقابل سیلیسیم و سالیسیلیک اسید بر پاسخ‌های دفاعی گیاه خیار به تنش شوری (جعفری و همکاران، 1390)، برهمکنش مثبت این دو ترکیب در القاء مقاومت به تنش شوری در گیاه خیار مشاهده شد. اثر مصرف سیلیسیم بر میزان مقاومت کدوی پوست کاغذی به تنش اکسیداتو ناشی از سفیدک سطحی توسط محمدخانی و همکاران (1394) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که کاربرد سیلیسیم، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی را به طور معنی-داری افزایش داد و دلیل آن را به اثر سیلیسیم بر کاهش اکسیداسیون لیپیدهای غشاء نسبت دادند.

بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، مطالعه‌ی اثر محلول‌پاشی نمک‌های پتاسیمی سالیسیلات و سیلیکات بر میزان عملکرد و بازارپسندی خیار گلخانه‌ای در شرایط تنش دمای پایین بوده و اینکه غلظت عناصر غذایی و غلظت نیتрат در گیاه خیار تا چه میزان می‌تواند تحت

در کیلوگرم]. همچنین، برخی از مهمترین خصوصیات آب مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی مصرفی در کودآبیاری گلدان‌ها شامل بی‌کربنات 116 میلی‌گرم در لیتر، کلرید 13/5 میلی‌گرم در لیتر، سدیم 12/6 میلی‌گرم در لیتر، منیزیم 4/9 میلی‌گرم در لیتر، کلسیم 55/2 میلی‌گرم در لیتر، سیلیسیم 9/4 میلی‌گرم در لیتر، pH 7/5، EC 0/39 دسی‌زیمنس بر متر، نسیت جذب سدیم 0/44 بودند.

کنترل شرایط محیطی توسط سنسورهای محیطی قابل تنظیم بود. کودآبیاری گلدان‌ها نیز بصورت روزانه و هر روز سه مرتبه انجام شد. بسته به مرحله‌ی رشد بوته‌ها، حجم محلول مصرفی برای گلدان‌ها به نحوی تنظیم شده بود که حدود 30 درصد زهاب در ته گلدان‌ها جمع شود. در طی مرحله‌ی داشت کنترل دقیق شرایط محیطی گلخانه، تنظیم pH و EC زهاب گلدان‌ها، مبارزه با آفات و همچنین هرس شاخه‌های جانبی تا استقرار و رشد کامل بوته‌های خیار انجام شد. از آنجایی‌که، بیشترین و موثرترین زمان فتوستتیز گیاه در ساعات 10 صبح تا 3 بعد از ظهر می‌باشد (بصیرت و همکاران، 2019)، برای القای تنش سرمایی در گلخانه، در ساعات روشنایی درجه حرارت در محدوده 15 تا 17 درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید تا تنش سرمایی لازم برای خیار تأمین شود. تیمارهای محلول‌پاشی در این تحقیق شامل صفر سالیسیلات پتاسیم ( $C_7H_5KO_3$ ) در سه سطح صفر (SA0)، 0/5 (SA0.5) و 1 (SA1) میلی‌مولار و سیلیکات پتاسیم در دو سطح صفر (Si0) و 4 (Si4) در هزار بودند که سیلیکات پتاسیم از شرکت صنایع سیلیکات ایران و سالیسیلات پتاسیم گرید دارویی داشته و از هند تهیه شد (<https://dir.indiamart.com/impcat/salicylic-acid.html>).

تیمارهای ذکر شده در طی دوره‌ی زمانی اعمال تنش سرمایی و به صورت محلول‌پاشی در مرحله‌ی باردهی در طی سه تکرار و به فاصله‌ی دو هفته مصرف شدند. همچنین، به منظور خنثی‌سازی اثر پتاسیم ورودی به گلدان‌ها همراه با تیمارهای اعمال شده، مقدار پتاسیم به

برای کودآبیاری گلدان‌های خیار، محلول غذایی مورد استفاده برای کودآبیاری با سه فورمولاسیون متفاوت و متناسب با نیازهای تغذیه‌ای خیار گلخانه‌ای تهیه و در اختیار گیاه قرار گرفت (اوسانماز و آباک، 2019) که شامل: (1) مرحله نشاءکاری [نترات پتاسیم 444 میلی‌گرم در کیلوگرم، مونوپتاسیم فسفات 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات آهن 13 میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات منگنز 7 میلی‌گرم در کیلوگرم؛ سولفات روی چهار میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات مس یک میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات مولیبدن 0/4 میلی‌گرم در کیلوگرم، نترات کلسیم 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، نترات منیزیم 111 میلی‌گرم در کیلوگرم، آمونیوم 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، اسیدفسفریک 10 درصد 0/1 میلی‌گرم در کیلوگرم؛ (2)

مرحله‌ی گلدهی [نترات پتاسیم 1000 میلی‌گرم در کیلوگرم، مونوپتاسیم فسفات 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، بوراکس 10 درصد به میزان چهار میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات آهن 13 میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات منگنز هفت میلی‌گرم در کیلوگرم؛ سولفات روی چهار میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات مس 1/1 میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات مولیبدن 0/4 میلی‌گرم در کیلوگرم، نترات کلسیم 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، نترات منیزیم 111 میلی‌گرم در کیلوگرم، آمونیوم 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، اسیدفسفریک 10 درصد 0/1 میلی‌گرم در کیلوگرم] و (3) مرحله‌ی برداشت [نترات پتاسیم 1111 میلی‌گرم در کیلوگرم، مونوپتاسیم فسفات 444 میلی‌گرم در کیلوگرم، بوراکس 10 درصد به میزان چهار میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات آهن 13 میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات منگنز هفت میلی‌گرم در کیلوگرم؛ سولفات روی چهار میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات مس 1.1 میلی‌گرم در کیلوگرم، سولفات مولیبدن 0/4 میلی‌گرم در کیلوگرم، نترات کلسیم 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، نترات منیزیم 111 میلی‌گرم در کیلوگرم، آمونیوم 333 میلی‌گرم در کیلوگرم، اسیدفسفریک 10 درصد به میزان 0/1 میلی‌گرم

که شرایط اجرای آزمایش و امکانات موجود اجازه‌ی اجرای همزمان این آزمایش را با شرایط کاملاً یکسان در دو شرایط اعمال تنش سرمایی و عدم اعمال تنش سرمایی نمی‌داد، از وضعیت صفات تعداد خیار سالم، تعداد خیار بدشکل، عملکرد بازارپسند و غلظت نیترات در برگ و میوه‌ی خیار به عنوان شاخص‌ها و شواهد اعمال تنش سرمایی بهره برده شد و اثر تیمارهای اعمال شده بر روی وضعیت این صفات در شرایط اعمال تنش سرمایی مورد توجه قرار گرفت.

### نتایج و بحث

#### اثر تیمارها بر عملکرد خیار

نتایج اثر سطوح مختلف سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر عملکرد خیار در جدول (1) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، تنها وزن کل خیار در گلدان به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح سالیسیلات پتاسیم قرار گرفت و در مورد سایر صفات اثر معنی‌داری مشاهده نشد. این در حالی است که برهمکنش سالیسیلات و سیلیکات پتاسیم به جز در مورد تعداد کل خیار بدشکل که هیچ اثر معنی‌داری از تیمارهای اعمال شده بر روی آن مشاهده نشد، در مورد سایر صفات معنی‌دار شد (جدول 1).

طور دقیق محاسبه و در تمامی گلدان‌ها (از جمله گلدان‌های شاهد) در مرحله‌ی اعمال تیمارها، محلولپاشی شد. در طول مدت اعمال تنش، عملکرد کل و عملکرد بازارپسند (وزن کل تعداد خیار سالم در هر گلدان) تعیین و با نمونه‌گیری از برگ و میوه‌ی خیار و انتقال به بخش آزمایشگاه‌ها، مطابق با استانداردهای مورد تأیید موسسه تحقیقات خاک و آب عملیات آماده‌سازی نمونه‌ها انجام و غلظت عناصر غذایی شامل نیتروژن کل با روش کج‌لدال (جونز و همکاران، 1999)، فسفر کل به روش رنگ‌سنجی با استفاده از اسپکتروفتومتر (باتاگلیا و همکاران، 1993)، سیلیسیم با روش الیوت و اشنایدر، (1991) و اعمال چند اصلاح در این روش بر اساس اصلاحات کورندورفر و همکاران (2004)، غلظت عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس، روی و بور در نمونه‌های برگ با استفاده از روش هضم تر با ترکیب اسید نیتریک: اسیدپرکلریک (7:3) (گریگر و همکاران، 2018) و غلظت نیترات در ماده خشک برگ و بافت تازه میوه (فوداستافس، 1997) تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نیز بعد از بررسی داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آنها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه 22 و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد انجام گرفت. لازم به ذکر است از آنجایی

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی تیمارهای سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر روی عملکرد خیار در تنش سرمایی

| منبع تغییرات         | تعداد کل خیار در گلدان | وزن کل خیار در گلدان | تعداد کل خیار سالم در گلدان | تعداد کل خیار بدشکل در گلدان | عملکرد بازارپسند |
|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| میانگین مربعات       |                        |                      |                             |                              |                  |
| سالیسیلات پتاسیم (A) | 38ns                   | 272879*              | 26/06ns                     | 3/72ns                       | 174814ns         |
| سیلیکات پتاسیم (B)   | 14/22ns                | 2001ns               | 2/00ns                      | 5/56ns                       | 4461ns           |
| A × B                | 49/56*                 | 340561*              | 51/50*                      | 1/72ns                       | 338166*          |
| تکرار                | 3/50ns                 | 3961/50ns            | 12/40ns                     | 3/56ns                       | 13198/11ns       |
| ضریب تغییرات         | 12/54                  | 18/21                | 13/88                       | 38/65                        | 19/77            |

ns: غیر معنی‌دار؛ \* : معنی‌دار در سطح 5 درصد؛ \*\* : معنی‌دار در سطح یک درصد، \*\*\* : معنی‌دار در سطح یک هزارم.

تیمارهای مصرفی به طور معنی‌داری تعداد کل خیار در گلدان را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم) افزایش دادند و از

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر مصرف همزمان سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر روی عملکرد و اجرای عملکرد خیار در شرایط تنش سرمایی نشان داد که

این جهت بین تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد در حالی‌که با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول 2). وزن کل خیار در گلدان نیز به طور قابل توجهی در تیمارهای اعمال شده در مقایسه با تیمار شاهد افزایش نشان داد (از 49/1 درصد در تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار سیلیکات پتاسیم تا 94/88 درصد در تیمار 0/5 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم) (جدول 2) که به استثنای تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار سیلیکات پتاسیم، سایر تیمارها اگرچه فاقد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بودند اما با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بودند.

اثر تیمارهای اعمال شده بر افزایش تعداد خیار بدشکل در شرایط تنش سرمایی در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد که بیشترین افزایش در این صفت در تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار سیلیکات پتاسیم مشاهده شد که معادل 2/29 برابر تیمار شاهد بود و این تیمار ضمن نداشتن اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارهای محلول‌پاشی، تنها تیماری بود که دارای اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد بود. شاید این سؤال به ذهن خطور کند چرا تیمارهای محلول‌پاشی که با هدف کنترل آثار نامطلوب تنش دمای پایین مصرف شده‌اند، در این مورد نتیجه عکسی داشته‌اند؛ همانطور که در بخش‌های قبل مطرح شد، تیمارهای محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار تعداد کل خیار در مقایسه با تیمار شاهد شدند و این کاملاً طبیعی است که در کنار این افزایش تعداد کل خیار در گلدان، به موازات آن تعداد خیار بدشکل نیز افزایش یابد، به همین دلیل و برای نشان دادن اثر خالص تیمارها بر روی کنترل آثار نامطلوب تنش دمای پایین، از شاخص دیگری به نام عملکرد بازارپسند بهره برده می‌شود.

بالترین عملکرد بازارپسند در تیمار 0/5 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم اتفاق افتاد که عملکرد بدست آمده حدود 2 برابر مقدار اندازه‌گیری‌شده در تیمار شاهد بود و این تیمار تنها با تیمارهای شاهد و 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم

دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول 2). نتایج وانگ و لی (2006) نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت 1 میلی‌مولار باعث کاهش خسارت تنش سرمایی و بهبود عملکرد می‌شود. آنها بیان کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک مقاومت بافت‌های حساس به سرمازدگی را افزایش داده و بدین طریق باعث کاهش خسارت سرمازدگی می‌شود. اکبری و همکاران (1394) در مطالعه‌ای با هدف افزایش مقاومت به سرما در گیاهچه‌های خیار با کاربرد برخی از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی، گزارش کردند که اسید سالیسیلیک از طریق افزایش محتوای کلروفیل و پروتئین و جلوگیری از افزایش نشت یونی و محتوای مالون دی‌آلدهید سبب بهبود پارامترهای رشدی و افزایش مقاومت به تنش سرمایی در گیاهچه‌ها در مراحل اولیه رشد و در نتیجه افزایش عملکرد محصول می‌شود. در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن است ( $P < 0/05$ ).

#### اثر تیمارها بر وضعیت تغذیه‌ای خیار

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر روی غلظت عناصر غذایی و نیز غلظت نیترات در گیاه در شرایط تنش سرمایی نشان داد که به استثنای غلظت پتاسیم در برگ و نیترات در ماده‌ی تازه (میوه خیار)، سایر عناصر به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفتند (جدول 3). برهمکنش تیمارهای سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم نیز تنها در مورد غلظت نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و مس در برگ و غلظت نیترات در ماده‌ی تازه میوه‌ی خیار معنی‌دار نبود (جدول 3).

با بررسی میانگین‌های غلظت عناصر برگ در حضور سطوح مختلف سالیسیلیک و سیلیسیلیک اسید در شرایط تنش سرمایی مشخص شد که تیمار سالیسیلات پتاسیم، بر نیتروژن کل معنی‌دار نبود. نیتروژن کل برگ در تمام تیمارها در سطح غلظتی بیشتر از دامنه مطلوب گزارش شده توسط د-کریچ و همکاران (1992) قرار داشت.

جدول 2- مقایسه میانگین‌های اثر مصرف همزمان سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر روی عملکرد و اجزای عملکرد  
خيار در تنش سرمایی

| تیمار       | تعداد کل خیار در گلدان | وزن کل خیار در گلدان (گرم در گلدان) | تعداد کل خیار بدشکل در گلدان | عملکرد بازارپسند |
|-------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| SaA0-SiA4   | 26/33a 1±/53           | 1471/5a77±/67                       | 3/00ab1±                     | 1302/9ab124±/06  |
| SaA0.5-SiA0 | 29/00a2±               | 1759/8a30±/29                       | 3/67ab1±/53                  | 1541/1a93±/08    |
| SaA0.5-SiA4 | 25/67a2±/08            | 1459/8a141±/69                      | 4/00ab2±                     | 1230/5ab229±/98  |
| SaA1-SiA0   | 24/00a4±               | 1551/5a319±/36                      | 3/00ab2±                     | 1358/3ab279±/57  |
| SaA1-SiA4   | 24/67a4±/73            | 1346/2ab223±/89                     | 5/33a1±/15                   | 1057/6bc379±/07  |
| شاهد        | 18/33b1±/53            | 903/0b29±/95                        | 2/33b0±/58                   | 786/2c42±/82     |

SaA0-SiA4: 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم؛ SaA0.5-SiA0: 0/5 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم؛ SaA0.5-SiA4: 0/5 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم؛ SaA1-SiA0: 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم؛ SaA1-SiA4: 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم؛ شاهد: بدون مصرف سالیسیلیک و نمک سیلیکات پتاسیم.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز حضور دارد. این آنزیم که جزو سیستم دفاع آنتیاکسیدانت‌های آنزیمی محسوب می‌شود، در شرایط وقوع تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی افزایش یافته و با متعادل نگه داشتن میزان گونه‌های اکسیژنی واکنشگر (ROS)، باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش می‌شود (تولالی و همکاران، 2010). همچنین فسفر که وظیفه ذخیره‌سازی و انتقال انرژی در گیاه را بر عهده دارد نقش بسزایی در افزایش رشد و عملکرد گیاه و نیز مقاومت به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کند. نقش ترکیبات سیلیسیمی در افزایش ترشح اسیدهای آلی و مواد آلی محلول، تغییر pH محیط ریشه، تغییر فعالیت جامعه زیستی منطقه ریزوسفر (برای مثال میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات) و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی در مطالعات گذشته اثبات شده است (فان و همکاران، 2016؛ موسوی و همکاران، 2018a؛ لی و همکاران، 2019؛ اسکالر و همکاران، 2021، 2019). با این وجود اثر سیلیسیم بر روی فراهمی عناصر غذایی برای گیاه به عوامل مختلفی از جمله میزان سیلیسیم مصرفی نیز بستگی دارد (هو و همکاران، 2021). نباید از نظر دور داشت که اخیراً نقش سیلیسیم بر روی افزایش بیان ژن‌های مرتبط با جذب فسفر معدنی در گیاهانی نظیر گندم اثبات شده است (کاستیک و همکاران، 2017) و بوسنیچ و همکاران

این فرضیه‌ی قوی مطرح است که در شرایط تنش سرمایی ممکن است نیتروژن به اسید آمینه تبدیل نشده باشد زیرا، فعالیت گیاه در اثر درجه حرارت پایین کاهش یافته است، در نتیجه غلظت نیتروژن در برگ در سطح بیش‌بود تجمع یافته است (لونگویلا و همکاران، 2012). مصرف یک میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم به طور معنی‌داری باعث کاهش غلظت فسفر برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول 4). در مطالعات گذشته نیز نشان داده شده است که کاربرد سطوح بالای سالیسیلیک اسید به دلیل ایجاد اختلال در فعالیت‌های آنزیمی گیاه و نیز اختلال در قابلیت گیاه در جذب عناصر غذایی، می‌تواند باعث کاهش رشد و حتی در مواردی متوقف شدن رشد گیاه شود (کرد و هاتوت، 1992؛ شهااتا و همکاران، 2001).

در نتیجه‌ی مصرف نمک سیلیکات پتاسیم غلظت فسفر و مس در برگ به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش نشان داد (به ترتیب 29/33 و 40/71 درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد). میزان افزایش غلظت این عناصر نیز در دامنه‌ی مطلوب غلظتی قرار داشت (جدول 4). سیلیسیم از طریق اثرگذاری بر روی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش سرمایی و کاهش اثرات مخرب سرما در گیاه می‌شود (آذرفام و همکاران، 1399) عنصر مس در ساختار

(a,b 2019) نیز شواهدی مبنی بر پیوند مس با پروتئین-های کلاته کننده مس نظیر روی/مس سوپراکسید دیسموتاز در ریشه‌ها و پلاستوسیانیین برگ‌های خیار ارائه کرده‌اند. آنها همچنین بیان کردند که مصرف سیلیسیم در خیار ظرفیت پیوند مس با دیواره سلولی ریشه‌ها و همچنین تجمع لیگاندهای مس مانند اسیدهای آلی و آمینواسیدهای مس در برگ را افزایش می‌دهد.

برهمکنش همزمان سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم بر روی وضعیت تغذیه‌ای برگ در جدول 5 ارائه شده است. اطلاعات این جدول نشان می‌دهد که در نتیجه‌ی مصرف همزمان این دو تیمار در شرایط اعمال تنش سرمایی، غلظت نیترات در ماده‌ی خشک برگ به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافته است. بیشترین کاهش نیز با حدود 77/58 درصد به تیمار 0/5 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم اختصاص داشت و در رتبه‌ی دوم از این نظر تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم با حدود 51/99 درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد قرار داشت. به استثنای تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم که باعث کاهش غلظت کلسیم برگ شد و از این نظر اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت، در سایر تیمارها، افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم ثبت گردید. اگرچه این میزان افزایش غلظت کمتر از دامنه‌ی غلظتی مطلوب گزارش شده توسط د-کریج و همکاران (1992) بودند. کاهش غلظت کلسیم برگ در سطوح بالای مصرف سالیسیلات پتاسیم می‌تواند به عنوان یک اثر نامطلوب محسوب شود زیرا کلسیم با اتصال به فسفولیپیدها، لایه‌های چربی را پایدار کرده و در نهایت از طریق یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی می‌تواند اثر نامطلوب تنش‌های غیرزیستی از جمله سرما را کاهش دهد. اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش‌های غیرزیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، انباشت اسمولیت-ها، بهبود محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی و تعادل تغذیه‌ای

نسبت داده شده است (ابراهیم و همکاران، 2016). همچنین، کاهش رشد و کاهش مقاومت گیاه به شرایط تنش در نتیجه کاربرد سطوح بالای سالیسیلات پتاسیم توسط کرد و هاتوت (1992) گزارش شده است. بیشترین افزایش در غلظت کلسیم به تیمار 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم اختصاص داشت که نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار داشت (جدول 5)، پاولوویچ و همکاران (2021) نیز به نقش کاربرد ترکیبات سیلیسیمی در ارتقای وضعیت تغذیه‌ای کلسیم گیاه تأکید داشته‌اند. افزایش جذب کلسیم بوسیله گیاه در نتیجه کاربرد ترکیبات سیلیسیمی و تحت شرایط تنش را اینگونه توضیح داده‌اند که سیلیسیم با اثرگذاری بر ترمیم و یکپارچگی غشای پلاسمایی و همچنین افزایش فعالیت پمپ پروتونی  $H^+$ -ATPase باعث افزایش جذب کلسیم توسط گیاه می‌شود (لیانگ، 1999 و کایا و همکاران، 2006).

غلظت منیزیم برگ نیز از وضعیت تقریباً مشابهی با کلسیم تبعیت می‌کرد به طوری‌که تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم بیشترین کاهش غلظت منیزیم برگ را سبب شد (13/21 درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد) به نحوی که فاقد اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد بود. بالاترین غلظت منیزیم برگ با حدود 33/96 درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد در تیمار 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم اندازه‌گیری شد که دارای اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها بود. منیزیم عنصر مرکزی در مولکول کلروفیل بوده و کمبود آن کاهش محتوای کلروفیل برگ و در نتیجه کاهش سوخت و ساز نوری گیاه را در پی دارد که از این طریق منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. در مطالعات شهابا و همکاران (2001) گزارش شد که سالیسیلات پتاسیم در سطوح بالای مصرف منجر به کاهش غلظت کلروفیل برگ و کاهش رشد گیاه می‌شود.

