



انجمن علوم خاک ایران



موسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی

# پژوهش‌های خاک

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

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۷ / شماره ۲ سال ۱۴۰۲

صفحه

فهرست

عنوان

ارزیابی تعادل تغذیه‌ای در مزارع چغندر قند استان کرمانشاه با روش‌های انحراف

از درصد بهینه (DOP) و تشخیص چندگانه (CND) ..... ۱۱۵

جلال قادری ، محمد مهدی طهرانی، فردین حامدی و خلیل حیدری

اثر برگ‌پاشی عناصر روی و آهن بر عملکرد ذرت دانه‌ای و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش آبی ..... ۱۳۱

مجتبی افشاری و احمد نادری

تأثیر میزان مصرف کود نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات علوفه سالیکورنیا (*Salicornia persica Akhani*) ..... ۱۴۶

سید موسی صادقی، مهدی کریمی و ناصر فرار

مدل‌سازی پراکنش مکانی کلاس‌های خاک با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در بخشی از اراضی استان زنجان ..... ۱۶۵

مستانه رحیمی مشکله، محمد امیر دلاور، محمد جمشیدی و امین شریفی‌فر

بررسی رابطه بین میزان نیتروژن کل و برخی ویژگی‌های خاک در منطقه زرین‌شهر ..... ۱۸۲

نیلوفر پیرستانی، مژگان احمدی ندوشن ، محمد هادی ابوالحسنی و رسول زمانی احمد محمودی

تهیه نقشه رقومی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک‌های زراعی بخش جنوبی دشت سیستان ..... ۱۹۸

فاطمه کیخایی، معصومه دلبری، ناصر دواتگر، فرزاد حسن پور، محمد جمشیدی و پیمان افراسیاب

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

انجمن علوم خاک ایران

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی  
پژوهش‌های خاک

جلد ۳۷ شماره (۲)

۱۴۰۲

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

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

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

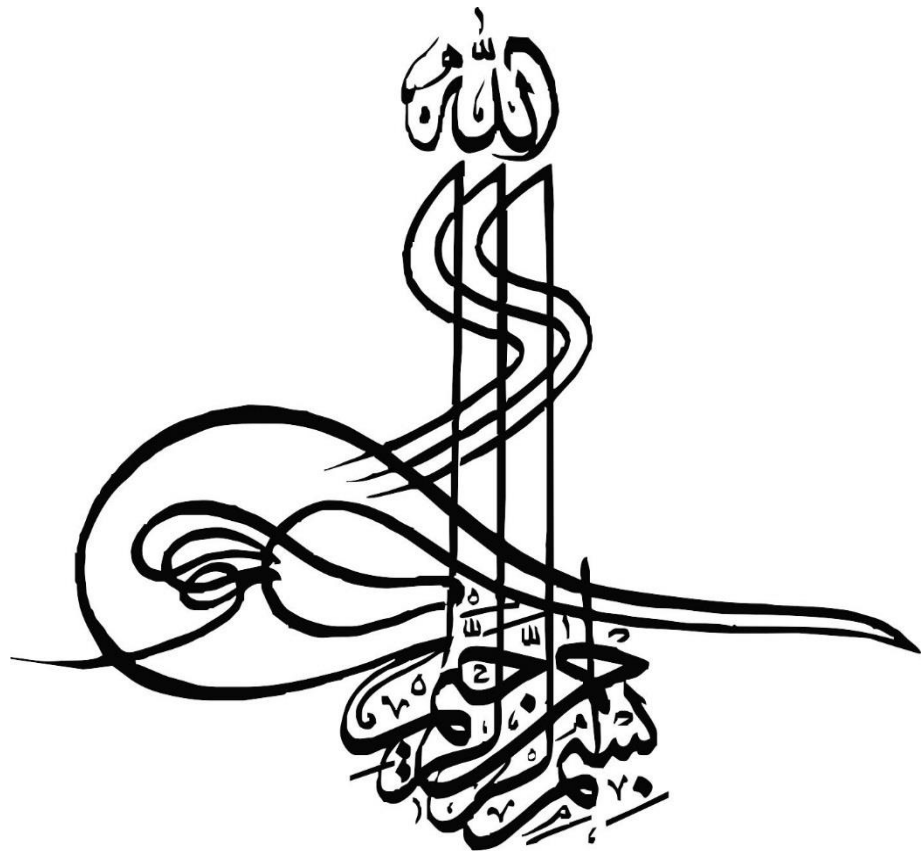
دکتر محمد بای بوردی	مدرس دانشگاه
دکتر حسین بشارتی	استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر محمدرضا بلالی	استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر کامبیز بازرگان	دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر حسن توفیقی	دانشیار دانشگاه تهران
دکتر غلامحسین حق نیا	استاد دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر کاظم خاوازی	استاد مؤسسه تحقیقات 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: مهندس کیانا خامه‌چی  
تعداد انتشار در سال: چهار شماره

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

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

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



- ارزیابی تعادل تغذیه‌ای در مزارع چغندر قند استان کرمانشاه با روش‌های انحراف  
 از درصد بهینه (DOP) و تشخیص چندگانه (CND) ..... ۱۱۵  
 جلال قادری، محمد مهدی طهرانی، فردین حامدی و خلیل حیدری
- اثر برگ‌پاشی عناصر روی و آهن بر عملکرد ذرت دانه‌ای و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش آبی ..... ۱۳۱  
 مجتبی افشاری و احمد نادری
- تأثیر میزان مصرف کود نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات علوفه سالیکورنیا (*Salicornia persica Akhani*) ..... ۱۴۶  
 سید موسی صادقی، مهدی کریمی و ناصر فرار
- مدل‌سازی پراکنش مکانی کلاس‌های خاک با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در بخشی از اراضی استان زنجان ..... ۱۶۵  
 مستانه رحیمی مشکله، محمد امیر دلاور، محمد جمشیدی و امین شریفی‌فر
- بررسی رابطه بین میزان نیتروژن کل و برخی ویژگی‌های خاک در منطقه زرین‌شهر ..... ۱۸۲  
 نیلوفر پیرستانی، مژگان احمدی ندوشن، محمد هادی ابوالحسنی و رسول زمانی احمد محمودی
- تهیه نقشه رقومی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک‌های زراعی بخش جنوبی دشت سیستان ..... ۱۹۸  
 فاطمه کیخایی، معصومه دلبری، ناصر دواتگر، فرزاد حسن پور، محمد جمشیدی و پیمان افراسیاب



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

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

### الف) اصول کلی

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

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

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

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

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

۱- مقاله حداکثر در ۱۵ صفحه A4 با فاصله خطوط ۱/۵ و حاشیه‌های ۳ سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.

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

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

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

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

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

#### شناسنامه مقاله

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

#### برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی) و پست الکترونیکی همه نویسندگان در صفحه چکیده ها تایپ و در قسمت فایل‌های با نام نویسنده (گان) بارگذاری نمایید و در قسمت بدون نامه نویسنده(گان) مقاله بدون نام بارگذاری گردد. \* نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که با امضای کلیه نگارندگان و الزامی می باشد در قسمت فایل‌های 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 ۲۰ کلمه باشد. در زیر عنوان نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی و یا تحصیلات و وابستگی سازمانی، تاریخ، آدرس کامل پستی، شماره تلفن همراه و پست الکترونیک نویسندگان مقاله درج گردد. دقت شود کلمه‌های تشکیل دهنده عنوان با کلمه‌های کلیدی متفاوت باشد.

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

#### واژه های کلیدی:

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

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

#### مقدمه

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

#### مواد و روش‌ها

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

#### نتایج

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

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

#### بحث

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

#### تشکر و قدردانی

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

#### فهرست منابع

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

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

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

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

c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند. برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف اول نام اولین نویسنده و سپس اول نام نویسندگان بعدی و پس از آن نام خانوادگی آن‌ها ذکر شود. در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به جای نام نگارنده از "Anonymous" برای منابع انگلیسی و (بی نام) برای منابع فارسی استفاده شود. چنانچه منبع ترجمه شده باشد، در فهرست منابع باید نخست نام نویسنده (گان) کتاب اصلی، عنوان مشخصات آن (به زبان انگلیسی) و سپس نام مترجم (مترجمان) ذکر شود.

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

- در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق الذکر، 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.

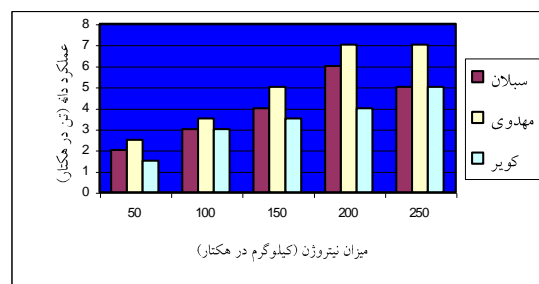
جدول نامناسب

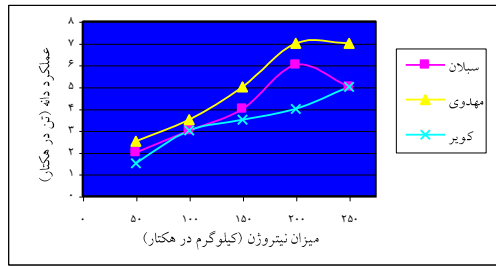
بافت	<i>Mgexch</i>	<i>Kavail</i>	<i>Pavail</i>	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m <sup>-1</sup> )	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg <sup>-1</sup> )							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۲	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	۰/۶	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۳۳۲	۰/۵	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	۱/۸ ۷	۶۰-۹۰

جدول مناسب

بافت	<i>Mg<sub>ex</sub></i>	<i>K<sub>av</sub></i>	<i>P<sub>av</sub></i>	OC (%)	TNV (%)	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	عمق (cm)
	(mg.kg <sup>-1</sup> )							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۳	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	۱/۶۰	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۲۳۲	۱/۵۰	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	۷/۸	۶۰-۹۰

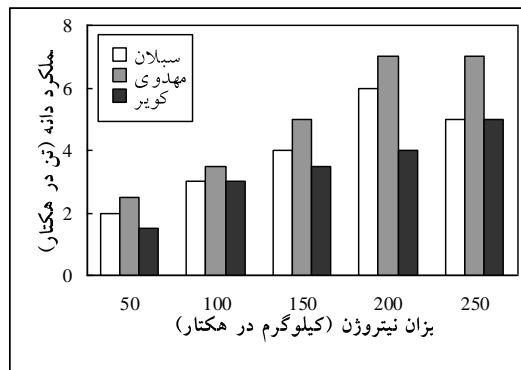
نامناسب



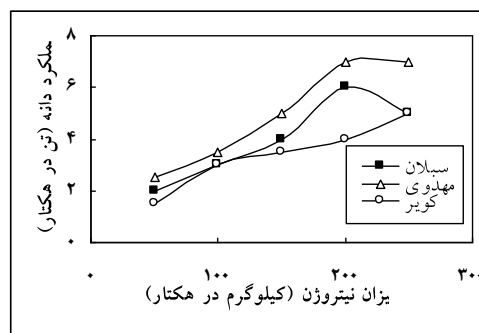


### مناسب

### نامناسب



### مناسب



## فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب ..... نویسنده مسئول مقاله زیر:

سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود -

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

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

نام 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

تعداد داوری	اسامی داوران
۱	دکتر کامبیز بازرگان
۱	دکتر عبدالمحمد دریاشناس
۴	دکتر مختار زلفی باوریانی
۲	دکتر فریدون سرمیدیان
۴	دکتر محسن سلیسپور
۱	دکتر احمد گلچین
۲	دکتر عزیز مجیدی
۱	دکتر مهرزاد مستشاری محمص
۴	دکتر فرهاد مشیری
۱	دکتر سینا ملاح
۳	دکتر محمد حسین مهدیان
۲	دکتر عزیز مؤمنی
۱	دکتر حسین میر سید حسینی
۱	دکتر کامران میرزاشاهی
۱	دکتر شادمان ویسی



## ارزیابی تعادل تغذیه‌ای در مزارع چغندر قند استان کرمانشاه با روش‌های انحراف

### از درصد بهینه (DOP) و تشخیص چندگانه (CND)

جلال قادری\*، محمدمهدی طهرانی، فردین حامدی و خلیل حیدری

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

تهران، ایران. ghaderij@yahoo.com

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. methrani2000@yahoo.com

عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه. fardin\_hamedii@yahoo.com

کارشناس ارشد خاک‌شناسی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه. haidarikhali@gmail.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۲ و پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۷

#### چکیده

تجزیه گیاه، روش مفیدی است که با استفاده از روش‌های انحراف از درصد بهینه (DOP) و تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)، به منظور ارزیابی و بهینه‌سازی عناصر غذایی چغندر قند بکار می‌رود. لذا، به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند در استان کرمانشاه این تحقیق به مدت دو فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۷) اجرا شد. در هر سال حداقل تعداد ۳۰ مزرعه که دارای دامنه متفاوتی از خصوصیات خاک بودند انتخاب گردید. در این پژوهش، گروه "عملکرد زیاد" در مزارع چغندر قند، با استفاده از روش انحراف از درصد بهینه (DOP) و تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)، از طریق ریاضی، آماری و کاربرد تابع تجمعی متمایز گردید. همچنین، با استفاده از نتایج تجزیه گیاه، محدوده "کفایت" و "بحرانی" عناصر غذایی برای روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) برآورد گردید. نتایج نشان داد که در مقایسه با حد بحرانی، خاک ۸۵٪، ۱۰٪، ۹۷/۵٪، ۶۷٪، ۹۳٪، ۱۰۰٪ و ۵٪ مزارع به ترتیب دارای کمبود فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی، بور و مس بود. میانگین عملکرد مزارع حدود ۶۷/۶ تن در هکتار بود. بر اساس عملکرد، مزارع چغندر قند منتخب به دو گروه با عملکرد بالا و پایین دسته‌بندی شد. نتایج محاسبه شاخص‌های انحراف از درصد بهینه و تشخیص چندگانه نشان داد که در بین عناصر غذایی پرمصرف، منیزیم، فسفر و نیتروژن و در بین عناصر کم‌مصرف، آهن، منگنز و روی بیشترین کمبود را داشت. البته در بین دو روش مزبور اختلاف جزئی از نظر نیتروژن، منگنز و آهن در بین عناصر وجود داشت. بین شاخص تعادل تغذیه‌ای "انحراف از درصد بهینه" و عملکرد، همبستگی ۰/۴۸ وجود داشت که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند به منظور افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول چغندر قند به شکل کاربردی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه گیاه، ارزیابی و بهینه‌سازی عناصر غذایی، حد بحرانی عناصر غذایی

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

تغذیه گیاه به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار، تابعی از اثرات برهم‌کنش عناصر غذایی و شرایط محیطی است. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان جهت دستیابی به ارتباط میان عناصر غذایی قابل‌استفاده در خاک، میزان عناصر موجود در گیاه و عملکرد ضروری است (پیرا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در وضعیت عدم تعادل و باوجود عامل محدودکننده نه‌تنها بهبودی در وضعیت رشد گیاه رخ نمی‌دهد، بلکه ممکن است اختلالاتی نیز در رشد گیاه به وجود آید (لکزین و همکاران، ۱۳۹۱).

برای بررسی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان، روش‌های آزمون خاک، تجزیه گیاه، تشخیص علائم ظاهری یا تلفیقی از آن‌ها استفاده می‌شود که هریک دارای معایب و محاسنی است. تجزیه گیاه روش مفیدی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان است و بر پایه این منطق استوار است که مقدار یک عنصر معین در گیاه نشانه‌ای از تأمین آن عنصر از خاک است. تجزیه گیاه همراه با نتایج آزمون خاک در طراحی برنامه‌های کود دهی متعادل و ارزیابی بازده عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. کارایی تجزیه گیاه علاوه بر رعایت دقیق زمان نمونه‌برداری، عضو مورد نمونه‌برداری و استاندارد بودن روش‌های تجزیه، به تفسیر نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه بستگی دارد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فجیرا و همکاران، ۱۹۹۱؛ مونتاس و همکاران، ۱۹۹۳). از روش‌های مختلفی نظیر غلظت بحرانی (CVA<sup>۲</sup>)، روش تلفیقی تشخیص و توصیه (DRIS<sup>۳</sup>)، انحراف از حد بهینه (DOP<sup>۴</sup>) و تشخیص چندگانه (CND<sup>۵</sup>) برای ارزیابی وضعیت تغذیه گیاهان زراعی و باغی استفاده می‌شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). در هر

یک از این روش‌ها، نرم‌هایی برای هر یک از عناصر تعیین می‌گردد. در حقیقت نرم‌ها برای هر عنصر غذایی، بسته به فراوانی و یا کمبود آن عنصر، رتبه‌بندی می‌گردد که درنهایت، اهمیت عناصر غذایی، در تغذیه متعادل برای آن محصول و در نقطه مورد مطالعه، مشخص می‌گردد (دریاشناس و ثقفی، ۱۳۹۰). با بررسی تغییرات غلظت عناصر غذایی در عملکردهای پایین و بالا در شرایط منطقه-ای، می‌توان وضعیت تغذیه‌ای منطقه مورد مطالعه را ارزیابی و نشان داد که برای دستیابی عملکرد مطلوب شاخص‌هایی بایستی اصلاح گردد. بنابراین با شناسایی وضعیت تغذیه‌ای می‌توان استراتژی کودی تعیین نمود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

در سال‌های اخیر در رابطه با تأثیر مصرف متعادل کوده در ایران تحقیقات زیادی توسط ملکوتی و همکاران و استفاده از روش‌هایی نظیر دریس بکار برده شده است (۱۳۸۷). روش انحراف از درصد بهینه (DOP) نیز به‌عنوان یکی از روش‌های تفسیر نتایج تجزیه گیاه برای ارزیابی تغذیه بهینه محصولات زراعی و باغی مورد استفاده قرار می‌گیرد (جیمینز<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). در این روش به عدم تعادل عناصر در گیاه رتبه داده شده و ترتیب عدم تعادل برای عناصر مختلف به دست می‌آید که از جنبه مدیریت تغذیه‌ای بسیار مهم است (مونتانس<sup>۷</sup> و همکاران، ۱۹۹۳). این شاخص به صورت درصد انحراف غلظت یک عنصر از مقدار بهینه خود در گیاه (مقدار مرجع) تعریف می‌شود. ترتیب عدم تعادل عناصر غذایی با محاسبه شاخص DOP، برای هر عنصر میسر می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر این روش، برای هر عنصر غذایی شاخصی را محاسبه و آن‌ها را به‌صورت اعداد مثبت، منفی یا صفر مشخص می‌نماید که به ترتیب بیانگر زیادی، کمبود یا غلظت مناسب عنصر غذایی در گیاه است. منفی‌ترین شاخص، عامل محدودکننده تغذیه گیاه

<sup>۱</sup> - Pereira

<sup>۲</sup> - Critical value approach (CVA)

<sup>۳</sup> - Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)

<sup>۴</sup> - Deviation from optimum percentage (DOP)

<sup>۵</sup> - Compositional Nutrient Diagnosis (CND)

<sup>۶</sup> - Jimenez

<sup>۷</sup> - Montanes

تعیین شاخص‌های DOP در گیلان (جیمنز و همکاران، ۲۰۰۷)، کاج (صالح و آندرسون، ۱۹۹۹؛ براک و صالح، ۲۰۰۲)، انگورسفید (صمدی و مجیدی، ۲۰۱۱)؛ باغ هلو (دردی پور و همکاران، ۱۳۹۱) اشاره نمود. همچنین روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) توسط پارت و دافیر (۱۹۹۲) و پارت<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۴) و خیاری و همکاران (۲۰۰۱a,b) و دریاشناس و ثقفی (۱۳۹۰)، بصیرت و همکاران (۱۳۹۷) برای تفسیر نتایج تجزیه برگ استفاده شدند.

بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹، سطح زیر کشت چغندرقد در ایران در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، ۸۰/۰۸۱ هزار هکتار با میانگین عملکردی ۴۷۸۷۵ کیلوگرم در هکتار (۴۷/۹ تن در هکتار) بود. بیشترین سطح زیر کشت چغندرقد در سال زراعی مذکور، مربوط به استان آذربایجان غربی با ۲۶۹۸۴ هکتار و میانگین عملکرد ۴۳۱۵۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به جنوب استان کرمان با سطح زیر کشت ۱۹۳ هکتار و میانگین عملکرد ۴۰۷۷۷ کیلوگرم در هکتار بوده است. سطح زیر کشت چغندرقد در استان کرمانشاه، ۶۳۰۱ هکتار و با میانگین ۴۸۵۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به اهمیت و کشت چغندرقد و کمبود نرم‌های تغذیه‌ای برای این محصول مهم، این پژوهش با هدف بررسی وضعیت تغذیه‌ای مزارع چغندرقد با استفاده از دو روش DOP و CND، انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

این تحقیق روی محصول چغندرقد از سال ۱۳۹۷ و به مدت دو سال اجرا شد. در هر سال حداقل تعداد ۳۰ مزرعه انتخاب شدند. مزارع در تمام مناطق کشت چغندرقد به نسبت سطح زیر کشت آن منطقه توزیع شد. همچنین، در این مزارع دامنه متفاوتی از خصوصیات خاک (استفاده از مطالعات خاک و...) وجود داشت.

است و ترتیب نیاز از شاخص منفی به مثبت خواهد بود. با محاسبه مجموع قدرمطلق شاخص‌های انحراف از درصد بهینه، می‌توان به شدت خروج از حالت تعادل پی برد. در این صورت عدد صفر بیانگر حالت تعادل و هرچه عدد بزرگ‌تر شود، نشان‌دهنده انحراف بیشتر از حالت تعادل است (دردی پور و همکاران، ۱۳۹۱).

روش تشخیص چندگانه عناصر (CND) با در نظر گرفتن نسبت یک عنصر به همه عناصر اثرات برهم‌کنش عناصر را بیان می‌دارد (پارت و دافیر<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲). در این روش با کمک گرفتن از روش ریاضی و آماری و کاربرد تابع جمع‌ی نسبت واریانس عناصر غذایی و تابع توزیع مربع کای، گروه‌های عملکردی زیاد و کم با دقت زیاد تفکیک می‌شوند (خیاری<sup>۲</sup> و همکاران، abc2001). بدین معنی که تمایز جامعه عملکرد به دو گروه زیاد و کم، بر اساس ترسیم تابع جمع‌ی بین عملکرد و نسبت واریانس شاخص‌های عناصر غذایی است. این تابع عملکرد و عنصر غذایی شکل کاوی دارد. با تعیین نقاط عطف منحنی، گروه‌های عملکردی با دقت زیادی تفکیک می‌شود (خیاری و همکاران، abc2001). سپس شاخص‌های عناصر غذایی CND به روش گام‌به‌گام تعیین می‌گردد. شاخص تعادل عناصر غذایی (P<sup>2</sup>) از مجموع مربعات شاخص‌های عناصر غذایی قابل محاسبه است (خیاری و همکاران، abc2001). این شاخص اعداد صفر و بیشتر را به خود اختصاص می‌دهد. هراندازه P<sup>2</sup> به عدد صفر نزدیک‌تر باشد تعادل عناصر غذایی مطلوب‌تر خواهد شد؛ بنابراین برای هر نمونه مشخص گیاهی از طریق به دست آوردن P<sup>2</sup> می‌توان میزان عدم توازن عناصر غذایی را تعیین کرد (دریاشناس و ثقفی، ۱۳۹۰).

محققان زیادی شاخص‌های DOP را برای گیاهان زراعی و باغی مختلف، تعیین نموده‌اند. از جمله می‌توان به

<sup>1</sup> - Parent & Dafir

<sup>2</sup> - Khiari

<sup>3</sup> - Parent

پس از انتخاب مزارع، پیش از اقدام به کودپاشی و کاشت چغندر قند، در هر مزرعه یک نمونه مرکب خاک در سطح یک هکتار و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و در آزمایشگاه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نمونه‌های خاک، بافت به روش هیدرومتری (بویکاس، ۱۹۶۲)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (۱۹۳۴)، pH گل اشباع به وسیله الکتروود شیشه‌ای (مک لین، ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج (بلاک و همکاران، ۱۹۶۵)، درصد کربنات کلسیم یا درصد مواد خنثی شونده (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر قابل جذب با روش اولسن (۱۹۶۴) پتاسیم قابل استفاده با عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (نودسن<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۲) و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر در طول موج ۷۶۷ نانومتر، منیزیم، کلسیم و پتاسیم به روش استات آمونیوم یک نرمال در pH = ۸/۲ (هان وی و هیدل، ۱۹۵۲)، آهن، روی، منگنز و مس قابل استفاده خاک با عصاره گیر DTPA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) و با دستگاه جذب اتمی، بور قابل جذب به روش آب داغ (برگر و تورگ، ۱۹۳۹) و با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۴۲۰ نانومتر، گوگرد به روش منوکلسیم فسفات (فکس و همکاران، ۱۹۶۴) اندازه‌گیری شدند. در سال اول و دوم نمونه‌برداری از برگ برای تعیین غلظت عناصر غذایی مزارع انجام گرفت.

نمونه‌برداری از برگ در مزارع چغندر قند حدود ۹۰ الی ۱۲۰ روز پس از زمان کاشت و از برگ‌های جوان کامل و سالم (بین جوان‌ترین برگ‌ها در مرکز بوته و برگ‌های مسن‌تر) انجام شد. نمونه‌های برگ تهیه شده بعد از شستشو با آب مقطر، در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توسط آسیاب برقی پودر شدند. سپس مقدار ۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده به روش هضم مرطوب روی اجاق الکتریکی در دمای ۲۰۰ الی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و نیتروژن کل به روش

کج‌دال (بورش و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر کل به روش طیف‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات و انادات) و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، پتاسیم کل با دستگاه فلم فتومتر، گوگرد به روش کدورت سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر، منیزیم، آهن و روی، منگنز و مس کل به روش خاکستر کردن خشک و با دستگاه جذب اتمی (رایان و همکاران، ۲۰۰۷)، بور به روش آزمونین-اچ و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر (بینگام، ۱۹۸۲) قرائت شدند. جونز و همکاران (۱۹۹۱)، حدود کفایت عنصر فسفر ۱/۱-۰/۴۵، پتاسیم ۶-۲، منیزیم ۱-۰/۲۵ درصد و برای آهن ۱۴۰-۶۰، روی ۸۰-۱۰، منگنز ۳۶۰-۲۶ و بور ۲۰۰-۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ چغندر قند ذکر کرده‌اند. برای تعیین شاخص انحراف از درصد بهینه در زمان برداشت محصول (از اواسط مهرماه تا آخر آبان ماه) با بازدید از هر مزرعه، عملکردها یادداشت و مزارع به دو گروه با عملکرد بالا و پایین تقسیم گردیدند. مزارع با عملکرد بالا جهت تعیین اعداد مرجع (تعیین نرم‌ها) مورد استفاده قرار گرفت. معیار مورد استفاده برای تقسیم مزارع به دو گروه با عملکرد بالا و پایین، میانگین عملکرد و انحراف معیار بود (شرما و همکاران، ۲۰۰۵).

(SD - میانگین عملکرد)  $\leq$  مزارع با عملکرد پایین

(SD - میانگین عملکرد)  $\geq$  مزارع با عملکرد متوسط

(SD + میانگین عملکرد) تا

$$(1) \quad (SD + \text{مزارع با عملکرد بالا}) \geq \text{میانگین عملکرد}$$

در این رابطه، SD انحراف معیار عملکرد مزارع است.

برای تشخیص وضعیت تغذیه‌ای مزارع چغندر قند

از رابطه ریاضی زیر محاسبه شد: DOP شاخص

$$(2) \quad DOP = [(C \times 100) / C_{ref}] - 100$$

در این معادله، C غلظت عنصر غذایی در نمونه برگ مزارع چغندر قند با عملکرد پایین و  $C_{ref}$  غلظت مطلوب عنصر غذایی (بهینه) در برگ چغندر قند است.

غذایی باقی‌مانده و اندازه‌گیری نشده است که از رابطه (۵)، محاسبه می‌شود (ایچسن، ۱۹۸۰).

$$R_d = 100 - (N + P + K) \quad (5)$$

۲- میانگین هندسی عناصر غذایی با رابطه ۶ نشان داده می‌شود.

$$G = [N \times P \times K \times \dots \times R_d]^{1/d+1} \quad (6)$$

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

$$ZI = \log[x_i / g(x)]$$

$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), V_P = \ln\left(\frac{P}{G}\right), V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right), V_{R_d} = \ln\left(\frac{R_d}{G}\right) \quad (7)$$

$$V_N + V_P + V_K + \dots + V_{R_d} = 0 \quad (8)$$

$V_x$  بیانگر نسبت لگاریتمی عناصر برای  $x$  عنصر است. رابطه ۸ درستی محاسبات را تأیید می‌کند. بر اساس این تعریف، مجموع ترکیبات گیاهی بر مبنای عدد ۱۰۰ است و مجموع نسبت لگاریتمی عناصر با احتساب مقدار باقی‌مانده ترکیبات ( $R_d$ ) برابر صفر خواهد بود.

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

$$I_{zi} = \frac{(Z_i - z_i)}{S_{zi}}, \quad I_N = \frac{V_N - V_N^*}{SD_N^*}, \quad I_P = \frac{V_P - V_P^*}{SD_P^*}, \quad I_K = \frac{V_K - V_K^*}{SD_K^*}, \quad I_{R_d} = \frac{V_{R_d} - V_{R_d}^*}{SD_{R_d}^*} \quad (9)$$

در این روش برای هر عنصر غذایی شاخصی را محاسبه و آن‌ها را به‌صورت اعداد مثبت، منفی یا صفر مشخص می‌نماید که به ترتیب بیانگر زیادی، کمبود یا، غلظت مناسب عنصر غذایی در گیاه (حالت تعادل) است. در این روش نیز منفی‌ترین شاخص، عامل محدودکننده در تغذیه گیاه است و ترتیب نیاز از شاخص منفی به مثبت خواهد بود (مونتانس و همکاران، ۱۹۹۳). همچنین در این روش با محاسبه مجموع قدر مطلق شاخص‌های انحراف از درصد بهینه، می‌توان به‌شدت به خروج از حالت تعادل پی برد. در این صورت عدد صفر بیانگر حالت تعادل و هرچه عدد بزرگ‌تر شود، نشان‌دهنده انحراف بیش‌تر از حالت تعادل است (مونتانس و همکاران، ۱۹۹۳).

شاخص تعادل تغذیه‌ای ( $\Sigma DOP$ ) از مجموع شاخص‌های  $DOP$  بدون در نظر گرفتن علامت آن‌ها به‌دست می‌آید:

$$\Sigma DOP = |IA| + |IB| + |IC| + \dots + |IN| \quad (3)$$

IA, IB, IC, ..., IN به ترتیب شاخص عناصر غذایی مختلف می‌باشند.

محاسبه تشخیص چندگانه عناصر غذایی به روش زیر انجام می‌شود. این روش که مبانی ریاضی و آماری آن توسط پرنس و دافیر (۱۹۹۲) بیان گردید، به شرح ذیل است.

۱- ترکیبات بافت گیاهی به‌صورت یک سادک<sup>۱</sup> ( $S^d$ ) حاوی عناصر غذایی ( $N, P, K, \dots$ ) و یک بخش باقی‌مانده ترکیبات ( $R_d$ ) به شکل رابطه ذیل قابل بیان است که در آن  $d$  نماینده تعداد عناصر غذایی و  $R_d$  بیانگر باقی‌مانده ترکیبات گیاهی است.

$$N + P + K + \dots + R_d = 100 \\ S_d = [(N, P, K, \dots, R_d): N > 0, P > 0, K > 0, R_d > 0, \quad (4)$$

در این رابطه عدد ۱۰۰ بیان‌کننده کل غلظت ماده خشک گیاه است (درصد) و  $N, P, K, \dots, R_d$  عناصر غذایی تشکیل‌دهنده بافت گیاهی هستند که  $R_d$  نشانگر سایر عناصر

<sup>۱</sup>-Simplex

با تعیین نقاط عطف منحنی (Inflection point) می‌توان گروه‌های عملکردی را با دقت ریاضی تفکیک نمود (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱).

مراحل به طریق زیر تعیین می‌شود:

۱- عملکردها از زیاد به کم ردیف می‌شوند؛

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

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

$$F_i(V_x) = \frac{\text{واریانس } V_x \text{ برای } n_1 \text{ مشاهده}}{\text{واریانس } V_x \text{ برای } n_2 \text{ مشاهده}} \quad (11)$$

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

$$F_i^c = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} f_i(V_x)}{\sum_{i=1}^{n-3} f_i(V_x)} \times 10 \quad (12)$$

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

$$F_i^c(V_x) = aY^3 + bY^2 + cy + d \quad (13)$$

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

$$\frac{\partial F_i^c(V_x)}{\partial Y} = 3ay^2 + 2by + c \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2 F_i^c(V_x)}{\partial Y^2} = 6ay + 2b = 0 \quad (15)$$

از حل معادله (۱۲) مقدار  $-\frac{b}{3a}$  بیانگر عملکرد حد واسط بین گروه عملکرد کم و زیاد است که برای  $d+1$  عنصر غذایی قابل محاسبه است (شکل ۱).

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک‌های مزارع انتخاب شده نشان داد که از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، خاک‌ها دارای طیف وسیعی از خصوصیات بودند (جدول ۱). حد بحرانی فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی، مس و بور قابل جذب در

در این روابط  $SD^*_K, SD^*_P, V^*_{Rd}, V^*_K, V^*_P, V^*_N$ ، به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتمی عناصر غذایی هستند که به عنوان نرم استاندارد و یا ارقام مرجع CND محسوب می‌شوند.

$V_K, V_P, V_N$  و ... نسبت لگاریتمی مربوط به نمونه مطالعاتی است.  $I_N, I_P, I_K$  و ... به ترتیب شاخص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر باقیمانده هستند.

در روش CND، غلظت یک عنصر نسبت به میانگین هندسی کل عناصر و ترکیبات با استفاده از

$$I_{zi} = \frac{Z_i - Z_i^*}{SD_{zi}^*} \quad \text{رابطه}$$

محاسبه می‌شود (پرنت و دافتر، ۱۹۹۲).

۴- شاخص تعادل عناصر غذایی با روش CND مجموع  $r$  رابطه ذیل قابل محاسبه است. در این رابطه  $r^2$  مربعات شاخص‌های عناصر غذایی است و همیشه می‌تواند اعداد صفر و بیشتر را به خود اختصاص دهد. از به عدد صفر نزدیک‌تر شود تعادل  $r$  نظر تئوری هر اندازه  $r^2$  عناصر غذایی مطلوب‌تر خواهد شد.

$$r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + \dots + I_{Rd}^2 \quad (10)$$

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

۵- روش مناسب برای تمایز جامعه عملکرد به دو گروه زیاد و کم می‌تواند بر اساس ترسیم تابع تجمعی بین عملکرد و نسبت واریانس شاخص‌های عناصر غذایی باشد. این تابع عملکرد - عنصر غذایی شکل کاوی (concavity) دارد که

شد. در تمام ویژگی‌های مورد بررسی اختلاف زیادی بین مزارع وجود داشت که انحراف استاندارد بالا در جدول یک، نشان‌دهنده این موضوع است. خاک مزارع انتخابی، غیرشور و قابلیت هدایت الکتریکی بین مقادیر ۰/۴ تا ۱ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار آهک بین ۲۴ تا ۳۶ درصد، متغیر بود (جدول ۱). با توجه به حد بحرانی برای عناصر غذایی در خاک (شهبازی و بشارتی، ۱۳۹۲)، مقدار فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی، مس و بور قابل جذب در خاک به ترتیب در ۸۵، ۱۰، ۹۷/۵، ۶۷، ۹۳، ۵ و ۱۰۰ درصد مزارع مورد آزمایش کمتر از حد بحرانی بودند.

خاک‌های ایران به ترتیب ۱۵، ۱۸۰، ۴/۵، ۴/۵، ۱، ۱ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (شهبازی و بشارتی، ۱۳۹۲). واکنش شیمیایی یا pH خاک بین ۷/۶ الی ۷/۹ در نوسان بوده و در محدوده کمی قلیایی قرار داشت. مزارع عمدتاً از نظر کربن آلی خاک زیر ۱/۶ درصد بودند، به طوری که دامنه تغییرات کربن آلی خاک بین ۰/۴۲ تا ۱/۵۸ درصد در نوسان بود. در بسیاری از مزارع فسفر، آهن، روی، بور و تا حدی منگنز در مقایسه با حد بحرانی این عناصر در خاک جزو کمبودهای شاخص بودند. ولی در تعداد کمی از مزارع کمبود پتاسیم، منیزیم و مس مشاهده

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک‌های مزارع چغندرقد (۷۳ مزرعه)

صفت مورد بررسی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	فراوانی کمتر از حد بحرانی	فراوانی بیشتر از حد بحرانی
pH	۷/۶	۷/۹	۷/۷۶	۰/۰۸	-	-
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴	۱	۰/۸	۰/۱۵	-	-
آهک (درصد)	۲۴	۳۶	۲۹/۵	۲/۸	-	-
کربن آلی (درصد)	۰/۴۲	۱/۵۸	۰/۹۲	۰/۲۲	-	-
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۶	۲۰	۱۱/۹	۸	۸۵	۱۵
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۰۰	۴۶۰	۳۱۶	۴۸/۹	۱۰	۹۰
منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۷۰	۵۴۰	۳۶۰	۵۸	-	-
آهن قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱/۸	۷	۴/۴	۱/۵	۹۷/۵	۲/۵
منگنز قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱/۵	۹	۵/۶	۱/۲	۶۷	۳۳
روی قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۳	۱/۴	۰/۷۴	۰/۲۱	۹۳	۷
مس قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۵	۲/۶	۱/۶	۰/۴۵	۵	۹۵
بور قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۳	۱	۰/۶۲	۰/۱۹	۱۰۰	۰

جدول ۲- میانگین، انحراف استاندارد، حداقل، حداکثر و ضریب تغییرات غلظت عناصر غذایی در برگ چغندرقد با عملکرد بالا

صفت مورد بررسی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (%)
عملکرد ریشه (تن در هکتار)	۹۰	۱۳۰	۱۰۰/۴	۱۱/۸	۱۱/۷۵
نیترژن (درصد)	۳/۱۹	۵/۴۳	۴/۰۵	۰/۵۶	۱۳/۸۰
فسفر (درصد)	۰/۱۸	۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۳۳	۷۱/۳۵
پتاسیم (درصد)	۲/۰۸	۴/۲۵	۳/۳۵	۰/۶۶	۱۹/۸۰
منیزیم (درصد)	۰/۶	۱/۲	۰/۹	۰/۱۷	۱۹/۴۰
گوگرد (درصد)	۰/۴۸	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۱۲	۱۷/۱۵
آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۶۷	۴۰۳	۲۲۸	۱۱۸/۶	۵۲
منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۰/۵	۱۸۹	۱۲۳/۳	۴۷/۱	۳۸/۲
روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۶	۴۵/۵	۲۶/۶	۷/۵۴	۲۳/۹
مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴	۱۹/۵	۱۰/۹	۴/۴۶	۴۰/۹
بور (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۵۴/۵	۱۱۹/۴	۸۰/۲	۱۹/۲۵	۲۴

### روش انحراف از درصد بهینه (DOP)

برای تعیین نرم‌ها و شاخص‌های DOP، کل جامعه مورد مطالعه بر اساس روش شرما و همکاران (۲۰۰۵)، به دو گروه عملکرد کم و زیاد تقسیم شدند که عملکرد حد واسط، ۸۵ تن در هکتار بود. از ۷۳ مزرعه مورد مطالعه ۱۳ مزرعه در گروه با عملکرد بالا و ۶۰ مزرعه در گروه با عملکرد پایین قرار گرفتند. میانگین عملکرد در کل مزارع ۶۷/۶ تن بر هکتار و انحراف معیار ۲۰/۳ محاسبه گردید. میانگین عملکرد در مزارع با عملکرد بالا، ۱۰۰/۴ تن در هکتار و در جامعه با عملکرد پایین ۶۰/۵ تن بر هکتار بود که اختلاف بین عملکرد این جوامع از لحاظ آماری معنی‌دار بود ( $P \leq 0/05$ ). میانگین، ضریب تغییرات و انحراف معیار غلظت عناصر غذایی در برگ چغندر قند با عملکرد بالا در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای محاسبه نرم‌های DOP، میانگین غلظت عناصر در جامعه گیاهی با عملکرد بالا محاسبه و به‌عنوان بنای مقایسه و ارقام استاندارد مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲) و سپس شاخص‌های DOP در مزارع با عملکرد پایین با استفاده از اعداد مرجع محاسبه شدند.