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر روی ترکیب شیمیایی برگ و میوه‌ی خیار در شرایط تنش سرمایی

| منبع تغییرات         | نیترژن کل           | فسفر               | پتاسیم              | کلسیم              | منیزیم              | آهن                 | منگنز                 | مس                 | روی                 | بور                   | نیترات در ماده خشک      | نیترات در ماده تازه‌ی میوه خیار |
|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| میانگین مربعات       |                     |                    |                     |                    |                     |                     |                       |                    |                     |                       |                         |                                 |
| سالیسیلات پتاسیم (A) | 0/218*              | 0/11**             | 0/082 <sup>ns</sup> | 0/35**             | 0/01**              | 4387/39**           | 84332/40**            | 3/87 <sup>ns</sup> | 2744/26**           | 1834/78 <sup>ns</sup> | 59228961/58**           | 0/23 <sup>ns</sup>              |
| سیلیکات پتاسیم (B)   | 0/020 <sup>ns</sup> | 19/10**            | 0/009 <sup>ns</sup> | 1/78**             | 0/03**              | 3528**              | 321267/92**           | 61/05**            | 15138**             | 11653/56***           | 25613948/80**           | 0/22 <sup>ns</sup>              |
| A × B                | 0/003 <sup>ns</sup> | 0/55 <sup>ns</sup> | 0/135 <sup>ns</sup> | 0/79**             | 0/02**              | 3287/17**           | 73106/36**            | 2/53 <sup>ns</sup> | 640/042**           | 2693/72**             | 100043075/00**          | 2/04 <sup>ns</sup>              |
| تکرار                | 0/101 <sup>ns</sup> | 0/04 <sup>ns</sup> | 0/20 <sup>ns</sup>  | 0/06 <sup>ns</sup> | 0/006 <sup>ns</sup> | 45/39 <sup>ns</sup> | 1176/67 <sup>ns</sup> | 0/26 <sup>ns</sup> | 45/60 <sup>ns</sup> | 59/06 <sup>ns</sup>   | 234386/01 <sup>ns</sup> | 0/10 <sup>ns</sup>              |
| ضریب تغییرات         | 3/25                | 12/46              | 5/66                | 12/78              | 7/42                | 11/11               | 8/60                  | 9/60               | 7/77                | 11/26                 | 8/69                    | 6/63                            |

\*: معنی دار در سطح 5 درصد، \*\*: معنی دار در سطح یک درصد

جدول 4- مقایسه میانگین‌های اثر تیمارها بر روی غلظت عناصر غذایی در برگ خیار در شرایط تنش سرمایی

| فاکتور                                                                      | نیترژن کل           | فسفر کل     | مس کل        |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|--------------|
| سالیسیلات پتاسیم (Sa)                                                       | سطح                 |             |              |
|                                                                             | درصد                |             |              |
|                                                                             | 6/414b± 0/36        | 0/94a± 0/14 | 10/27b       |
|                                                                             | 6/786a± 0/35        | 0/95a± 0/04 | 11/79a       |
| سیلیکات پتاسیم (Si)                                                         | 6/525 <sup>ab</sup> | 0/71b       | 10/58ab      |
|                                                                             | سطح                 |             |              |
|                                                                             | درصد                |             |              |
|                                                                             | 6/608a±0/ 13        | 0/75b± 0/14 | 9/04b± 0/72  |
| استانداردهای مربوط به غلظت عناصر غذایی در برگ خیار (د-کریچ و همکاران، 1992) | 6/542a±0/ 23        | 0/97a± 0/15 | 12/72a± 1/53 |
|                                                                             | سطح                 |             |              |
|                                                                             | درصد                |             |              |
|                                                                             | <1/8                | < 0/47      | <5           |
| سطح کمبود                                                                   | 4/2-5/6             | 0/6 - 0/9   | 5-17         |
| سطح مطلوب                                                                   | -                   | -           | -            |
| سطح بیشبود                                                                  | -                   | -           | -            |

\*: به دلیل عدم مشاهده اثر معنی دار تیمارهای اعمال شده بر روی این صفات، نتیجه‌ی عددی ارائه نشده است.

جدول 5- مقایسه میانگین‌های اثر مصرف همزمان نمک‌های پتاسیمی سالیسیلیک و سیلیسیلیک اسید بر روی ترکیب شیمیایی برگ خیار در شرایط تنش سرمایی

| تیمار                                                                       | نیترات در ماده خشک (%) | کلسیم کل (%) | منیزیم کل (%) | آهن کل (mg/kg)   | بور کل (mg/kg)  | روی کل (mg/kg)   | منگنز کل (mg/kg) |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| SaA0-SiA4                                                                   | 9361/18cd ± 1112/52    | 2/17a ± 0/17 | 0/71a ± 0/07  | 124bc ± 16/93    | 196a ± 9/54     | 169/33 a ± 16/01 | 788/25a ± 74/75  |
| SaA0.5-SiA0                                                                 | 10418/65c ± 1005/70    | 1/29b ± 0/25 | 0/58b ± 0/05  | 139/67b ± 13/50  | 134/67b ± 14/50 | 94/50c ± 3/77    | 339/17c ± 18/24  |
| SaA0.5-SiA4                                                                 | 3795/03e ± 942/11      | 1/19b ± 0/22 | 0/53b ± 0/66  | 127/33bc ± 13/50 | 144/33b ± 21/01 | 129/33b ± 9/02   | 427b ± 28/84     |
| SaA1-SiA0                                                                   | 8124/62d ± 445/70      | 0/7c ± 0/001 | 0/46c ± 0/001 | 129bc ± 17/93    | 100c ± 3/31     | 57d ± 3/03       | 197e             |
| SaA1-SiA4                                                                   | 15153/36b ± 1143/81    | 1/34b ± 0/22 | 0/59b ± 0/06  | 208/33a ± 29/01  | 148/67b ± 20/11 | 121/67b ± 7/64   | 397bc ± 21/17    |
| شاهد                                                                        | 16923/67a ± 236/61     | 0/82c ± 0/04 | 0/53bc ± 0/04 | 107c ± 6         | 101/67c ± 10/60 | 94/83c ± 2/84    | 274/50d ± 3/5    |
| استانداردهای مربوط به غلظت عناصر غذایی در برگ خیار (د-کریج و همکاران، 1992) |                        |              |               |                  |                 |                  |                  |
| نیترات در ماده خشک                                                          | کلسیم کل               | منیزیم کل    | آهن کل        | بور کل           | روی کل          | منگنز کل         |                  |
| ++                                                                          | <1/2                   | <0/37        | <15           | <43              | <26             | <15              | سطح کمبود        |
| ++                                                                          | 4/2 - 5/6              | 0/15- 0/3    | 85-300        | 50-76            | 50-140          | 55-300           | سطح مطلوب        |
| ++                                                                          | -                      | 0/3- 1/5     | -             | 108              | 300             | 550              | سطح بیشبود       |

SaA0-SiA4: 4 در هزار سیلیکات پتاسیم؛ SaA0.5-SiA0: 0/5 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم؛ SaA0.5-SiA4: 0/5 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم+ 4 در هزار سیلیکات پتاسیم؛ SaA1-SiA0: 1 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم؛ SaA1-SiA4: 1 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم+ 4 در هزار سیلیکات پتاسیم؛ شاهد: بدون مصرف سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم. در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<0/05).

انجام شده و همگی در این مورد اتفاق نظر داشتند که افزایش غلظت نیتروژن یک راهبرد کارآمد برای کاهش مسمومیت بور می باشد و بیان داشته اند که احتمالاً به دلیل اثر نیتروژن در افزایش رشد گیاه و در نتیجه وقوع اثر رقت، کاهش غلظت بور و در نتیجه کاهش مسمومیت آن در گیاه اتفاق می افتد (گوپتا و همکاران، 1973؛ وودراف و همکاران، 1987؛ کوهکن و مفتون، 2016).

تیمارهای اعمال شده غلظت روی در برگ را نیز به طور معنی داری تحت تأثیر قرار دادند. به طوری که مصرف جداگانه و تلفیقی نمک سیلیکات پتاسیم بیشترین افزایش غلظت روی در برگ را سبب شد. بعبارت دیگر، نمک سیلیکات پتاسیم در مقایسه با سالیسیلات پتاسیم اثر بیشتری در افزایش غلظت روی در برگ نشان داد که نقش مهم ترکیبات سیلیسیمی در ارتقای وضعیت تغذیه‌ای گیاهان بطور مفصل توسط پائولچ و همکاران (2021) تشریح شده است. بیشترین افزایش غلظت روی با حدود 78/56 درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، در تیمار 4 در هزار سیلیکات پتاسیم اتفاق افتاد. اثر مثبت سیلیسیم در افزایش کارایی جذب عناصر بویژه روی و منگنز بواسطه -ی اثرگذاری سیلیسیم در افزایش ترشح اسیدهای آلی بوسیله‌ی ریشه گیاه و افزایش اسیدیته توسط محققین مختلف اثبات شده است (نئو و همکاران، 2017 و کوئونگ و همکاران، 2017). افزایش در سطح مصرف سالیسیلات پتاسیم منجر به کاهش در غلظت روی برگ شد این در حالی است که مصرف تلفیقی آن با نمک سیلیکات پتاسیم، افزایش معنی دار غلظت روی را در مقایسه با تیمار شاهد سبب گردید. عنصر روی فعال -کننده‌ی آنزیم کربنیک آنهیدراز بوده و در ساختار سوپراکسید دیسموتاز نیز حضور دارد (مارشنر، 1995). این آنزیم‌ها که در شرایط تنش غلظت آنها در گیاه افزایش می یابد منجر به افزایش مقاومت گیاه می گردد (مارشنر، 1995). بر اساس نتایج این مطالعه، افزایش در سطح مصرف سالیسیلات پتاسیم باعث کاهش غلظت روی در برگ شد و این یعنی افزایش اعمال تنش به گیاه.

افزایش در غلظت آهن برگ در نتیجه‌ی مصرف سطوح مختلف سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم اتفاق افتاد که تنها تیمارهای 0/5 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم (با حدود 30/53 درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) و 1 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار سیلیکات پتاسیم (با حدود 94/7 درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد)، دارای اختلاف معنی داری با تیمار شاهد بودند.

افزایش قابل توجه در غلظت بور در برگ از جمله نتایج قابل تأملی بود که در شرایط تنش سرمایی در حضور مصرف سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم اتفاق افتاد. بالاترین افزایش غلظت بور در تیمار 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم اتفاق افتاد (92/78 درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) و در رتبه‌ی دوم معنی داری نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب تیمارهای 1 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم، 0/5 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم + 4 در هزار سیلیکات پتاسیم و 0/5 میلی مولار سالیسیلات پتاسیم قرار داشتند (جدول 5). غلظت بور اندازه گیری شده در تمام تیمارها در شرایط تنش سرمایی، در دامنه‌ی پیش‌بود قرار داشتند (د-کریچ و همکاران، 1992). که احتمالاً به نوعی به پاسخ -های دفاعی گیاه در مقابله با آثار نامطلوب تنش سرمایی مربوط می شود. همانطور که در جدول 4 ارائه شده است، گیاه برای مقابله با این افزایش غلظت بور در شرایط تنش سرمایی، اقدام به افزایش غلظت نیتروژن در برگ در حضور سطوح نمک سالیسیلات پتاسیم نمود. درست است که تفاوت معنی داری میان تیمارهای محلولپاشی و شاهد از نظر افزایش غلظت نیتروژن در برگ مشاهده نشد، اما همانطور که داده‌های این جدول نشان می دهد، در شرایط تنش سرمایی غلظت نیتروژن برگ حتی در تیمار شاهد بیشتر از حدود استاندارد گزارش شده است و این خود به پاسخ دفاعی گیاه مربوط می شود نه تیمارهای محلولپاشی. درباره ارتباط بین افزایش غلظت نیتروژن برای مقابله با افزایش غلظت بور پژوهش های متعددی

### نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که تنش سرمایی اثر نامطلوبی بر غلظت نیترات، وضعیت عناصر غذایی برگ، بازارپسندی و عملکرد بوته‌های خیار داشت. در این تحقیق، سطوح سالیسیلات پتاسیم و سیلیکات پتاسیم، بطور معنی‌داری عملکرد کل، عملکرد بازارپسند و وضعیت تغذیه‌ای خیار را بهبود دادند. نتایج مربوط به پاسخ‌های تغذیه‌ای خیار به تیمارهای اعمال شده در شرایط تنش سرمایی نشان داد که، غلظت عناصر غذایی در برگ خیار در شرایط تنش سرمایی در نتیجه‌ی اعمال سیلیکات پتاسیم افزایش معنی‌دار نشان داد در حالی‌که سطوح سالیسیلات پتاسیم مصرفی (بوته سطح 1 میلی‌مولار) باعث کاهش غلظت این عناصر در برگ شد. همچنین، غلظت بور در برگ تا سطوح غلظتی بیش‌بود افزایش یافت که به نوعی به پاسخ‌های دفاعی گیاه در شرایط تنش سرمایی مربوط می‌شود. در مقابل، نتایج نشان داد که غلظت نیتروژن در تیمارهای مذکور افزایش یافته است و این به معنی پاسخ گیاه برای مقابله با این افزایش غلظت بور در شرایط تنش سرمایی می‌باشد. بنابراین، اگرچه گیاه بسته به شدت و مدت زمان تنش، بخش مهمی از تعدیل آثار تنش اعمال شده را انجام می‌دهد اما نمی‌توان از نقش معنی‌دار مدیریت تغذیه‌ای در شرایط بروز تنش (در اینجا تنش سرمایی)، برای افزایش مقاومت گیاه و دستیابی به عملکردهای اقتصادی، بازارپسند و ایمن غافل شد.

سالیسیلات پتاسیم برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه را بسته به غلظت مصرف آن، گونه‌ی گیاهی، مرحله رشد و شرایط محیطی افزایش می‌دهد (آق‌مسجدی و یارنیا، 1395). در مطالعاتی نیز گزارش شد که سالیسیلات پتاسیم در غلظت‌های بالا رشد گیاه و غلظت کلروفیل در گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهد (کرد و هاتوت، 1992).

وضعیت تقریباً مشابهی برای افزایش غلظت منگنز برگ در حضور سطوح نمک سیلیکات پتاسیم اتفاق افتاد به طوری‌که مصرف تلفیقی و جداگانه‌ی نمک سیلیکات پتاسیم افزایش قابل توجه غلظت منگنز برگ را در مقایسه با سایر تیمارها سبب شد. به استثنای تیمار 1 میلی‌مولار سالیسیلات پتاسیم که باعث کاهش معنی‌دار غلظت منگنز برگ در مقایسه با سایر تیمارها (و از جمله تیمار شاهد) شد، سایر تیمارها افزایش معنی‌دار غلظت منگنز را سبب شدند. بالاترین غلظت منگنز اندازه‌گیری شده در تیمار 4 در هزار نمک سیلیکات پتاسیم اتفاق افتاد که حدود 2/87 برابر غلظت اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد بود، همچنین در دامنه‌ی غلظتی بالای گزارش شده توسط د-کریج و همکاران (1992) قرار داشت (بیشتر از 550 میلی‌گرم در کیلوگرم). این افزایش در کارایی جذب عناصر غذایی بوسیله‌ی سیلیسیم خود می‌تواند یکی از مکانیسم‌های محتمل سیلیسیم در تعدیل آثار تنش در نظر گرفته شود.

### فهرست منابع:

1. اکبری، س.، م. سیاری، و ف. قنبری. 1394. افزایش مقاومت به سرما در گیاهچه‌های خیار با کاربرد برخی از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی. تولید فراوری محصولات زراعی و باغی، 5(16): 25-36.
2. آذرفام، س.پ.، ح. نادیان، ع.ا. معزی، و ع. غلامی. 1399. تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم از منبع سیلیسیلیک اسید بر بهبود صفات رویشی گیاه دارویی آلوئه ورا تحت تنش سرما. تحقیقات آب و خاک ایران، 51(12): 3103-3113.
3. آق‌مسجدی، پ. و م. یارنیا. 1395. تأثیر رژیم‌های آبیاری و اسیدسالیسیلیک بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، 11(37): 13-25.

4. بیات، ح.، ح. مردانی، ح. آرویی، و ی. سلاح‌ورزی. 1390. تأثیر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانه‌های خیار (*Cucumis sativus cv. Super Dominus*) تحت شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، 18(3): 63-76.
5. جعفری، س.ر.، م.ج. آروین، و خ. منوچهری. 1390. بررسی اثرات متقابل سیلیس و سالیسیلیک اسید بر پاسخ‌های دفاعی گیاه خیار به تنش شوری، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
6. جوانمردی، ج. 1388. مبانی علمی و عملی تولید نشای سبزی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، 256 صفحه.
7. حقیقی، م.، و ر. ابوالقاسمی. 1398. اثر تنش دمای بالا و پایین بر تغییرات رشد، فتوسنتز و فعالیت آن‌تی اکسیدانی گوجه فرنگی در مرحله رشد رویشی. علوم سبزی‌ها، 3(1): 53-65.
8. سلطانی دلربا، ن.، ر. کرمان، و م. رنجبر. 1390. اثر برهم‌کنش سالیسیلات پتاسیم و تنش سرما بر فعالیت آنزیم‌های آن‌تی اکسیدانی در گیاه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra L.*). داروهای گیاهی، 2(1): 7-13.
9. محمد آبادی، ب.، ط. سیماکار، و غ. افشارمنش. 1393. بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر کاهش تنش شوری در گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum Mill. L.*). اولین همایش ملی کشاورزی، محیط زیست و امنیت غذایی، جیرفت.
10. محمدخانی، ع.، پ. محقق، و ع.ا. فدائی تهرانی. 1395. اثر سیلیسیم بر افزایش مقاومت به تنش اکسیداتیو ناشی از سفیدک سطحی در کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo, var. styriaca*). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، 7(27): 53-61.
11. Baninasab, B. 2009. Amelioration of chilling stress by paclobutrazol in watermelon seedlings. *Scientia horticulturae* 121(2): 144-148.
12. Basirat, M., S.M. Mousavi, S. Abbaszadeh, M. Ebrahimi and M. Zarebanadkouki. 2019. The rhizosheath: a potential root trait helping plants to tolerate drought stress. *Plant and Soil*, 445(1), 565-575.
13. Bataglia, O.C., A.M.C. Furlani, J.P.F. Teixeira, P.R. Furlani, J.R. Gallo. 1983. Métodos de análise química de plantas. Instituto Agrônômico, Campinas.
14. Bosnic, D., D. Nikolic, G. Timotijevic, J. Pavlovic, M. Vaculík, J. Samardzic, et al. 2019b. Silicon alleviates copper (Cu) toxicity in cucumber by increased Cu-binding capacity. *Plant Soil* 441, 629–641. doi: 10.1007/s11104-019-04151-5
15. Bosnic, D., P. Bosnic, D. Nikolic, M.nNikolic, and J. Samardzic. 2019a. Silicon and iron differently alleviate copper toxicity in cucumber leaves. *Plants (Basel)* 8:554. doi: 10.3390/plants8120554.
16. Cuong, T.X., H. Ullah, A. Datta, and T.C. Hanh. 2017. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. *Rice Scienc*, 24 (5): 283-290.
17. de Kreijl, C., C. Sonneveld, M.G. Warmenhoven, and N.A. Straver. 1992. Guide values for nutrient element contents of vegetables and flowers under glass. 3rd Ed.
18. Elliott, C.L., and G.H. Snyder. 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *J Agric Food Chem.* 39, 1118–1119. <https://doi.org/10.1021/jf00006a024>.
19. Fan, X., X. Wen, F. Huang, Y. Cai, and K. Cai. 2016. Effects of silicon on morphology, ultrastructure and exudates of rice root under heavy metal stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38 (197), <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2221-8>.
20. Foodstuffs. 1997. Determination of nitrate and / or nitrate content. Part 2. HPLC/IC method for the determination of nitrate content of vegetables and vegetable products. BS EN 12014-2.

21. Ghai, N., R.C. Setia, and N. Setia. 2002. Effect of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brescia napus* L. (cv. GSL-1) *Phytomorphol*, 52: 83-87.
22. Greger, M., T. Landberg, and M. Vaculik. 2018. Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. *Plants*, 7, 41, doi:10.3390/plants7020041.
23. Gupta, U.C., J.D.E. Sterlinga, and H.G. Nass. 1973. Influence of various rates of compost and nitrogen on the boron toxicity symptoms in barley and wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 53: 451-456.
24. Hashempour, A., M. Ghasemzhad, G. Fotouhi, and M.M. Sohani. 2014. The physiological and biochemical response to freezing stress olive plants treated with salicylic acid. *Russian J. Plant Physio*.61(4): 443-450.
25. Hu, A.Y., S.N. Xu, D.N. Qin, W. Li, and X.Q. Zhao. 2021. Role of silicon in mediating phosphorus imbalance in plants. *Plants* 10:51. doi: 10.3390/plants10010051.
26. Ibrahim, M.F.M., A. Faisal, and S.A. Shehata. 2016. Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 16 (4): 677-693
27. Jones, J.B., B. Wolf, and H.A. Mills. 1999. *Plant analysis Handbook*, Micro-Macro publishing, Inc, Athens, GA., pp: 110.
28. Kaya, C., L. Tuna, and D. Higgs. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *J. Plant Nutr.* 29, 1469–1480. doi: 10.1080/01904160600837238.
29. Khan, M.I.R., M. Fatma, T.S. Per, N.A. Anjum, and N.A. Khan. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, Volume 6, doi: 10.3389/fpls.2015.00462.
30. Koohkan, H., and M. Maftoun. 2016. Effect of Nitrogen– Boron Interaction on Plant Growth and Tissue Nutrient Concentration of Canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, DOI: 10.1080/01904167.2016.1143492.
31. Kord, M., and T. Hathout. 1992. Changes on some growth criteria, metabolic ac-tivities and endogenous hormones in tomato plants consequent to spray-ing with different concentrations of salicyladhyde. *Egyptian Journal of Physiological Sci.* 1992; 16:117.
32. Korndörfer, G.H., H.S. Pereira, and A. Nolla. 2004. Análise de silício no solo, planta e fertilizante. GPSi, Uberlândia.
33. Kostic, L., N. Nikolic, D. Bosnic, J. Samardzic, and M. Nikolic. 2017. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. *Plant Soil*. 419, 447–455. doi: 10.1007/s11104-017-3364-0.
34. Kováčik, J., J. Grúz, M. Baèkor, M. Strnad, and M. Repcák. 2009. Salicylicacid- induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Cell Reports*, 28, 135–143. doi:10.1007/s00299-008-0627-5.
35. Li, M., Q. Wang, Z. Liu, X. Pan, and Y. Zhang. 2019. Silicon application and related changes in soil bacterial community dynamics reduced ginseng black spot incidence in *Panax ginseng* in a short-term study. *BMC Microbiol.* 19:263. doi: 10.1186/s12866-019-1627-z.
36. Liang, Y. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant Soil* 209, 217–224. doi: 10.1023/A:1004526604913.
37. Luengwilai, K., M. Saltveit, and D.M. Beckles. 2012. Metabolite content of harvested Micro-Tom tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit is altered by chilling and protective heat-shock treatments as shown by GC–MS metabolic profiling. *Postharvest Biology and Technology*, 63, 116-122.

38. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants (2nd Ed.). Academic Press Inc., London, UK.
39. Miura, K., and Y. Tada. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Front. Plant Sci.* 5:4. doi:10.3389/fpls.2014. 00004.
40. Mousavi, S.M., B. Motesharezadeh, H.M. Hosseini, H. Alikhani, and A.A. Zolfaghari. 2018a. Root-induced changes of Zn and Pb dynamics in the rhizosphere of sunflower with different plant growth promoting treatments in a heavily contaminated soil. *Ecotoxicology and environmental safety*, 147, pp.206-216.
41. Mousavi, S.M., B. Motesharezadeh, H.M. Hosseini, H. Alikhani, and A.A. Zolfaghari. 2018b. Geochemical fractions and phytoavailability of zinc in a contaminated calcareous soil affected by biotic and abiotic amendments. *Environmental geochemistry and health*, 40(4), pp.1221-1235.
42. Nazar, R., N. Iqbal, S. Syeed, and N.A. Khan. 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 168, 807–815. doi:10.1016/j.jplph.2010.11.001.
43. Neu, S., J. Schaller, and G. Dudel. 2017. Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C:N:P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific reports*, 7:40829; DOI: 10.1038/srep40829.
44. Noman Sallam, B., T. Lu, H. Yu, Q. Li, Z. Sarfraz, M. Shahid Iqbal, S. Khan, H. Wang, P. Liu, and W. Jiang. 2021. Productivity Enhancement of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) through Optimized Use of Poultry Manure and Mineral Fertilizers under Greenhouse Cultivation. *Horticulture*, 7, 256.
45. Pavlovic, J., L. Kostic, P. Bosnic, E.A. Kirkby, and M. Nokolic. 2021. Interactions of Silicon With Essential and Beneficial Elements in Plants. *Front. Plant Sci.*, 23 June 2021 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.697592>
46. Sahebi, M., M.M. Hanafi, A. Siti Nor Akmar, M.Y. Rafii, P. Azizi, F. Tengoua, J. Nurul Mayzaitul Azwa, and M. Shabanimofrad. 2015. Importance of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants. *BioMed Res. Int.*
47. Schaller, J., D. Puppe, D. Kaczorek, R. Ellerbrock, and M. Sommer. 2021. Silicon cycling in soils revisited. *Plants* 10:295. doi: 10.3390/plants10020295.
48. Schaller, J., S. Faucherre, H. Joss, M. Obst, M. Goeckede, B. Planer-Friedrich, et al. 2019. Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils. *Sci. Rep.* 9:449. doi: 10.1038/s41598-018-37104-6.
49. Shehata, S.A.M., S.I. Ibrahim and A.M. Zaghloul, 2001. Physiological response of flag leaf and ears of maize plant induced by foliar application of kinetin (Kin) and salicylic acid (SA). *Annals Agric. Sci. Ain Shams Univ. Cairo*, 46(2): 435-449.
50. Tavallali, V., M. Rahemi, S. Eshghi, B. kholdebarin, and A. Ramezani. 2010. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. Badami) seedlings. *Turkish Journal Agriculture Forestry*, 34(4): 349-359.
51. Usanmaz, S., and K. Abak. 2019. Plant growth and yield of cucumber plants grafted on different commercial and local rootstocks grown under salinity stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26, 1134-1139.
52. Wang, L.J., and S.H. Li. 2006. Salicylic acid-induced heat or cold tolerance in relation to Ca<sup>2+</sup> homeostasis and antioxidant systems in young grape plants. *Plant Science* 170(4):685-694.
53. Woodruff, J.R., F.W. Moore, and H.L. Musen. 1987. Potassium, boron, nitrogen, and lime effects on corn yield and earleaf nutrient concentration. *Agronomy Journal* 79: 520-524.



## تخمین مقاومت کششی خاک با استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی در برخی از اراضی پسته‌کاری رفسنجان

حسین شیرانی، ناهید اصغری نژاد، سمیه صدر<sup>1</sup>، عیسی اسفندیارپور و حسین شکفته

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان: shirani@vru.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه ولی عصر رفسنجان: Asgharineghad@yahoo.com

استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور استان کرمان، مرکز رفسنجان: 2716sadr@gmail.com

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان: esfandiarpour@vru.ac.ir

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت: hshakofteh@ujiroft.ac.ir

دریافت: 1400/4/20 و پذیرش: 1400/7/4

### چکیده

مقاومت کششی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت فیزیکی خاک است که معادل بیشینه تنش است که می‌توان بر روی یک خاکدانه به کار برد تا حدی که خاکدانه در آستانه یا در شرف تخریب قرار گیرد. هدف از این پژوهش بررسی کارایی روش‌های مدل‌سازی مختلف در تخمین مقاومت کششی خاک در باغ‌های پسته رفسنجان است. برای این منظور نمونه‌های خاک (80 نمونه خاک غالباً لوم‌شنی از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری) تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شدند. همچنین مقاومت کششی خاکدانه‌های در اندازه‌های مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که با توجه به قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش خاک و نسبت جذب سطحی سدیم، خاک منطقه مطالعاتی شور و سدیمی می‌باشد. رگرسیون چندگانه بین مقاومت کششی با سایر ویژگی‌های خاک بررسی شد. همچنین مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و درخت تصمیم انجام شد. در این پژوهش از میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین برای ارزیابی مدل‌های مختلف مدل‌سازی استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که استفاده از درخت تصمیم برای پیش‌بینی مقاومت کششی به دلیل دارا بودن کمترین خطا ( $RRMSE = 14\%$  و با  $R^2 = 0.88$ ) نسبت به دو روش رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی پرسپترون چند لایه بهتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که درصد رس، درصد رس قابل پراکنش، نسبت جذب سطحی سدیم، درصد کربنات کلسیم معادل و درصد ماده آلی تأثیرگذارترین متغیرها بر مقاومت کششی هستند. با توجه به نتایج حاصل، به نظر می‌رسد موثرترین راهکار در بالابردن مقاومت کششی خاک و کاهش تراکم خاک در باغ‌های پسته افزایش درصد ماده آلی خاک خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: درخت تصمیم، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، تخمین‌گرهای خطا، ماده آلی خاک

<sup>1</sup> نویسنده مسئول: آدرس، گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور استان کرمان، مرکز رفسنجان.

## مقدمه

مقاومت کششی<sup>1</sup> (TS) خاک یکی از شاخص‌های مهم کیفیت فیزیکی خاک است (وو و همکاران، 2017). هیل<sup>2</sup> (1980) مقاومت کششی (TS) معادل بیشینه تنش است که می‌توان بر روی یک خاکدانه به کار برد تا حدی که هیچ تخریبی در آن رخ ندهد. به عبارت دیگر، مقاومت کششی مقدار نیرو در واحد سطح است که برای جدا کردن یک قسمت خاک از قسمت دیگر آن لازم است (مانکولم، 2011). از آنجا که مقاومت کششی خاک به ویژگی‌های خاک مانند مواد آلی خاک، تخلخل، بافت خاک و مقدار آب خاک و همچنین شرایط مدیریتی آن حساس است (ایمهاف و همکاران، 2002)، می‌توان از آن برای ارزیابی شرایط و نتایج مدیریت زراعی استفاده نمود (ماکس و همکاران، 1996).

امروزه با ورود روش‌ها و تکنیک‌های جدید هوش مصنوعی در مطالعات و تحقیقات مهندسی آب و خاک، کاربرد این روش‌ها افزون‌تر گشته است در این زمینه می‌توان به مطالعات حجت‌نوق و همکاران (2019) اشاره کرد. در این پژوهش به منظور تعیین اهمیت برخی خصوصیات خاک بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک از 169 نمونه خاک سطحی (عمق 0 تا 20 سانتی متری) از مکان‌های مختلف در استان کرمان با کاربری کشاورزی استفاده گردید. در این مطالعه از میان تعدادی از ویژگی‌های  $V_m$  بر کیفیت فیزیکی خاک، با استفاده از الگوریتم ترکیبی  $^{3}(PSO-ICA-SVR)$  و تجزیه و تحلیل حساسیت، مقدار رس و چگالی ظاهری خاک (BD)، به عنوان مؤثرترین شاخص‌ها بر کیفیت فیزیکی خاک به خصوص شاخص مقاومت کششی (TS) معرفی شدند. این پژوهشگر در مطالعه دیگری به این نکته اشاره کرد که روش‌های هوش مصنوعی به طور خاص ماشین بردار پشتیبان (SVR) در مقایسه با روش‌های رگرسیون خطی چند متغیره (MLR) در پیش بینی شاخص مقاومت کششی (TS)، دقت بیشتری را نشان داده است (حجت‌نوق و همکاران، 2021).

بنابر مشاهدات میدانی و باغی طی سال‌های اخیر متراکم شدن خاک در باغ‌های پسته مشاهده شده است که ناشی از افزایش ضعف در خصوصیات فیزیکی خاک در این اراضی است بنابراین با توجه به اینکه مقاومت کششی خاک نمایانگر بسیار خوبی برای شناخت وضعیت فیزیکی خاک محسوب می‌شود (برزگر، 1393) و تاکنون پژوهش‌اندکی در خصوص وضعیت مقاومت کششی خاک در اراضی پسته‌کاری رفسنجان انجام شده است، انجام چنین پژوهشی در باغات پسته و پی بردن به وضعیت مقاومت کششی خاک در این اراضی ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این مطالعه برای طبقه‌بندی خاک‌ها از نظر مقاومت کششی و شناسایی مهمترین عوامل موثر بر این ویژگی در مناطق پسته کاری، از تکنیک‌های پر قدرتی مانند شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه<sup>4</sup> و درخت تصمیم<sup>5</sup> استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

## معرفی منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه، بخشی از اراضی دشت رفسنجان می‌باشد که با مساحتی حدود 10400 هکتار، در بیست کیلومتری حومه غربی رفسنجان واقع شده است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، این منطقه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی  $11^{\circ} 21' 30''$  تا  $55^{\circ} 36' 1''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 31' 40''$  تا  $30^{\circ} 31' 40''$  شمالی قرار دارد (شکل 1). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا 1450 متر و میانگین دما و بارش سالیانه آن در دوره آماری 1389 تا 1399، به ترتیب،  $17/8$  درجه سلسیوس و  $69/18$  میلی‌متر می‌باشد. مواد مادری منطقه، دارای منشأ آبرفتی بوده و پوشش گیاهی آن، درخت پسته است. رقم غالب پسته در این منطقه، رقم اوحدی است و سن درختان، به‌طور متوسط، 35 سال می‌باشد. تعداد 8 نمونه از مزرعه رضویه، 17 نمونه از رستم آباد هرنندی، 10 نمونه از اسدآباد فارسی، 11 نمونه از رضا آباد برخوردار، 9 نمونه از عباس آباد دیانتی، 10 نمونه از جعفرآباد و 15 نمونه دیگر از مناطق مختلف (مجموعاً 80 نمونه) برداشت شد.

1. Tensile strength

2. Hillel

3. Particle Swarm Optimization-Imperialist Competitive Algorithm-Support Vector Regression

4. Multi Layer Perceptron (MLP)

5. Decision Tree

## روش نمونه‌برداری و مطالعات صحرایی

ابتدا نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس 1:25000 تهیه گردید. پس از پیاده کردن محدوده مطالعاتی به وسعت حدود 10400 هکتار بر روی این نقشه و اسکن نمودن آن، با استفاده از نرم‌افزار ایلویس<sup>1</sup>، منطقه مزبور زمین‌مرجع<sup>2</sup> شد. در ادامه، با توجه به تغییرات خاک و مدیریت منطقه مطالعاتی موقعیت 80 نقطه به‌صورت تصادفی بر روی این منطقه مکان‌یابی شد و مختصات جغرافیایی آن‌ها به‌دست آمد به طوری که پیش‌بینی می‌شود نقاط نمونه برداری تفاوت قابل ملاحظه‌ای از نظر خصوصیات فیزیکی خاک داشته باشند (شکل 1). با توجه به مختصات جغرافیایی نقاط تعیین شده و استفاده از سامانه مکان‌یاب جهانی<sup>3</sup>، موقعیت تمامی این نقاط در صحرا تعیین گردید. سپس، در هر نقطه، از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر، نمونه برداری انجام گرفت و نمونه‌ها برای انجام مطالعات آزمایشگاهی، به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه برداری توسط سیلچ انجام گرفت به طوری که خاکدانه‌ها با حداقل دست خوردگی به آزمایشگاه منتقل گردد.

## اندازه‌گیری برخی خصوصیات خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت، مقدار ماده آلی، مقدار کربنات کلسیم، قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش خاک، نسبت جذب سدیم، چگالی ظاهری خاک با استفاده از روش‌های استاندارد (جدول 1) اندازه‌گیری شدند. روش اندازه‌گیری مقدار رس قابل پراکنش، مقاومت کششی به صورت مفصل‌تر توضیح داده شده است. علامت اختصاری هر کدام از ویژگی‌ها در جدول 1 ذکر شده است.

## اندازه‌گیری رس قابل پراکنش در آب

بخشی از رس خاک که در آب مقطر و با اعمال انرژی مکانیکی مشخص بدون تخریب ماده‌آلی و خروج نمک‌های محلول و بدون استفاده از مواد پراکنده کننده شیمیایی تعیین می‌شود به عنوان رس قابل پراکنش خاک<sup>4</sup> در نظر گرفته می‌شود (کرتین و همکاران، 1994). برای اندازه‌گیری رس قابل پراکنش در آب، 4 گرم از نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از لایه صفر

تا 30 سانتی‌متری پس از هوا خشک شدن و عبور از الک 2 میلی‌متری (بدون کوبیدن) به آرامی درون لوله‌های سانتریفوژ به حجم 40 میلی‌لیتر ریخته شد. سپس مقدار 40 میلی‌لیتر آب مقطر به هر لوله افزوده شد تا سوسپانسیون 1:10 ایجاد شود. یک نمونه نیز به عنوان شاهد (بدون خاک) در نظر گرفته شد. دمای محلول اندازه‌گیری شد و زمان لازم برای ته نشینی ذرات رس تا عمق 2/5 سانتی‌متری در سوسپانسیون، بر اساس دما تعیین گردید. پس از پایان زمان ته نشینی محاسبه شده، با استفاده از پیست مقدار 2/5 میلی‌لیتر سوسپانسیون از عمق مذکور از هر لوله برداشته شد و پس از خشک شدن کامل با استفاده از رابطه 1 (برت و همکاران، 1993)، درصد رس قابل پراکنش در آب بر اساس وزن رس محاسبه شد:

$$\text{WDC} = 100 \times \frac{RW \times CF}{TW} \quad \text{رابطه 1}$$

که در آن WDC، درصد رس قابل پراکنش؛ RW، جرم ذرات رس قابل پراکنش خشک شده در آن (گرم)؛ CF، نسبت حجم کل سوسپانسیون (40 میلی‌لیتر) به حجم برداشته شده با پیست (2/5 میلی‌لیتر)؛ TW، جرم رس کل در نمونه خاک مورد استفاده می‌باشند.

## اندازه‌گیری مقاومت کششی خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها

برای تهیه نمونه به منظور اندازه‌گیری مقاومت کششی خاکدانه‌ها، توده خاک هواخشک به دقت و به آرامی از سری الک‌ها عبور داده شد تا دامنه‌های 8 تا 11/2، 11/2 تا 16 و 16 تا 25 میلی‌متر جدا شدند. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی، ابتدا به طور تصادفی بین 10 تا 30 عدد خاکدانه از یک گروه اندازه‌ای معین انتخاب شد و سپس توسط روشی به نام آزمون غیر مستقیم برزیلی (خزائی و همکاران، 1387) مقاومت کششی تعیین شد. در این آزمون خاکدانه‌های انتخاب شده به طور مجزا بین دو صفحه مسطح و موازی قرار داده می‌شوند و سپس فشاری تک محوری در یک جهت وارد می‌شود. زمانی که خاکدانه شروع به ترک برداشتن کرد نیروی اعمال شده توسط دستگاه اندازه‌گیری می‌شود و مقاومت کششی خاکدانه یا کلوخه با استفاده از رابطه 2 (دکستر و راسبرگن، 1985) محاسبه می‌شود:

$$Y = 5.76 \frac{F}{d_{eff}^2} \quad \text{رابطه 2}$$

1. ILWIS

2. Georeference

3. Global Positioning System; GPS

4. Water Dispersible Clay (WDC)



جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده

| منبع                    | روش اندازه‌گیری                      | علامت اختصاری | خصوصیات                                     |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|
| (بایکاس، 1951)          | هیدرومتر و مثلث بافت خاک             | T             | بافت خاک (شن=Sa رس=Cl و سیلت=Si)            |
| (کلسیم، 2013)           | تیتراسیون برگشتی                     | CCE           | کربنات کلسیم معادل (درصد)                   |
| (رواس، 1996)            | EC متر <sup>1</sup>                  | Ec            | قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)    |
|                         | سیلندر                               | $\rho_b$      | وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)     |
| (توماس، 1996)           | pH متر <sup>2</sup>                  | pH            | pH                                          |
| (والکلی و بلکه، 1934)   | هضم تر                               | OM            | درصد ماده آلی                               |
| .                       | دستگاه قلیع‌فومتر                    |               | غلظت سدیم (میلی گرم در لیتر)                |
|                         | تیتراسیون با EDTA                    |               | کلسیم و منیزیم محلول (میلی‌کی‌ولان بر لیتر) |
| (ریچاردز، 1954)         | $SAR = Na / (Ca + Mg)^{1/2}$         | SAR           | نسبت جذب سدیم                               |
| (میلر و میلر، 1987)     | نمونه‌برداری با میکرو-پیپت           | WDC           | رس قابل پراکنش در آب                        |
| (دکستر و راسبرگن، 1985) | آزمون غیر مستقیم برزیلی <sup>1</sup> | Y             | مقاومت کششی خاک‌لانه‌ها                     |

1. مدل "Metrohm AG Herisus, Switzerland Ohm-644" و 2. مدل "691, M0065trohm AG Herisus, Switzerland"

## مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از شبکه عصبی

## پرسپترون چند لایه به روش رگرسیون

از آنجا که شبکه‌های عصبی چند لایه<sup>2</sup> که پرسپترون چند لایه<sup>3</sup> هم نامیده می‌شوند، کارآمدتر از شبکه‌های تک لایه هستند (سیگیزوگلو و کیسی، 2006) و در زمینه حل مسائل اکولوژیکی بسیار کارآمد می‌باشند (چپ و لیچ، 1998) در مدل سازی مقاومت کششی از این شبکه‌ها استفاده گردید. با این منظور از 80 درصد داده‌ها برای آموزش، 10 درصد داده‌ها برای آزمون، 10 درصد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. اهمیت داده‌های اعتبارسنجی این است که از وقوع بیش برآزش جلوگیری می‌کند. زمانی که فرایند آموزش توسط داده‌های بخش آموزش انجام می‌گیرد، داده‌های اعتبارسنجی از وابستگی زیاد سیستم به داده‌های آموزش جلوگیری می‌کند. از میانگین مربعات خطا به عنوان شاخص خطا استفاده شد. متغیرهای درصد رس، درصد شن، درصد ماده آلی، درصد کربنات کلسیم معادل، نسبت جذب سطحی سدیم، قابلیت هدایت الکتریکی، چگالی ظاهری و درصد رس قابل پراکنش به عنوان ورودی‌های

مدل و مقدار مقاومت کششی به عنوان متغیر هدف معرفی شدند. تقسیم داده‌ها به صورت تصادفی صورت گرفت و برای آموزش شبکه عصبی از الگوریتم لوبنبرگ-مارکوات استفاده شد.

## آنالیز حساسیت

فرآیند آنالیز حساسیت، میزان حساسیت مدل را نسبت به متغیرهای ورودی آن نشان می‌دهد. تحلیل حساسیت این امکان را می‌دهد که عدم قطعیت در مقادیر مختلف متغیرهای منتخب، لحاظ شود. گاهی ممکن است حالت‌هایی پیش آید که با وجود عدم قطعیت زیاد در یک متغیر، خروجی نهایی مورد نظر، تغییر چندانی نکند. اصطلاحاً در این حالت، هدف نهایی به آن متغیر حساس نیست، اما در برخی از موارد، تغییر کوچکی در برخی متغیرهای منتخب، هدف را به کلی تغییر می‌دهد.

<sup>1</sup> Indirect Brazilian test<sup>2</sup> Multilayer Neural Network<sup>3</sup> Multiple-layer perceptron

### تخمین‌گر K-fold Cross validation

در این روش مجموعه‌ی داده‌ها ( $S_n$ ) که شامل کل داده‌های ورودی و هدف است به K گروه تقسیم می‌شوند. ابتدا یک گروه از داده‌ها کنار گذاشته شده و از سایر گروه‌ها برای واسنجی مدل استفاده می‌شود. سپس گروه کنار گذاشته شده به عنوان داده تست به مدل داده می‌شود و خطای مربوط به آن توسط شاخصهای خطا ثبت می‌شود. این کار برای گروه‌های دیگر نیز ادامه می‌یابد (کوهاوی، 1995)

### تخمین‌گر Resubstitution

این تخمین‌گر از نوع تخمین‌گر تصادفی محسوب می‌شود یعنی در داخل خودش یک واریانس داخلی دارد. در این تخمین‌گر تمامی داده‌های موجود برای طراحی و تنظیم مدل (آموزش) به کار می‌روند و خطای مربوط به این داده‌ها به دست می‌آید و به عنوان تخمینی از خطای واقعی معرفی می‌شود بنابراین در این روش داده‌هایی برای تست کنار گذاشته نمی‌شوند و همه داده‌ها برای آموزش استفاده می‌شوند و خطا توسط همین داده‌ها برآورد می‌شود یکی از ایرادات و ضعف اصلی این تخمین‌گر بایاس (اریب) زیاد و خوش بینانه است (هیل و لویسکی، 2005).

### تخمین‌گر Leave-one-out

در این روش در هر مرحله یکی از داده‌ها برای اعتبار سنجی بیرون گذاشته می‌شود و بقیه داده‌ها برای آموزش استفاده می‌شوند. این روش از نظر محاسباتی بسیار پرهزینه است زیرا فرایند آموزش و اعتبار سنجی به تعداد بسیار زیادی تکرار می‌شود.

### تخمین‌گر Hold out

این تخمین‌گر از نوع تخمین‌گر تصادفی محسوب می‌شود در این تخمین‌گر اگر N داده وجود داشته باشد ( $N=80$ ) در این مطالعه، تعداد m داده کنار گذاشته می‌شود و پس از آموزش مدل داده‌های کنار گذاشته شده که به منظور تست مدل نگهداری شده اند به مدل داده می‌شوند تا توسط مدل تخمین زده شوند سپس مقدار تخمین زده شده با مقدار واقعی این داده‌ها مورد مقایسه قرار گرفته و توسط شاخص‌های خطا، خطای تخمین به دست می‌آید اگر خطای تخمین مدل در این شرایط کم باشد

بنابراین تحلیل حساسیت می‌تواند به پژوهشگر کمک کند تا تمرکز و تلاش خود را بر روی متغیرهای اصلی مسئله قرار دهد. در این پژوهش برای آنالیز حساسیت از روش StatSoft استفاده گردید (Stat Soft Inc, 2004). در این روش، مقدار حساسیت برای هر ویژگی ورودی، از تقسیم نمودن خطای شبکه در غیاب ویژگی ورودی موردنظر بر خطای شبکه در حضور همه متغیرهای ورودی به دست می‌آید. بدین معنی که ابتدا مدل با تمامی متغیرهای ورودی ایجاد و پس از رسیدن به بهترین عملکرد یا کم‌ترین خطا، مقدار شاخص خطا (مثلاً  $AP_1$ ) محاسبه و در نظر گرفته می‌شود. سپس یک متغیر ورودی معین حذف، و مدل دوباره با سایر ویژگی‌های ورودی ایجاد می‌شود. پس از رسیدن به مناسب‌ترین ساختار و عملکرد در مدل، مقدار شاخص خطا ( $AP_2$ ) در این حالت نیز تعیین می‌شود. از نسبت شاخص خطا در حالت دوم (حذف یک ویژگی ورودی) به حالت اول (حضور تمام ورودی‌ها)، مقدار ضریب حساسیت خروجی نسبت به متغیر ورودی مورد نظر محاسبه می‌شود (رابطه 3-3).

$$\text{رابطه 4} \quad \text{ضریب حساسیت} = \frac{AP_2}{AP_1}$$

اگر مقدار ضریب حساسیت برای یک متغیر ورودی، بیش‌تر از یک باشد، آن متغیر سهم قابل توجهی در عملکرد مدل و خروجی آن دارد. اگر این نسبت از یک کم‌تر باشد، بدین معنی است که خطا در غیاب ویژگی ورودی، کم‌تر از خطا در حضور آن است. لذا، این متغیر نه تنها اثر مثبت بر دقت مدل ندارد بلکه تأثیر منفی نیز دارد و بایستی حذف شده و در مدل‌سازی استفاده نشود. این کار باید برای همه متغیرهای ورودی به صورت تک‌تک انجام شده و مقدار حساسیت محاسبه گردد (لیو و همکاران، 2001)

### تخمین‌گرهای خطا<sup>1</sup>

تخمین‌گرهای خطا روشهایی هستند که خطای تخمین با آنها به دست می‌آید (گیسر، 1993). تخمین‌گرهای متفاوتی برای دقت روش‌های مدل‌سازی ارائه شده است که بررسی کارایی آنها در ارزیابی دقت روش مدل‌سازی می‌تواند بسیار مفید باشد. برای بررسی دقت روش‌های مدل‌سازی تخمین‌گرهای متفاوتی ارائه شده است که برخی از تخمین‌گرهای مرسوم عبارتند از:

<sup>1</sup> Error Estimators

رابطه 7

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i - \hat{y}_i]^2}$$

رابطه 8

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i - \hat{y}_i]^2}}{\bar{y}_i} \times 100$$

در این روابط:  $y_i$ : مقدار اندازه‌گیری شده،  $\hat{y}_i$ : مقدار پیش‌بینی شده،  $N$  تعداد کل داده‌های اندازه‌گیری شده و  $\bar{y}_i$  میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

در این پژوهش از بسته نرم‌افزاری 24 statistics SPSS برای توصیفات آماری مربوط به داده‌های موجود و عملیاتی مانند رگرسیون چند متغیره مورد استفاده قرار گرفت و برای اجرای مدل‌سازی درخت تصمیم C&R و شبکه عصبی مصنوعی و همچنین آنالیز حساسیت از MATLAB نسخه‌ی 2013 استفاده گردید.