نتایج تجزیه برگ نشان داد که غلظت برخی از عناصر غذایی در مناطق با عملکرد پایین از محدود کفایت بیان‌شده توسط جونز و همکاران (۱۹۹۱) کمتر است که عمدتاً ناشی از تفاوت در کوددهی و حاصلخیزی متفاوت خاک مناطق مورد آزمایش است. با استفاده از این اعداد مرجع شاخص‌های DOP محاسبه شد که ۶۰ مورد از مزارع با عملکرد پایین در جدول ۳، نشان داده شده است. در این روش منفی‌ترین شاخص، عامل محدودکننده تغذیه گیاه است و ترتیب نیاز از شاخص منفی به مثبت خواهد بود. همچنین در این روش با محاسبه مجموع قدر مطلق شاخص‌های انحراف از درصد بهینه می‌توان به‌شدت خروج از حالت تعادل پی برد. در این صورت عدد صفر، بیانگر حالت تعادل و هرچه عدد بزرگ‌تر شود، نشان‌دهنده انحراف

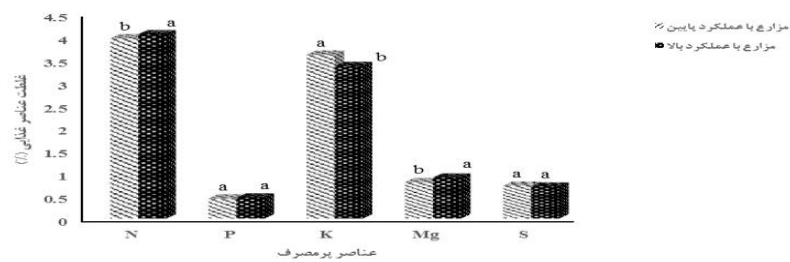
بیشتر از حالت تعادل است (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۸؛ مونتانس و همکاران، ۱۹۹۳).

در این آزمایش از لحاظ میانگین شاخص‌های روش DOP ترتیب نیاز غذایی برای عناصر پرمصرف به-صورت  $Mg > P > N > K > S$  و برای عناصر کم‌مصرف به‌صورت  $Fe = Zn > Mn = B > Cu$  برای مزارع با عملکرد پایین به‌دست آمد (جدول ۳). در بین عناصر پرمصرف، عنصر منیزیم، فسفر، نیتروژن، پتاسیم به ترتیب در ۷۵، ۷۲، ۶۵، ۵۷ درصد از مزارع دارای شاخص منفی و عنصر گوگرد در ۵۴ درصد از مزارع مورد بررسی مثبت‌ترین شاخص را دارا بودند. در میان عناصر پرمصرف، منیزیم بیشترین کمبود را به خود اختصاص داد که عمدتاً به اثرات برهم‌کنش منفی با پتاسیم و کلسیم خاک است. به دلیل عدم توجه به مصرف بهینه کودهای فسفاته، کمبود فسفر در ۷۲ درصد از مزارع چغندر قند مورد آزمایش مشاهده شد. این امر ممکن است به دلیل تثبیت فسفر توسط رس‌ها باشد و همچنین به علت آهکی بودن خاک‌های منطقه، فسفر با کلسیم به‌صورت فلوئورآپاتیت و هیدروکسی آپاتیت رسوب می‌کند (برتراند و همکاران، ۲۰۰۳) و در نتیجه فسفر قابل استفاده برای گیاه کم بوده و نیاز به آن برای گیاه اولویت پیدا می‌کند. با توجه به نقش نیتروژن در رشد رویشی، گلدهی و تشکیل و درشت شدن غده می‌توان گفت که در خاک‌های منطقه معمولاً ماندگاری مواد آلی خاک به سبب تجزیه سریع کم است و خاک‌های منطقه عمدتاً دارای درصد کربن آلی پایین می‌باشند (جدول ۱). در بین عناصر کم‌مصرف آهن، روی، منگنز و بور به ترتیب دارای ۶۲، ۶۲، ۶۰ و ۶۰ درصد مزارع دارای شاخص منفی و دچار کمبود می‌باشند. شرایط آهکی خاک‌ها قابلیت فراهمی عناصر کم‌مصرف به‌ویژه آهن و منگنز را از خاک به ریشه گیاهان با مشکل مواجه نموده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). کمبود آهن در اکثر خاک‌های کشاورزی ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن، pH بالا، بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری عمومیت

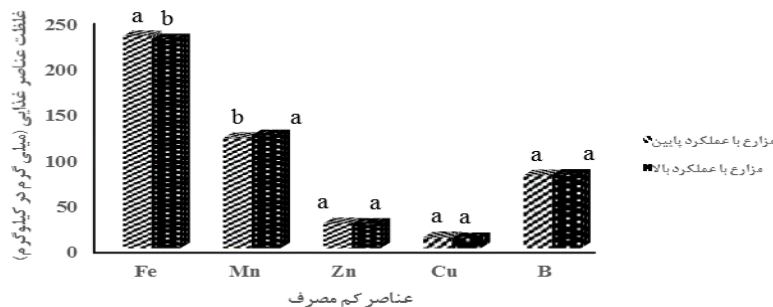


نیترژن، فسفر و منیزیم در مزارع با عملکرد پایین کمتر از مزارع با عملکرد بالا بود و در مورد عناصر پتاسیم و گوگرد وضعیت کاملاً برعکس بود که ناشی بالا بودن غلظت پتاسیم و گوگرد قابل جذب خاک‌های منطقه است. غلظت عناصر آهن، روی، مس و بور در مزارع با عملکرد پایین کمتر از مزارع با عملکرد بالا بود (شکل ۲). با توجه به شکل ۳، رابطه معکوسی بین جمع قدر مطلق شاخص‌های DOP و عملکرد محصول وجود داشت.

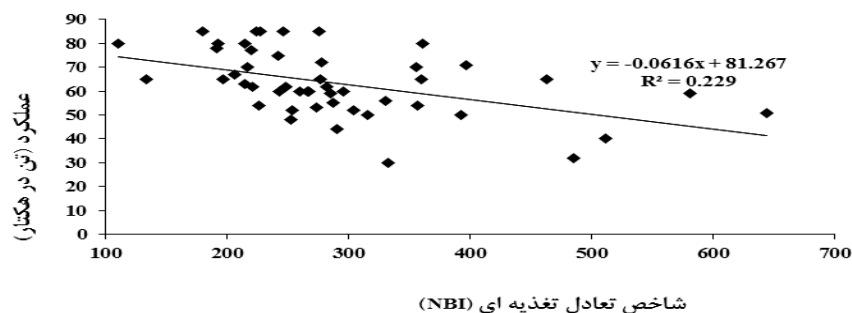
دارد (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۸). البته، عوامل دیگری همانند آبیاری سنگین و به دنبال آن تولید بی‌کربنات، عدم تهویه مناسب و مخصوصاً عدم رعایت مصرف بهینه کود و آب نیز در بروز کمبود آهن تأثیرگذار هستند (مارشتر، ۱۹۹۵). بعد از آهن و منگنز، کمبود عنصر بور سومین عنصر کم‌مصرف بود که در مزارع مشاهده شد و شاخص آن منفی شد و در بیشتر مناطق کمبود بور گزارش شده است. لذا، باید به مصرف آن در مزارع چغندر قند اولویت داده شود. همان‌گونه که در شکل یک مشخص است، غلظت عناصر پرمصرف



شکل ۱- مقایسه مزارع با عملکرد بالا و پایین برای هر عنصر غذایی در برگ چغندر قند



شکل ۲- مقایسه مزارع با عملکرد بالا و پایین برای هر عنصر غذایی در برگ چغندر قند



شکل ۳- رابطه بین شاخص تعادل تغذیه‌ای DOP و عملکرد چغندر قند

### روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)

داده‌های عملکرد و غلظت عناصر غذایی مربوطه به ۷۳ مزرعه بر اساس میزان عملکرد از زیاد به کم مرتب شدند. سپس مقادیر میانگین هندسی (G) و نسبت لگاریتمی (VX)، برای ۱۰ عنصر غذایی محاسبه گردید. در ادامه مقادیر تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی یعنی  $F_i^c$ ،  $F_i^c(V_N)$ ،  $F_i^c(V_P)$ ،  $F_i^c(V_{Fe})$ ،  $F_i^c(V_{Mg})$ ،  $F_i^c(V_S)$ ،  $F_i^c(V_K)$ ،  $F_i^c(V_{Zn})$ ،  $F_i^c(V_{Cu})$ ،  $F_i^c(V_{Mn})$  و  $F_i^c(V_B)$  و  $F_i^c(V_R)$  برای کلیه عناصر محاسبه و ترسیم گردید که به صورت ۱۱ معادله درجه ۳ برای ۱۰ عنصر و یک قسمت باقیمانده ( $R_d$ ) برازش داده شد و نقاط عطف منحنی‌ها برای ده عنصر غذایی و ترکیبات باقیمانده برای چغندر قند استان کرمانشاه بر حسب تن در هکتار محاسبه شدند (جدول ۴). همان‌گونه که در

جدول ۵، مشاهده می‌شود. مدل درجه سه برای تمام عناصر غذایی و باقی‌مانده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. عملکرد چغندر قند ۸۹/۵ تن در هکتار به‌عنوان عملکرد حد واسط برای تفکیک دو گروه با عملکرد بالا و پایین استفاده گردید (پرنت و ترمیلی، ۲۰۰۱). بر اساس روش ذکر شده توسط پرنت و ترمیلی (۲۰۰۱) حداکثر عملکرد در نقاط عطف مشاهده‌شده در منحنی‌های مقادیر تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی به‌عنوان عملکرد حد واسط انتخاب شد. در مجموع و با این تفکیک پنج مزرعه در جامعه با عملکرد بالا و ۶۸ مزرعه در گروه با عملکرد پایین قرار گرفتند. همچنین رابطه بین عملکرد ریشه و تابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی ۱۰ عنصر غذایی در شکل ۴، نشان داده شده است.

جدول ۳- عملکرد، شاخص‌های DOP و اولویت نیاز عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در مزارع چغندر قند با عملکرد پایین

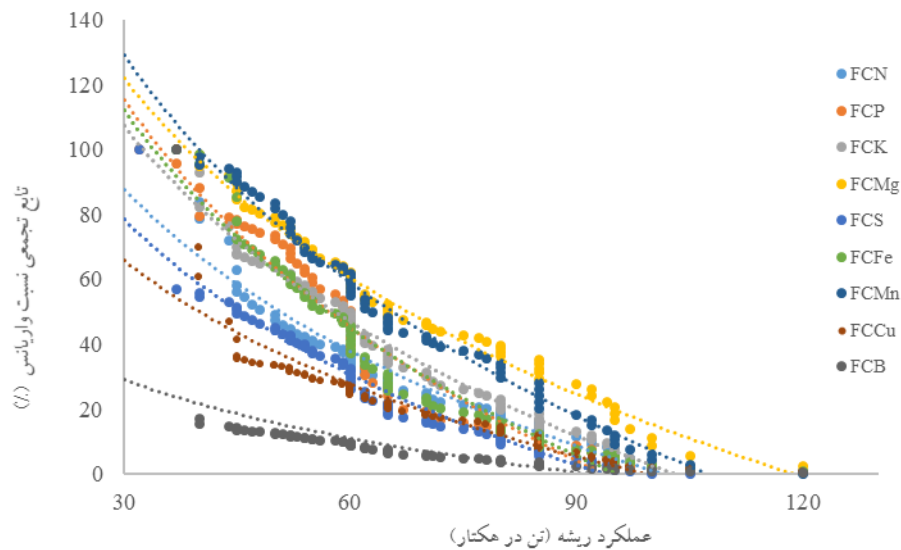
عملکرد t ha <sup>-1</sup>	شاخص‌ها										اولویت نیاز عناصر غذایی	EDOP
	N	P	K	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B		
۸۵	-۱/۷۳	-۱۹/۵۷	۲۲/۹۹	-۲۲/۲۲	-۳۵/۷۱	۵۱/۵۴	۱۳/۵۴	-۲۸/۵۷	-۳۵/۷۸	۱۴/۷۱	Cu>S>Zn>Mg>P>N>Mn>B>K>Fe	۲۴۶/۳۶
۸۵	-۸/۶۴	-۳۶/۹۶	۱/۴۹	-۱۱/۱۱	۷۱/۴۳	-۶۸/۲۰	-۱/۰۵	-۳۰/۴۵	-۲۲/۰۲	۲۴/۶۹	Fe>P>Zn>Cu>Mg>N>Mn>K>B>S	۲۷۶/۰۴
۸۵	-۱۵/۵۶	-۵۰/۰۰	-۱۰/۴۵	-/۰۰	-۲۱/۴۳	-۳۵/۷۵	۵/۰۳	-۱۵/۴۱	-۲۶/۶۱	-/۰۲۵	P>Fe>Cu>S>N>Zn>K>B>Mg>Mn	۱۸۰/۴۷
۸۵	-۱/۷۳	-۲۶/۰۹	-۲/۳۹	-۲۲/۲۲	۲۰/۰۰	-۳۴/۲۱	-۵۱/۷۴	۷/۱۴	۵۱/۳۸	۷/۲۳	Mn>Fe>P>Mg>K>N>Zn>B>S>Cu	۲۲۴/۱۳
۸۵	-۵/۹۳	۷۱/۷۴	۱۸/۸۱	-۳۳/۳۳	۲۷/۱۴	-۱۶/۲۳	-۴/۷۰	۷/۱۴	-۳۵/۷۸	۶/۸۲	Cu>Mg>Fe>N>Mn>B>Zn>K>S>P	۲۲۷/۶۲
۸۰	-۱۰/۱۲	-۱۹/۵۷	۱/۴۹	-۳۳/۳۳	-۱۷/۱۴	۹/۲۱	۳۳/۸۲	-۲/۲۶	-۸/۲۶	-۵/۲۴	Mg>P>S>N>Cu>B>Zn>K>Fe>Mn	۱۱۰/۴۴
۸۰	۱/۲۳	-۳۲/۶۱	-۱۴/۹۳	-۲۲/۲۲	-۱۵/۷۱	-۱۶/۲۳	۱۳/۵۴	-۶/۰۲	-۳۱/۱۹	-۳۸/۹۰	B>P>Cu>Mg>Fe>S>K>Zn>N>Mn	۱۹۲/۵۹
۸۰	-۳/۲۱	-۲/۱۷	۳۹/۴۰	-۳۳/۳۳	۲۸/۵۷	-۲۶/۶۲	-۲۵/۷۹	-۱۳/۵۳	-۱۲/۸۴	۱۹/۷۰	Fe>K>Mn>Zn>Cu>N>P>B>S>K	۲۱۵/۱۸
۸۰	-۷/۴۱	-۵۴/۳۵	-۲۳/۲۸	-/۰۰	-۴۲/۸۶	-۶/۸۰	۱۴۳/۳۱	-۲/۲۶	-۳۵/۷۸	-۴۵/۱۴	P>B>S>Cu>K>N>Fe>Zn>Mg>Mn	۳۶۱/۱۸
۷۸	-۳/۲۱	-۳۲/۶۱	-۱۴/۹۳	-۲۲/۲۲	-۴۰/۰۰	-۱۲/۲۸	-۲۷/۰۱	-۲/۲۶	۱۹/۲۷	۱۷/۹۷	S>P>Mn>Mg>K>Fe>N>Zn>B>Cu	۱۹۱/۷۴
۷۷	۷۰/۸۶	-۸/۷۰	-۴/۱۸	-۱۱/۱۱	-۳۴/۲۹	-۷/۲۴	-۵۲/۵۵	-۲/۲۶	-۳/۶۷	-۲۵/۱۹	Mn>S>B>Mg>P>Fe>K>Cu>Zn>N	۲۲۰/۰۴
۷۵	-۲۵/۴۳	-۵۰/۰۰	۱۹/۴۰	-۱۱/۱۱	-۲۰/۰۰	-/۸۸	۵۲/۴۷	-۱۷/۲۹	-۱۲/۸۴	-۳۲/۶۷	P>B>N>S>Zn>Cu>Mg>Fe>K>Mn	۲۴۲/۱۰
۷۲	-۸/۶۴	-۵۴/۳۵	-۲/۳۹	-۲۲/۲۲	-۱۴/۲۹	-۵۱/۹۷	-۵۹/۴۵	-۶/۰۲	-۵۸/۷۲	-/۰۲۵	Mn>Cu>P>Fe>Mg>S>N>Zn>K>B	۲۷۸/۲۹
۷۱	۳/۲۱	۱۱۵/۲۲	۲۴/۷۸	-۲۲/۲۲	۵۸/۵۷	۴۱/۶۷	-۳۸/۳۶	۲۷/۸۲	-۳۵/۷۸	۲۹/۳۴	Mn>Cu>Mg>N>K>Zn>B>Fe>S>P	۳۹۶/۹۶
۷۰	-۷/۴۱	-۳۲/۶۱	۳/۲۸	۱۱/۱۱	-۴۰/۰۰	-۲۷/۱۹	-۲۲/۹۵	۱۶/۵۴	۵۵/۹۶	-/۰۴۷	S>P>Fe >Mn>N>B>K>Mg>Zn>Cu	۲۱۷/۵۳
۷۰	۲۸/۱۵	۵۸/۷۰	۵۴/۹۳	-۲۲/۲۲	۲۰/۰۰	۱۴/۶۹	-۴۵/۶۶	۴۲/۸۶	۵۱/۳۸	۱۷/۹۷	Mn>Mg>Fe>B>S>N>Zn >Cu>K>P	۳۵۶/۵۵
۶۷	-۴/۶۹	-۸/۷۰	۳/۲۸	-۲۲/۲۲	-۲۰/۰۰	-۳۹/۴۷	۴۶/۸۰	-۳۷/۹۷	۱۹/۲۷	-۴/۰۹	Fe>Zn>Mg>S>P>N>B>K>Cu>Mn	۲۰۶/۴۹
۶۵	۵/۱۹	-۳۲/۶۱	-۱۸/۲۱	۱۱/۱۱	۱۸/۵۷	-/۰۰	-۲/۶۸	-۶/۰۲	-۱۲/۸۴	۲۷/۱۸	P>K>Cu >Zn>Mn>Fe>N>Mg>S>B	۱۳۴/۴۰
۶۵	-۱۰/۱۲	-۲۶/۰۹	-۳۴/۳۳	۲۲/۲۲	۳۵/۷۱	-۲۶/۹۷	-۶۷/۵۶	-۹/۷۷	۱۹/۲۷	-۲۵/۱۹	Mn>K>Fe>P>B>N>Zn>Cu>Mg>S	۲۷۷/۲۴
۶۵	-۷۰/۸۶	-۴/۳۵	۱۴/۹۳	-۱۱/۱۱	۵۷/۱۴	-۴۵/۱۸	-۴۲/۰۱	۲۷/۸۲	۵۵/۹۶	-۳۱/۴۲	N>Fe>Mn>B>Mg>P>K>Zn>Cu >S	۳۶۰/۷۸
۶۵	-۱۵/۵۶	-۳۲/۶۱	۳۳/۱۳	-۱۱/۱۱	-۲/۸۶	-۶/۸۰	-۵۵/۳۹	-۲/۲۶	-۸/۲۶	-۲۸/۹۳	Mn>P>B>N>Mg>Cu>Fe>S>Zn>K	۱۹۶/۹۰
۶۵	-۱۴/۵۷	۲/۱۷	۸/۹۶	-۲۲/۲۲	-۱۸/۵۷	۲۵۲/۸۵	-۵/۹۲	۲۲/۱۸	۷۴/۳۱	-۴۲/۰۳	B>Mg>S>N>Mn>P>K>Zn>Cu>Fe	۴۶۳/۷۹
۶۳	۶/۴۲	-۳۶/۹۶	-۱۸/۲۱	-۱۶/۶۷	-۱۴/۲۹	-۱۲/۲۸	۴۳/۵۵	-۲۶/۶۹	۱۰/۰۹	-۳۰/۱۷	P>B>Zn>K>Mg>S>Fe>N>Cu>Mn	۲۱۵/۳۳
۶۲	۴۲/۴۷	-۱۵/۲۲	-۱۴/۰۳	-۳۳/۳۳	-/۰۰	-۲۹/۳۹	-۶۱/۴۸	-۶/۰۲	-/۹۲	۱۸/۴۵	Mn>Mg>Fe>P>K>Zn >S>Cu>B>N	۲۲۱/۳۰
۶۲	-۱/۷۳	-۴۳/۴۸	۱۶/۷۲	-۱۱/۱۱	-۱۷/۱۴	-۴۴/۵۲	-۳۵/۱۲	-۱۳/۵۳	-۴۰/۳۷	۲۴/۶۹	Fe>P>Cu>Mn>S>Zn>Mg>N>K>B	۲۴۸/۴۰
۶۲	-۱۳/۰۹	۸۲/۶۱	۵/۰۷	-۴۴/۴۴	۳۵/۷۱	-۱۳/۸۲	-۲۷/۸۲	۱۲/۷۸	۱۴/۶۸	۳۲/۷۹	Mg>Mn>Fe>N>K>Zn>Cu>B >S>B	۲۸۲/۸۲
۶۰	-/۰۴۹	-۱۵/۲۲	-۴/۱۸	-۲۲/۲۲	۲۸/۵۷	-۱۸/۲۰	۱۳۸/۴۴	-۷/۸۹	۱۰/۰۹	۱۴/۷۱	Mg>Fe>P>Zn>K>N>Cu>B>S>Mn	۲۶۰/۰۳
۶۰	۲۱/۷۳	-۴۳/۴۸	-۳۷/۳۱	۲۲/۲۲	-۳۴/۲۹	۶/۱۴	۴۶/۸۰	۲۹/۷۰	۱۰/۰۹	-۴۳/۸۹	B>P>K>S>Fe>Cu>N>Mg>Zn>Mn	۲۹۵/۶۵
۶۰	-۱۵/۵۶	-۴۳/۴۸	۱۲/۸۴	-۲۲/۲۲	-۴۷/۱۴	۲۱/۷۱	۲/۶۰	۲۵/۹۴	-۳/۶۷	-۴۸/۵۸	B>S>P>Mg>N>Cu>Mn>K>Fe>Zn	۲۴۳/۷۳