### نتایج

خلاصه‌ی آماره‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش در جدول 2 آورده شده‌اند. با توجه به میانگین درصد رس، درصد شن و درصد سیلت می‌توان گفت که بافت خاک غالب نمونه‌های مورد مطالعه لوم‌شنی می‌باشد. همچنین میانگین قابلیت هدایت الکتریکی، واکنش خاک و نسبت جذب سطحی سدیم، نشانه‌ی شور و سدیمی بودن غالب خاک‌های منطقه هستند. با توجه به میانگین درصد کربنات کلسیم معادل خاک‌های منطقه آهکی هستند.

با توجه به ضریب تغییرات، متغیرهای درصد رس، درصد سیلت، درصد ماده آلی، نسبت جذب سدیم، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد رس قابل پراکنش، مقاومت کششی و مقاومت کششی خاکدانه‌های به جا مانده روی الک‌های 8 و 16 و 25 میلی‌متر تغییرپذیری زیاد دارند که ضریب تغییرپذیری بیشتر از 35 درصد برای ماده آلی، ممکن است به دلیل عوامل انسانی نظیر عملیات خاک‌ورزی و استفاده کوددهی باشد

نشان دهنده عمومیت داشتن مدل در داده‌های خارج از محدوده آموزش خود است. کل فرایند چند بار تکرار می‌شود و هر بار مقدار خطای متفاوتی برآورد می‌شود که میانگین آن‌ها معادل خطای واقعی می‌باشد. اغلب یک سوم از داده‌ها برای تست کنار گذاشته می‌شوند و بقیه داده‌ها برای آموزش مدل استفاده می‌شوند (کیم، 2009).

### شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل

معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌ها در واقع مطابقت یا همخوانی مقادیر حاصل از یک مدل با مقادیر مشاهده شده (که از آن با عنوان ارزیابی یا اعتبارسنجی مدل یاد می‌شود) است و معمولاً توسط مقایسه‌های دوگانه بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده به دست می‌آید. شاخص‌های مختلفی برای کارایی مدل‌ها و اعتبارسنجی آنها وجود دارد. در این مطالعه از ضریب تبیین ( $R^2$ )، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه نسبی میانگین مربعات خطا (RRMSE) استفاده گردید (شیرانی، 1397) (رابطه 5 تا 8) و به منظور مقایسه عملکرد مدل‌های درخت تصمیم، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و رگرسیون چند متغیره<sup>1</sup> از پارامترهای ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه نسبی میانگین مربعات خطا (RRMSE) استفاده گردید. MAE در حالت ایده آل باید صفر باشد. مقادیر مثبت و منفی این شاخص به ترتیب نشان‌دهنده کم برآورد و بیش برآورد مدل می‌باشد لذا در مقایسه عملکرد مدل‌های مورد مطالعه از این شاخص استفاده نشد.

رابطه 5

$$R^2 = \left( \frac{N \sum y_i \hat{y}_i - (\sum y_i)(\sum \hat{y}_i)}{\sqrt{N(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2} \sqrt{N(\sum \hat{y}_i^2) - (\sum \hat{y}_i)^2}} \right)^2$$

رابطه 6

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|$$

<sup>1</sup>. Multivariate Regression

جدول 2- خلاصه‌ی آمارهای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

| متغیر                                                   | کمینه | بیشینه | میانگین | واریانس | چولگی | ضریب تغییرات | P-value |
|---------------------------------------------------------|-------|--------|---------|---------|-------|--------------|---------|
| رس (درصد)                                               | 2/80  | 26/10  | 12/26   | 18/91   | 0/49  | 35/45        | 0/012*  |
| شن (درصد)                                               | 33/50 | 83/60  | 69/80   | 80/07   | 1/11  | 12/81        | 0/005*  |
| سیلت (درصد)                                             | 0/3   | 43/7   | 17/93   | 51/63   | 0/86  | 40           | 0/021*  |
| ماده آلی (درصد)                                         | 0/07  | 1/55   | 0/63    | 0/11    | 0/50  | 52/60        | 0/200   |
| کربنات کلسیم معادل (درصد)                               | 15/50 | 30     | 21/75   | 5/88    | 0/83  | 11/14        | 0/000*  |
| نسبت جذب سدیم $0.5$ (meq/l)                             | 0/17  | 36/27  | 8/11    | 59/01   | 1/15  | 94/69        | 0/000*  |
| قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)                            | 1/20  | 25     | 4/58    | 14/85   | 2/88  | 84/02        | 0/000*  |
| واکنش خاک                                               | 7/30  | 8/60   | 8/056   | 0/05    | -0/92 | 2/98         | 0/000*  |
| چگالی ظاهری ( $g/cm^3$ )                                | 1/04  | 1/51   | 1/28    | 0/007   | -0/03 | 6/51         | 0/200   |
| رس قابل پراکنش (درصد)                                   | 0/66  | 7/90   | 3/49    | 2/87    | 0/90  | 48/52        | 0/200   |
| مقاومت کششی خاکدانه به جا مانده روی الک 25 (کیلوپاسکال) | 21/38 | 140/33 | 50/44   | 429     | 1/42  | 41/09        | 0/200   |
| مقاومت کششی خاکدانه به جا مانده روی الک 16 (کیلوپاسکال) | 15/13 | 154/48 | 51/04   | 629     | 1/53  | 49/15        | 0/201   |
| مقاومت کششی خاکدانه به جا مانده روی الک 8 (کیلوپاسکال)  | 12/60 | 144/29 | 59/77   | 835     | 0/98  | 48/33        | 0/200   |
| مقاومت کششی (کیلوپاسکال)                                | 17/41 | 140/07 | 54/22   | 492     | 1/30  | 40/92        | 0/070   |

\* بیان‌گر معنی‌دار بودن آزمون کولموگروف - اسمیرنوف در سطح اطمینان 95 درصد است.

1- تا 1 می‌باشد. در آزمون کولموگروف - اسمیرنوف اگر P-value بزرگ‌تر از 05/0 باشد می‌توان فرض کرد توزیع مشاهدات نرمال است بنابراین تردی، چگالی ظاهری، مقاومت کششی کل، ماده‌آلی، رس قابل پراکنش، مقاومت کششی الک 25 و 16 و 8 میلی‌متر دارای توزیع نرمال بودند و بقیه پارامترها با استفاده از لگاریتم گرفتن نرمال شدند. با توجه به میانگین مقادیر مقاومت کششی اندازه‌های مختلف خاکدانه‌ها که در جدول 2 آورده شده است می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش اندازه خاکدانه‌ها مقاومت کششی آن‌ها کاهش می‌یابد.

جدول 3 نتایج همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که بین مقاومت کششی با درصد رس رابطه مثبت و مستقیم با ضریب اطمینان 99 درصد وجود دارد. زیرا رس یکی از عوامل مؤثر بر خاکدانه‌سازی می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که بین مقاومت کششی با درصد شن رابطه معکوس معنی‌دار با ضریب اطمینان 99 درصد وجود دارد.

که باعث تغییر در یکنواختی سطح خاک می‌گردد (ویلدینگ، 1985). زیاد بودن ضریب تغییرپذیری قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم احتمالاً به دلیل مدیریت‌های متفاوت خصوصاً مدیریت مربوط به آبیاری است. همچنین متغیرهای واکنش خاک، چگالی ظاهری، کربنات کلسیم معادل و درصد شن دارای تغییرپذیری کم هستند و در این میان ضریب تغییرات واکنش خاک از سایر خصوصیات کمتر است که با گزارش یثربی و همکاران (2008) همخوانی دارد. نتایج این تحلیل نشان داد که چگالی ظاهری دارای کمترین تغییرات (کمترین واریانس) و مقاومت کششی خامدانه به جا مانده روی الک 8 میلی‌متر دارای بیش‌ترین تغییرات (بیش‌ترین واریانس) می‌باشد به منظور بررسی نرمال بودن خصوصیات، روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله می‌توان به بررسی چولگی اشاره کرد. در حالت کلی چنانچه چولگی خارج از محدوده 1- تا 1 باشد داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نیستند (بهبودیان، 1394). چولگی قابلیت هدایت الکتریکی، درصد شن، نسبت جذب سطحی سدیم، مقاومت کششی کل و مقاومت کششی خاکدانه - های به جا مانده روی الک‌های 25 و 16 میلی‌متر خارج از محدوده

جدول 3- همبستگی بین مقاومت کششی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

| متغیر           | Si    | Cl      | Sa       | OM    | WDC   | CCE   | SAR                    | EC     | pH     | $\rho_b$             |
|-----------------|-------|---------|----------|-------|-------|-------|------------------------|--------|--------|----------------------|
|                 |       |         | درصد     |       |       |       | (meq/l) <sup>0.5</sup> | (dS/m) |        | (g/cm <sup>3</sup> ) |
| مقاومت کششی (Y) | 0/218 | 0/378** | -0/359** | 0/129 | 0/211 | 0/142 | 0/128                  | 0/177  | 0/256* | 0/174                |

\*\*، \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

## مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از رگرسیون خطی چند

## متغیره

به منظور مشخص کردن متغیرهای تأثیر گذار برای پیش‌بینی مقاومت کششی از روش رگرسیون چند متغیره به شیوه گام به گام استفاده شد که نتایج آن در جدول 4 آورده شده است. در این رگرسیون تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه بر مقاومت کششی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحلیل نشان داد که متغیرهای واکنش خاک، درصد رس، درصد رس قابل پراکندگی و قابلیت هدایت الکتریکی متغیرهای تأثیر گذار در پیش‌بینی مقاومت کششی می‌باشند به طوری که 49 درصد تغییرات مقاومت کششی را بیان می‌کنند. جدول 5 شاخص‌های خطا در رگرسیون چند گانه به شیوه گام به گام برای تخمین مقاومت کششی را نشان می‌دهد. ریشه نسبی میانگین مربعات خطا (RRMSE) در مقادیر کمتر از 10 درصد نشان دهنده دقت بالای مدل است، در محدوده 10 تا 20 درصد دقت خوب، مقادیر 20 تا 30 درصد دقت متوسط و مقادیر بالای 30 درصد دقت ضعیف مدل را در تخمین نشان می‌دهد (دسپوتویک و همکاران، 2016).

## مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از درخت تصمیم

با توجه به الگوریتم درختی رسم شده در شکل 2، مشاهده شد که درصد رس مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار در مدل‌سازی مقاومت کششی می‌باشد که در طبقه‌بندی در بالاترین قسمت افراز، یعنی افراز ریشه قرار دارد.

سپس به ترتیب متغیرهای واکنش خاک، درصد ماده آلی، نسبت جذب سدیم، درصد شن، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد رس قابل پراکندگی، چگالی ظاهری و درصد سیلت، در مدل‌سازی مقاومت کششی دارای اهمیت می‌باشند. متغیر قابلیت هدایت الکتریکی در این الگوریتم نقشی ایفا نمی‌کند. جدول 6 شاخص‌های خطا در درخت تصمیم برای تخمین مقاومت کششی را نشان می‌دهد.

## آنالیز حساسیت با استفاده از تخمین‌گرهای مختلف در مدل‌سازی

## مقاومت کششی در درخت تصمیم به روش Stat Soft

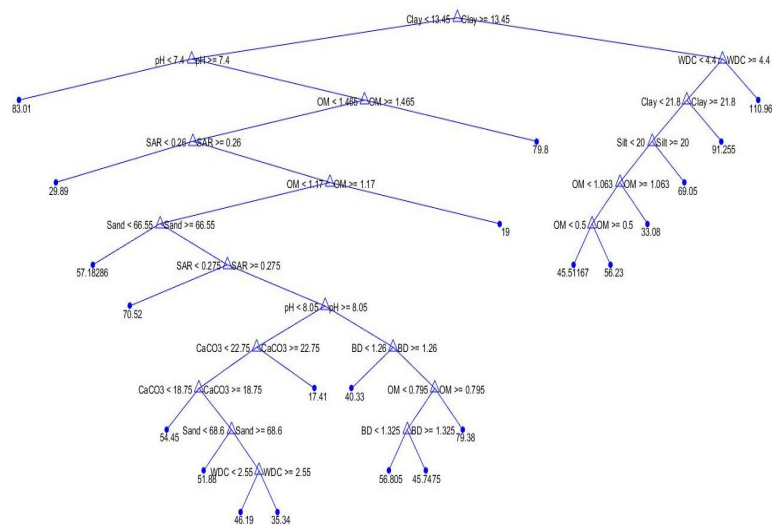
نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی توسط تخمین‌گرهای k-fold، Hold out، Resubstitution و Leave one out در شکل‌های 3 تا 6 آورده شده است و نتایج مقایسه مهم‌ترین ویژگی‌های این تخمین‌گرها در جدول 7 نشان داده شده است.

جدول 4- ضرایب مدل رگرسیون خطی چند متغیره مقاومت کششی

| مدل                                                          | ضریب رگرسیون | VIF   | Sig   |
|--------------------------------------------------------------|--------------|-------|-------|
| Constant                                                     | -272/087     | -     | 0/001 |
| درصد رس                                                      | 2/435        | 1/153 | 0/000 |
| واکنش خاک                                                    | 34/052       | 1/088 | 0/001 |
| قابلیت هدایت الکتریکی                                        | 2/213        | 1/081 | 0/000 |
| درصد رس قابل پراکندگی                                        | 3/307        | 1/123 | 0/009 |
| Y = -272.087 + 2.435 Clay + 34.052 pH + 2.213 EC + 3.307 WDC |              |       |       |
| (R) = 0/702                                                  |              |       |       |

جدول 5- شاخص‌های خطا در رگرسیون چند گانه به شیوه گام به گام برای تخمین مقاومت کششی

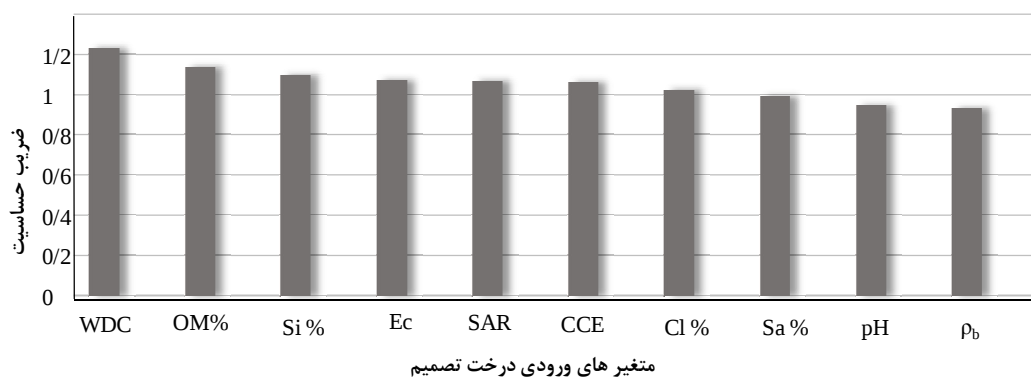
| ضریب تبیین | میانگین قدر مطلق خطا | میانگین مربعات خطا | درصد ریشه نسبی میانگین مربعات خطا |
|------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|
| $R^2$      | MAE                  | RMSE               | RRMSE                             |
| 0/49       | 28/4                 | 19/17              | 35                                |



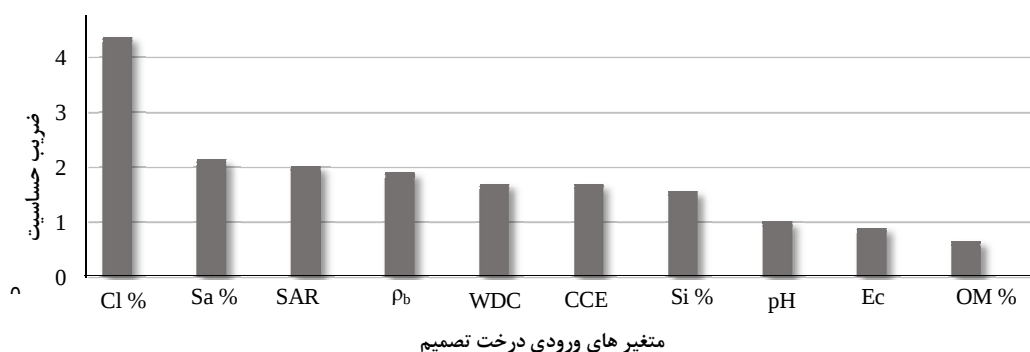
شکل 2- الگوریتم درخت تصمیم برای تخمین مقاومت کششی

جدول 6- شاخص‌های خطا در درخت تصمیم برای تخمین مقاومت کششی

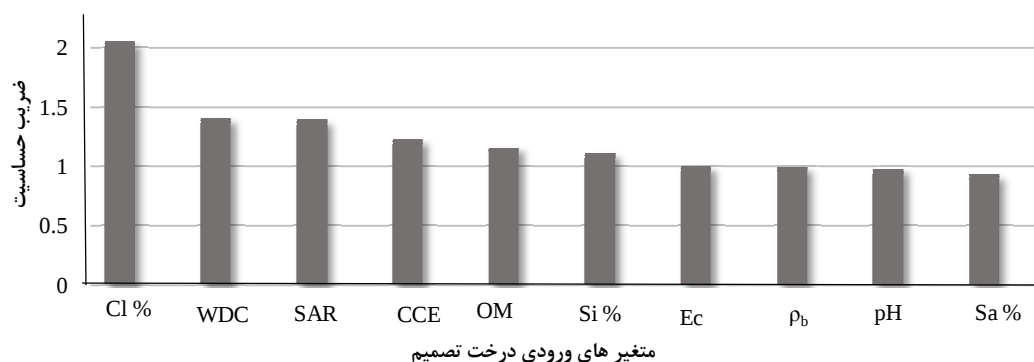
| ضریب تبیین | میانگین قدر مطلق خطا | میانگین مربعات خطا | درصد ریشه نسبی میانگین مربعات خطا |
|------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|
| $R^2$      | MAE                  | RMSE               | RRMSE                             |
| 0/88       | 11/21                | 7/42               | 14                                |



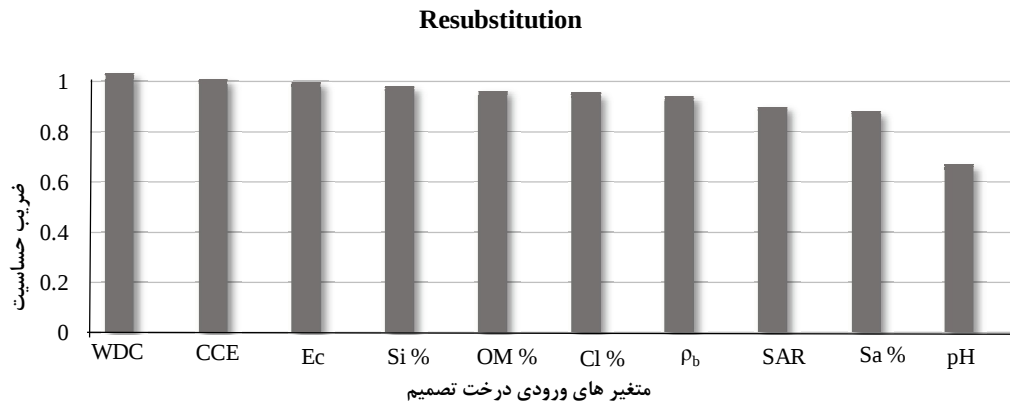
شکل 3- نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی درخت تصمیم مقاومت کششی به روش K-fold



شکل 4- نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی درخت تصمیم مقاومت کششی به روش Hold out



شکل 5- نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی درخت تصمیم مقاومت کششی به روش Resubstitution



شکل 6- نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی درخت تصمیم مقاومت کششی به روش Leave one out

جدول 7- مقایسه مهم‌ترین ویژگی‌ها در تخمین‌گرهای مختلف

| تخمینگر        | مهم‌ترین ویژگی      | کم اهمیت‌ترین | میانگین مربعات خطا (MSE) |
|----------------|---------------------|---------------|--------------------------|
| K-fold         | درصد رس قابل پراکنش | چگالی ظاهری   | 565/98                   |
| Hold out       | درصد رس             | درصد ماده آلی | 299/33                   |
| Resubstitution | درصد رس             | درصد شن       | 58/16                    |
| Leave one out  | درصد رس قابل پراکنش | واکنش خاک     | 700/24                   |

نتایج جدول 7 نشان می‌دهد که استفاده از تخمینگر Resubstitution ارجحیت دارد و بعد از آن تخمینگر Hold out در درجه دوم اهمیت قرار دارد. با توجه به نمودار آنالیز حساسیت انجام شده با استفاده از تخمینگر Resubstitution درصد رس مؤثرترین متغیر در پیش‌بینی مقاومت کششی می‌باشد و بعد از آن به ترتیب متغیرهای درصد رس قابل پراکنش، نسبت جذب سطحی سدیم، درصد کربنات کلسیم معادل و درصد ماده آلی در پیش‌بینی مقاومت کششی اهمیت دارند و کم اهمیت‌ترین متغیر درصد شن می‌باشد.

مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از شبکه پرسپترون چند لایه نتایج حاصل از مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه در جدول 8 آورده شده است. مقدار خطای کل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مقاومت کششی به روش رگرسیون برابر، 231 به دست آمد. شاخص‌های خطا شامل میانگین مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا و همچنین ضریب تبیین و درصد ریشه میانگین مربعات خطا بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی برای مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه محاسبه شد که نتایج آن در جدول 8 آورده شده است.

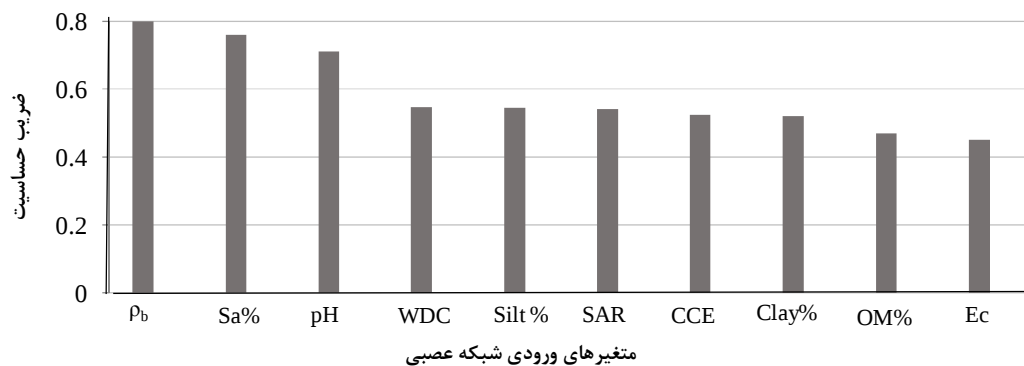
جدول 8- شاخص‌های خطا در مدل‌سازی مقاومت کششی توسط شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

| داده‌ها        | ضریب تبیین     | میانگین قدر مطلق خطا | میانگین مربعات خطا | درصد ریشه نسبی میانگین مربعات خطا |
|----------------|----------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|
|                | R <sup>2</sup> | MAE                  | RMSE               | RRMSE                             |
| داده‌های آموزش | 0/53           | 8/7                  | 13/15              | 24                                |
| داده‌های آزمون | 0/42           | 16/2                 | 16/27              | 30                                |
| کل             | 0/52           | 12/075               | 15/19              | 28                                |

آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی در مدل‌سازی مقاومت کششی در شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

نتایج آنالیز حساسیت این شبکه عصبی در شکل 7 آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که به ترتیب متغیرهای چگالی ظاهری، درصد شن، واکنش خاک، درصد سیلت، درصد رس قابل پراکنش و درصد رس در مدل‌سازی مقاومت کششی با

استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه دارای اهمیت می‌باشند که از این میان متغیر چگالی ظاهری مهم‌ترین متغیر است و متغیرهای درصد ماده آلی و قابلیت هدایت الکتریکی دارای اهمیت پایین در مدل‌سازی مقاومت کششی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه می‌باشند.



شکل 7- نمودار آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مقاومت کششی

### ارزیابی مدل

استفاده شد، که نتایج آن در جدول 9 آورده شده است. نتایج این تحلیل نشان داد استفاده از درخت تصمیم برای پیش‌بینی مقاومت کششی به دلیل کمترین خطا، بهترین انتخاب می‌باشد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی مقاومت کششی مناسب نیست.