ادامه جدول ۳

۶۰	-۵/۹۳	-۸/۷۰	۲۶/۸۷	-۲۲/۲۲	-۲۰/۰۰	۳۰/۰۴	۵۶/۵۳	-۷/۸۹	۶۹/۷۲	-۱۸/۲۵	Mg>S>B>P>Zn>N>K>Mn>Fe>Cu	۲۶۶/۱۶
۶۰	۶/۴۲	۲/۱۷	-۲۵/۰۷	-۱۱/۱۱	-۱۴/۲۹	-۲۰/۶۱	۴۵/۵۸	۴۴/۷۴	۶۵/۱۴	-۳۲/۱۱	B>K>Fe>S>Mg>P>N>Mn >Fe>Zn	۲۶۷/۲۴
۶۰	-۱۵/۵۶	۲/۱۷	۱۶/۷۲	-۲۲/۲۲	-۱۴/۲۹	۲۰/۶۱	-۱۰/۷۹	-۱۳/۵۳	۱۴/۶۸	۳/۱۵	Mg>N>S>Zn>Mn>P>B>Cu>K>Fe	۱۳۳/۷۲
۶۰	۱۹/۰۱	۵۸/۷۰	-۰/۳۰	۰/۰۰	۲۰/۰۰	۵۴/۶۱	-۰/۲۴	-۲۱/۰۵	۲۳/۸۵	۳۳/۱۹	Zn>K>Mn>Mg>N>S>Cu>B>Fe>P	۲۳۰/۹۵
۵۹	-۰/۴۹	۱۳/۰۴	۵۹/۴۰	۱۱/۱۱	-۸/۵۷	-۱۶/۴۵	-۵۷/۸۳	۵/۲۶	۸۸/۰۷	-۲۵/۱۹	Mn>B>Fe>S>N>Zn>Mg>P>K>Cu	۲۸۵/۴۲
۵۹	۷۴/۰۷	۱۲۸/۲۶	۱۱۰/۴۵	-۲۲/۲۲	۶۷/۱۴	-۲/۱۹	-۳۴/۷۱	۳/۵۸	۷۸/۹۰	-۳۱/۴۲	Mn>B>Mg>Zn>S>N>N>Cu>K>P	۵۸۰/۹۵
۵۸	-۱۵/۵۶	-۴۳/۴۸	۸/۹۶	-۲۲/۲۲	-۱۱/۴۳	-۱۴/۲۵	-۱۴/۸۴	-۱۷/۲۹	۳۷/۶۱	-۲۵/۱۹	P>B>Mg>Zn>N>Mn>Fe>S>K>Cu	۲۱۰/۸۳
۵۶	-۳/۲۱	-۳۲/۶۱	۲۰/۹۰	۱۱/۱۱	۳۱/۴۳	۷۸/۰۷	۵۸/۱۵	۵/۲۶	۴۲/۲۰	۴۸/۳۸	P>N>Zn>Mg>K>S>Cu>B>Mn>Fe	۳۳۱/۳۲
۵۵	-۱۰/۱۲	-۴/۳۵	-۴۰/۳۰	۰/۰۰	۵۷/۱۴	-۵۳/۵۱	۳۴/۶۳	-۴۱/۷۳	-۱۷/۴۳	۲۸/۴۳	Fe>Zn>K>Cu>N>P>Mg>B>Mn>S	۲۸۷/۶۴
۵۵	۵/۱۹	-۸/۷۰	-۱۸/۲۱	-۱۱/۱۱	-۱۷/۱۴	-۲۵/۸۸	-۹/۹۸	۱۲/۷۸	۲۸/۴۴	-۲۵/۱۹	Fe>B>K>S>Mg>Mn>P>N>Zn>Cu	۱۶۲/۶۱
۵۴	۵/۱۹	۲/۱۷	-۴/۱۸	-۲۲/۲۲	-۱۲/۸۶	۴۳/۴۲	-۱۷/۶۸	۵۲/۲۶	۳۷/۶۱	-۲۸/۶۰	B>Mg>Mn>S>K>P>N>Cu>Fe>Zn	۲۲۶/۱۹
۵۴	-۴۱/۹۸	۳۶/۹۶	۷/۱۶	-۱۱/۱۱	۴/۲۹	۸۷/۵۰	۴۰/۷۱	-۴۱/۷۳	-۵۴/۱۳	-۳۲/۱۱	Cu>N>Zn>B>Mg>S>K>P>Mn>Fe	۲۵۷/۶۷
۵۳	-۰/۴۹	-۸/۷۰	۳/۲۸	-۱۱/۱۱	-۱۵/۷۱	۱۵۰/۸۸	-۸/۳۵	۱۲/۷۸	۳۷/۶۱	۲۵/۵۶	S>Mg>P>Mn>N>K>Zn>B>Cu>Fe	۲۷۴/۴۹
۵۲	۱/۲۳	-۳۲/۶۱	۱/۴۹	-۱۱/۱۱	-۲۵/۷۱	-۱/۱۰	-۳۹/۱۷	-۲/۲۶	۲۳/۸۵	-۱۸/۹۵	Mn>P>S>B>Mg>Zn>Fe>N>K>Cu	۱۵۷/۴۹
۵۲	۱۹/۰۱	-۳۲/۶۱	۵/۰۷	-۲۲/۲۲	۷۱/۴۳	-۱/۹۷	۵۰/۰۴	-۶/۰۲	-۱۲/۸۴	۸۳/۲۹	P>Mg>Cu>Zn>Fe>K>N>Mn>S>B	۳۰۴/۵۱
۵۲	-۱۶/۰۵	-۴۳/۴۸	۱/۴۹	-۴۴/۴۴	-۱۴/۲۹	-۲/۵۱	-۵۵/۳۹	-۲۸/۵۷	-۸/۲۶	-۳۸/۹۰	Mn>Mg>P>B>Zn>N>S>Cu>Fe>K	۲۵۴/۳۸
۵۱	۶۷/۹۰	۱۰۶/۵۲	۱۰۲/۹۹	-۲۲/۲۲	۵۱/۴۳	۶۹/۷۴	۳۷/۴۷	۴۶/۶۲	۳۷/۶۱	۱۰۲/۳۱	Mg>Mn>Cu>S>Fe>N>S>B>K>P	۶۴۴/۸۰
۵۰	-۳۴/۵۷	-۵۰/۰۰	-۱۶/۴۲	-۳۳/۳۳	-۱۷/۱۴	-۴۷/۳۷	-۱۱/۱۹	-۳۹/۸۵	-۳۱/۱۹	-۳۵/۱۶	P>Fe>Zn>B>N>Mg>Cu>S>K>Mn	۳۱۶/۲۳
۵۰	-۱۹/۷۵	-۴۳/۴۸	۵۴/۹۳	۲۲/۲۲	-۴۸/۵۷	-۱۳/۱۶	-۴۶/۸۸	-۲۸/۵۷	۶۰/۵۵	-۵۵/۰۲	B>S>Mn>P>Zn>N>Fe>Mg>K>Cu	۳۹۳/۱۳
۴۸	-۱۱/۶۰	۲/۱۷	۱۶/۷۲	-۲۲/۲۲	-۱۵/۷۱	-۳۸/۱۶	-۲۰/۵۲	۱۲/۷۸	۸۸/۰۷	-۲۵/۱۹	Fe>B>Mg>Mn>S>N>P>Zn>K>Cu	۲۵۳/۱۵
۴۷	۶/۴۲	-۴۳/۴۸	۱/۴۹	-۱۱/۱۱	۲۱/۴۳	-۴۲/۱۱	۸/۶۸	-۱۱/۶۵	-۰/۹۲	-۵/۲۴	P>Fe>Zn>Mg>B>Cu>K>N>Mn>S	۱۵۲/۵۲
۴۶	-۷/۴۱	-۲۶/۰۹	-۱۸/۲۱	۰/۰۰	-۲/۸۶	-۱۶/۴۵	۴۳/۹۶	-۰/۳۸	۵/۵۰	۴/۷۴	P>K>Fe>N>S>Zn>Mg>B>Cu>Mn	۱۲۵/۵۸
۴۵	-۱۰/۱۲	-۵۰/۰۰	-۱۸/۲۱	۲۲/۲۲	-۱۵/۷۱	-۵۳/۵۱	۴/۲۲	-۹/۷۷	-۲۶/۶۱	-۲۱/۴۵	Fe>P>Cu>B>K>S>N>Zn>Mn>Mg	۲۳۱/۸۲
۴۵	۵/۱۹	-۵۴/۳۵	۷/۱۶	۱۱/۱۱	-۱/۴۳	-۱/۳۲	-۵۹/۴۵	-۹/۷۷	۳۳/۰۳	-۱۱/۴۷	Mn>P>B>Zn>S>Fe>N>K>Mg>Cu	۱۹۴/۲۷
۴۵	-۵۸/۵۲	-۳۲/۶۱	۲۶/۸۷	۰/۰۰	۵/۷۱	۶/۸۰	۲۰/۸۴	۱۴/۶۶	-۳/۶۷	-۱۵/۲۱	N>P>B>Cu>Mg>S>Fe>Zn>Mn>K	۱۸۴/۸۹
۴۴	-۳۰/۸۶	-۸/۷۰	-۲۱/۷۹	-۳۳/۳۳	-۱۷/۱۴	-۳۳/۳۳	-۵۶/۲۰	-۲۶/۶۹	۲۳/۸۵	-۳۸/۷۲	Mn>B>Mg>Fe>N>Zn>K>S>P>Cu	۲۹۰/۶۳
۴۰	-۹/۸۸	۱۱۵/۲۲	۸/۹۶	-۱۱/۱	۶۰/۰۰	۱۷/۹۸	۱۸/۸۲	-۳۴/۲۱	-۲۶/۶۱	۲۰/۸۸۵	Zn>Cu>Mg>N>K>Fe>Mn>S>P>B	۵۱۱/۶۳
۴۰	-۴/۶۹	-۱۹/۵۷	۴۵/۹۷	-۲۲/۲	-۳۱/۴۳	۱۳/۶۰	۱۳/۱۴	۳۹/۱۰	۲۸/۴۴	-۷/۶۷	S>Mg>P>B>N>Mn>Fe>Cu>Zn>K	۲۲۵/۸۲
۳۷	۱۳/۳۳	-۱۹/۵۷	-۴۲/۳۹	-۲۲/۲	۱۴/۲۹	۱۹/۵۲	۵۴/۱۰	-۹/۷۷	-۳/۶۷	-۴۵/۱۴	B>K>Mg>P>Cu>Zn>N>S>Fe>Mn	۲۴۳/۹۹
۳۲	-۶/۶۷	۱۰۶/۵۲	۱۲/۸۴	-۱۱/۱	۵۲/۸۶	۱۲/۵۰	-۶۱/۴۸	۱۷۲/۵۶	-۸/۲۶	۴۰/۹۶	Mn>Mg>Cu>N>Fe>K>Zn>B>S>P	۴۸۵/۷۴
۳۰	۲۰/۷۴	۵۸/۷۰	۴۵/۹۷	۱۱/۱	۱۷/۱۴	۲۵/۴۴	-۴۱/۶۱	۲۷/۸۲	۲۳/۸۵	۶۰/۸۶	Mn>Mg>S>N>Cu>Fe>Zn>K>P>B	۳۳۳/۲۴

جدول ۴- برآورد عملکرد حد واسط با روش توابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی عناصر غذایی چغندر قند

عناصر غذایی	$F_i^c(V_x)=aY^3+bY^2+cY+d$	$R^2$	عملکرد تعیین شده
N	$y = -0.0003x^3 + 0.0874x^2 - 8.5289x + 298.36$	۰/۹۷**	۹۷/۱
P	$y = 0.0003x^3 - 0.0446x^2 - 0.3285x + 152.75$	۰/۹۵**	۴۹/۵
K	$y = -0.0002x^3 + 0.0492x^2 - 5.6842x + 245.19$	۰/۹۹**	۸۲
Mg	$y = -1E-04x^3 + 0.0305x^2 - 4.1261x + 218.8$	۰/۹۹**	۱۰۱/۷
S	$y = -0.0002x^3 + 0.0486x^2 - 5.3894x + 210.83$	۰/۹۷**	۹۷
Fe	$y = -0.0002x^3 + 0.0715x^2 - 8.3131x + 32$	۰/۹۹**	۱۱۹
Mn	$y = -9E-05x^3 + 0.0307x^2 - 4.4625x + 235.43$	۰/۹۹**	۱۱۳/۷
Zn	$y = 0.0002x^3 - 0.0244x^2 - 0.5891x + 127.99$	۰/۹۸**	۴۰/۷
Cu	$y = -0.0003x^3 + 0.0871x^2 - 8.0568x + 263.43$	۰/۸۸**	۹۶/۷
B	$y = -0.0003x^3 + 0.0889x^2 - 7.5439x + 213.81$	۰/۴۸**	۹۸/۷
Rd	$y = -0.0005x^3 + 0.1356x^2 - 11.286x + 308.89$	۰/۶۵**	۹۰/۴
میانگین			۸۹/۵



شکل ۴- رابطه بین عملکرد ریشه و تابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی ۹ عنصر غذایی

در نتیجه با در نظر گرفتن عملکرد ۱۰۰ تن در هکتار، مقادیر  $V_{Cu}^*$ ,  $V_{Zn}^*$ ,  $V_{Mn}^*$ ,  $V_{Fe}^*$ ,  $V_{Mg}^*$ ,  $V_S^*$ ,  $V_K^*$ ,  $V_P^*$ ,  $V_N^*$  و  $V_B^*$  به عنوان اعداد مرجع تعیین شدند که در جدول ۵، آورده شده است.

برآورد اعداد مرجع عناصر غذایی به روش تشخیص چندانگانه

با توجه به اینکه غلظت عناصر در جامعه با عملکرد بالا به عنوان اعداد مرجع و حد بهینه عناصر غذایی در نظر گرفته می‌شوند (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱، a, b, c)

جدول ۵- نرم‌های CND و انحراف معیار آن برای ۱۰ عنصر غذایی در مزارع مورد مطالعه

نرم CND	میانگین نرم CND	انحراف معیار نرم CND	عنصر غذایی	میانگین غلظت در جامعه با عملکرد مطلوب	انحراف معیار
$V_N^*$	۳/۲۹	۰/۱۴	N	۴/۰۱	۰/۱۷
$V_P^*$	۰/۸۵	۰/۳۷	P	۰/۳۸	۰/۱۶
$V_K^*$	۲/۹۸	۰/۳۱	K	۳/۰۱	۰/۶۸
$V_{Mg}^*$	۱/۷۹	۰/۱۳	Mg	۰/۹	۱۱
$V_S^*$	۱/۴۳	۰/۳۴	S	۰/۶۴	۰/۱۳
$V_{Fe}^*$	-۱/۹۷	۰/۵۴	Fe	۳۳۷	۱۲۱
$V_{Mn}^*$	-۲/۵۰	۰/۱۹	Mn	۱۲۷/۲	۳۴/۸۰
$V_{Zn}^*$	-۴/۱۲	۰/۱۹	Zn	۲۵	۲/۹۱
$V_{Cu}^*$	-۴/۹۶	۰/۳۰	Cu	۱۱/۲	۴/۷۲
$V_B^*$	-۳/۱۹	۰/۱۶	B	۶۱/۴	۷/۸۰

### برآورد شاخص عناصر غذایی و دامنه کفایت و بحرانی

#### برای ۱۰ عنصر غذایی در مزارع چغندر قند

حدود بالا و پایین شاخص بحرانی عناصر غذایی در استان کرمانشاه در جدول ۷، ارائه شده است. دامنه‌های بحرانی ارائه شده در این جدول را می‌توان به‌عنوان یک "دامنه کفایت" برای شاخص‌های عناصر غذایی در نظر گرفت که اعداد خارج از این دامنه بیانگر وضعیت بحرانی و داخل دامنه، نشانه‌ی وضعیت خوب و بسنده است (بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷). عملاً سه حالت ممکن است حاصل شود ۱- کمتر از حد بحرانی (نامتعادل کمبود) ۲- بزرگ‌تر از حد بحرانی (نامتعادل زیادبود) و یا در فاصله میانی محدوده بحرانی نشانه وضعیت خوب و بسنده (متعادل کافی یا نرمال) قرار می‌گیرد. مربع شاخص‌های بحرانی ( $I^2X$ ) برای عناصر غذایی  $I^2_N, I^2_P, I^2_K, I^2_S, I^2_{Mg}, I^2_{Fe}, I^2_{Mn}, I^2_{Zn}$  و  $I^2_{Cu}$  که به‌عنوان اعداد مرجع تعیین شدند، در جدول ۶ ارائه شده است.