به منظور مقایسه عملکرد مدل‌های درخت تصمیم، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و رگرسیون چند متغیره از پارامترهای ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد ریشه میانگین مربعات خطا (RRMSE)

جدول 9- ارزیابی مدل‌های مختلف مدل‌سازی مقاومت کششی

| مدل                | ضریب تبیین<br>$R^2$ | ریشه میانگین مربعات خطا<br>RMSE | درصد ریشه نسبی میانگین مربعات خطا<br>RRMSE |
|--------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| رگرسیون چند متغیره | 0/49                | 19/17                           | 35                                         |
| درخت تصمیم         | 0/88                | 7/42                            | 14                                         |
| شبکه عصبی MLP      | 0/52                | 15/19                           | 28                                         |

### بحث

همکاران، 1994). همچنین صفادوست (1395) دریافت که مقاومت کششی با درصد شن رابطه معکوس دارد، به طوری که در مطالعه وی، بیش‌ترین مقاومت کششی در خاک لومرسی و کمترین آن در خاک لوم‌شنی وجود داشت. ایشان همچنین نشان داد که مقاومت کششی خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها با اندازه آن‌ها رابطه معکوس دارد به این صورت که با افزایش اندازه خاکدانه‌ها، مقاومت کششی کاهش می‌یابد که با نتایج حاصل از این پژوهش هماهنگ است.

در پیش‌بینی مقاومت کششی از روش رگرسیون چند گانه به شیوه گام به گام، واکنش خاک، درصد رس، درصد رس قابل پراکنش و قابلیت هدایت الکتریکی قوی‌ترین متغیرها در

در مطالعه حاضر همبستگی مثبت بین مقاومت کششی خاکدانه با درصد رس و همبستگی منفی بین این ویژگی فیزیکی با درصد شن به عنوان اولین نتیجه حاصل قابل توجه است. رس به دلیل داشتن سطح ویژه زیاد و ویژگی‌های الکتروستاتیکی، از نظر فیزیکی و شیمیایی فعال بوده و نقش مهمی در به هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها دارد. به طوری که پس از ماده آلی، رس یکی از مهم‌ترین عوامل در تشکیل و پایداری خاک می‌باشد (صفا دوست، 1395). محققین متعددی مکرراً نقش رس در بالا رفتن مقاومت کششی خاکدانه‌ها را مورد تأیید قرار دادند (لی بی سونیاس، 1996؛ ترنان و همکاران، 1996؛ کرتین و

خشک و نیمه خشک مانند دشت رفسنجان که طی سال‌های اخیر به واسطه ی تمایل کشاورزان به استفاده از کودهای شیمیایی بیشتر از پیش با فقر مواد آلی روبه رو هستند همچنین معضلات کم آبی، استفاده از آبهای با کیفیت پایین و تبخیر بیش از حد از خاک، تراکم و کم شدن مقاومت کششی خاک دور از ذهن نیست.

در این مطالعه، چگالی ظاهری خاک مؤثرترین متغیر در پیش‌بینی مقاومت کششی توسط شبکه عصبی مصنوعی معرفی شد. حجت‌نوق و همکاران (2021) اعلام کردند که مقدار رس و چگالی ظاهری خاک (BD) بیشترین تأثیر را بر شاخص مقاومت کششی (TS) دارند. در این مطالعه از روش ماشین بردار پشتیبان (SVR) برای مدل‌سازی استفاده شد. آنالاف و رحمان (2012) گزارش کردند که شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک مانند مقاومت کششی به بافت خاک، چگالی ظاهری و درصد ماده آلی وابسته است.

چگالی ظاهری خاک، تعداد زیادی از خصوصیات خاک مانند تخلخل و توزیع اندازه منافذ، ظرفیت نگهداری و تامین آب و هوا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. چگالی ظاهری خاک نشانه تراکم خاک است. طبق نظر واتس و دکستر (1998) تراکم خاک می‌تواند اثر منفی بر مقاومت کششی خاکدانه داشته باشد این در حالی است که مانکولم و همکاران (2002) اظهار داشتند که خاک فشرده و متراکم از مقاومت کششی بالاتری برخوردار است. به طور کلی چگالی ظاهری یکی از مهمترین عوامل نشان دهنده تغییرات نامناسب در ساختار خاک است (شیرانی و همکاران، 2015).

نتایج نشان داد که استفاده از درخت تصمیم رگرسیونی برای پیش‌بینی مقاومت کششی به دلیل دارا بودن کمترین شاخص خطا (RRMSE) برابر با 14 درصد نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی بهتر است. نتایج استفاده از تخمینگرهای مختلف در ارزیابی دقت مدل‌سازی مقاومت کششی نشان داد که استفاده از تخمینگر Resubstitution نتایج بهتری نشان داده است.

پیش‌بینی مقاومت کششی تعیین گردید. این در حالی بود که در روش درخت تصمیم و پس از تحلیل حساسیت، درصد رس مؤثرترین متغیر در پیش‌بینی مقاومت کششی معرفی شد و بعد از آن به ترتیب متغیرهای درصد رس قابل پراکنش، نسبت جذب سطحی سدیم، درصد کربنات کلسیم معادل و درصد ماده آلی در پیش‌بینی مقاومت کششی اهمیت داشت.

برزگر و همکاران (1995) پیشنهاد کردند که مقادیر رس قابل پراکنش و CEC رس با مقاومت کششی خاک، ارتباط زیادی دارد. برزگر و همکاران (1994) در خاک‌های آلفی‌سول با شرایط کشت متفاوت، مشاهده کرده‌اند که افزایش نسبت جذب سطحی سدیم منجر به افزایش مقدار پراکنش رس شده، مقاومت کششی نیز متناسب با نسبت جذب سطحی سدیم افزایش می‌یابد. کاسارائو (1993) گزارش کرد که با افزایش مقدار رس خاک، مقاومت کششی خاکدانه افزایش می‌یابد. فراهانی و همکاران (1395) اعلام کردند که با افزایش نسبت جذب سطحی سدیم مقاومت کششی افزایش نشان داده است این در حالی است که با بالا رفتن شوری شدت افزایش مقاومت کششی افت نشان داده است. البته لازم به ذکر است که این نتیجه با گزارش تاجیک و همکاران (1381) و رحیمی و همکاران (2000) متضاد بوده است. گرت و همکاران (1992) دریافتند که با افزایش مقدار کربنات کلسیم معادل خاک مقاومت کششی آن‌ها افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش خزائی و همکاران (1386) نشان داد که از بین سه ویژگی ذاتی ماده آلی، رس و کربنات کلسیم که اثر آن‌ها بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها بررسی شد، تأثیر ماده آلی به مراتب بیش‌تر از دو ویژگی دیگر بود. دکستر و واتر (1998) در بررسی خاک‌های تحت مدیریت‌های مختلف نشان دادند که ماده آلی تأثیر مثبتی در افزایش مقاومت کششی خاکدانه‌ها دارد. مواد آلی با تجزیه تدریجی در خاک و تولید انواع متابولیت‌ها و اسیدهای آلی باعث چسبندگی بیشتر ذرات خاک شده و از طرف دیگر با افزایش جزئی گاز دی اکسید کربن موجب افزایش حلالیت ترکیبات معدنی حاوی کلسیم در خاک شده که نتیجه آن افزایش همآوری ذرات رس و افزایش خاکدانه‌سازی و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود (بارال و همکاران، 2007). لذا در خاک‌های مناطق

## فهرست منابع:

1. برزگر، ع.ا. 1393. مبانی فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز
2. بهبودیان، ج. 1394. آمار و احتمال مقدماتی. دانشگاه امام رضا (ع)
3. تاجیک، ف. رحیمی، ح. پذیرا، ا. 1381. اثر مواد آلی خاک، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 6(3): 151-160
4. خزائی، ع. مصدقی، م. ر. محبوبی، ع. 1387. تأثیر شرایط آزمایش، مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در برخی از خاک‌های استان همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 44: 123-135
5. شیرانی، ح. 1397. شبکه-های عصبی مصنوعی با رویکرد کاربرد در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
6. صفا دوست، آ. 1392. اثر مدیریت زراعی و بافت بر برخی ویژگی‌های ساختمانی خاک. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 27(3): 327-334
7. صفا دوست، آ. 1395. بررسی اثرات بافت، شرایط رطوبتی و سیستم کشت بر تردی خاک. آب و خاک. 30(1): 186-193
8. فراهانی، ا. امامی، ح. قوت، ا. خراسانی، ر. اسماعیلی، ک. 1395. تأثیر نسبت‌های مختلف Na/K محلول خاک بر مقاومت کششی و تردی خاکدانه‌ها. نشریه دانش آب و خاک. 26(3): 161-174
9. Anlauf, R., and P. Rehrmann. 2012. Effect of compaction on soil hydraulic parameters of vegetative landfill covers. *Geomaterials* .2:29-36. doi:10.4236/gm.2012.22005
10. Azadegan, B. 2009. Effects of compaction in the cultivated soils on permeability and water use efficiency in Pakdasht region Iran. *J Irrig Drain*. 3: 60-70.
11. Barral, M.T., Buján, E., Devesa, R., Iglesias, M.L. and M. Velasco-Molina. 2007. Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Sci Total Environ*. 378(1): 174-178
12. Barzegar, A.R., Oades, J.M. Rengasamy, P. and L. Giles. 1994. Effect of sodicity and salinity on disaggregation and tensile strength of an Alfisol under different cropping system. *Soil Tillage Res*. 32: 329-345.
13. Barzegar, A.R. Oades, J.M. Rengasamy, P. and R.S. Murray. 1995. Tensile strength of dry, remoulded soils as affected by properties of the clay function. *Geoderma*. 65: 93-108.
14. Bouyoucos, G.J. 1951. A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron J*. 43: 434-438
15. Burt, R. Reinsch, T.G. and W.P. Miller. 1993. A micro-pipette method for water dispersible clay. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 24(19-20): 2531-2544.
16. Cigizoglu, H.K. and K. Özgür. 2006. Methods to improve the neural network performance in suspended sediment estimation, *J Hydro*. 317(3-4): 221-238
17. Curtin, D. Steppuhn, H. and F. Selles. 1994. Effects of magnesium on cation selectivity and structural stability of sodic soils. *Soil Sci Soc Am J*. 58: 730-737.
18. Causarano, H. 1993. Factors affecting the tensile strength of soil aggregates. *Soil Tillage Res*. 28:15-25.
19. Despotovic, M., Nedic, V., Despotovic, D., and S. Cvetanovic. 2016. Evaluation of empirical models for predicting monthly mean horizontal diffuse solar radiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 246-260.
20. Dexter, A.R. and H. Kroesbergen. 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *J Agric Eng Res*. 37: 139-147.
21. Grant, C.D. Dexter, A.R. and J.M. oades. 1992. Residual effects of additions of calcium compounds on soil structure and strength. *Soil Tillage Res*. 22: 283-297.
22. Geisser, S. 1993. Predictive Inference. Chapman and Hall, New York. ISBN- 0- 412 -03471 - 9.

23. Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil physics. Academic Press, New York.
24. Hill, T. and P. Lewicki. 2005. Statistic: Methods and Applications: a Comprehensive Reference For Science, Industry, and Data Mining. StatSoft, Inc.
25. Hojjatnooghi, F., Shirani, H., Pazira, E., Besalatpour, A.A. and A. Mohammadi Torkashvand. 2021. Determination of Soil Properties Affecting Soil Aggregate Tensile Strength in a Semiarid Region of Iran Using a Hybrid Algorithm. Commun. Soil Sci. Plant Anal. DOI: 10.1080/00103624.2021.1908321.
26. Hojjatnooghi, F., Shirani, H., Pazira, E., Besalatpour, A.A. and A. Mohammadi Torkashvand. 2019. Identification of Soil Properties Influencing Some Soil Physical Quality Indicators Using Hybrid PSO-ICA-SVR Algorithm in Some Agricultural Land Uses of Kerman Province, Iran. Commun Soil Sci Plant Anal. DOI: 10.1080/00103624.2019.1648658
27. Imhoff, S., da Silva, A.P., A., Dexter. 2002. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. Soil Sci Soc Am J. 66: 1656–1661.
28. Kohavi, R. 1995. A study of cross- validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection Proceedings of the fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. 14(2): 1137- 1145.
29. Kim J.H. 2009. Estimating classification error rate: Repeated cross-validation, repeated hold- out and bootstrap. Comput Stat Data Anal. 53: 3735- 3745.
30. Le Bissonnais, Y. 1996. Soil characteristics and aggregate stability. In: M Agassi, (ed). Soil Erosion, conservation, and Rehabilitation. Marcel Dekker, Inc. New York. 41-60.
31. Macks S.P., Murphy B.W., Cresswell H.P., and T.B., Koen. 1996. Soil friability in relation to management history and suitability for direct drilling. Aust J Soil Res J. 34: 343-360.
32. Miller W.P. and D.M., Miller. 1987. A Micro- pipette method for soil mechanical analysis. Soil Sci Plant Anal. 18: 1-15.
33. Munkholm, L.J., Schjønning, P. and B. D. Kay. 2002. Tensile strength of soil cores in relation to aggregate strength, soil fragmentation and pore characteristics. Soil Tillage Res. 64 (1–2):125–35. Doi: 10.1016/S0167-1987(01)00250- 1.
34. Munkholm, L.J., 2011. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. Geoderma. 167-168: 236–246.
35. Razi, M.A. and K. Athappilly. 2005. A comparative predictive analysis of neural networks (NNs), nonlinear regression and classification and regression tree (CART) models. Expert Syst Appl. 29(1): 65-74. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.01.006>.
36. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: A. L. page, R. H. Miller and D. R. Keeney (ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3, Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 417-435.
37. Schaap, M.G., Leij, F.J., and M. Van Genuchten. 1998. Neural properties. Soil Sci Soc Am J. 62: 847–855.
38. Shirani, H., Habibi, M., Besalatpour, A.A. and I. Esfandiarpour. 2015. Determining the features influencing physical quality of calcareous soils in a semiarid region of Iran using a hybrid PSO-DT algorithm. Geoderma 11 (259– 260):1–11. doi:10.1016/j.geoderma.2015.05.002.
39. Tabari, H., Martinez, C., Ezani, A., and P.H. Talaee. 2013. Applicability of support vector machines and adaptive neurofuzzy inference system for modeling potato crop evapotranspiration. Irrig Sci, 31(4): 575-588.
40. Ternan, J.L., Williams, A.G., Elmes, A. and R. Hartley. 1996. Aggregate stability of soils in central Spain and the role of land management. Earth Surf Process Landf. 21: 181-193.
41. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: A. L. page, R. H. Miller and D. R. Keeney (ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3, Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 475-490.

42. Uhrig, R.E. 1995. Introduction to artificial neural networks. In: Proceedings of the IEEE 21st international conference on industrial electronics, control, and instrumentation (IECON-1995). 1: 33–37
43. Walkley, A. and I. A., Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
44. Richards LA 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Hand Book, No. 60.
45. Kassim, J.K. 2013. Method for estimation of calcium carbonate in soils from Iraq. *Int. J Environ Sci.* 1(1): 9-19.
46. Watts, C.W., and A.R. Dexter. 1998. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. *Eur J Soil Sci.* 49 (1):73–84. doi:10.1046/j.1365-2389.1998.00129.x
47. Wilding, L.P. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys. pp. 166-187. In: D.R. Nielsen and J. Bouma (ed.). *Soil Spatial Variability*. Workshop of the ISSS and the SSA, Las Vegas PUDOC, Wageningen. 30 November-1 December.
48. Wu X., Wei Y., Wang J., Wang D., She L. Wang J., and C.H., Cai. 2017. Effects of soil physicochemical properties on aggregate stability along a weathering gradient. *Catena.* 156: 205–215.
49. Yasrebi, J.A., Saffari, M.A., Fathi, H.A., Karimiyan, N.A., Emadi, M.O., and M.A. Baghernejad. 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in Southern Iran. *J Appl Sci.* 8: 1642-1650.
50. Yohaness, Y. 1999. Classification and Regression Tree: an Introduction. Research Institute of Washington, D.C.



## تأثیر دمای آتشکافت بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار تولیدی از ضایعات هرس درختان بارور پسته

مهدی کریمی<sup>1</sup>

استادیار پژوهش، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران: karimi\_nsrc@yahoo.com

دریافت: 99/11/27 و پذیرش: 1400/7/4

### چکیده

تولید و مصرف بیوچار حاصل از ضایعات کشاورزی یکی از گزینه‌های افزایش کیفیت خاک و کاهش آلودگی محیط زیست معرفی شده است. در این پژوهش اثر چهار سطح دمای آتشکافت (350، 400، 450 و 500 درجه سلسیوس) بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار تولید شده از ضایعات هرس درختان بارور پسته بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که قابلیت هدایت الکتریکی، pH، غلظت عناصر غذایی پتاسیم، سدیم، و فسفر تا بیشترین دمای آتشکافت نسبت به کمترین دمای آتشکافت به ترتیب به میزان 32%، 27%، 27%، 25% و 29% افزایش یافت. روند افزایشی غلظت عناصر غذایی کلسیم، منیزیم و روی نیز با افزایش دمای آتشکافت تا 450 درجه سلسیوس مشاهده شد اما با افزایش بیشتر دمای آتشکافت به 500 درجه سلسیوس غلظت این عناصر تغییر معنی‌داری نداشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش دمای آتشکافت تا دمای 500 درجه سلسیوس موجب افزایش سطح ویژه و تخلخل بیوچار شد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که بیوچار حاصل از هرس سرشاخه‌های پسته یک منبع از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده و می‌تواند برای اصلاح خاک و افزایش عملکرد در واحد سطح محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته بیوچار، عناصر غذایی بیوچار، سطح ویژه بیوچار، هدایت الکتریکی بیوچار

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: یزد، بلوار آزادگان (فرودگاه)، خیابان نهالستان، مرکز ملی تحقیقات شوری.

## مقدمه

یکی از مشکلات بخش کشاورزی وجود ضایعات این بخش است که عموماً به نحو شایسته‌ای مدیریت نمی‌شوند (فروناتو و تورتا، 2019). یکی از انواع مواد آلی که عموماً در چرخه تولید قرار نگرفته، سرشاخه‌های درختان ناشی از هرس باغات می‌باشد. کشاورزان پس از خشک‌شدن سرشاخه‌ها و به منظور عدم توسعه آفات و بیماری‌های گیاهی نسبت به سوزاندن آنها اقدام می‌نمایند. سوزاندن سرشاخه‌ها موجب آلودگی محیط زیست و ورود گازهای مختلف از جمله گاز دی اکسید کربن به اتمسفر و گرم شدن کره زمین و تغییر اقلیم می‌شود (تی سای و همکاران، 2019). این مشکل در باغات به صورت جدی و روزافزونی وجود دارد (شیرانی و همکاران، 2010). از آنجا که سطح زیر کشت باغات در کشور حدود 2700000 هکتار می‌باشد طبیعتاً سالانه حجم قابل توجهی از مواد آلی تولید می‌شود که متأسفانه سوزانده می‌شود. لازم به ذکر است که حدود 30 درصد از محصولات کشاورزی به ضایعات تبدیل می‌شود. این میزان ضایعات نسبت به میزان استاندارد جهانی ضایعات کشاورزی (کمتر از 1 درصد) بسیار زیاد بوده و به معنی هدر رفتن مضاعف آب به عنوان یک سرمایه‌ی گران‌بها و در کنار آن از بین رفتن میزان بالای منابع انرژی، که در تولید فرآورده‌های کشاورزی صرف می‌شود، خواهد بود (شیرانی و همکاران، 2010).

کمبود ماده آلی خاک‌های کشاورزی از دیگر مشکلات اساسی کشور می‌باشد. لذا افزایش میزان مواد آلی خاک‌ها برای دستیابی به کشاورزی پایدار یک ضرورت است (بنایی و همکاران، 2005). در سال‌های اخیر توجه بسیاری از کشورها به مصرف بقایای کشاورزی نظیر بقایای نیشکر، برنج، گندم، ذرت و ... در اراضی کشاورزی معطوف شده است (معزی و همکاران، 1396). تولید و مصرف بیوچار به عنوان یکی از راهکارهای افزایش میزان ماده آلی خاک و همچنین اصلاح خصوصیات خاک در راستای پایداری

اکوسیستم‌های کشاورزی معرفی شده است (کیزیو و همکاران، 2019 و ایسیک و آجیت، 2015). این تکنیک بویژه در مورد برخی از ضایعات کشاورزی نظیر سرشاخه‌های درختان که نگهداری آنها موجب شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی می‌شود نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد.

فرایند آتشکافت یا تولید بیوچار، یک فرایند گرمایی-شیمیایی است که در طی آن مواد آلی در شرایط دمای زیاد و حداقل اکسیژن به یک ترکیب جامد حاوی کربن زیاد به نام بیوچار یا زغال زیستی تبدیل می‌شود. این ترکیبات عموماً دارای ساختار آروماتیک و متخلخل می‌باشد که در محیط پایدار بوده و موجب افزایش مواد آلی خاک می‌شود (ایسیک و آجیت، 2015). مهمترین مزایای بیوچار نسبت به ماده خام اولیه، قابلیت حمل و نقل آسانتر و نداشتن تاثیر منفی بر گیاهان می‌باشد. عوامل زیادی بر کیفیت بیوچار تولیدی موثر هستند (سونگ و گو، 2012؛ کلاس و همکاران، 2012؛ کسکین و همکاران، 2019). مهمترین این عوامل عبارتند از ترکیب ماده خام اولیه، دما و مدت زمان فرایند آتشکافت، عالی‌پوربابادی و همکاران (1397) گزارش کردند که با افزایش دمای آتشکافت از 400 به 900 درجه سلسیوس ظرفیت تبادل کاتیونی باگاس نیشکر، کاه برنج، خاک اره و برگ کنوکارپوس کاهش یافت اما سطح ویژه و غلظت کل عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نظیر، کلسیم، منیزیم، مس، روی، فسفر، آهن و پتاسیم آنها افزایش یافت. خان‌محمدی و همکاران (1394) نیز نشان دادند که با افزایش دمای آتشکافت از 300 به 400 و 500 درجه سلسیوس غلظت کل عناصر آهن، روی، فسفر، سدیم و پتاسیم موجود در بیوچار حاصل از باگاس نیشکر و بقایای پسته افزایش یافت. بنی‌طالی و همکاران (1396) نیز افزایش قابلیت هدایت الکتریکی، pH چگالی حقیقی و میزان خاکستر موجود در بیوچار حاصل از بقایای کاه گندم، شلتوک برنج، خاک اره، باگاس نیشکر و خوشه

خرما با افزایش دمای آتشکافت از 300 به 500 درجه سلسیوس را گزارش نمودند.

اگرچه تحقیقات ارزشمندی در مورد اثر عوامل مختلف بر کیفیت بیوچار تولید شده از مواد اولیه خام نظیر باگاس نیشکر (خان‌محمدی و همکاران، 1394)، خاک اره و خوشه خرما (بنی‌طالبی و همکاران، 1396)، کود مرغی (زلفی‌باوریانی و همکاران، 1395) و ضایعات برداشت پسته (میری و زمانی‌بابگهری، 1399) انجام شده‌است، لیکن پژوهشی که اثر دمای آتشکافت بر کیفیت بیوچار حاصل از سرشاخه‌های پسته انجام شده باشد توسط نگارندگان ملاحظه نشد. این در حالی است که سرشاخه‌های پسته یکی از منابع اولیه مواد آلی است که به دلیل نسبت کربن به نیتروژن بالا و خطر شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی توسط باغداران به سرعت سوزانده می‌شود. لذا این پژوهش در راستای تولید دانش فنی فراوری سرشاخه‌های پسته و امکان بهره‌گیری از آن به عنوان ماده اصلاح‌کننده خاک و بررسی تاثیر دما بر خصوصیات بیوچار حاصله، طراحی و اجرا شد. نظر به اینکه عموماً، بیوچارها حاوی مقادیر قابل توجهی کربن آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هستند لذا مصرف این مواد می‌تواند موجب افزایش میزان کربن آلی خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی گردد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سه مرحله و به شرح ذیل در مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد: در مرحله اول نسبت به جمع‌آوری و آماده‌سازی سرشاخه‌های پسته اقدام شد. سپس نسبت به تولید بیوچار و آماده‌سازی آنها اقدام شد. در مرحله آخر ویژگی‌های بیوچارهای تولیدی در سطح آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند.

### جمع‌آوری و آماده‌سازی سرشاخه‌ها

سرشاخه‌ها از یک باغ پسته با سن حدود 17 سال واقع در چاه‌افضل اردکان یزد و در زمستان سال 1398 جمع‌آوری گردید. قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری باغ مذکور 8/5 دسی‌زیمنس بر متر و درختان آن از

نوع پسته احمدآقایی بود. سرشاخه‌ها توسط اره و تبر خرد شده و به قطعات حدود 40 سانتیمتری تبدیل شدند.

### تولید بیوچار

به منظور ایجاد فضایی با حداقل اکسیژن، حدود دو ونیم کیلوگرم سرشاخه پسته به طول تقریبی چهل سانتیمتر در یک فویل آلومینیومی به طول یک متر و به عرض هفتاد سانتیمتر پیچیده شد و در دستگاه کوره الکتریکی (زلفی‌باوریانی و همکاران، 1395) در دماهای متفاوت (350، 400، 450 و 500 درجه سلسیوس) به مدت سه ساعت قرار داده شد. دمای کوره پس از چهل و پنج دقیقه از دمای محیط (حدود 30 درجه سلسیوس) به دمای دلخواه افزایش می‌یافت و حدود دو ساعت و پانزده دقیقه در دمای دلخواه بود. آهنگ رسیدن به دمای اصلی بسته به دمای دلخواه متفاوت بود و برای دماهای 350، 400، 450 و 500 درجه سلسیوس به ترتیب معادل 7، 8، 10 و 11 درجه سلسیوس بر دقیقه بود.

لازم به ذکر است که آزمون و خطای انجام شده در این پژوهش نشان داد که سرشاخه پسته در دمای 300 درجه سلسیوس و به مدت سه ساعت به بیوچار تبدیل نمی‌شود. پس از سه ساعت نسبت به خاموش کردن دستگاه اقدام و پس از سرد شدن کامل، بیوچار تولیدی از دستگاه خارج و نسبت به خرد کردن آنها به قطعات یک تا 3 سانتیمتری اقدام شد. ضرورت دارد نمونه‌ها پس از سرد شدن کامل کوره الکتریکی (عموماً پس از یک شبانه روز) از دستگاه خارج گردد. درغیراین صورت، نمونه به خاکستر تبدیل می‌شود. سپس نمونه‌ها با استفاده از آسیاب برقی، آسیاب شده و از الک 0/4 میلیمتری عبور داده شد و در یک ظرف درب دار پلاستیکی نگهداری شد. لازم به ذکر است که برای تعیین عملکرد بیوچار، وزن سرشاخه‌ها پیش و پس از ورود به دستگاه کوره الکتریکی تعیین شد.

### تعیین ویژگی‌های بیوچارهای تولیدی

به منظور تعیین عملکرد بیوچار، نسبت وزن بیوچار تولیدی به وزن خالص ماده خشک اولیه محاسبه و در عدد صد ضرب شد. جهت تعیین میزان خاکستر، دو گرم

ارتباط تیمارهای پژوهش با ویژگی‌های بیوچار استفاده شد.

## نتایج

### درصد خاکستر و عملکرد بیوچار

براساس تعریف انجام شده (واندراستلت و همکاران، 2011)، ماده اولیه مورد استفاده در این پژوهش لیگنین است. زیرا لیگنین ترکیبی است که نسبت اتمی هیدروژن به کربن آن از 0/75 تا 1/4 متغیر بوده و نسبت اتمی اکسیژن به کربن آن از 0/2 تا 0/4 متغیر است (واندراستلت و همکاران، 2011). نتایج این پژوهش نشان داد که فرایند آتشکافت در کلیه دماهای این پژوهش (از 350 تا 500 درجه سلسیوس) منجر به تولید بیوچار شده است. زیرا نسبت اتمی هیدروژن به کربن و اکسیژن به کربن در آن به شدت کاهش یافته است و به مقادیر تعریف شده برای بیوچار نزدیک شده است. بیوچار ترکیبی است حاوی کربن پایدار که حداکثر نسبت اتمی اکسیژن به کربن آن 0/4 و حداکثر نسبت اتمی هیدروژن به کربن آن 0/7 باشد (آلمیدا، 2015).

لازم به ذکر است که تبدیل سرشاخه‌های پسته به بیوچار، موجب افزایش محتوی کربن گردید. لیکن با تبدیل سرشاخه‌های پسته به بیوچار میزان هیدروژن و اکسیژن، نسبت هیدروژن به کربن و نسبت اکسیژن به کربن کاهش یافت (جدول 1). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که تبدیل سرشاخه‌های پسته به بیوچار موجب افزایش محتوی خاکستر آن می‌شود (شکل 1). میزان خاکستر موجود در بیوچار تولیدی به دمای آتشکافت بستگی داشت و با افزایش دمای آتشکافت میزان خاکستر به صورت خطی افزایش یافت ( $Y=3.12+0.017X$ ,  $R^2=0.78^{**}$ ). بیشترین خاکستر مربوط به تیمار بیشترین دما (500 درجه سلسیوس) و معادل 11/66 درصد بود. لازم به ذکر است که با افزایش هر واحد دما میزان خاکستر تولید شده به میزان 0/017 درصد افزایش می‌یابد (شکل 1). این مشاهدات توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. به عنوان مثال کسکین و همکاران (2019)

از بیوچار را داخل یک عدد کروزه چینی ریخته و به مدت هشت ساعت در دمای 550 درجه سلسیوس در داخل کوره الکتریکی قرار داده شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، 1372). برای تعیین قابلیت هدایت الکتریکی و pH، نسبت به تهیه عصاره یک به ده بیوچار به آب مقطر اقدام و پس از یک شبانه روز نسبت به قرائت قابلیت هدایت الکتریکی و pH اقدام شد (سینگ و همکاران، 2017). عملکرد بیوچار به عنوان درصدی از ماده خام و خشک اولیه است که به بیوچار تبدیل شده است (سونگ و گو، 2012). به منظور تعیین محتوای عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز، نمونه‌ها با استفاده از روش هضم خشک و ترکیب با کلریدریک اسید (بلک و همکاران، 1965) عصاره‌گیری شد. غلظت سدیم و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فوتومتر اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز به روش جذب اتمی و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، 1372). به منظور تعیین محتوای فسفر، پس از هضم خشک و اضافه نمودن آمونیوم مولیبدات و وانادات غلظت فسفر در عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد (بلک و همکاران، 1965 و کوئین و وو، 1976). به منظور تعیین سطح ویژه، تخلخل و میانگین قطر حفرات از روش BET استفاده شد (خان‌محمدی و همکاران، 1394). این روش بر اساس سنجش حجم گاز بی اثر جذب و واجذب شده توسط سطح ماده در دمای ثابت نیتروژن مایع 77 درجه کلوین در فشارهای نسبی مختلف استوار است (و بروناتور و همکاران، 1938).

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

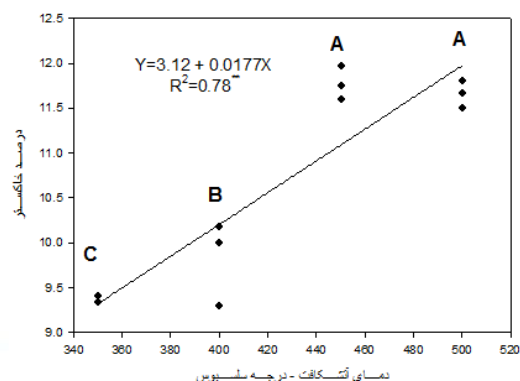
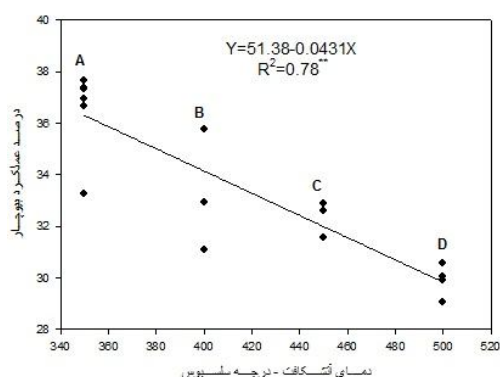
آنالیز واریانس داده‌ها در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار آمای SAS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. همچنین از نرم‌افزار آماری سیگماپلات به منظور بررسی

که بر درصد خاکستر بیوپچار موثر است تیمار نمودن ماده خام اولیه توسط عوامل مختلفی نظیر اسید و املاح می‌باشد (داس و شارما، 2015). این مشاهده به دلیل افزایش میزان مواد معدنی و همچنین کاهش ترکیبات فرار در بیوپچارهای تولید شده در دمای بالاتر می‌باشد (کلاستون و همکاران، 2014).

افزایش درصد خاکستر با افزایش دمای آتشکافت را گزارش کردند. این محققین همچنین متذکر شدند که مقدار مطلق خاکستر تولیدی به ترکیب اولیه مواد خام بستگی دارد. به عنوان مثال میری و زمانی‌بابگهری (1399) افزایش درصد خاکستر بیوپچار حاصل از ضایعات برداشت پسته را گزارش کردند. از جمله عوامل دیگری

**جدول 1- اثر دمای آتشکافت بر درصد اکسیژن (O)، هیدروژن، کربن و نسبت اتمی آنها در بیوپچار تولیدی از چوب هرس درختان پسته، در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.**

| درصد یا نسبت اتمی عناصر |       |       |       |        | دمای آتشکافت |
|-------------------------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| O/C                     | H/C   | O (%) | H (%) | C (%)  |              |
| 0/44a                   | 0/91a | 36/9a | 4/79a | 62/36b | ماده اولیه   |
| 0/08b                   | 0/36b | 9/1b  | 2/4b  | 78/47a | 350          |
| 0/08b                   | 0/36b | 8/9b  | 2/43b | 78/94a | 400          |
| 0/07b                   | 0/24c | 8/2b  | 1/84c | 78/55a | 450          |
| 0/05c                   | 0/24c | 6/2c  | 1/7c  | 81/04a | 500          |



**شکل 1- اثر دمای آتشکافت بر میزان خاکستر و عملکرد بیوپچار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.**

29/8 درصد بود. اگرچه گزارشی مبنی بر میزان عملکرد بیوپچار حاصل از سرشاخه پسته توسط نگارندگان مشاهده نشد لیکن کاهش عملکرد بیوپچار (میزان تولید فاز جامد) با افزایش دمای آتشکافت که به دلیل کاهش میزان اکسیژن و هیدروژن فرار در بیوپچار تولیدی است (چان و زو، 2009) توسط سایر محققین گزارش شده است (خان‌محمدی و همکاران 1394). به عنوان مثال میزان عملکرد بیوپچار حاصل از ضایعات پسته تولید شده در

همچنین نتایج این پژوهش (شکل 1) نشان داد که بیشترین عملکرد بیوپچار معادل 37/77 درصد بود و مربوط به کمترین دمای آتشکافت است و با افزایش دمای آتشکافت عملکرد بیوپچار به طور خطی کاهش می‌یابد ( $Y = 51.38 - 0.043X$ ,  $R^2 = 0.78^{**}$ ). به عبارت دیگر به ازای هر واحد افزایش دما میزان بیوپچار تولیدی به میزان 0/043 درصد کاهش می‌یابد. کمترین عملکرد بیوپچار در دمای 500 درجه سلسیوس و در شرایط این پژوهش معادل

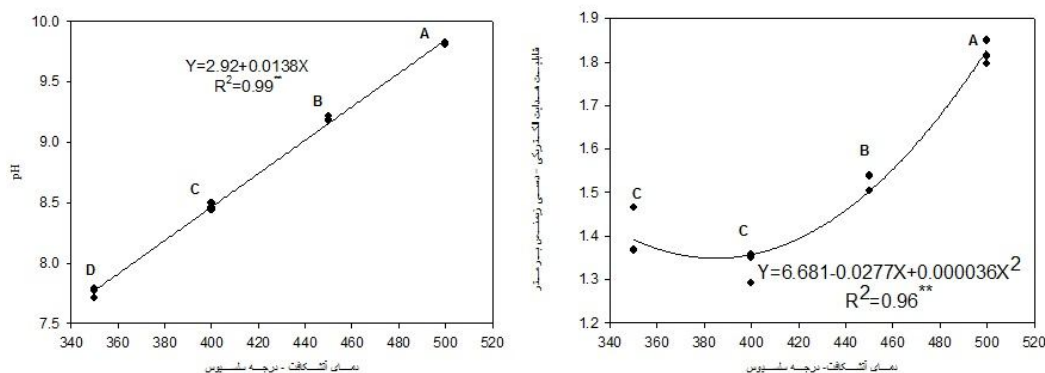
دمای 300، 450، 600 و 750 درجه سلسیوس به ترتیب معادل 50، 33، 32 و 31 درصد گزارش شده است که اندکی بیشتر از عملکرد بیوجار در شرایط پژوهش اخیر بود (میری و زمانی‌بابگهری، 1399). مهمترین دلیل اختلاف بین این مشاهدات متفاوت بودن ترکیب ماده اولیه خام می‌باشد (خان‌محمدی و همکاران 1394). این محققین بیشتر بودن عملکرد بیوجار حاصل از بقایای پسته نسبت به باگاس نیشکر را گزارش نمودند. میزان عملکرد بیوجار حاصل از بقایای پسته و باگاس نیشکر در دمای 500 درجه سلسیوس به ترتیب معادل 35/7 و 27/1 درصد بود (خان‌محمدی و همکاران، 1394).

#### قابلیت هدایت الکتریکی و اسیدیته

یکی از شاخص‌هایی که برای ارزیابی مواد به‌ساز خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد میزان قابلیت هدایت الکتریکی آنها می‌باشد. قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره یک به ده سرشاخه‌های خام پسته و آب مقطر، معادل 1/36 دسی‌زیمنس بر متر بود. بر اساس شکل 2، با افزایش دمای آتشکافت تا 500 درجه سلسیوس قابلیت هدایت الکتریکی بیوجار تولید شده از سرشاخه‌های پسته از معادله درجه دو پیروی کرد ( $Y=6.68-0.0277X+0.000036X^2$ ,  $R^2=0.96^{**}$ ). به عبارت دیگر، با افزایش دمای آتشکافت از 350 تا 400 درجه سلسیوس ابتدا قابلیت هدایت الکتریکی تغییر معنی‌داری نداشت اما با افزایش دمای آتشکافت از 400 تا 500 درجه سلسیوس افزایش یافت. شایان ذکر است که با افزایش دمای آتشکافت از 350 به 500 درجه سلسیوس قابلیت هدایت الکتریکی از 1/36 به 1/8 دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت که این میزان معادل 32 درصد از قابلیت هدایت

الکتریکی در دمای 350 درجه سلسیوس می‌باشد. دلیل این مشاهده افزایش غلظت عناصر غذایی نظیر کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم می‌باشد (ریوز و همکاران، 2007). نظر به اینکه افزایش قابلیت هدایت الکتریکی مواد به‌ساز خاک به معنی افزوده شدن مقدار بیشتری از املاح محلول به خاک می‌باشد، باید نسبت به میزان و زمان مصرف آنها و همچنین آستانه تحمل به شوری گیاه کشت شده توجه نمود. در غیر این صورت ممکن است املاح موجود در بیوجار موجب وارد شدن تنش شوری به گیاه شود (کریمی، 1398). زلفی‌باوریانی و همکاران (1395) نشان دادند که مصرف بیوجار حاصل از کود مرغی که در دمای 400 درجه سلسیوس تولید شده است موجب افزایش شوری و pH خاک شده است.

رابطه بین pH بیوجار با افزایش دمای آتشکافت نیز از معادله درجه اول پیروی کرد ( $Y=2.92+0.0138X$ ,  $R^2=0.99^{**}$ ). همانطور که از شکل 2 مشخص است، تبدیل ماده خام اولیه به بیوجار موجب افزایش pH گردید. میزان pH بیوجار تولید شده در دمای 350، 400، 450 و 500 درجه سلسیوس به ترتیب معادل 7/73، 8/43، 9/18 و 9/82 بود. به عبارت دیگر با افزایش دمای آتشکافت از 350 به 500 درجه سلسیوس مقدار pH در عصاره یک به ده بیوجار به آب مقطر به میزان 27 درصد نسبت به تیمار دمای آتشکافت 350 درجه سلسیوس افزایش یافت. ریوز و همکاران (2007) مهمترین دلیل افزایش میزان pH بیوجار با افزایش دمای آتشکافت را کاهش گروه‌های عامل اسیدی و افزایش محتوای عناصر قلیایی معرفی کردند.

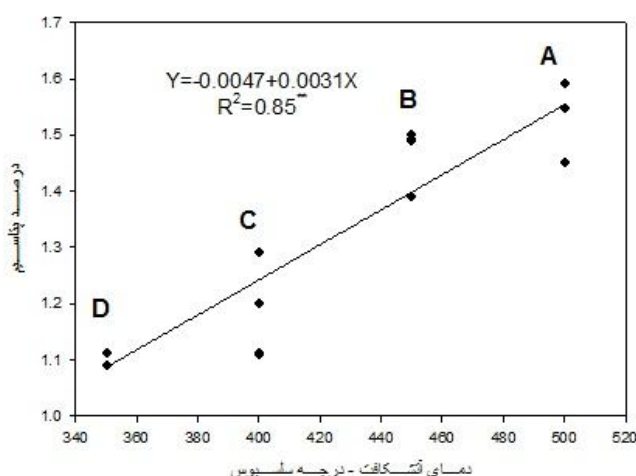


شکل 2- اثر دمای آتشکافت بر قابلیت هدایت الکتریکی و pH بیوپچار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.

میزان 0/0031 درصد افزایش می‌یابد ( $Y=0.0047+0.0031X$ ,  $R^2=0.85^{**}$ ). نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم در بیوپچار (1/52 درصد) مربوط به دمای آتشکافت 500 درجه سلسیوس است. غلظت پتاسیم در بیوپچار تولید شده در دماهای 350، 400 و 450 درجه سلسیوس به ترتیب معادل 1/19، 1/25 و 1/46 درصد بود. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که بیوپچار یک منبع تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه می‌باشد و با افزایش دمای آتشکافت محتوی این عنصر غذایی افزایش و کیفیت بیوپچار تولیدی از نظر میزان پتاسیم افزایش می‌یابد.

### پتاسیم کل

پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاهان می‌باشد و کمبود آن در بسیاری از اراضی کشاورزی ایران گزارش شده است (کریمی، 1398). لذا مصرف کودهای پتاسه در بسیاری اراضی کشور ضرورت دارد (رمضان‌پور و همکاران، 2008) و هر ترکیبی که حاوی این عنصر باشد، به شرطی که اثر منفی روی خاک یا گیاه نداشته باشد، می‌تواند به عنوان ماده بهساز خاک تلقی گردد. غلظت پتاسیم در بیوپچار تولیدی به دمای آتشکافت بستگی داشت (شکل 3) و با افزایش هر واحد دمای آتشکافت غلظت این عنصر در بیوپچار تولیدی به

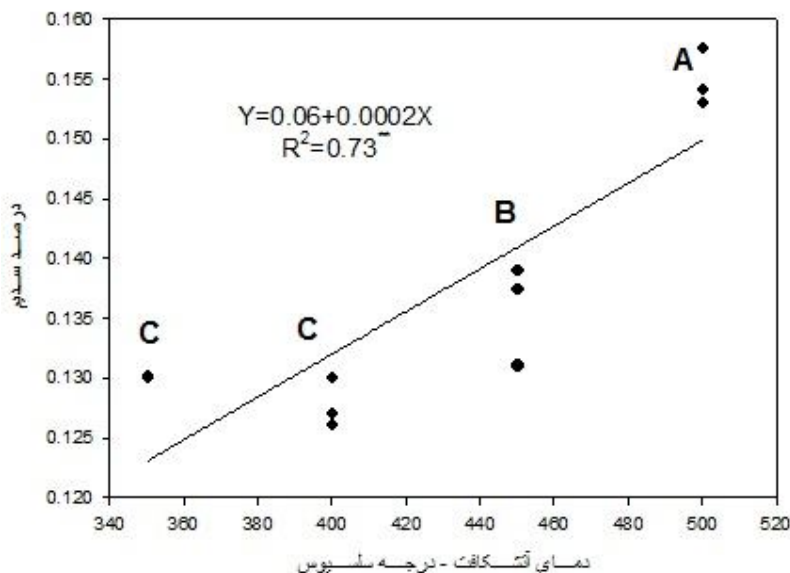


شکل 3- اثر دمای آتشکافت بر میزان پتاسیم موجود در بیوپچار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.

## سدیم کل

ترتیب معادل 0/08 و 0/15 بود که در بیوپار تولید شده در دمای 500 درجه سلسیوس به 0/12 و 0/28 افزایش یافت. اگرچه غلظت بالای سدیم در خاک موجب سمیت آن در گیاه می‌شود (کریمی‌زارچی، 1394) لیکن سدیم یکی از عناصر غذایی مفید برای گیاهان گزارش شده است که برخی از وظایف عنصر غذایی پتاسیم را انجام داده و در برخی از واکنش‌ها می‌تواند جایگزین کلسیم شود (پراساد و پاور، 1997). لذا غلظت کم آن موجب افزایش رشد بسیاری از گیاهان نمک دوست و شیرین رست می‌شود.

محتوی سدیم در دمای آتشکافت 350 درجه سلسیوس معادل 0/12 درصد بود (شکل 4) و با افزایش دما به 500 درجه سلسیوس، غلظت این عنصر بصورت خطی افزایش یافت ( $Y=0.06+0.0002X$ ,  $R^2=0.73^{**}$ ) و معادل 0/15 درصد بود. این مشاهده با نتایج پژوهش‌های سایر پژوهشگران (کسکین و همکاران، 2019) همخوانی داشت. این محققین گزارش کردند که با افزایش دمای آتشکافت از 300 به 500 درجه سلسیوس، محتوای سدیم بقایای باگاس نیشکر و بقایای پسته نیز افزایش یافت. مقدار سدیم در بقایای اولیه و خام نیشکر و پسته به



شکل 4- اثر دمای آتشکافت بر میزان سدیم موجود در بیوپار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.

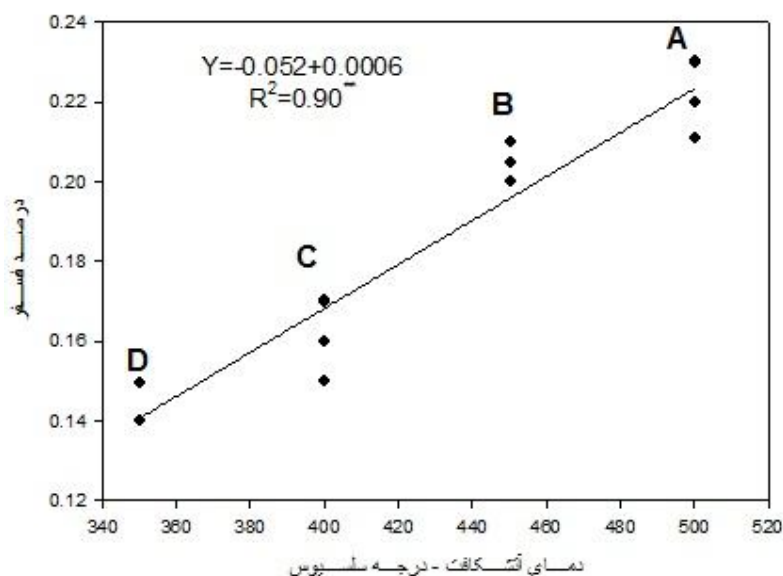
## فسفر کل

به طور خطی به میزان 0/0006 درصد افزایش یافت ( $Y=-0.052+0.0006X$ ,  $R^2=0.90^{**}$ ) و بیشترین درصد فسفر (0/22 درصد) مربوط به دمای آتشکافت 500 درجه سلسیوس بود. افزایش غلظت فسفر با افزایش دمای آتشکافت در بیوپار تولید شده از برخی از مواد آلی نظیر کود حاصل از جوجه‌های گوشتی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (کسکین و همکاران، 2019). این در

باتوجه به کمبود فسفر در بخش زیادی از خاک‌های ایران مصرف مواد بهسازی که حاوی این عنصر باشند می‌تواند موجب افزایش عملکرد در واحد سطح گیاهان شود (کریمی و همکاران، 1399). تبدیل سرشاخه خام پسته به بیوپار و افزایش دمای آتشکافت موجب افزایش محتوی فسفر شد (شکل 5). به نحوی که با افزایش هر واحد دمای آتشکافت میزان فسفر در بیوپار

همکاران، 2012). این تضادها بیانگر تاثیر ماده اولیه بر کیفیت بیوپار تولیدی می‌باشد.