#### ارتباط شاخص تعادل عناصر غذایی ( $I^2$ ) با عملکرد

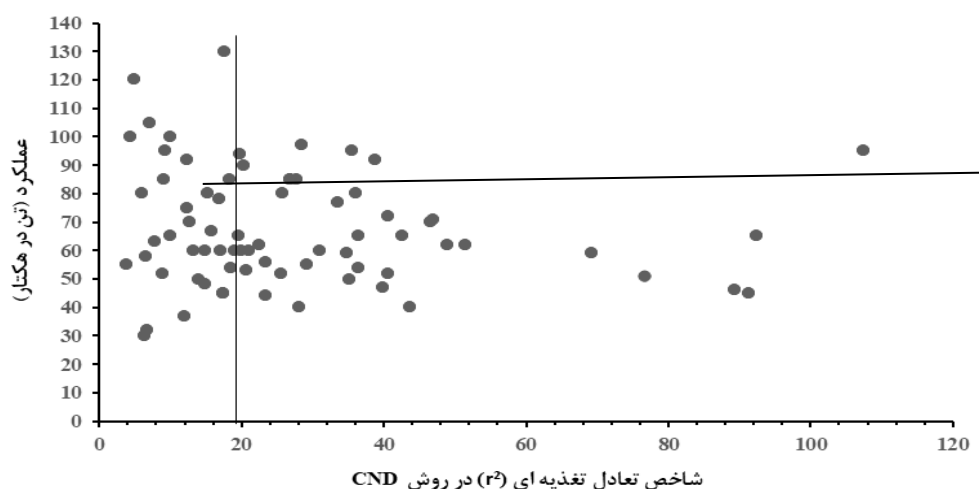
##### چغندر قند

این شاخص به‌عنوان معیاری برای ارزیابی وضعیت تعادل تغذیه‌ای است و می‌تواند صفر و یا بزرگ‌تر از صفر باشد. در این شاخص تعادل تغذیه‌ای نیز هرچه مجموع توان دوم شاخص‌های CND بزرگ‌تر از صفر باشد،

عدم تعادل تغذیه‌ای بیشتر می‌شود. با توجه به اینکه  $I^2$  از حاصل جمع مربع شاخص‌های کلیه عناصر ( $I_N, I_P, I_K, \dots$ )، به دست می‌آید. نتیجتاً می‌توان هر یک از مربع شاخص‌های عناصر را به‌صورت یک محدوده مقارن نسبت به عدد صفر بیان داشت (خیاری و همکاران، ۲۰۰۱). در واقع  $I^2$  یک مجموعه متشکل از محدوده‌های شاخص غذایی است که به‌وسیله روش کیت-نلسون قابل تعریف است و می‌تواند به‌عنوان یک روش کنترل برای برآورد صحیح شاخص‌های عناصر غذایی محسوب شود (شکل ۵) و مقدار آن برای عملکرد ۸۹/۵ تن در هکتار، ۱۸/۶۰ به دست آمد. البته اگر بر اساس روش کیت-نلسون بخواهد این شاخص برای ۱۸/۶۰ برآورد گردد، می‌تواند در این محدوده قرار گیرد تا حداکثر نقاط در قطعات اول و سوم قرار گیرد. شکل ۵، نشان‌دهنده رابطه عملکرد در دو گروه عملکرد بالا و پایین با شاخص تعادل عناصر غذایی است و نشان می‌دهد که در عملکردهای کمتر از ۸۹/۵ تن در هکتار تعادل تغذیه‌ای دچار اختلال شده و شاخص تعادل تغذیه‌ای افزایش یافته است. در عملکردهای تقریباً بیشتر از ۸۹/۵ تن در هکتار هم شاخص تعادل تغذیه‌ای مجدداً افزایش یافته است که باز مؤید این است که در عملکردهای بالا ممکن است مصرف بی‌رویه کودها و بیش‌بود عناصر در برگ منجر به اثرات برهم‌کنش منفی بین عناصر شده باشد (بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۶- شاخص عناصر غذایی، دامنه کفایت و بحرانی برای ۱۰ عنصر غذایی در مزارع چغندر قند

شاخص عناصر غذایی	عملکرد بحرانی	مربع شاخص عناصر غذایی ( $I^2x$ )	حد بحرانی پایین $I_x$	حد بحرانی بالا $I_x$
$I^2_N$	۶۴	۱/۴۲۲	-۱/۱۹۲	۱/۱۹۲
$I^2_P$	۸۲	۰/۱۴۵	-۰/۳۸۱	۰/۳۸۱
$I^2_K$	۴۸	۰/۵۷۹	-۰/۷۶۱	۰/۷۶۱
$I^2_{Mg}$	۶۸	۱/۳۱۴	-۱/۱۴۶	۱/۱۴۶
$I^2_S$	۷۴	۲/۵۵۵	-۱/۵۹۸	۱/۵۹۸
$I^2_{Fe}$	۵۶	۱/۸۱۱	-۱/۳۴۵	۱/۳۴۵
$I^2_{Mn}$	۸۲	۰/۸۰۸	-۰/۸۹۹	۰/۸۹۹
$I^2_{Zn}$	۹۰	۰/۰۱۳۴	-۰/۱۱۱	۰/۱۱۱
$I^2_{Cu}$	۵۶	۱/۴۱۲	-۱/۱۸۸	۱/۱۸۸
$I^2_B$	۷۳	۱/۳۰۷	-۱/۱۴۳	۱/۱۴۳
جمع ( $I^2$ )	۷۳	۰/۰۹۹	۰/۳۱۶	۰/۳۱۶



شکل ۵- رابطه بین عملکرد ( $t\ ha^{-1}$ ) و شاخص تعادل تغذیه‌ای ( $r^2$ ) در چغندر قند (خط افقی عملکرد ۸۹/۵ تن در هکتار و خط عمودی شاخص ۱۸/۶ است)

است. شاخص منیزیم در ۵۴ درصد از مزارع با عملکرد پایین، منفی (زیادبود نامتعادل) بود. بعد از عنصر منیزیم، فسفر در ۲۸ درصد از مزارع دارای شاخص منفی (زیادبود نامتعادل) بود. بعد از فسفر، نیتروژن با ۱۹/۶ درصد از مزارع دارای شاخص منفی بود. به دلیل وجود شرایط آهکی و تثبیت فسفر توسط رس‌ها و کربنات کلسیم رسوب می‌کند. در بین عناصر پرمصرف پتاسیم دارای کمترین شاخص منفی با ۸ درصد از مزارع بود. در بین عناصر کم‌مصرف شاخص‌های منگنز، روی، بور و مس به ترتیب در ۳۹، ۴۵ و ۱۴

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

بر اساس میانگین شاخص‌های CND ترتیب اولویت عناصر غذایی مورد نیاز در مزارع با عملکرد پایین برای عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف به ترتیب به صورت  $Mn > Zn > Cu > B$  و  $Mg > P > N > K$  (جدول ۷). اولویت کمبود عناصر غذایی در کل مزارع بر اساس درصد از مزارعی است که دارای کمبود یک عنصر خاص است. ولی در یک مزرعه بر اساس شدت کمبود

در کاهش عملکرد چغندر قند در برخی از مناطق نقش ایفا کرده باشند.

شکل ۶ نشان می‌دهد که بین شاخص‌های دو روش DOP و CND رابطه معنی‌دار مثبت در سطح احتمال یک درصد وجود دارد.

۱۱/۳ درصد از مزارع منفی (زیادبود نامتعادل) بودند. عواملی مانند سیستم آبیاری، شیوع و بروز بیماری‌های گیاهی و حمله آفات، تغییرات ناگهانی دما، سابقه کشت و تناوب جزو عواملی هستند که ممکن است به‌عنوان عامل ناشناخته

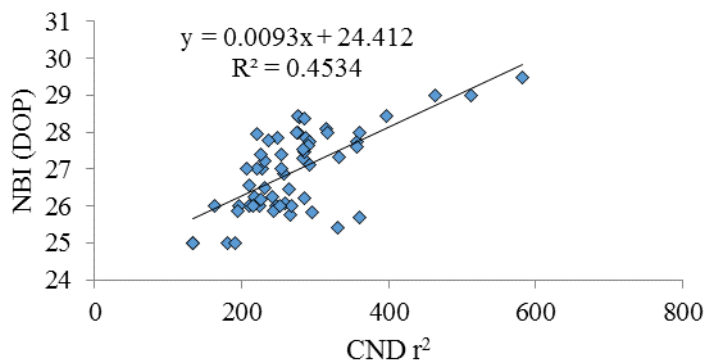
جدول ۷- شاخص‌های CND، عملکرد و اولویت نیاز عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در مزارع چغندر قند با عملکرد پایین

عملکرد	$I_N$	$I_P$	$I_K$	$I_{Mg}$	$I_S$	$I_{Fe}$	$I_{Mn}$	$I_{Zn}$	$I_{Cu}$	$I_B$	عناصر غذایی	$r^2$
۹۰	-۰/۵۴	۱/۲۱	-۰/۲۲	۰/۶۲	۰/۰۳	۰/۴۴	۰/۰۹	-۳/۳۸	۰/۲۳	۰/۹۶	Zn>P	۲۷/۶۳
۸۵	-۰/۱۶	-۰/۱۱	۱/۰۲	-۱/۹۸	-۱/۴۷	۰/۹۲	-۰/۵۹	-۱/۴۳	-۱/۴۳	۲/۴۲	Mg>S>Zn	۲۶/۵۰
۸۵	-۰/۱۴	-۰/۳۴	۰/۶۵	-۰/۳۹	۳/۰۰	-۱/۸۶	۰/۲۷	-۱/۱۶	-۰/۵۳	۳/۴۱	Fe>Zn	۲۸/۵۵
۸۵	-۰/۴۳	-۰/۸۷	۰/۳۷	۰/۷۹	-۰/۱۴	-۰/۴۷	۰/۷۸	۰/۰۸	-۰/۶۱	۲/۲۵	P	۲۶/۷۸
۸۵	-۰/۰۵	-۰/۰۸	۰/۳۴	-۱/۸۵	۱/۲۴	-۰/۶۱	-۳/۸۶	۰/۸۲	۱/۴۹	۲/۱۰	Mn>Mg	۲۷/۳۰
۸۵	-۰/۹۷	۱/۹۵	۰/۶۹	-۳/۶۸	۱/۱۲	-۰/۳۲	-۰/۷۱	۰/۳۶	-۱/۶۷	۱/۵۳	Mn>Cu	۲۸/۱۴
۸۰	-۰/۸۹	۰/۰۷	۰/۳۷	-۳/۲۵	-۰/۴۵	۰/۲۸	۱/۳۹	۰/۱۷	-۰/۲۸	۱/۱۴	Mg	۲۶/۰۰
۸۰	-۰/۷۶	-۰/۱۰	۰/۱۷	-۱/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۰	۱/۱۳	۰/۵۷	-۰/۸۶	-۰/۸۹	Mg	۲۷/۱۴
۸۰	-۰/۳۲	۰/۶۱	۱/۴۰	-۳/۲۰	۱/۴۳	-۰/۷۳	-۱/۷۰	-۰/۴۵	-۰/۴۴	۲/۶۴	Mg>Mn>Zn	۲۸/۱۰
۸۰	-۰/۱۲	-۱/۱۵	-۰/۱۷	۰/۶۸	-۱/۵۵	۰/۲۰	۵/۱۶	۰/۷۷	-۱/۱۰	-۱/۵۷	B>P	۲۵/۶۸
۷۸	-۰/۱۴	-۰/۲۱	۰/۰۳	-۱/۵۳	-۱/۵۱	۰/۰۱	-۱/۴۴	۰/۵۵	۰/۸۳	۲/۹۶	Mg>Mn	۲۵/۹۰
۷۷	۴/۰۸	-۰/۵۷	۰/۳۸	-۰/۶۱	-۱/۱۸	۰/۰۹	-۳/۷۹	۰/۴۹	۰/۰۸	-۰/۰۴	Mn	۲۸/۱۶
۷۵	-۱/۷۲	-۱/۰۲	۱/۱۱	-۰/۵۴	-۰/۳۱	۰/۲۶	۲/۴۵	-۰/۳۵	-۰/۲۳	-۰/۵۶	N>P>Zn	۲۶/۲۶
۷۲	۱/۲۹	-۰/۶۷	۱/۱۷	۰/۱۳	۰/۹۲	-۰/۷۱	-۳/۴۰	۱/۵۱	-۱/۹۸	۳/۲۸	Mn>Cu	۲۸/۴۰
۷۱	-۱/۰۷	۲/۲۷	۰/۵۰	-۳/۳۳	۱/۶۰	۰/۴۶	-۳/۵۹	۰/۷۲	-۲/۰۳	۲/۰۵	Mn>Mg>Cu>N	۲۸/۴۳
۷۰	-۰/۵۸	-۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۷۳	-۱/۷۶	-۰/۴۵	-۱/۴۷	۱/۱۸	۱/۵۴	۱/۵۳	S>Mn	۲۶/۲۶
۷۰	۰/۲۲	۱/۳۶	۱/۰۹	-۳/۵۸	۰/۲۸	۰/۰۰	-۴/۴۴	۱/۱۳	۰/۷۳	۱/۲۷	Mn>Mg	۲۷/۷۴
۶۷	-۰/۲۴	۰/۵۰	۰/۵۳	-۱/۸۲	-۰/۴۶	-۰/۷۶	۲/۰۶	-۲/۰۷	۰/۷۰	۱/۴۲	Zn>Mg	۲۷/۰۰
۶۵	-۰/۰۵	-۰/۵۱	-۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۹۰	۰/۰۵	-۰/۵۰	-۰/۲۴	-۰/۵۹	۲/۷۴	P>Zn	۲۶/۸۴
۶۵	-۰/۰۶	۰/۱۶	-۰/۶۵	۲/۲۴	۲/۱۳	-۰/۲۵	-۵/۵۱	۰/۳۷	۰/۹۹	-۰/۴۰	Mn	۲۸/۴۶
۶۵	-۸/۲۶	۰/۷۶	۱/۰۴	-۰/۴۲	۲/۶۲	-۰/۸۵	-۲/۵۹	۲/۰۵	۱/۷۸	-۰/۳۵	N>Mn	۲۷/۱۵
۶۵	-۰/۶۴	-۰/۱۴	۱/۵۵	-۰/۳۲	۰/۶۴	۰/۱۷	-۳/۹۲	۰/۶۹	۰/۰۴	-۰/۰۴	Mn	۲۸/۰۳
۶۵	-۲/۲۷	۰/۳۳	۰/۱۳	-۳/۱۷	-۱/۱۳	۲/۲۱	-۱/۲۴	۰/۵۹	۱/۳۸	-۲/۸۳	Mg>B>N>Mn	۲۵/۲۱
۶۳	-۰/۶۹	-۰/۴۴	-۰/۱۵	-۱/۱۴	-۰/۰۸	-۰/۰۳	۲/۰۵	-۱/۰۷	۰/۵۱	-۰/۴۳	Mg>Zn>P	۲۶/۵۳
۶۲	۲/۹۴	۰/۴۳	۰/۱۰	-۲/۶۴	۰/۶۹	-۰/۳۸	-۴/۷۹	۰/۳۹	۰/۳۰	۳/۰۴	Mn>Mg	۲۷/۹۴
۶۲	-۰/۷۳	-۰/۵۰	۱/۲۶	-۰/۰۱	۰/۱۴	-۰/۷۳	-۱/۷۱	۰/۲۶	-۱/۲۶	۳/۷۲	Mn>Cu	۲۷/۸۵
۶۲	-۱/۷۵	۲/۰۳	۰/۲۰	-۵/۳۰	۱/۲۶	-۰/۳۳	-۲/۳۵	۰/۴۶	۰/۱۷	۲/۶۹	Mg>Mn>N	۲۷/۲۹



ادامه جدول ۷

عملکرد	$I_N$	$I_P$	$I_K$	$I_{Mg}$	$I_S$	$I_{Fe}$	$I_{Mn}$	$I_{Zn}$	$I_{Cu}$	$I_B$	عناصر غذایی	$r^2$
۶۰	-۱/۰۰	-۰/۱۰	-۰/۱۹	-۲/۹۶	۰/۹۱	-۰/۴۸	۳/۸۴	-۰/۷۷	-۰/۰۷	۱/۶۰	Mg>Zn	۲۶/۰۹
۶۰	۱/۳۶	-۰/۸۴	-۱/۱۳	۱/۴۶	-۱/۳۷	۰/۲۶	۱/۹۶	۱/۷۵	۰/۳۷	-۲/۰۵	B	۲۵/۸۴
۶۰	-۰/۶۴	-۰/۶۲	۱/۰۲	-۱/۳۴	-۱/۹۴	۰/۶۷	۰/۵۰	۲/۰۴	۰/۲۰	-۲/۰۷	B>S>Mg	۲۵/۸۶
۶۰	-۱/۳۶	۰/۱۱	۰/۷۲	-۲/۹۳	-۱/۰۸	۰/۴۰	۱/۶۳	-۰/۷۴	۱/۴۰	-۰/۴۹	Mg>N>S>Zn	۲۵/۷۸
۶۰	-۰/۲۳	۰/۵۱	-۰/۸۴	-۱/۶۴	-۰/۶۳	-۰/۴۶	۱/۴۴	۱/۸۶	۱/۴۳	-۱/۴۲	Mg>B>S>K	۲۶/۰۲
۶۰	-۱/۵۷	۰/۶۲	۰/۷۱	-۲/۳۴	-۰/۴۵	۰/۴۱	-۰/۹۴	-۰/۶۶	۰/۳۵	۱/۴۶	Mg>N>Mn>Zn	۲۶/۶۳
۶۰	-۰/۳۰	۱/۳۶	-۰/۳۲	-۱/۶۷	۰/۲۸	۰/۵۶	-۱/۲۲	-۲/۰۲	۰/۰۶	۲/۰۳	Zn>Mg>Mn	۲۷/۲۴
۵۹	-۰/۵۶	۰/۸۴	۱/۶۴	۰/۲۱	-۰/۲۷	-۰/۳۲	-۵/۰۳	۰/۲۷	۱/۹۳	-۰/۶۸	Mn	۲۸/۳۷
۵۹	۱/۸۶	۲/۱۴	۱/۸۳	-۴/۱۵	۱/۳۶	-۰/۴۴	-۳/۸۷	۰/۳۰	۱/۰۴	-۲/۵۹	Mg>Mn>B	۲۹/۴۸
۵۸	-۰/۸۰	-۰/۶۸	۰/۸۳	-۱/۵۲	۰/۱۵	-۰/۰۳	-۰/۶۱	-۰/۳۲	۱/۳۲	۰/۱۳	Mg>P>Zn	۲۶/۵۷
۵۶	-۲/۰۶	-۱/۰۵	۰/۱۶	-۱/۱۹	۰/۴۸	۰/۷۵	۱/۰۱	-۰/۷۱	۰/۳۸	۲/۴۴	N>Mg>P>Zn	۲۵/۴۳
۵۵	-۰/۵۸	۰/۶۵	-۱/۱۹	۰/۱۵	۲/۴۴	-۱/۲۴	۱/۶۵	-۲/۳۵	-۰/۴۹	۳/۳۱	Zn	۲۷/۸۶
۵۵	-۰/۳۴	-۰/۴۶	-۰/۲۷	-۰/۹۴	-۰/۳۸	-۰/۴۱	-۰/۶۲	۱/۰۲	۰/۹۰	-۰/۲۳	-	۲۶/۹۰
۵۴	-۰/۳۵	۰/۵۰	-۰/۰۷	-۲/۶۹	-۰/۵۸	۰/۶۴	-۱/۶۱	۲/۱۰	۰/۸۰	-۱/۱۳	Mg>Mn	۲۶/۱۹
۵۴	-۳/۸۰	۱/۵۷	۰/۶۲	-۰/۸۷	۰/۶۳	۱/۳۵	۱/۸۰	-۲/۴۴	-۲/۵۲	-۰/۷۸	N>Cu>Zn	۲۷/۶۲
۵۳	-۱/۳۴	-۰/۰۴	-۰/۱۱	-۲/۳۲	-۱/۰۸	۱/۵۳	-۱/۵۰	۰/۰۵	۰/۵۲	۱/۸۶	Mg>Mn>N	۲۵/۲۷
۵۲	-۰/۳۶	-۰/۲۵	۰/۵۵	-۰/۶۳	-۰/۶۷	۰/۲۰	-۲/۴۹	۰/۴۸	۰/۹۱	-۰/۵۲	Mn	۲۶/۸۷
۵۲	-۰/۰۹	-۰/۷۹	۰/۰۲	-۳/۱۶	۲/۰۲	-۰/۱۹	۱/۲۴	-۰/۸۰	-۰/۹۴	۴/۳۷	Mg>Zn>P	۲۶/۴۵
۵۲	-۰/۲۶	-۰/۲۶	۱/۱۱	-۲/۸۸	۰/۶۷	۰/۴۸	-۳/۲۱	-۰/۲۷	۰/۴۹	-۰/۱۶	Mn>Mg>Zn	۲۷/۴۱
۵۱	-۰/۳۴	۱/۳۹	۱/۱۴	-۵/۵۰	۰/۱۹	۰/۲۶	-۰/۸۶	-۰/۰۷	-۰/۴۴	۳/۰۶	Mg	۲۶/۹۸
۵۰	-۱/۰۴	-۰/۴۱	۰/۷۰	-۱/۰۰	۰/۸۰	-۰/۵۳	۰/۷۹	-۰/۸۳	-۰/۲۶	-۰/۶۲	N>Zn	۲۷/۳۱
۵۰	-۰/۶۷	-۰/۴۹	۲/۱۸	۲/۴۴	-۱/۸۶	۰/۱۲	-۲/۷۵	-۰/۷۳	۲/۰۷	-۲/۶۲	Mn>B>S>Zn	۲۷/۷۴
۴۸	-۱/۰۵	-۰/۷۰	۰/۸۰	-۲/۱۲	-۰/۴۰	-۰/۷۹	-۱/۴۰	۰/۹۰	۲/۱۰	-۰/۳۷	Mg>Mn>N	۲۷/۰۰
۴۷	-۰/۴۵	۱/۲۷	۰/۷۹	-۱/۱۴	۰/۰۳	۰/۱۱	-۴/۲۴	۰/۳۶	-۰/۰۶	۲/۹۹	Mn>Mg	۲۷/۷۹
۴۶	-۲/۰۲	۲/۰۷	۰/۰۸	-۲/۵۶	۱/۳۰	-۰/۰۳	-۶/۲۶	۴/۵۸	-۰/۹۵	۲/۳۹	Mn>Mg>N	۲۷/۷۸
۴۵	-۰/۸۸	-۰/۱۲	-۱/۲۸	-۱/۹۴	۰/۹۹	۰/۴۹	۲/۲۴	-۰/۱۶	-۰/۰۶	-۲/۱۶	B>Mg>K>Zn	۲۶/۴۹
۴۵	-۱/۰۵	-۰/۱۵	۱/۳۷	-۲/۷۰	-۱/۶۰	۰/۲۰	۰/۰۷	۱/۶۱	۰/۵۷	-۰/۴۷	Mg>S	۲۵/۸۶
۴۵	-۲/۴۸	۲/۱۰	-۰/۱۳	-۲/۷۹	۱/۳۷	۰/۰۰	-۰/۴۵	-۳/۱۵	-۱/۷۹	۷/۱۰	Zn>Mg>N>Cu	۲۷/۴۹
۴۴	-۱/۱۹	۱/۰۰	۰/۳۴	-۱/۵۸	۰/۴۸	-۰/۲۳	-۳/۳۷	-۰/۱۹	۱/۴۵	-۰/۲۱	Mn>Mg>N>Zn	۲۷/۶۴
۴۰	-۶/۳۰	-۰/۳۸	۱/۱۱	-۰/۱۱	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۹۰	۱/۰۷	-۰/۰۹	-۰/۵۰	N>P	۲۵/۹۵
۴۰	-۰/۷۱	-۱/۳۷	۰/۷۶	۱/۱۵	۰/۵۷	۰/۲۲	-۴/۵۸	۰/۱۱	۱/۱۹	۱/۱۴	Mn>P	۲۷/۴۰
۳۷	-۰/۱۸	-۰/۸۰	۰/۱۶	۲/۴۹	۰/۲۶	-۱/۰۴	۰/۸۷	۰/۵۵	-۰/۵۳	-۰/۹۱	P	۲۷/۵۳
۳۲	-۰/۹۱	-۰/۳۴	-۰/۴۳	-۰/۴۲	۰/۰۸	-۰/۲۸	۱/۶۱	۰/۱۰	۰/۰۷	۱/۵۶	N	۲۶/۲۳
۳۰	-۰/۵۵	-۰/۷۹	۰/۴۸	-۰/۸۱	۱/۳۱	-۰/۸۴	۰/۴۷	-۰/۱۸	۰/۱۵	۱/۳۵	P>Zn	۲۷/۳۴