حالی است که برخی دیگر از محققین عدم تغییر معنی‌دار محتوی فسفر بیوپار تولیدی از ضایعات درختان نخل روغنی در کشور مالزی گزارش نمودند (شفیع و

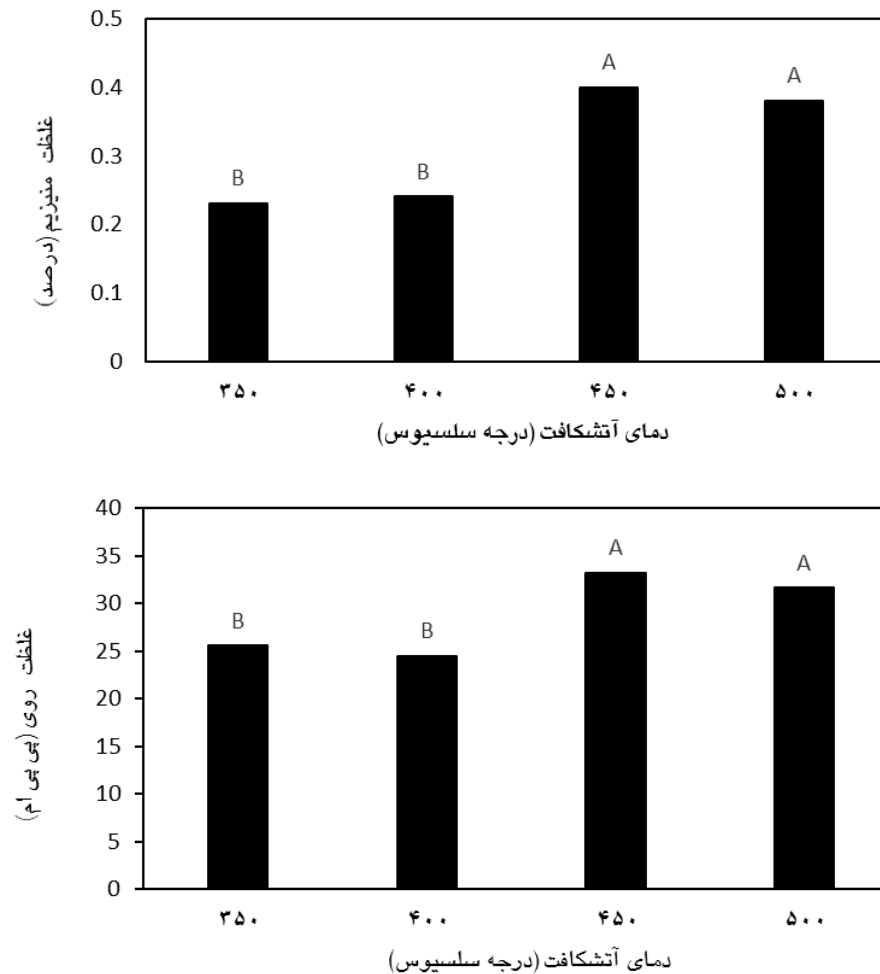


شکل 5- اثر دمای آتشکافت بر میزان فسفر موجود در بیوپار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.

### کلسیم، منیزیم و روی

معنی‌داری نداشت و معادل 0/38 درصد بود. این روند در مورد روی نیز مشاهده شد. همانطور که از شکل 6 مشخص است غلظت روی در دمای آتشکافت 350 درجه سلسیوس معادل 24/53 میلی گرم در کیلوگرم بود و با افزایش دما به 450 درجه سلسیوس به 33/22 میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت. همچنین با افزایش دمای آتشکافت از 450 به 500 درجه سلسیوس غلظت روی تغییر معنی‌داری نکرد و معادل 31/62 میلی گرم در کیلوگرم بود. این مشاهده توسط سایر پژوهشگران تایید می‌شود. به عنوان مثال نتایج پژوهش‌های خان محمدی و همکاران (1394) نشان داد که با افزایش دمای آتشکافت از 400 به 500 درجه سلسیوس غلظت روی تغییر معنی‌داری نداشت.

برخلاف غلظت عناصری نظیر فسفر و سدیم که با افزایش دمای آتشکافت تا 500 درجه سلسیوس غلظت آنها به صورت افزایشی بود، غلظت کلسیم، منیزیم و روی تا دمای 450 درجه سلسیوس افزایش یافت. تفاوت معنی‌داری بین دمای 450 و 500 درجه سلسیوس در غلظت کلسیم، منیزیم و روی مشاهده نشد (شکل 6). نتایج تحقیقات کسکینن و همکاران (2019) نشان داد که با افزایش دما، غلظت کلسیم در بیوپار حاصل از جوجه‌های گوشتی روند افزایشی داشت و بیشترین دمای تولید بیوپار در این پژوهش 450 درجه سلسیوس بود. در مورد غلظت منیزیم با افزایش دما از 300 تا 450 درجه سلسیوس از 0/23 به 0/4 درصد رسید. اما با افزایش دما از 450 به 500 درجه سلسیوس غلظت منیزیم تغییر

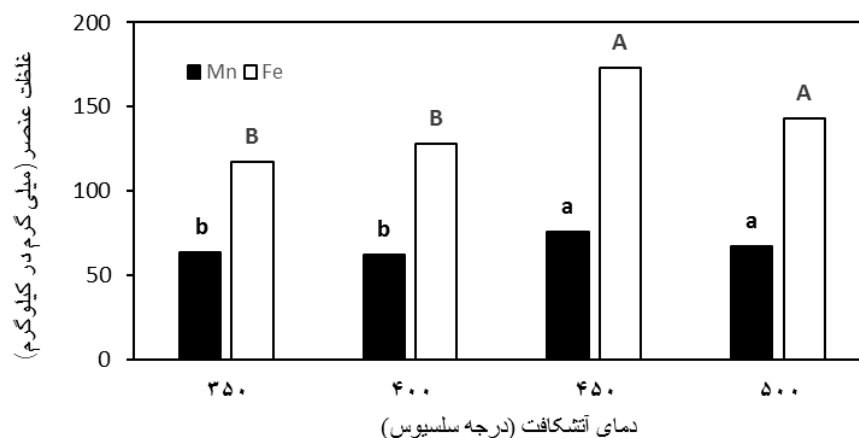


شکل 6- اثر دمای آتشکافت بر میزان کلسیم، منیزیم و روی موجود در بیوجار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.

## آهن و منگنز

معنی‌داری نداشت (شکل 7). این نتایج با گزارش خان محمدی و همکاران (1394) در تضاد است. آنها نشان دادند که با افزایش دمای آتشکافت تا 500 درجه سلسیوس غلظت آهن و منگنز در بقایای پسته و باگاس نیشکر افزایش می‌یابد. علت این اختلاف می‌تواند به دلیل ماهیت ترکیب ماده خام اولیه باشد (کسنین و همکاران، 2019).

برخلاف عناصر غذایی پتاسیم و فسفر که با افزایش دمای آتشکافت تا 500 درجه سلسیوس محتوای این عناصر نیز به صورت خطی و پیوسته افزایش یافت، با افزایش دمای آتشکافت غلظت عناصر آهن و منگنز تا دمای 450 درجه سلسیوس به طور معنی‌داری افزایش و سپس از نظر عددی کاهش اما از نظر آماری تغییر

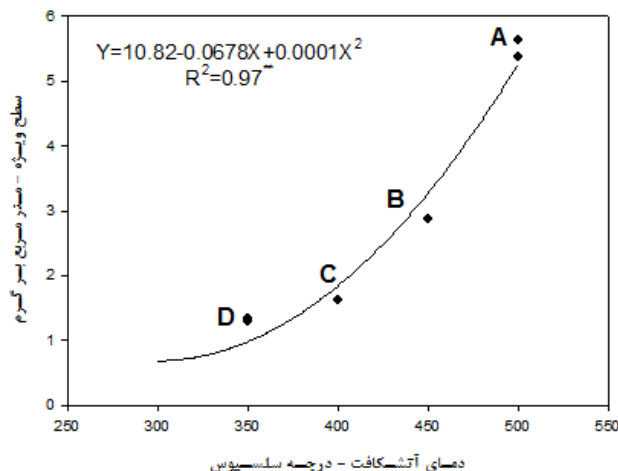


شکل 7- اثر دمای آتشکافت بر میزان آهن و منگنز موجود در بیوجار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.

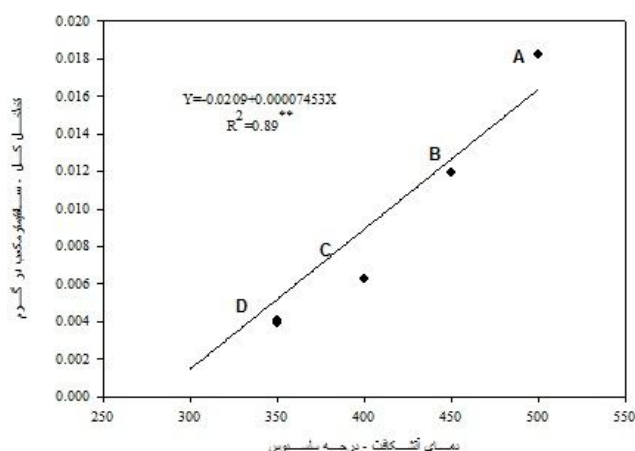
### سطح ویژه و تخلخل کل

یافت و معادل 5/63 مترمربع در گرم بود. روند افزایشی میزان تخلخل با افزایش دمای آتشکافت در مورد بیوجارهای تولیدی نیز مشاهده شد (شکل 9). این افزایش از معادله درجه اول پیروی کرد و به ازای هر یکصد واحد افزایش دما میزان تخلخل به میزان 0/007453 سانتیمتر مکعب به ازای هر گرم بیوجار افزایش یافت ( $Y=0.0209+0.0000745X$ ,  $R^2=0.98^{**}$ ). میزان تخلخل در تیمار دمای آتشکافت 350 درجه سلسیوس معادل 0/0041 سانتیمتر مکعب در گرم بود و با افزایش دمای آتشکافت به 500 درجه سلسیوس به 0/0182 سانتیمتر مکعب در گرم (معادل 4/44 برابر) افزایش یافت.

یکی از مزیت‌های بیوجارها سطح ویژه و تخلخل آنها می‌باشد که به شدت به ترکیب مواد خام اولیه و شرایط آتشکافت بستگی دارد (عالی‌پوربابادی و همکاران، 1397). همانطور که از شکل 8 مشخص است، با افزایش دمای آتشکافت، سطح ویژه بیوجار تولیدی افزایش یافت و از معادله درجه دو تبعیت کرد ( $Y=10.82-0.0678X+0.0001X^2$ ,  $R^2=0.97^{**}$ ). کمترین سطح ویژه (0/46 مترمربع در گرم) مربوط به دمای آتشکافت 350 درجه سلسیوس بود و با افزایش دما به 500 درجه سلسیوس سطح ویژه حدود 12 برابر افزایش



شکل 8- اثر دمای آتشکافت بر سطح ویژه بیوپچار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.



شکل 9- اثر دمای آتشکافت بر تخلخل کل بیوپچار تولیدی از چوب‌های هرس درختان پسته. میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد می‌باشند.

## بحث

نظیر دمای آتشکافت (کسنین و همکاران، 2019) بستگی دارد. لذا قبل از مصرف هر گونه ماده‌ای به عنوان بیوپچار باید ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن را اندازه‌گیری نمود. همچنین جهت تولید بیوپچار از مواد اولیه، ضرورت دارد نسبت به بهینه‌سازی شرایط آتشکافت بویژه دمای آتشکافت اقدام نمود. نتایج این پژوهش که با هدف بررسی تأثیر دمای آتشکافت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوپچار حاصل از سرشاخه‌های ناشی از هرس درختان بارور پسته انجام شد نشان داد که با افزایش دمای

در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای بر روی تولید بیوپچار از منابع مختلف مواد آلی انجام شده است (میری و زمانی-بابگهری، 1399). همچنین گزارشات زیادی مبنی بر تأثیر مثبت بیوپچارها بر اراضی کشاورزی و گیاهان انتشار یافته است (یزدانپناهی و همکاران، 1398). بر اساس این گزارشات، کیفیت بیوپچار تولید شده و اثرات مصرف آنها بر خاک و گیاه به شدت به ویژگی مواد اولیه (وانگ و همکاران، 2013) و شرایط تولید بیوپچار

آتشکافت از 350 به 500 درجه سلسیوس غلظت عناصر غذایی نظیر فسفر و پتاسیم در بیوپچار تولیدی افزایش یافت (شکل‌های 3 و 5). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت عناصر آهن، روی و منگنز تا دمای 450 درجه سلسیوس افزایش و سپس از نظر آماری ثابت ماند (شکل‌های 6 و 7). این مشاهده به دلیل کاهش میزان هیدروژن و اکسیژن فرار (چان و زو، 2009) می‌باشد و توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (ریحانی‌تبار و همکاران، 2020). با توجه به اینکه با افزایش دمای آتشکافت غلظت عناصر مورد نیاز گیاه نیز افزایش یافت، مصرف بیوپچار تولید شده در دمای بالاتر در بخش کشاورزی و در راستای تأمین نیاز غذایی گیاهان زراعی و باغی توصیه می‌شود، اما نکته قابل تاملی که باید به آن توجه نمود این است که قابلیت هدایت الکتریکی و pH بیوپچار تولید شده از سرشاخه‌های پسته نیز با افزایش دمای آتشکافت از 350 به 500 درجه سلسیوس به ترتیب به میزان 32 و 27 درصد افزایش یافت (شکل 2). همگام با این نتایج، بنی‌طالی و همکاران (1396) نیز افزایش قابلیت هدایت الکتریکی بیوپچار حاصل از باگاس نیشکر و خوشه خرما را گزارش نمودند. ریوز و همکاران (2007) مهمترین دلیل افزایش میزان pH بیوپچار با افزایش دمای آتشکافت را کاهش گروه‌های عامل اسیدی و افزایش محتوای عناصر قلیایی معرفی کردند. لذا مصرف بیوپچار تولید شده در دمای بالا برای گیاهان حساس به تنش شوری باید با دقت بیشتری انجام پذیرد. زیرا افزایش شوری خاک به بیش از حد آستانه تحمل به شوری گیاه، موجب کاهش پتانسیل تولید می‌شود. ضمناً در صورتیکه مصرف بیوپچار نتواند شوری خاک را به شوری بیش از حد آستانه تحمل به شوری گیاه مربوطه افزایش دهد مصرف بیوپچار مانعی ندارد (کریمی‌زارچی، 1394).

از دیگر مزایای افزایش دمای آتشکافت، افزایش سطح ویژه بیوپچار تولید شده از سرشاخه‌های پسته می‌باشد (شکل 8). گرچه سطح ویژه بیوپچار حاصل از سرشاخه‌های پسته در شرایط تحقیق اخیر مشابه نتایج

ارائه شده توسط ورهيجن و همکاران (2010) می‌باشد، لیکن نسبت به سطح ویژه بیوپچارهای حاصل از سایر پژوهشگران از مقدار کمی برخوردار است. به عنوان مثال میزان سطح ویژه بیوپچار حاصل از چوب درخت انجیر و ذرت که در دمای 600 درجه سلسیوس و به مدت 10 ساعت آتشکافت شده است به ترتیب معادل 147 و 33/4 مترمربع در گرم گزارش شده است (کیزی‌تو و همکاران، 2019). با توجه به اینکه بیشترین دمای آتشکافت در پژوهش اخیر 500 درجه سلسیوس و مدت زمان اقامت 3 ساعت بود بنابراین در صورت نیاز، می‌توان با افزایش دمای آتشکافت و مدت زمان اقامت سطح ویژه بیوپچار تولیدی را افزایش داد. تبخیر سریع‌تر ترکیبات آلی در دماهای بالاتر و جلوگیری از اکسید شدن ترکیبات فرار و تشکیل منافذ خالی بیشتر، دلیل افزایش سطح ویژه با افزایش دمای آتشکافت ذکر شده است (لهمن و جوزف، 2009). آژین و سنسوز (2014) مشاهده کردند که با افزایش دمای آتشکافت از 400 به 550 درجه سلسیوس سطح ویژه بیوپچار حاصل از دانه کلزا افزایش یافت. اما با افزایش دمای آتشکافت از 550 به 700 درجه سانتیگراد سطح ویژه کاهش یافت. این محققین دلیل افزایش سطح ویژه با افزایش دمای آتشکافت تا 550 درجه سلسیوس را افزایش حجم خلل و فرج ریز و کاهش سطح ویژه با افزایش بیشتر دمای آتشکافت را کاهش حجم خلل و فرج ریز به دلیل ذوب شدن و ترک برداشتن ساختار متخلخل مواد اولیه ذکر نمودند (آژین و سنزو، 2014). این مشاهدات توسط جینداروم و همکاران (2007) تایید شده است. تأثیر مثبت افزایش دمای آتشکافت بر افزایش بیش از چهار برابری تخلخل بیوپچار تولیدی مشاهده شده در شرایط پژوهش اخیر (شکل 9)، توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (کسکین و همکاران، 2019). نتایج تحقیقات سیگموند و همکاران (2017) نیز نشان داد که با افزایش دمای آتشکافت از 105 تا 300 درجه سلسیوس و زمان اقامت 12 ساعت میزان تخلخل کل بیوپچار افزایش یافت. این محققین افزایش میزان کربناسیون را مهمترین

ویژگی‌های فیزیکی خاک بویژه ظرفیت نگهداشت آب خاک را بهبود بخشد.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی با کد مصوب 971171-010-23-23-45 است که با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور و همچنین سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی انجام شده است. همچنین از جناب آقای دکتر مختار زلفی باوربانی عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس که تجارب خود در زمینه تولید بیوچار را در اختیار مجری پروژه قرار دادند تشکر و قدر دانی می‌گردد.

دلیل افزایش تخلخل با افزایش دمای آتشکافت ذکر کردند.

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش دمای آتشکافت تا 500 درجه سلسیوس غلظت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نظیر فسفر و پتاسیم و همچنین تخلخل و سطح ویژه بیوچار افزایش می‌یابد. لذا مناسب‌ترین دمای تولید بیوچار از سرشاخه‌های درخت پسته، دمای 450 الی 500 درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین، ضمن توصیه به انجام تحقیقات بیشتر، به نظر می‌رسد مصرف این محصول می‌تواند کمبود برخی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را جبران نماید و برخی از

#### فهرست منابع:

1. بنایی، م.ح، ع، مومنی، م، بای‌وردی، و.م.ج. ملکوتی. 1383. خاک‌های ایران. انتشارات سنا.
2. بنی طالبی، گ، م.ر، مصدقی، و.ا. خوشگفتارمنش. 1396. اثر دمای پیرولیز بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار حاصل از کاه گندم، باگاس نیشکر، خوشه خرما، خاک اره و شلتوک برنج. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان، 7-1.
3. خان‌محمدی، ز، م، افیونی، و.م.ر. مصدقی. 1394. اثر دمای پیرولیز بر ویژگی‌های شیمیایی بیوچار حاصل از باگاس نیشکر و بقایای پسته. تحقیقات کاربردی خاک، 3(1): 13-1.
4. خواجوی شجاعی، ش، ع، معزی، م، نوروزی‌مصیر، و.م. تقوی‌زاهدکلاسی. 1398. بررسی سیستمیک و همدمای جذب نیترات و آمونیوم از محلول آبی با استفاده از زغال زیستی نی. تحقیقات خاک و آب ایران، 50(8): 209-221.
5. رستمیان، ر، م، حیدرپور، س.ف، موسوی، و.م. افیونی. 1394. بررسی کاربرد زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج در شوری زدایی آب آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، 19(71): 21-29.
6. رمضانپور، م.ر، م، دستفال، و.م.ج. ملکوتی. 1387. اثر پتاسیم در کاهش تنش خشکی در گندم در منطقه داراب فارس. علوم خاک و آب، 22(1): 127-135.
7. زلفی‌باوربانی، م، ع، رونقی، ن، کریمیان، ج، یثربی، و.ر. قاسمی. 1395. اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای مختلف بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، 20 (75): 73-86.
8. عالی‌پوربابادی، م، ع، معزی، م، نوروزی‌مصیر، و.ع. خادم‌الرسول. 1397. تأثیر نوع زیتوده و دمای گرماکافت بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی زغال زیستی. تحقیقات آب و خاک ایران، 49 (3): 537-547.
9. علی‌احیایی، م، و.ع.ا. بهبهانی‌زاده. 1372. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک و گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران، نشریه فنی شماره 893.