شکل ۶ - رابطه بین شاخص DOP و  $r^2$  CND در چغندر قند

### نتیجه‌گیری

در روش انحراف از درصد بهینه به ترتیب عناصر منیزیم، فسفر، نیتروژن و آهن و روی بیشترین مقدار کمبود را دارا بودند و عنصر گوگرد در بیشتر مزارع دچار بیش بود بود. در روش CND، بیشترین کمبود مربوط به منیزیم و منگنز بود. بررسی‌های مزرعه‌ای هم نتایج حاصل از روش انحراف از درصد بهینه (DOP) را بیشتر تأیید می‌نماید. چراکه به دلیل عدم توجه به مصرف منیزیم و عدم وجود آیش، چغندر قند به‌عنوان یک محصول پرنیاز به منیزیم، کمبود آن در عمده مزارع منطقه بروز کرده است. اختلاف این دو روش در استان کرمانشاه تنها مربوط عناصری مانند نیتروژن، منگنز، مس و بور بود. مشاهده گردید که بین نتایج حاصل از دو روش انحراف از درصد بهینه و CND همخوانی زیادی وجود داشت و کمبودهای عناصر غذایی در این دو منطقه با واقعیت‌های میدانی در سطح مزارع هم‌خوانی داشت و به نظر می‌رسد هر دو روش قابل استفاده هستند. در مجموع نتایج نشان داد که مصرف کود در مزارع مورد آزمایش به‌شدت نامتعادل است. برای افزایش عملکرد حتماً باید مصرف کودهای پرمصرف حاوی منیزیم، نیتروژن، فسفر و کودهای کم‌مصرف (منگنز، روی) در اولویت قرار گیرد و

با توجه به اینکه منیزیم در مزارع این منطقه معمول نیست، لازم است به‌ویژه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

### پیشنهادها

۱- نتایج به‌دست‌آمده در مزارع انتخابی، بیانگر اختلاف در روش مدیریت مزارع و عدم بهینه مصرف کودهای شیمیایی و آلی است. با توجه به اینکه این تحقیق کاربردی بوده و برای افزایش عملکرد و کیفیت چغندر قند، قابل تسری است. لذا پیشنهاد می‌نماید که در برنامه کوددهی از عناصر دچار کمبود بسته به منطقه، استفاده و اولویت داده شود.

۲- نتایج حاصل از روش‌های DOP و CND، در این تحقیق در مناطق مورد مطالعه با استفاده از داده‌های منطقه‌ای و آزمایش‌های تحقیقاتی، مورد مقایسه بیشتری قرار گیرد.

۳- روش DOP، به دلیل مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی به‌ویژه منیزیم و عناصر کم‌مصرف نسبت به روش CND برتری داشت. لذا این روش می‌تواند برای ارزیابی وضعیت عناصر غذایی، تشخیص اختلالات تغذیه‌ای و بهبود توصیه‌های کودی مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. بصیرت، م.، حقیقت‌نیا، ح.، موسوی، س. م. ۱۳۹۷. ارزیابی و تعیین وضعیت تغذیه‌ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب استان فارس. نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۲، شماره ۱، ص ۱۴۳ تا ۱۵۴.
۲. بی‌نام. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی، ۹۸-۱۳۷. وزارت جهاد کشاورزی. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۹۷ ص.
۳. دزدی پور، ا.، امامی، پ.، دریا شناس، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی تعادل تغذیه‌ای در باغ‌های هلو با روش انحراف از درصد بهینه. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، دوره ۲، شماره ۱، ص ۷۹ تا ۹۴.
۴. دریا شناس، ع.، ثقفی، ک. ۱۳۹۰. تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) برای چغندر قند. نشریه علمی پژوهش‌های خاک، جلد ۲۵، شماره ۱، ص ۱ تا ۱۲.
۵. شهبازی، ک.، بشارتی، ح. ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. جلد ۱، شماره ۱، ص ۱-۱۵.
۶. لکزیان، ا.، فیضی اصل، ع.، تهرانی فر، ا.، حلاج نیا، ح.، رحمانی، پ.، پاکدل، س.، محسنی، ه.، طالبی، ا. ۱۳۹۱. تعیین نرم‌های دریس و ارزیابی تغذیه‌ای درختان چنار (*platanus Sp.*) در مشهد. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع غذایی)، جلد ۲۶، شماره ۱، ص ۳۵-۴۴.
۷. ملکوتی، م. ج.، ریاضی همدانی، ع. ح. ۱۳۷۰. کودها و حاصلخیزی خاک (نویسنده، تسیدل و تلسون). انتشارات دانشگاه تهران، ۵۹۸ ص.
8. Bertrand, I., Holloway, C. R. E., Armstrong, R. D., and McLaughlin, M. J. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 41: 61-76.
9. Bingham, F.T. 1982. Boron. In: Page, A.L., Ed., *Methods of soil Analysis Part-2 Chemical and Mineralogical Properties*, American Society of Agronomy, Madison, 431-448.
10. Black, C. A., Evans, D. D., and Dinauer, R. C. 1965. *Methods of Soil Analysis*. Am. Soc. Agron. Madison, WI. Vol. 9, Pp. 653-708.
11. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*. 154(5): 464-465.
12. Brady, N. C., and Weil, R. R. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 14<sup>th</sup> Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
13. Brakke, F.H., and Salih, N. 2002. Reliability of foliar analyses of Norway Spruce stands in a Nordic Gradient. *Silva Fennica*, 36: 489-504.
14. Buresh, R. J., Austin, E. R., and Craswell, E. T. 1982. Analytical methods in N-15 research. *Fertilizer Research*. 3: 37-62.
15. Fageria, N.K., Baligar, V.C., and Jones, C. A. 1991. *Growth and mineral nutrition of field crop*. Marcel Dekker, New York.
16. 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 America Journal*. Proc. 21: 287-292.
17. Jimenez, S.J., Pinochet, Y., Gogorcena, J.A., and Betran, M.A.M. 2007. Influence of different vigour cherry rootstocks on leaves and shoots mineral composition. *Science of Horticulture*. 112: 73-79.

18. Jones, J. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, LLC. USA.
19. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001a. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. *Agronomy Journal*. 93: 809-814.
20. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001b. The Phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agronomy Journal*. 93: 815-819.
21. Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001c. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal*. 93: 802-808.
22. Knudsen, D., Peterson, G.A., and P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium, and potassium. Pp. 225-246. In Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds). *Method of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America. Book Ser. 5. Madison, WI, USA.
23. Hanway, J. J., and Heidel, H. 1952. Soil analysis methods as used in Iowa state college soil testing laboratory. *Iowa Agric*. 57:1-13.
24. 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.
25. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press. San Diego, USA, 880p.
26. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. Pp. 199-224. In Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 5. Madison, WI, USA.
27. Montanes, L., Heras, L., Abadia, J., and Sanz, M. 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage. *Journal of Plant Nutrition*. 16: 1289-1308.
28. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939 US Gover. Prin. Office, Washington DC.
29. Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. 1982. Chemical and microbiological properties. In *Methods of soil analysis, Part 2, No. 9, Second ed.*, 443-44. Madison, WI: American Society of Agronomy.
30. Parent, L.E., and Dafir, M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *American Society for Horticultural Science*. 117: 239-242.
31. Parent, L.E., and Khiari, L. 2003. The compositional nutrient diagnosis of onions. xxxvi international horticultural congress: Toward ecologically sound fertilization strategies for field vegetable production. <http://www.actahort.org>.
32. Parent, L.E., Cambouris, A.N., and Muhawenimana, A. 1994. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. *Soil Science Society of America Journal*. 58: 1432-1438.
33. Pereira, B.F., Stoffella, P.J., and Melfi, A.J. 2011. Reclaimed wastewater: Effects on citrus nutrition. *Journal of Agricultural and Water Management*. 98: 1828-1833.
34. Quin, B. F., and Wood, P. H. 1976. Rapid manual determination of sulfur and phosphorous in plant material. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 7(4): 415-425.
35. Ryan, J.R., Stefan, G., and Rashid, A. 2001. *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual* (2<sup>nd</sup> ed). ICARDA. Aleppo, Syria, PP.172.
36. Salih, N., and Andderson, F. 1999. Nutritional status of a Norway spruce stand in SW Sweden in response to compensatory fertilization. *Plant and Soil*. 209: 85-100.
37. Sharma J., Shikhamany, S.D., Singh, R. K., and Raghupathi, H.B. 2005. Diagnosis of nutrient imbalance in Thompson seedless grape grafted on Dog Ridge rootstock by DRIS common. *Soil Science and Plant Analysis*. 36: 2823-2838.

38. 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 Sci.* 37: 1. 29-38.
39. Walworth, J.L., and Sumner, M.E. 1987. The Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6:149-188.
40. Westerman, R. L. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. 3<sup>rd</sup> edition. Soil Sci Soc. Am, Inc. Madison, Wisconsin, U. S. A.



# اثر برگ‌پاشی عناصر روی و آهن بر عملکرد ذرت دانه‌ای و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش آبی

مجتبی افشاری\* و احمد نادری

گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

afshari.sci@gmail.com

دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.

naderi.ah1336@gmail.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۲ و پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۷

## چکیده

به منظور ارزیابی اثر آهن و روی بر عملکرد ذرت دانه‌ای و سهم فتوسنتز جاری و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش آب، این پژوهش طی دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۷) در مزرعه پژوهشی واقع در شمال غرب اهواز به اجرا درآمد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل عامل تنش آبی در سه سطح شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه، و کرت‌های فرعی شامل برگ‌پاشی سولفات روی در سه غلظت (۰، ۰/۵٪ و ۱٪) و کرت‌های فرعی شامل برگ‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت (۰، ۰/۳٪ و ۰/۶٪) بود. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه باعث کاهش معنی‌دار ( $P < 1\%$ ) عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میزان فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری شد؛ اما میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در این تیمار بیشترین میزان بود. وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه نسبت به آبیاری کامل ۲۶/۹٪ کاهش داشت. بیشترین عملکرد بیولوژیک و سهم فتوسنتز جاری با برگ‌پاشی سولفات آهن حاصل شد. برگ‌پاشی با غلظت ۱٪ سولفات روی در تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی به صورت معنی‌دار منجر به افزایش ۳۳/۷٪ عملکرد دانه، ۷/۶٪ سهم فتوسنتز جاری و کاهش سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای گردید. بیشترین عملکردهای دانه (۷۰۶۲ کیلوگرم در هکتار و ۶۷۳۵ کیلوگرم در هکتار) و میزان فتوسنتز جاری (۵۳۶/۶ گرم در مترمربع) در برگ‌پاشی با غلظت ۱٪ سولفات روی و ۰/۶٪ سولفات آهن حاصل گردید. به طور کلی، تنش آب منجر به کاهش سهم فتوسنتز جاری و در نتیجه کاهش عملکرد دانه هیبرید ۷۰۴ ذرت گردید که این کاهش را می‌توان با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱٪ و سولفات آهن با غلظت ۰/۶٪ تا حدودی جبران نمود. واژه‌های کلیدی: آسمیلات، سولفات آهن، سولفات روی، فتوسنتز جاری، تنش آب

## مقدمه

ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که اهمیت زیادی در تغذیه انسان، دام، طیور و صنعت دارد. سهم ذرت در تأمین غذای انسان ۲۰ تا ۲۵ درصد، در خوراک دام و طیور ۶۰ تا ۷۵ درصد و در ماده اولیه فرآورده‌های صنعتی پنج درصد است. نیاز کشور به ذرت حدود ۳/۷ تا چهار میلیون تن در سال است که ۲/۲ میلیون تن در داخل تولید می‌شود و حدود ۱/۵ میلیون تن از طریق واردات تأمین می‌شود (معیری، ۱۳۹۹).

تنش آب یک عامل محدودکننده رشد و تولید در بیش از ۳۰ درصد مناطق زیر کشت در دنیا است (صبوری و همکاران، ۲۰۱۸). علت کاهش عملکرد دانه ذرت در شرایط نامطلوب آبی، کاهش اجزای عملکرد یعنی تعداد دانه در بلال و وزن دانه است. مصادف شدن مراحل تعیین‌کننده تعداد دانه با کم‌آبی، تأخیر در گرده‌افشانی و ظهور ابریشم، افزایش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (سوزا و همکاران، ۲۰۱۳)، کاهش توانایی پخش دانه‌های گرده، کم شدن قدرت پذیرش ابریشم‌ها برای دانه گرده، افزایش احتمال سقط تخمک‌های بارور شده به دلیل عدم دسترسی به مواد پرورده کافی، کاهش ذخیره مواد فتوسنتزی در بافت ساقه، کاهش انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها و کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه (جی و همکاران، ۲۰۱۲)، عواملی هستند که برای کاهش تعداد دانه‌ها در ذرت در اثر تنش آب است. در شرایط دشوار محیطی مقدار و سرعت انتقال مواد ذخیره‌ای یا آسمیلات‌های حاصل از فتوسنتز به سرعت پاسخ گیاه و دریافت محرک‌های محیطی، کارایی سیستم آنزیمی هورمونی و آوندی گیاه بستگی داشته و برآیند برهم‌کنش این عوامل از طریق سرعت و مدت پر شدن دانه نقش کلیدی در پایداری عملکرد دانه ایفا می‌نماید (دوس سانتوس و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به اینکه دسترسی عناصر غذایی و جذب آن‌ها در محیط ریشه، تحت تنش آبی محدود می‌شود، بنابراین اخیراً برگ‌پاشی عناصر غذایی مورد توجه قرار گرفته است (پاروایز، ۲۰۱۶).

روی یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. عنصر روی در فعالیت‌های آنزیم‌های گیاهی و بر ویژگی‌های مختلف رشد ذرت نقش اساسی دارد و بروز ضعف عمومی در رشد و ایجاد پاکوتاهی از علائم کمبود این عنصر است (راکر و همکاران، ۲۰۱۳). اگرچه نیاز گیاهان به روی اندک است، ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سامانه‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد (جرفی و همکاران، ۲۰۲۲a). در یک مطالعه، بررسی اثر برهم‌کنش کاربرد سولفات روی و روش‌های آبیاری در ذرت نشان داد که کاربرد سولفات روی در مرحله ۷ و ۱۱ برگی باعث کاهش افت عملکرد حاصل از تنش ۱۵ و ۲۰ روز دور آبیاری گردید (فرنیا و خدایی‌وندی، ۲۰۱۵). همچنین در آزمایشی دیگر، برگ‌پاشی سولفات روی در دو مرحله ۵ و ۱۰ برگی باعث افزایش شاخص‌های عملکرد و رشد در ذرت دانه‌ای گردید (ساندرز و شاو، ۲۰۱۴). کمبود آهن از دیگر اختلالات تغذیه‌ای شایع در بین گیاهان عالی که در خاک‌های آهنی و قلیایی رشد می‌کنند، است، زیرا دامنه مطلوب pH در جذب آهن خاک حدود ۵ تا ۵/۵ است (بوجویک و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین، اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهنی از طریق برگ‌پاشی سولفات آهن یا برگ‌پاشی کلات آهن می‌تواند کاراتر از کاربرد خاکی کودهای حاوی آهن باشد (ژائو و همکاران، ۲۰۲۱). در یک بررسی، افزایش دور آبیاری از ۷ روز به ۲۱ روز منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال و عملکرد بیولوژیک شد و برگ‌پاشی آهن و روی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال و عملکرد بیولوژیکی گردید. همچنین، بالاترین وزن صد دانه و عملکرد دانه در شرایط عدم تنش (دور آبیاری هر هفت روز یک‌بار) و همراه با برگ‌پاشی آهن و روی حاصل شد (فرنیا و خدایی‌وندی، ۲۰۱۵). نظر به جایگاه ارزشمند عناصر کم‌مصرف در کنترل آثار نامطلوب تنش‌های محیطی و نیز اهمیت بررسی سهم فتوسنتز جاری و



توزیع مجدد مواد فتوستتزی در شرایط تنش آب، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کاربرد عناصر آهن و روی بر سهم فتوستتزی جاری و توزیع مجدد مواد فتوستتزی هیبرید ۷۰۴ ذرت در شرایط تنش رطوبتی اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر آهن و روی بر عملکرد دانه و سهم فتوستتزی جاری و توزیع مجدد مواد فتوستتزی در ذرت دانه‌ای در شرایط تنش آب، این پژوهش طی دو سال زراعی (۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹) در مزرعه آزمایشی شهید سالمی واقع در شمال غرب اهواز به اجرا درآمد. محل آزمایش واقع در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا بود. بر اساس طبقه‌بندی دامارتن که متکی به دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دما است، شهرستان اهواز در گروه اقلیم خشک (Arid climate) قرار دارد. اقلیم خشک برای مناطقی به کار می‌رود که میزان ریزش‌های جوی در آنجا کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال باشد و یا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بیش از بارش باشد (ثابت‌قدم حقیقی، ۱۳۹۱).

آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل عامل تنش کم‌آبی در سه سطح شامل

آبیاری کامل (شاهد) (بر اساس تأمین نیاز آبی گیاه با استفاده از داده‌های تشت تبخیر کلاس A)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگه) و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه، کرت‌های فرعی دربرگیرنده برگ‌پاشی سولفات روی در سه غلظت (۰، ۵ در هزار (۰/۵ درصد) و ۱۰ در هزار (یک درصد)) و کرت‌های فرعی شامل برگ‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت (۰، ۳ در هزار (۰/۳ درصد) و شش در هزار (۰/۶ درصد)) بودند. اعمال تیمار تنش آب مختص به مراحل رشد رویشی و ابتدای رشد دانه بوده و پس‌از آن تا پایان دوره رشد، نیاز آبی گیاه تأمین شد. قبل از کشت، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره یک ارائه شده است. رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک قطعه آزمایشی به ترتیب ۲۳/۴ و ۱۲/۷ درصد جرمی بود. هر کرت شامل شش خط کاشت به فواصل ۷۵ سانتی‌متر و به طول هفت متر بود. کودهای شیمیایی شامل نیتروژن خالص به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بوده که نیمی از آن به‌صورت پایه و نیمی دیگر به‌صورت سرک در مرحله شش تا هشت برگه استفاده شد. همچنین به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌صورت پیش‌کاشت استفاده گردید (دهقانپور، ۱۳۹۳).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه آزمایشی در سال ۱۳۹۷

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	کربن آلی (درصد)	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰-۳۰	لومی رسی	۰/۷۶	۷/۴	۲/۵	۰/۰۵	۷/۲	۲۶۴	۰/۴۴	۱۰/۱
۳۰-۶۰	لومی رسی	۰/۵۲	۷/۷	۱/۲	۰/۰۴	۶/۴	۲۱۷	۰/۳۰	۹/۸

در این پژوهش از بذر ذرت هیبرید ۷۰۴ که از جمله هیبریدهای میان‌رس است، استفاده گردید. این هیبرید با قدرت سازگاری بسیار خوب است و در سطح وسیعی از شرایط آب و هوایی کشت می‌گردد. فرم دانه آن

دندان اسبی، رنگ‌دانه زرد و رنگ چوب بلال قرمز است. این هیبرید در طبقه‌بندی سازمان فائو در گروه ۷۰۰ قرار می‌گیرد و زمان لازم از کاشت تا برداشت آن حدود ۱۴۰-۱۳۵ روز است (جرفی، ۱۳۹۲). کشت بذر به‌صورت ردیفی

در دو سال زراعی در پنجم مردادماه صورت گرفت. بذرها به‌صورت کپه‌ای در عمق ۳-۵ سانتی‌متری کشت شدند. بوته‌های اضافی در مرحله ۴-۲ برگی تنک گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و سپس تا مرحله استقرار کامل گیاهچه‌ها (چهار تا پنج برگی) آبیاری‌ها به‌صورت معمول و بر اساس نیاز آبی گیاه و با استفاده از داده‌های تشت تبخیر کلاس A انجام گرفت. دور آبیاری در ابتدای دوره رشدی و مرحله رشد رویشی هر ۳-۵ روز یک‌بار بود. پس از گلدهی و آغاز دانه‌بندی، هر ۱۰ روز یک‌بار بر اساس شرایط آب و هوایی و نیاز آبی گیاه (داده‌های حاصل از تشت تبخیر کلاس A) آبیاری صورت گرفت. تیمارهای مربوط به تنش آب شامل قطع یک مرحله‌ای آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگی) و قطع یک مرحله‌ای آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه بود. تعداد آبیاری در تیمار آبیاری کامل (شاهد) ۱۲ مرتبه بود و در هر یک از تیمارهای قطع آبیاری ۱۱ مرتبه آبیاری از ابتدا تا پایان دوره رشدی آبیاری انجام شد. در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و کنترل شیمیایی با علف‌کش نیکوسولفورون با غلظت ۲ لیتر در هکتار انجام شد. برگ‌پاشی هر یک از عناصر آهن و روی با غلظت‌های تعیین‌شده با استفاده از سم‌پاش بعد از کالیبره کردن با فشار یک اتمسفر در دو زمان در مرحله شش تا هشت برگی و در مرحله دوازده برگی انجام گردید. برگ-پاشی عناصر آهن و روی به‌صورت جداگانه و از منابع سولفات آهن ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) و سولفات روی ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) بود. برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و با رطوبت دانه حدود ۲۰ درصد انجام شد.

رابطه ۱-

صفات موردبررسی در این آزمایش شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، میزان فتوسنتز جاری، سهم فتوسنتز جاری و سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی بود. پس از حذف دو خط حاشیه هر کرت، از خطوط وسط جهت مقایسه عملکرد به‌صورت کف برداشت گردید. پس از جداسازی دانه‌ها از بلال‌های هر کرت آزمایشی، دانه‌های برداشت‌شده با ترازوی دقیق توزین شده و به‌این‌ترتیب عملکرد دانه محاسبه گردید (توکلی اوجانی و همکاران، ۱۳۹۸). برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه از هر کرت دو نمونه ۵۰۰ عددی بذر به‌صورت تصادفی انتخاب شد. پس از محاسبه، در صورتی که اختلاف دو نمونه کم‌تر از ۶ درصد بود، مجموع وزن هزار دانه دو نمونه به‌عنوان مقادیر این صفت برای آن کرت در نظر گرفته شد. شمارش دانه‌ها با دست و محاسبه وزن نمونه‌ها از طریق ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم بود (کوچک زاده و همکاران، ۱۳۹۷). جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از محاسبه وزن خشک برگ و ساقه با تجمع آن‌ها با وزن خشک دانه میزان عملکرد بیولوژیک هر کرت تعیین شد. میزان و سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای و فتوسنتز جاری با استفاده از روابط زیر به دست آمد (علوی فاضل، ۱۳۹۴). بر این اساس هفت روز پس از ابریشم‌دهی، از هر کرت، پس از حذف حواشی، پنج بوته برداشت و وزن خشک کل آن‌ها محاسبه گردید. در پایان دوره رشدی نیز عملکرد دانه و وزن خشک اندام-های رویشی محاسبه شد.

- وزن خشک اندام‌های رویشی در ابتدای قهوه‌ای شدن ابریشم‌ها = میزان توزیع مجدد

وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی

رابطه ۲-

$100 \times (\text{عملکرد دانه} \div \text{توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای}) = \text{سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در دانه}$

رابطه ۳-

میزان توزیع مجدد - عملکرد دانه = میزان فتوسنتز جاری

سهم توزیع مجدد مواد ذخیره ای - 100 = سهم فتوستتزر جاری (درصد)

### عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب (جدول ۲) نشان داد عملکرد دانه تحت تأثیر اثر تنش آب (S)، برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل S×Zn، Zn×Y و Zn×Fe در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل S×Fe در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. برگ‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به غلظت پنج در هزار سولفات روی افزایش داد. بیشترین مقادیر این صفت در آبیاری کامل با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۷۰۶۲/۰۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید که نسبت به عدم برگ‌پاشی در همین شرایط آبیاری میزان عملکرد دانه ۳۲/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

در روابط فوق عملکرد دانه، میزان فتوستتزر جاری و توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، وزن خشک اندام‌های رویشی در ابتدای قهوه‌ای شدن ابریشم‌ها و در مرحله رسیدگی برحسب گرم در مترمربع و سهم فتوستتزر جاری و توزیع مجدد برحسب درصد محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این بررسی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver. 9.12) اندازه‌گیری و مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید.

### نتایج و بحث

قبل از تجزیه مرکب داده‌های دو سال، آزمون بارتلت انجام شد. بر اساس نتایج آزمون بارتلت، واریانس صفاتی نظیر عملکرد بیولوژیکی و سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای همگن نبودند؛ بنابراین تجزیه واریانس این صفات به‌صورت جداگانه در هر سال انجام شد. برای صفاتی نظیر عملکرد دانه، میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، میزان فتوستتزر جاری و سهم فتوستتزر جاری به علت همگن بودن واریانس‌ها، تجزیه مرکب صورت گرفت.

جدول ۲- نتایج تجزیه مرکب صفات فیزیولوژیکی و عملکردی هیبرید ذرت ۷۰۴

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای	میزان فتوسنتز جاری	سهم فتوسنتز جاری
سال (Y)	۱	۱۰۹۷۵/۶۶ <sup>ns</sup>	۱۸۸۶/۳۴ <sup>ns</sup>	۳۴۵/۲۵ <sup>ns</sup>	۶۸۳/۱۶ <sup>ns</sup>	۱۵/۹۳ <sup>ns</sup>
تکرار × سال	۴	۱۸۰۷۰۰/۴۸	۳۵۶/۵۹	۱۵۹/۷۶	۱۲۶۴/۶۲	۱/۱
تنش آب (S)	۲	۴۳۹۵۰۵۶۰/۶۲ <sup>**</sup>	۶۱۲۵۲/۹۹ <sup>**</sup>	۵۸۱۵۴/۶۶ <sup>**</sup>	۵۲۳۳۱۸/۷۸ <sup>**</sup>	۴۱۹۷/۲۵ <sup>**</sup>
S × Y	۲	۹۳۰۶۵۸/۱۲ <sup>**</sup>	۱۱/۲۴ <sup>ns</sup>	۶۶/۴۹ <sup>ns</sup>	۸۰۷۱/۴۲ <sup>*</sup>	۱۱/۲ <sup>ns</sup>
خطای اصلی	۸	۱۰۸۴۵۳/۰۹	۵۵/۱۱	۵۴/۸	۱۲۳۰/۳۲	۶/۷۱
عنصر روی (Zn)	۲	۴۹۲۲۴۳۹۱/۳۶ <sup>**</sup>	۲۲۷۱/۶۱ <sup>**</sup>	۲۵۶/۳۹ <sup>ns</sup>	۴۷۰۰۹۴/۳۵ <sup>**</sup>	۱۰۷۵/۲۳۳ <sup>**</sup>
S × Zn	۴	۴۰۲۱۵۳/۴ <sup>**</sup>	۱۲۲/۸۱ <sup>ns</sup>	۳/۷۱ <sup>ns</sup>	۳۸۰۶/۱۷ <sup>**</sup>	۸۴/۵۷ <sup>**</sup>
Zn × Y	۲	۷۲۳۸۷۵/۲۹ <sup>**</sup>	۲/۳۹ <sup>ns</sup>	۱۱/۶۱ <sup>ns</sup>	۷۱۲۲/۷۸ <sup>**</sup>	۱۷/۴ <sup>ns</sup>
S × Zn × Y	۴	۱۶۸۴۷۳/۷۸ <sup>ns</sup>	۵۸/۹۵ <sup>ns</sup>	۵/۴۳ <sup>ns</sup>	۱۵۵۴/۸۸ <sup>ns</sup>	۸/۲۸ <sup>ns</sup>
خطای فرعی	۲۴	۹۸۷۶۲/۱۷	۶۴	۱۲۵/۰۶	۹۴۳/۸۵	۵/۶۲
عنصر آهن (Fe)	۲	۱۳۳۳۴۳۴۳/۷۹ <sup>**</sup>	۶۳۷/۲۶ <sup>**</sup>	۱۴۶/۶۳ <sup>ns</sup>	۱۲۴۶۷۹/۸۲ <sup>**</sup>	۱۹۷/۴۲ <sup>**</sup>
S × Fe	۴	۲۶۳۰۵۰/۱ <sup>*</sup>	۲۰/۷۵ <sup>ns</sup>	۴/۵۳ <sup>ns</sup>	۲۵۵۲/۲۴ <sup>*</sup>	۶/۳۳ <sup>ns</sup>
Zn × Fe	۴	۶۹۹۳۷۸/۷۲ <sup>**</sup>	۳۸/۵۶ <sup>ns</sup>	۷/۰۳ <sup>ns</sup>	۶۶۶۳/۷۲ <sup>**</sup>	۷/۴۵ <sup>ns</sup>
S × Zn × Fe	۸	۶۸۴۰۸/۹۹ <sup>ns</sup>	۲/۹۵ <sup>ns</sup>	۶/۳۳ <sup>ns</sup>	۶۹۹/۲۵ <sup>ns</sup>	۳/۸۳ <sup>ns</sup>
Fe × Y	۲	۱۱۰۰۵۵/۹۱ <sup>ns</sup>	۶/۸۴ <sup>ns</sup>	۱۹/۵۴ <sup>ns</sup>	۸۳۵/۷۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۵ <sup>ns</sup>
S × Fe × Y	۴	۴۷۲۲۷/۹۶ <sup>ns</sup>	۹/۲۹ <sup>ns</sup>	۹/۵ <sup>ns</sup>	۴۵۵/۱۹ <sup>ns</sup>	۱/۴۱ <sup>ns</sup>
Zn × Fe × Y	۴	۱۸۰۴۰۳/۹۴ <sup>ns</sup>	۱/۴۸ <sup>ns</sup>	۱۰/۹ <sup>ns</sup>	۱۵۸۱/۷ <sup>ns</sup>	۱/۹۱ <sup>ns</sup>
S × Zn × Fe × Y	۸	۹۲۶۲۴/۱۱ <sup>ns</sup>	۷/۱۱ <sup>ns</sup>	۳/۴ <sup>ns</sup>	۹۰۵/۶۶ <sup>ns</sup>	۲/۹ <sup>ns</sup>
خطای فرعی فرعی	۷۲	۸۵۵۳۵/۵	۶۷/۴۹	۱۰۲/۳۵	۹۶۶/۴	۷/۶
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۷۸	۴/۵۶	۸/۳۷	۷/۴۹	۴/۱۷

ns: معنی‌دار نیست. \* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و برگ پاشی سولفات روی بر صفات مورد بررسی

سطوح آبیاری	برگ پاشی سولفات روی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	میزان فتوسنتز جاری (گرم در مترمربع)	سهم فتوسنتز جاری (درصد)
آبیاری کامل	۰	۵۳۲۸e	۳۹۹d	۷۴/۷d
آبیاری کامل	۵ در هزار	۶۴۸۸b	۵۱۲b	۷۸/۷c
آبیاری کامل	۱۰ در هزار	۷۰۶۲a	۵۶۸/۶a	۸۰/۴b
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۰	۳۹۶۱g	۳۱۱/۹f	۷۸/۶c
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۵ در هزار	۵۶۶۸d	۴۷۸/۳c	۸۴/۲a
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۱۰ در هزار	۵۹۸۰c	۵۰۹/۳b	۸۵/۱a
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۰	۳۵۰۶h	۲۰۳/۳g	۵۷/۸g
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۵ در هزار	۴۷۳۲f	۳۲۳/۳f	۶۷/۸f
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۱۰ در هزار	۵۲۷۰e	۳۷۵/۸e	۷۱/۱e

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و برگ‌پاشی سولفات آهن بر صفات موردبررسی در دو سال زراعی

میزان فتوسنتز جاری (گرم در مترمربع)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تیمارهای آزمایشی
۴۲۷/۷d	۵۶۱۶c	•
۵۱۵/۵b	۶۵۲۵b	سه در هزار
۵۳۶/۳a	۶۷۳۵a	شش در هزار
۳۷۷/۱e	۴۶۲۳f	•
۴۵۳/۰c	۵۴۰۵d	سه در هزار
۴۶۹/۲c	۵۵۸۰cd	شش در هزار
۲۶۰/۷h	۴۰۸۶g	•
۳۰۴/۶g	۴۵۴۷f	سه در هزار
۳۳۷/۰f	۴۸۷۳e	شش در هزار

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۶۷۳۵/۰۷) کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر  $Zn \times Fe$  بیانگر آن بود که برگ‌پاشی روی و آهن منجر به افزایش معنی‌داری عملکرد دانه گردید. بیشترین میزان این صفت در شرایط برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۶۴۴۸/۶۵) کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۵)

در بررسی اثر متقابل  $S \times Fe$ ، قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید و برگ‌پاشی سولفات آهن در شرایط عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل با برگ‌پاشی

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی سولفات روی و آهن بر صفات موردبررسی در دو سال زراعی

میزان فتوسنتز جاری (گرم در مترمربع)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تیمارهای آزمایشی	
			برگ‌پاشی سولفات آهن	برگ‌پاشی سولفات روی
تجزیه مرکب	سال اول	تجزیه مرکب		
۲۶۹/۳f	۱۰۴۶۶d	۳۹۰۰g	•	•
۳۱۶/۲e	۱۰۲۰۷d	۴۳۸۵f	سه در هزار	•
۳۲۸/۶e	۱۰۶۵۶d	۴۵۱۰f	شش در هزار	•
۳۶۲/۵d	۱۲۳۸۲c	۴۸۵۳e	•	۵ در هزار
۴۵۴/۷b	۱۳۵۶۶ab	۵۸۰۴c	سه در هزار	۵ در هزار
۴۹۶/۴a	۱۳۷۶۷ab	۶۲۳۰b	شش در هزار	۵ در هزار
۴۳۳/۸c	۱۳۲۸۹bc	۵۵۷۳d	•	۱۰ در هزار
۵۰۲/۳a	۱۴۳۷۵a	۶۲۹۱ab	سه در هزار	۱۰ در هزار
۵۱۷/۶a	۱۳۰۰۱bc	۶۴۴۹a	شش در هزار	۱۰ در هزار

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس صفات سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی و عملکرد بیولوژیکی هیبرید ۷۰۴ ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیکی		سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تکرار	۲	۵۹۷۳۰۷/۳ <sup>ns</sup>	۸۴۳۴۷۴/۴۹ <sup>ns</sup>	۰/۴۸ <sup>ns</sup>	۱/۷۳ <sup>ns</sup>
تنش آب (S)	۲	۱۶۷۵۹۰۴۴/۲ <sup>**</sup>	۱۷۹۵۸۹۶۹/۰۳ <sup>**</sup>	۱۹۸۹/۷۶ <sup>**</sup>	۲۲۱۸/۶۸ <sup>**</sup>
خطای اصلی	۴	۷۹۹۸۰۷/۶	۴۴۷۶۳۳/۹۷	۷/۰۳	۶/۴
عنصر روی (Zn)	۲	۷۹۱۸۸۱۹۰ <sup>**</sup>	۳۵۰۴۲۳۴۹/۱۹ <sup>**</sup>	۶۲۳/۶۷ <sup>**</sup>	۴۶۸/۸۹ <sup>**</sup>
S×Zn	۴	۶۸۶۸۰۶/۴ <sup>ns</sup>	۲۱۹۶۰۰۴/۰۷ <sup>ns</sup>	۶۸/۴۴ <sup>**</sup>	۲۴/۴۶ <sup>**</sup>
خطای فرعی	۱۲	۱۲۸۹۵۴۸	۸۷۶۹۷۹/۶۴	۶/۷۳	۴/۵۱
عنصر آهن (Fe)	۲	۳۱۱۵۴۳۴/۲ <sup>*</sup>	۴۹۵۱۸۳۶ <sup>**</sup>	۹۷/۷۱ <sup>**</sup>	۹۹/۷۶ <sup>**</sup>
S×Fe	۴	۱۶۲۸۰۸۰/۷ <sup>ns</sup>	۷۰۱۹۳۷/۴۷ <sup>ns</sup>	۴/۷۶ <sup>ns</sup>	۲/۹۹ <sup>ns</sup>
Zn×Fe	۴	۳۵۵۵۸۲۵/۴ <sup>**</sup>	۵۳۱۱۹۰/۳۹ <sup>ns</sup>	۷/۵ <sup>ns</sup>	۱/۸۷ <sup>ns</sup>
S×Zn×Fe	۸	۷۳۱۸۶۵/۱ <sup>ns</sup>	۵۲۹۰۸۳/۰۴ <sup>ns</sup>	۴/۲۸ <sup>ns</sup>	۲/۴۷ <sup>ns</sup>
خطای فرعی فرعی	۳۶	۹۷۵۵۰۴/۵	۵۳۹۸۶۰/۵	۶/۶۲	۸/۴۸
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۱۹	۷/۷۲	۱۱/۴۷	۱۲/۳۶

ns: معنی‌دار نیست. \* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات موردبررسی

میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای (گرم در مترمربع)		سطوح آبیاری
	۱۳۴/۸c	آبیاری کامل
	۱۳۹/۶b	قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی
	۱۴۹/۵a	قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه
عملکرد بیولوژیکی سال دوم (کیلوگرم در هکتار)		سطوح برگ‌پاشی سولفات روی
وزن هزار دانه (گرم)	۱۰۰۱۹c	۰
	۱۱۰۳۴b	۵ در هزار
	۱۲۲۹۳a	۱۰ در هزار

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

### عملکرد بیولوژیکی

افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید (جدول ۷). برگ‌پاشی سولفات آهن نیز منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در سال دوم آزمایش گردید. اما بین دو غلظت ۳ و ۶ در هزار سولفات آهن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). بررسی نتایج برهم‌کنش Zn×Fe در سال اول آزمایش بیانگر آن بود که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در شرایط برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۱۴۳۷۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که با برگ‌پاشی

نتایج سال اول نشان داد که اثر تنش آب (S)، برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و اثر متقابل Zn×Fe در سطح احتمال یک درصد و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار گردید. در سال دوم عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اثر S، Zn و Fe در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). در سال دوم برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (با میانگین ۱۲۲۹۳ کیلوگرم در هکتار) منجر به

### میزان فتوستتزر جاری

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تنش آب (S) و همچنین برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و برگ-پاشی سولفات آهن (Fe) و نیز اثر متقابل  $S \times Y$  در سطح احتمال پنج درصد و  $Zn \times Y$ ,  $S \times Zn$ ,  $S \times Fe$  و  $Zn \times Fe$  در سطح احتمال یک درصد بر میزان فتوستتزر جاری معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ( $S \times Zn$ ) نشان داد، برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار در تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار میزان فتوستتزر جاری گردید. بیشترین میزان این صفت در آبیاری کامل با برگ-پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۵۶۸/۶) گرم در مترمربع) حاصل گردید که نسبت به عدم برگ‌پاشی در همین سطح آبیاری میزان فتوستتزر جاری ۴۲/۵۱ درصد افزایش یافت. کمترین میزان این صفت در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات روی (۲۰۳/۳) گرم در مترمربع) حاصل گردید (جدول ۳) بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل  $S \times Fe$  برگ‌پاشی سولفات آهن در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار میزان فتوستتزر جاری گردید. بیشترین میزان فتوستتزر جاری در آبیاری کامل با برگ‌پاشی سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۵۳۶/۶) گرم در مترمربع) حاصل شد. کمترین میزان این صفت در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات آهن (۲۶۰/۷) گرم در مترمربع) حاصل گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل  $Zn \times Fe$  بیانگر آن بود که برگ-پاشی روی و آهن منجر به افزایش معنی‌دار میزان فتوستتزر جاری گردید. بیشترین میزان این صفت در شرایط برگ-پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت‌های سه و شش در هزار، برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت پنج در هزار و سولفات آهن با غلظت‌های شش در هزار حاصل شد و کمترین میزان این صفت در شرایط عدم برگ‌پاشی روی و آهن حاصل گردید (جدول ۵).