10. عظیم‌زاده، ی.، و ن. نجفی. 1396. بیوچار، ماده‌ای با ویژگی‌های منحصربه‌فرد برای ترسیب کربن اتمسفر و کاهش گرمایش جهانی. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، 5(1): 51-63.
11. کریمی، ش.، و ر. قاسمی‌فسایی. 1399. بررسی سینتیک جذب فسفات توسط بیوچار باگاس نیشکر. نشریه دانش آب و خاک، 30(2): 47-58.
12. کریمی، م. 1398. پاسخ گندم رقم بم به اثرات متقابل شوری آب آبیاری و سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 12(1): 239-249.
13. کریمی، م.، ب. خیام‌باشی، س.ع.م. چراغی، م. نیکخواه، م.ح. رحیمیان، ه.، پیرسته‌انوشه، م.، شیران تفتی، م. و و. سلطانی‌گرددفرامرزی. 1399. بررسی پاسخ گندم به سطوح مختلف کود فسفر و شوری در شرایط مزرعه‌ای. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 13(1): 313-318.
14. کریمی زارچی، م. 1394. راهمای مصرف کودهای نیتروژنی برای تولید گندم. انتشارات صحراشرق. ایران.
15. کیخسروی، ح.ع.، عباس‌پور، و ح.ر. اصغری. 1399. اثر بیوچار سبوس برنج، همراه و غنی شده با سوپرفسفات تریپل بر قابلیت دسترسی فسفر و رشد ذرت در مزرعه. نشریه پژوهش‌های خاک، 34(3): 329-342.
16. معزی، ع.ع.، خادم الرسول، م. بی‌ریا. 1396. تاثیر زغال زیستی و کاربرد آن در خاک. انتشارات شهید چمران اهواز.
17. میری، ف.، و ج. زمانی‌بابگهری. 1399. تاثیر دمای فرآیند پیرولیز آهسته بر برخی ویژگی‌های بیوچار تولید شده از ضایعات برداشت پسته. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، 43(1): 87-101.
18. یزدان‌پناهی، ع.خ.، احمدالی، س.، زارع، م. جعفری. 1398. اثر دو نوع بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک مؤثر در مدیریت آبیاری مناطق بیابانی. تحقیقات خاک و آب ایران، 50(4): 966-975.
19. Agin, D., and S. Sensoz. 2014. Effect of Pyrolysis Temperature on Chemical and Surface Properties of Biochar of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *International Journal of Phytoremediation*, 16(7-8): 684-693.
20. Almida, I.S.D.R. 2015. Hydrogen-to-carbon ratio versus char yield in biomass slow pyrolysis. Thesis to obtain the Master of Science. Tecnico Lisboa University.
21. Black, C.A., Evans, D.D., and R.C. Dinauer. 1965. *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, 1143.
22. Brunauer, S., Emmett, P.H., and E. Teller. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemistry Society*, 60: 309-319.
23. Bhargava, G.P., and I.P. Abrol. 1978. Characteristics of some typical salt affected soils of Uttar Pradesh. Division of Soils and Agronomy, Central Soil Salinity Research Institute: Yazd. Brunauer, S., Emmett, P.H. and Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemistry Society*, 60: 309-319.
24. Chan, K., and Z. Xu. 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann, J. and S. Joseph (Eds), *Biochar for Environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 67-84.
25. Claoston, N.A., Samsuri, M.H., and A. Husni. 2014. Effects of Pyrolysis Temperature on the Physicochemical Properties of Empty Fruit Bunch and Rice Husk Biochars. *Waste Management Research*, 32(4): 331-339.
26. Das, O., and A.K. Sarmah. 2015. Mechanism of waste biomass pyrolysis: Effect of physical and chemical pre-treatments. *Science of the Total Environment*, 537: 323-334.
27. Downie, A., Crosky, A., and P. Munroe. 2009. Physical Properties of Biochar. In: Lehmann, J. and S. Joseph (Eds), *Biochar for Environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 13-32.
28. Jindarom, C., Meeyoo, V., Kitiyanan, B., Rirksomboon, T., and P. Rangsunvigit. 2007. Surface characterization and dye adsorptive capacities of char obtained from

- pyrolysis/gasification of sewage sludge. *Chemical Engineering Journal*, 133(1–3): 239–246.
29. Karimizarchi, M., Soltangheisi, A., Husin, A., Yusop, M.K., and R. Othman. 2018. Sulfur uptake and translocation in maize (zea mays) grown in a high pH soil treated with elemental sulfur. *Journal of Plant Nutrition*, 41(14): 1798-1806.
30. Keskinen, R., Hyväluoma, J., Sohlo, L., Help, H., and K. Rasa. 2019. Fertilizer and soil conditioner value of broiler manure biochars. *Biochar*, 1: 259–270.
31. Kizito, S., Luo, H., Lu, J., Bah, H., Dong, R., and S. Wu. 2019. Role of Nutrient-Enriched Biochar as a Soil Amendment during Maize Growth: Exploring Practical Alternatives to Recycle Agricultural Residuals and to Reduce Chemical Fertilizer Demand. *Sustainability*, 11: 1-22.
32. Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M., Gerzabek, M.H. and G. Soja. 2012. Characterization of slow pyrolysis biochars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *Journal of Environmental Quality*, 41:990–1000.
33. Lehmann, J., and S. Joseph. 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London.
34. Lua, A.C., Yang, T., and J. Guo. 2004. Effects of pyrolysis conditions on the properties of activated carbons prepared from pistachio-nut shells. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72: 279-287.
35. Oisik, D., and S. Ajit. 2015. Mechanism of waste biomass pyrolysis: Effect of physical and chemical pre-treatments. *Science of the Total Environment*, 537: 323–334.
36. Parasad, R., and R., Power. 1997. *Soil fertility management for sustainable agriculture*. CRC Press. Lewis publishers, New York.
37. Quin, B.F., and P.H., Wood. 1976. Rapid manual determination of sulfur and phosphorous in plant material. *Communications in soil science and plant analysis*, 7(4):415-425.
38. Reeves, J.B., McCarty, G.W., Rutherford, D.W., and R.L. Wershaw. 2007. Near Infrared Spectroscopic Examination of Charred Pine Wood, Bark, Cellulose and Lignin: Implications for the Quantitative Determination of Charcoal in Soils. *J. Near Infrared Spec.*, 15: 307-315.
39. Reyhanitabar, A., Farhadi, M., Ramezanzadeh, H., and Sh. Oustan. 2020. Effect of Pyrolysis Temperature and Feedstock Sources on Physicochemical Characteristics of Biochar. *Jouranl of Agricultural Science and Technology*, 22(2): 547-561.
40. Shafie, S.T., Salleh, M.A.M., Hang, L.L., Rahman, M.M., and W.W.K. Ghani. 2012. Effect of pyrolysis temperature on the biochar nutrient and water retention capacity. *Journal of Purity, Utility Reaction and Environment*, 1(6): 323-337.
41. Shirani, H., Rizabandi, E., Mosaddeghi, M.R., and H. Dashti. 2010. Impact of Pistachio Residues on Compactibility, and Permeability for Water and Air of Two Aridic Soils from Southeast of Iran. *Arid Land Research and Management*, 24(4): 365-384.
42. Sigmund, G., Huffer, T., Hofmann, T., and M. Kah. 2017. Biochar total surface area and total pore volume determined by N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> physisorption are strongly influenced by degassing temperature. *Science of the Total Environment*, 580: 770-775.
43. Singh, B., MeiDolk, M., Shen, Q., and M. Camps-Arbestain. 2017. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. In: *Biochar: A Guide to Analytical Methods*, Chapter 3, Singh, B., Camps-Arbestain, M., and Lehmann J., (Eds.). Publisher CSIRO, PP. 23-38.
44. Song, W., and M. Guo. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94:138–145.

45. Van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A, and K.J., Ptasinski. 2011. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. *Biomass and Bioenergy*, 35(9): 3748–3762.
46. Wei, J., Tu, C., Yuan, G., Liu, Y., Bi, D., Xiao, L., Lu, J., Theng, B., Wang, H., Zhang, L., and X. Zhang. 2019. Assessing the effect of pyrolysis temperature on the molecular properties and copper sorption capacity of a halophyte biochar. *Environmental Pollution*, 251: 56-65.
47. Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M., and I. Diafas. 2010. Biochar application to soils. Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg.
48. Wang, Y., Hu, Y., Zhao, X., Wang, Sh. and G. Xing. 2013. Comparisons of Biochar Properties from Wood Material and Crop Residues at Different Temperatures and Residence Times. *Energy & Fuels*, 27(10):5890–5899.



## **Effect of Pyrolysis Temperature on Some Physicochemical Properties of Biochar Derived from Pruning Waste of Mature Pistachio Trees**

**M. Karimi<sup>1</sup>**

Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran; E-mail: karimi\_nsrc@yahoo.com

Received: February, 2021, and Accepted: September, 2021

### **Abstract**

Production and soil application of biochars derived from crop residue is known as an environmental friendly strategy for increasing soil health and quality. Therefore, the present study aimed to elucidate the effect of 4 pyrolysis temperatures (350, 400, 450, and 500 °C) on the physicochemical properties of biochar derived from pistachio pruning. The results showed that increasing pyrolysis temperature up to 500 °C increased electrical conductivity, pH, K, Na and P by 32%, 27%, 27%, 25%, and 29% compared to the pyrolysis temperature of 350 °C, respectively. While the increasing trend in Ca, Mg and Zn content was significant up to 450 °C, there were no significant difference in Ca, Mg and Zn content at pyrolysis temperatures of 450 and 500 °C. The results also, confirmed the positive effect of pyrolysis temperature on specific surface area as well as porosity. Overall, it was concluded that the biochar derived from pistachio pruning woods is rich in plant nutrients and can be used as a source of nutrient supply for plants. It can also act as a soil amendment and improve plant performance.

**Keywords:** Biochar acidity, Biochar Electrical Conductivity, Biochar plant nutrients, Biochar specific surface area

---

<sup>1</sup>. Corresponding author: National Salinity Research Center, Yazd, Iran.

## Estimation of Soil Tensile Strength Using Different Modeling Methods in Some Pistachio Orchards of Rafsanjan, Iran

**H. Shirani, N. Asghari Nejad, S. Sadr<sup>1</sup>, I. Esfandiarpour, and H. Shekofteh**

Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan; E-mail: shirani@vru.ac.ir

MSc Graduate, Vali-e-Asr University of Rafsanjan; Email: Asgharineghad@yahoo.com

Assistant Professor of Agriculture, Payame Noor University, Kerman Province, Rafsanjan Center; E-mail: 2716sadr@gmail.com

Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan; E-mail: esfandiarpour@vru.ac.ir

Associate Professor Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Jiroft University; E-mail: h.shekofteh@ujiroft.ac.ir

Received: July, 2021, and Accepted: September, 2021

### Abstract

Tensile strength is one of the most important indicators for soil physical quality, which is equivalent to the maximum stress applied to an aggregate without any disruption. The purpose of this study was to investigate the performance of different modeling methods for estimating soil tensile strength of some Rafsanjan pistachio orchards. For this purpose, soil samples (80 samples from 0- 30 cm depth mostly sandy loam) were taken and some soil physical and chemical properties were determined. Aggregate tensile strength was also measured in different sizes. The average EC, pH, and SAR indicated that soils of the study area were saline and sodic. Multiple regression between tensile strength and other soil properties were investigated. Tensile strength modeling was also performed using multilayer perceptron neural network and decision tree. The mean squares of error and coefficient of determination were used to evaluate different modeling models. The results of model evaluation showed that the use of regression decision tree for predicting tensile strength was better than the other modeling methods because of the lowest error ( $R^2=0.88$  and  $RRMSE = 14\%$ ) compared to the two methods of multiple regression and the multilayer perceptron neural network. Also, the results of different tensile strength modeling showed that the percentage of clay, percentage of dispersible clay, adsorption ratio of sodium, percentage of calcium carbonate equivalent, and the percentage of organic matter are the most influential variables on tensile strength. According to the results, it seems that the most effective way to increase soil tensile strength and reduce soil bulk density in pistachio orchards is to increase the percentage of soil organic matter.

**Keywords:** Decision tree, Multilayer perceptron neural network, Error estimators, Soil organic matter

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Department of Agriculture, Payame Noor University Of Kerman, Rafsanjan city, IRAN

## Evaluation of the Interaction of Potassium Salicylate and Potassium Silicate on Yield, Nutritional Status, and Quality of Greenhouse Cucumber under Cold Stress Condition

**M. Basirat<sup>1</sup>, S. M. Mousavi, and M. Abbaspour**

Assistant Professor, Department of Soil Chemistry, Fertility and Plant Nutrition Researches; Soil and Water Research Institute; Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran;

E-mail: majid\_basirat@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Soil Chemistry, Fertility and Plant Nutrition Researches; Soil and Water Research Institute; Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran;

E-mail: majid62mousavi@gmail.com

Soil Expert, Department of Soil Genesis, and Classification; Soil and Water Research Institute; Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran;

E-mail: mabbaspour25@gmail.com

Received: July, 2021, and Accepted: September, 2021

### Abstract

The goal of any greenhouse owner is to adopt strategies that can maintain the plant's yield under temperature stress conditions. The aim of this study was to investigate the effect of different levels of potassium salicylate  $C_7H_5KO_3$  (0, 0.5, and 1 mM) and potassium silicate (0 and 4 parts per thousand (ppt)) on the yield and nutritional status of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus*) under cold stress conditions (in the temperature range of 15-17 °C). This experiment was conducted as factorial arrangement based on a completely randomized design with 3 replications under greenhouse condition in Karaj, Iran. The results showed that the treatments significantly affected the concentration of nitrate and nutrients in the plant tissue, quality, and yield of cucumber. Also, simultaneous foliar application of potassium salicylate and silicate significantly affected the total yield and marketable yield of cucumber. The highest increase in total yield and marketable yield compared to the control (94.91% and 96.01%, respectively) were measured in 0.5 mM potassium salicylate treatment. Also, concentrations of N, B, and Mn in leaf significantly increased compared to the control ( $P < 0.05$ ). Furthermore, compared to the control treatment, the spray treatments significantly reduced nitrate content of leaf dry matter: 11% in 1 mM potassium salicylate+4 ppt potassium silicate and 78% in 0.5 mM potassium salicylate+4 ppt potassium silicate. Generally, the findings of this study showed that application of potassium salicylate and potassium silicate can increase the yield and promote the marketable yield of greenhouse cucumber under cold stress conditions.

**Keywords:** Cucumber nutritional management; Low temperature stress.

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Department of Soil Chemistry, Fertility, and Plant Nutrition Researches; Soil and Water Research Institute; Karaj, Iran.

## Investigation of Changes in Physical and Chemical Properties of Soil during Different Stages of Sugarcane Growth and Estimation of Organic Carbon Sequestration Capacity

**A. Azadi<sup>1</sup>, S. A. Seyed Jalali, R. Dehghan, and M. Navidi**

Assistant Professor, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); E-mail: a.azadi@areeo.ac.ir.

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; E-mail: ajalali@areeo.ac.ir

Research Instructor, Mazandaran Agricultural and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); E-mail: ramezanalidehghan@gmail.com.

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; E-mail: nnavidi@swri.ir.

Received: May, 2021, and Accepted: September, 2021

### Abstract

The present study was conducted to investigate changes in soil physical and chemical properties and organic carbon storage at different stages of sugarcane growth (Plant, Ratoon 1, Ratoon 2, Ratoon 3, and Ratoon 4) in some sugarcane plantations in southern parts of Khuzestan Province, Iran. For this purpose, a number of soil profiles were dug in the sugarcane fields and 30 sites were selected and studied in a completely randomized design with five treatments (i.e. sugarcane growth stages) and six replications. The results of this study showed that long-term cultivation of sugarcane and different stages of growth in soils of Sugarcane Cultivation and Industry Company caused changes in physicochemical properties and soil carbon storage. Indeed, abundant irrigation and leaching and cultivation management of sugarcane reduced the salinity and sodium in soil solution. Also, different growth stages changed the physical and chemical properties of the soil. Different stages of sugarcane growth reduced electrical conductivity (EC), dissolved sodium in the soil, the available potassium (K), and increased the amount of bulk density (Bd) in the soil. There was no significant difference in the amount of organic matter (OM) and soil acidity (pH) of sugarcane fields at different stages of growth. Finally, in order to prevent possible negative consequences and depletion of soil nutrients, especially potassium, it is necessary to periodically study the complete properties of the soils and evaluate these changes, appropriate management methods can be performed to maintain soil quality. The results showed that difference in soil carbon sequestration was significant ( $p < 5\%$ ) in the treatments, such that the highest carbon sequestration was in Ratoon 3 (28.84 tons/ha) and the lowest in Ratoon 4 (15.50 tons/ha). The reason for the higher amount of carbon storage can be attributed to more vegetation and, therefore, more plant debris, which reduce evaporation from the soil surface, a positive effect on vegetation, especially in arid and semi-arid regions. In general, optimal management of sugarcane fields plays an important role in improving atmospheric carbon sequestration capacity.

**Keywords:** Ratoon management, Sugarcane ratoon, Soil carbon storage

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran

## Evaluation of Spatial Variation of Soil Fertility Quality and Its Relationship with Rice Yield in Paddy Fields of Kuchesfahan District, Guilan Province

**S. Babazadeh, M. Feizian<sup>1</sup>, and N. Davatgar**

PhD candidate, Lorestan University; E-mail: babazadeh50@yahoo.com

Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad, Iran; E-mail: feizian.m@lu.ac.ir

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj; E-mail: n.davatgar@areeo.ac.ir

Received: April, 2021, and Accepted: December, 2021

### Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the strategic agricultural products of Iran. Recognizing the fertility status and quality of paddy soils is the effective factors on increasing rice yield. The aim of this study was to determine the quality of soil fertility and identify its limiting factors in paddy fields of Kuchesfahan District, Iran. For this purpose, before rice cultivation, a total of 130 composite soil samples with uniform geographical distribution were collected and prepared to measure some important physical and chemical properties affecting soil quality. Then, rice yield was measured in 70 locations. Principal component analysis and fuzzy logic were used to prepare the minimum effective data set and qualitative ranking of soil properties, respectively. After determining the soil quality index using the integrated algorithm, its relationship with rice yield was determined by statistical methods and spatial statistics using regression method. As the minimum effective data set, the total N, available P, K, Fe, percentages of clay and silt, and cation exchange capacity described 72% of the studied soil changes. Paddy fields in the western half of Kuchesfahan had more deficiency in total N and available P. These soils were also of lower fertility quality. Some of the lands located in the north and northeast of the study area had a soil quality index of more than 0.95 and were in the very fertile group. In these soils, the yield of rice was higher than other areas. The lowest yield of Hashemi cultivar was 3500 kg/ha in the southern half, and the highest yield was 5272 kg/ha in the eastern half of the study area. Due to deficiency of total N and available P in 36% and 50% of the studied lands, respectively, it is necessary that fertilizer application for these nutrients be site-specific and in proportion to their soil fertility status.

**Keywords:** *Oryza sativa* L., Minimum data set, Soil quality index, Total nitrogen, Available phosphorus

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil Sciences of Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University of Khorramabad

## Effect of Elemental Sulfur and *Thiobacillus* Bacteria on Yield and Some Quality Characteristics of Canola

J. Ghaderi<sup>1</sup>, M. H. Davoodi, and K. Khavazi

Assistance Professor, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran;

E-mail: ghaderij@yahoo.com.

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran;

E-mail: davoodi\_mh@yahoo.com.

Research Professor, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran;

E-mail: khavazik@yahoo.com

Received: April, 2021, and Accepted: September, 2021

### Abstract

Low availability of some nutrients is one of the major factors for the widespread occurrence of plant nutrient deficiency in calcareous soils. Therefore, any strategy for solution of this problem is important. For this purpose, an experiment was carried out in four sites (Chogha Narges, Mahidasht, Najaf Abad and Ghomsheh in Kermanshah Province), with different contents of available sulfate, using complete randomized blocks design with three replications, in 2018-19. The amounts of sulfur paired with *Thiobacillus* bacterium inoculants included no sulfur (S0), 250 kg sulfur/ha along with 5 kg/ha *Thiobacillus* bacterium inoculant (S1), 500 kg sulfur/ha with 10 kg *Thiobacillus*/ha (S2), and 1000 kg sulfur/ha with 20 kg *Thiobacillus*/ha (S3). The combined analysis results showed that the effect of sulfur, location, and their interaction on grain yield, 1000- grain weight, oil percent, and nutrients concentration in rapeseed grain in Chogha Narges, Mahidasht, Najaf Abad, and Ghomsheh were significant at 1% ( $p < 1\%$ ). The highest grain yield, 1000-weight, oil percent and nutrients concentration was obtained in S3 treatment, which increased wheat yield by 647, 756, 474, and 406 kg.ha<sup>-1</sup> in Chogha Narges, Mahidasht, Najaf Abad, and Ghomsheh, respectively, compared to the control treatment. Oil percent increment at the mentioned regions were 2.1%, 1.4%, 1.2%, and 0.5%, respectively.

**Keywords:** Nutrients concentration; Oil percent; 1000-Weight.

---

<sup>1</sup>. Corresponding author: Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kermanshah, Iran.

## Land Suitability Assessment for Wheat in Some Saline Lands in the South of Khuzestan Province

**A. Azadi<sup>1</sup>, J. Banineme, and S. A. Seyed Jalali**

Assistant Professor, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center,  
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran;

E-mail: a.azadi@areeo.ac.ir.

Research Instructor, Khuzestan Agricultural and Natural Resources, AREEO, Ahvaz, Iran;

E-mail: jamal\_nn@yahoo.com

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, AREEO, Tehran, Iran;

E-mail: ajalali@areeo.ac.ir

Received: August, 2021, and Accepted: September, 2021

### Abstract

The present study was conducted with the aim of studying the feasibility and determining the qualitative and quantitative suitability of irrigated wheat crop in some saline lands in the south of Khuzestan Province. Based on semi-detailed soil studies in the region, 13 series of soils were identified. The physiological needs of the wheat plant were determined and graded using available resources. Then, qualitative and quantitative assessment of land suitability was performed by parametric method (Square root) and, finally, the relevant maps were prepared in GIS environment. The results showed that climatic variables did not limit wheat production. Also, there were qualitative land suitability classes from relatively suitable class (S2) to unsuitable (N), and the most important limiting factors were salinity limits (4.7-115 dS), alkalinity (9.9-77%), calcium carbonate (40-60%), fertility characteristics (acidity) and soil wetness. The results of quantitative land evaluation also showed that 16260 hectares equivalent to 57% of the land available in the region for wheat cultivation was in class S2 (relatively suitable), 1380 hectares (4%) in class S3 (critical suitability), and 12680 hectares (37%) in class N (unsuitable lands). According to the results, in most units, the quantitative classes of land units for wheat cultivation corresponded to the qualitative class of land suitability, or had a higher suitability due to better management of this crop in the region. Therefore, due to the fact that most of the study area had salinity and alkalinity limitations, to increase production and create a sustainable agricultural system, land improvement operations are necessary.

**Keywords:** Qualitative land suitability, Quantitative land suitability, Land characteristics, Wheat yield

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran



## **Contents**

| <b>Subject</b>                                                                                                                                                                                                                               | <b>Page</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Land Suitability Assessment for Wheat in Some Saline Lands in the South of Khuzestan Province .....<br><i>A. Azadi, J. Banineme, and S. A. Seyed Jalali</i>                                                                                  | 15          |
| Effect of Elemental Sulfur and <i>Thiobacillus</i> Bacteria on Yield and Some Quality Characteristics of Canola .....<br><i>J. Ghaderi, M. H. Davoodi, and K. Khavazi</i>                                                                    | 16          |
| Evaluation of Spatial Variation of Soil Fertility Quality and Its Relationship with Rice Yield in Paddy Fields of Kuchesfahan District, Guilan Province.....<br><i>S. Babazadeh, M. Feizian, and N. Davatgar</i>                             | 17          |
| Investigation of Changes in Physical and Chemical Properties of Soil during Different Stages of Sugarcane Growth and Estimation of Organic Carbon Sequestration Capacity.....<br><i>Azadi, S. A. Seyed Jalali, R. Dehghan, and M. Navidi</i> | 18          |
| Evaluation of the Interaction of Potassium Salicylate and Potassium Silicate on Yield, Nutritional Status, and Quality of Greenhouse Cucumber under Cold Stress Condition.....<br><i>M. Basirat, S. M. Mousavi, and M. Abbaspour</i>         | 19          |
| Estimation of Soil Tensile Strength Using Different Modeling Methods in Some Pistachio Orchards of Rafsanjan, Iran.....<br><i>H. Shirani, N. Asghari Nejad, S. Sadr, I. Esfandiarpour, and H. Shekofteh</i>                                  | 20          |
| Effect of Pyrolysis Temperature on Some Physicochemical Properties of Biochar Derived from Pruning Waste of Mature Pistachio Trees.....<br><i>M. Karimi</i>                                                                                  | 21          |

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

Soil and Water Research Institute      Soil Science Society of Iran

**Research and Scientific Journal**  
**Iranian Journal of Soil Research**

**Vol. 35, No. 3**  
**2021**

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

***Editorial Board***

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

**English Editor:** Hamid Siadat  
**Type and design:** Kobra Alinezhad

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



Soil and Water Research Institute



Soil Science Society of Iran

# Journal of Soil Research

(Soil and Water Sciences)

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

Volume 35 \ No. 3 \ 2021

ISSN: 2228 -7124

## Contents

| Subject                                                                                                                                                                                                                                         | Page |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Land Suitability Assessment for Wheat in Some Saline Lands in the South of Khuzestan Province ..... 15<br><i>A. Azadi, J. Banineme, and S. A. Seyed Jalali</i>                                                                                  | 15   |
| Effect of Elemental Sulfur and <i>Thiobacillus</i> Bacteria on Yield and Some Quality Characteristics of Canola ..... 16<br><i>J. Ghaderi, M. H. Davoodi, and K. Khavazi</i>                                                                    | 16   |
| Evaluation of Spatial Variation of Soil Fertility Quality and Its Relationship with Rice Yield in Paddy Fields of Kuchesfahan District, Guilan Province..... 17<br><i>S. Babazadeh, M. Feizian, and N. Davatgar</i>                             | 17   |
| Investigation of Changes in Physical and Chemical Properties of Soil during Different Stages of Sugarcane Growth and Estimation of Organic Carbon Sequestration Capacity..... 18<br><i>Azadi, S. A. Seyed Jalali, R. Dehghan, and M. Navidi</i> | 18   |
| Evaluation of the Interaction of Potassium Salicylate and Potassium Silicate on Yield, Nutritional Status, and Quality of Greenhouse Cucumber under Cold Stress Condition..... 19<br><i>M. Basirat, S. M. Mousavi, and M. Abbaspour</i>         | 19   |
| Estimation of Soil Tensile Strength Using Different Modeling Methods in Some Pistachio Orchards of Rafsanjan, Iran..... 20<br><i>H. Shirani, N. Asghari Nejad, S. Sadr, I. Esfandiarpour, and H. Shekofteh</i>                                  | 20   |
| Effect of pyrolysis Temperature on Some Physicochemical Properties of Biochar Derived from Pruning Waste of Marure Pistachio Trees ..... 21<br><i>M. Karmi</i>                                                                                  | 21   |