سولفات روی با غلظت پنج در هزار و سولفات آهن با غلظت‌های سه و شش در هزار اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط عدم برگ‌پاشی سولفات روی، برگ‌پاشی و عدم برگ‌پاشی سولفات آهن اثر معنی‌دار بر این صفت نداشت و عملکرد بیولوژیک در این شرایط کمترین میزان بود (جدول ۵).

### وزن هزار دانه

بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثر تنش آب (S)، برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۲). برگ‌پاشی سولفات روی و آهن منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. بین دو غلظت ۵ و ۱۰ در هزار سولفات روی از نظر وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، باین‌حال بیشترین میانگین این صفت به غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی تعلق گرفت (جدول ۷). بیشترین وزن هزار دانه در تیمار برگ‌پاشی سولفات آهن با غلظت سه و شش در هزار به ترتیب با میانگین ۱۹۲/۴۹ و ۱۹۴/۴۷ گرم حاصل گردید که با تیمار عدم کاربرد سولفات آهن تفاوت معنی‌دار آماری نشان داد (جدول ۸).

### میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای

بر اساس نتایج تجزیه مرکب فقط اثر تنش آب (S) در سطح احتمال یک درصد بر میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای معنی‌دار گردید (جدول ۲). میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین مقادیر این صفت با میانگین ۱۴۹/۵ گرم در مترمربع به تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه اختصاص یافت که نسبت به تیمار آبیاری کامل ۹/۸ درصد افزایش داشت (جدول ۷).

سهم فتوسنتز جاری

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که سهم فتوسنتز جاری تحت تأثیر اثر تنش آب، برگ‌پاشی سولفات روی و برگ‌پاشی سولفات آهن و اثر متقابل تنش آب و برگ‌پاشی سولفات روی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). سهم فتوسنتز جاری با برگ‌پاشی سولفات آهن افزایش معنی‌داری یافت، اما بین دو غلظت سه و شش در هزار سولفات آهن از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). در بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و عنصر روی، برگ‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار سهم فتوسنتز جاری گردید. بیشترین میزان این صفت در قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی همراه با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۵ و ۱۰ در هزار حاصل گردید. کمترین سهم فتوسنتز جاری در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات روی به دست آمد (جدول ۳).

سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای

در بررسی نتایج دو سال آزمایش، سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای تحت تأثیر اثر تنش آب (S)، برگ-پاشی سولفات روی (Zn) و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل آن‌ها (S×Zn) در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). در هر دو سال آزمایش، سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای با برگ‌پاشی سولفات آهن کاهش معنی‌داری یافت. بین دو غلظت سه و شش در هزار سولفات آهن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). در بررسی اثر برهم‌کنش تنش آب و برگ‌پاشی سولفات روی (S×Zn)، در هر دو سال آزمایش برگ‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به کاهش معنی‌دار سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای گردید. بیش‌ترین میزان این صفت در سال اول و دوم، در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات روی به ترتیب با میانگین ۴۲/۹ و ۴۱/۶ درصد حاصل گردید. کمترین سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و همراه با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت‌های ۵ و ۱۰ در هزار به دست آمد (جدول ۹).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برگ‌پاشی سولفات آهن بر صفات مورد مطالعه

سهم فتوسنتز جاری	سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای (درصد)		عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	سطوح برگ‌پاشی سولفات آهن
	سال دوم	سال اول			
تجزیه مرکب					
۷۳/۲b	۲۷/۱a	۲۶/۵a	۱۰۶۲۱b	۱۸۷/۸b	.
۷۶/۰a	۲۴/۴b	۲۳/۷b	۱۱۳۴۷a	۱۹۲/۵a	۳ در هزار
۷۶/۹a	۲۳/۴b	۲۲/۸b	۱۱۳۷۸a	۱۹۴/۵a	۶ در هزار

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند



جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و برگ‌پاشی سولفات روی بر سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در دو سال زراعی

سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای (درصد)		تیمارهای آزمایشی	
سال دوم	سال اول		
		برگ‌پاشی سولفات روی	
			سطوح آبیاری
۲۵/۰d	۲۵/۷c	.	آبیاری کامل
۲۱/۶e	۲۱/۰d	۵ در هزار	آبیاری کامل
۱۹/۱f	۲۰/۰d	۱۰ در هزار	آبیاری کامل
۲۲/۰e	۲۰/۹d	.	قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی
۱۶/۵g	۱۵/۲e	۵ در هزار	قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی
۱۵/۰g	۱۴/۸e	۱۰ در هزار	قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی
۴۱/۶a	۴۲/۹a	.	قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه
۳۴/۱b	۳۰/۳b	۵ در هزار	قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه
۲۹/۸c	۲۸/۱bc	۱۰ در هزار	قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

## بحث

مخازن را تأمین نموده و در نتیجه سهم توزیع مجدد، کاهش یافته است. لک (۱۳۸۵) گزارش نمود کم‌ترین سهم توزیع مجدد به تیمار آبیاری کامل تعلق داشت که در مقایسه با دو تیمار کم‌آبیاری، با میانگین ۳۶ درصد در گروه آماری جداگانه قرار گرفت.

عبادی و همکاران (۱۳۹۰) قطع آبیاری را عامل افزایش میزان انتقال مجدد ماده خشک از اندام‌های گیاه به دانه دانستند. هرگاه مواد حاصل از فتوسنتز جاری برای تولید عملکرد کافی باشد، انتقال مجدد محدود می‌شود. به نظر می‌رسد عامل کاهش در سهم توزیع مجدد، ذخیره کمتر مواد غذایی در ساقه در زمان ورود به فاز زایشی باشد که عامل آن می‌تواند مصرف مواد غذایی ذخیره‌شده در بخش‌های رویشی در زمان رشد مجدد گیاه پس از آبیاری، برای جبران خسارت ناشی از باشد. یافته‌های این تحقیق با نتایج علوی فاضل (۱۳۸۹) مطابقت داشت. مجددم (۱۳۸۸) و علوی فاضل و همکاران (۲۰۱۳) در گیاهان تحت تیمار آبیاری مطلوب و تنش آب شدید به ترتیب بالا بودن فتوسنتز جاری و کم بودن میزان مواد ذخیره‌ای را باعث کاهش میزان انتقال مجدد ماده خشک دانستند. پس از ورود

تنش آب، فتوسنتز را در برگ‌های درحال توسعه کاهش می‌دهد و اثر غیرمستقیم آن کاهش میزان صدور مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به محل‌های رشدی خواهد بود (فناپی و همکاران، ۱۳۹۲). منابع تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی برای پر شدن دانه‌ها شامل فتوسنتز جاری، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی قبل از گرده-افشانی و حرکت مجدد مواد ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی از مرحله‌ی گرده‌افشانی تا ابتدای رشد خطی دانه می‌باشند که به مجموع حرکت مجدد و انتقال مجدد، توزیع مجدد گفته می‌شود (مادح خاکسار و همکاران، ۱۳۹۳). تحقیقات بسیاری نشان داده مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و باعث توسعه پوشش گیاهی می‌شود (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۲). دلیل کاهش توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در تیمار آبیاری کامل را می‌توان توانایی فتوسنتز جاری در تأمین نیاز مخازن دانست و در تیمار قطع آبیاری، ظرفیت بسیار کم مخازن در اثر تنش آب عامل محدودکننده بوده است. به طوری که در تیمار آبیاری کامل، فتوسنتز جاری بخش بسیاری از ظرفیت

گیاه به مرحله زایشی به دلیل کم بودن ذخایر گیاه سهم فتوسنتز جاری در پر شدن دانه افزایش و سهم انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی به دلیل کمبود شدید ذخایر کاهش خواهد یافت. در واقع علت کاهش سهم فتوسنتز جاری در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه نسبت به تیمار آبیاری کامل احتمالاً به عدم دسترسی به آب کافی و ناکارآمدی سیستم فتوسنتز و کاهش مخازن پذیرنده مواد فتوسنتزی است (مادح خاکسار و همکاران، ۱۳۹۳).

در این آزمایش برگ‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. کاربرد سولفات روی با اثر بر شاخص سطح برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین می‌تواند میزان سرعت رشد محصول را افزایش دهد و از این راه به‌طور مستقیم موجب افزایش وزن هر دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیکی) گردد (ادیلوگلو و همکاران، ۲۰۱۲). تنش آب در زمان پر شدن دانه از طریق اختلال در فتوسنتز، کاهش انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده به دانه، کاهش دوام سطح برگ و کاهش طول دوره پر شدن دانه، باعث تولید دانه‌هایی با وزن کمتر می‌شود (قبادی و همکاران، ۱۳۹۶). کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش آب با نتایج نصراله زاده و همکاران (۱۳۹۵) در ذرت هم‌راستا بود.

کمبود آب آبیاری بسته به نوع رقم، مرحله رشد، شدت و طول مدت تنش باعث کاهش عملکرد دانه ذرت می‌شود. اثر منفی تنش آب بر تقسیم سلولی (جی و همکاران، ۲۰۱۲)، کاهش سرعت ظهور برگ (جورج و همکاران، ۲۰۱۳)، پیری زودرس در اثر انتقال آب از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان (وارن و همکاران، ۲۰۱۱)، جذب تابش کمتر به علت از بین رفتن برگ‌ها (جی و همکاران، ۲۰۱۲)، کاهش کارایی مصرف تابش، دلایل اصلی کاهش تولید ماده خشک در شرایط تنش آب هستند. عناصر غذایی کم‌مصرف مانند روی و آهن برای رشد گیاهان ضروری هستند و در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های گیاهی و تشکیل کلروفیل

گیاهی دخالت دارند و کمبود آن‌ها می‌تواند موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه در نهایت کاهش کمیت و کیفیت محصول را به دنبال داشته باشند (جرفی و همکاران، ۲۰۲۲b). بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، در هر دو سال عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و در مرحله ابتدای رشد دانه منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید. با شروع تنش، تمام فرآیندهای داخلی گیاه مانند فتوسنتز، سنتز پروتئین و سوخت‌وساز چربی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و با تشدید تنش، توسعه سطح برگ کاهش‌یافته و سرانجام رشد گیاه متوقف خواهد شد. با کاهش فتوسنتز در گیاه، انرژی موردنیاز برای تولید ماده خشک کاهش می‌یابد و در نتیجه زیست‌توده گیاه کم می‌شود (دوس سانتوس و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش مقادیر ماده خشک در تیمار عدم مصرف روی را می‌توان به عدم فعالیت آنزیم کربنیک انهدزار نسبت داد. این آنزیم از جمله آنزیم‌هایی است که در ساختمان خود حاوی یک اتم روی بوده و باعث هیدراسیون (آبگیری) دی‌اکسید کربن می‌گردد (جرفی و همکاران، ۲۰۲۲a). فعالیت این آنزیم‌ها سبب تسریع در انجام واکنش آبگیری دی‌اکسیدکربن، افزایش جذب دی‌اکسید کربن در واحد سطح برگ، افزایش تولید ماده خشک و افزایش میزان فتوسنتز می‌شود. در گیاهان با کمبود شدید روی فعالیت این آنزیم متوقف می‌شود (مار چنر، ۲۰۱۲). افزایش رشد با کاربرد سولفات روی با نتایج تحقیقات (ساندرز و شاو، ۲۰۱۴) در ذرت دانه‌ای مطابقت دارد. به‌طور کلی عملکرد دانه و عملکرد زیستی نیازمند موازنه صحیح بین اندازه دستگاه فتوسنتزی و تداوم آن، سرعت فتوسنتز، سرعت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌ها، وزن دانه و ظرفیت آن‌ها از نظر تجمع است. تحرک اندوخته‌های ساقه که شامل تولیدات مازاد مربوط به فتوسنتز پیش از مرحله پر شدن دانه است تا حد بسیاری در عملکرد دانه سهیم است. در صورت برگ‌پاشی عناصر غذایی معمولاً ظرفیت مقصدهای فیزیولوژیکی برای ماده خشک در اندام‌های رویشی و زایشی افزایش می‌یابد و

در نتیجه می‌توان تغییرات عملکردی را در شرایط تنش آب کنترل نمود (صابری و همکاران، ۲۰۱۹).

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه، قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه منجر به افزایش میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای نسبت به آبیاری کامل گردید. میزان و سهم فتوسنتز جاری در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه کاهش معنی‌داری یافت. همچنین وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه نسبت به آبیاری کامل کاهش داشت که مجموع این عوامل کاهش

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی را در این شرایط رطوبتی در پی داشت. برگ‌پاشی سولفات روی و آهن در تیمار عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش عملکرد دانه، سهم فتوسنتز جاری و کاهش سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای گردید که نشان‌دهنده نقش مؤثر این عناصر در کاهش خسارت ناشی از تنش آب بود.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری صمیمانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و همچنین تلاش‌های سرکار خانم دکتر انیسه جرفی در ارائه این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

### فهرست منابع

۱. پیرزاد، ع.، طوسی، پ. و ر. درویش زاده. ۱۳۹۲. اثر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر صفات گیاهی و میزان اسانس آنیسون. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۵، شماره ۱، صفحه ۲۳-۱۲.
۲. توکلی اوجانی، خ.، رشیدی، و.، یارنیا، م.، تاری نژاد، ع. و ب.، میرشکاری. ۱۳۹۸. بررسی برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن در ارقام ذرت تحت شرایط تنش خشکی و کاربرد مایکوریزا، تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۲، شماره ۴، صفحه ۱۱۷۸-۱۱۶۵.
۳. ثابت قدم حقیقی، م. ۱۳۹۱. مطالعات آمایش استان خوزستان گزارش منابع طبیعی بررسی توان طبیعی استان، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، جلد ۸، صفحه ۱۹۹-۱.
۴. جرفی، ا. ۱۳۹۲. اثر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت دانه‌ای در شوشتر. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.
۵. دهقانپور، ز. ۱۳۹۳. دستورالعمل کاشت، داشت و برداشت ذرت، انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۱۱۰ صفحه.
۶. عبادی، ع.، ساجد، ک. و ا.، سنجرى، ۱۳۹۰. تأثیر قطع آبیاری بر انتقال مجدد ماده خشک و برخی صفات زراعی در جو بهاره، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد ۴، شماره ۴، صفحه ۳۷-۱۹.
۷. علوی فاضل، م. ۱۳۹۴. ارزیابی میزان انتقال مجدد به دانه ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم در واکنش به مقادیر نیتروژن. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. جلد ۷، شماره ۲۸، صفحه ۱۸-۵.
۸. علوی فاضل، م. ۱۳۸۹. تأثیر عدم آبیاری در برخی مراحل رشد بر صفات آگروفیزیولوژیکی وابسته به عملکرد ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل گراس ۷۰۴ در الگوها و تراکم‌های مختلف کاشت در شرایط آب و هوایی اهواز. پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

۹. فنایی، ح. ر.، پیری، ع.، و م. ر.، نارویی راد. ۱۳۹۲. بررسی اثر مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات زراعی خردل هندی تحت تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد ۶، شماره ۲، صفحه ۱۵۷-۱۴۷.
۱۰. قبادی، ر.، قبادی، م.، جلالی هنرمند، س.، مندنی، ف. و ب.، فرهادی. ۱۳۹۶. تحلیل اقتصادی اثر سطوح آب آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴. مجله علوم زراعی ایران، جلد ۱۹، شماره ۳، صفحه ۲۳۸-۲۲۰.
۱۱. کوچک زاده، ا.، ابدالی مشهدی، ع.، و و. بدوی. ۱۳۹۷. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ به تراکم‌های مختلف بوته، مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۱۰، شماره ۳۸، صفحه ۲۱-۵.
۱۲. لک، ش. ۱۳۸۵. اثرات تنش کمبود آب بر خصوصیات آگروفیزیولوژیکی و عملکرد ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته در شرایط آب و هوایی خوزستان. پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.
۱۳. مادح خاکسار، آ.، نادری، ا.، آینه‌بند، ا. و ش.، لک. ۱۳۹۳. برهمکنش کم‌آبیاری و قطع آب بر توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، فتوسنتز جاری و رابطه آن با عملکرد ذرت دانه‌ای. فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۶، شماره ۲۲، صفحه ۶۸-۵۳.
۱۴. مجدم، م. ۱۳۸۸. اثرات تنش کمبود آب و مدیریت مصرف نیتروژن بر توزیع ماده خشک و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. مجله تنش‌های محیطی در علوم گیاهی. جلد ۱، شماره ۲، صفحه ۱۳۶-۱۲۳.
۱۵. معیری، م. ۱۳۹۹. آبیاری مزارع ذرت تابستانه در استان خوزستان. تهیه‌شده در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی. نشر آموزش کشاورزی.
۱۶. نصراله زاده اصل، و.، شیری، م. ر.، محرم‌نژاد، س.، یوسفی، م. و ف.، باغبانی. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی سه هیبرید ذرت (*Zea mays* L.). فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۸، شماره ۳۲، صفحه ۶۰-۴۵.
17. Adiloglu, A., D. D. Talian, S. Abin, D. Davison J. and L. Petersen. 2012. The Effect of boron (B) application on the growth and nutrient contents of maize in zinc (Zn) deficient soils. J. agric. biol. sci. 2:1-4.
18. Alavi Fazel, M. and S. H. Lack. 2011. The effects of irrigation-off at different growth stages, planting patterns and plant population on grain yield and dry matter remobilization of grain corn (*Zea mays* L.). World Appl. Sci. J. 15 (4): 463-473.
19. Alavi Fazel, M., Lack, S. H. and M., Sheykhi Nasab. 2013. The effect of irrigation-off at some growth stages on remobilization of dry Matter and yield of corn hybrids. Int. j. agric. crop sci. 5 (20): 2372-2378.
20. Bojovic, D. D., Dukic, M., Maksimovic, V. and L., Shočić. 2012. The effects of Iron deficiency on lead accumulation in aianthus altissima (Mill.) Swingle Seedlings. J. Environ. Qual. 41:1-8
21. Farnia, A. and A. Khodaivandi. 2015. Effect of integrated foliar application of Zn and Fe on yield and yield components of maize under water stress condition. Int. j. biol. pharm. allied sci. 4 (10): 691-705.
22. Ge, T., Sui, F., Bai, L., Tong, C. and N. Sun. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. Acta Physiol. Plant. 34: 1043-1053.

23. George, M.J., Teixeira, E. L., Herreman, T. F., and H. E. Brown. 2013. Understanding nitrogen and water stress mechanisms on maize crops. *Agronomy Society of New Zealand*. 43: 27-32.
24. Ghassemi-Golezani, K., Hydari, Sh., and B., Dalil. 2018. Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Acta Agric. Slov.* 11 (1): 25-32.
25. Jorfi A, Alavifazel, M., Gilani A., Ardakani, M. R., and Sh. Lak. 2022 a. Yield and morpho-physiological performance of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes as affected by phosphorus and zinc. *J Plant Nutr.* 46 (16): 2432- 2446.
26. Jorfi A, Alavifazel, M., Gilani A., Ardakani, M. R., and Sh. Lak. 2022 b. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) root system development as affected by phosphorus and zinc sulfate application in an alkaline soil. *Gesunde Pflanzen.* <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00740-0>.
27. Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Limited Harcourt Brace and Company. Publishers. London. 347–364.
28. Parvaiz, A. 2016. Water Stress and Crop Plants (A Sustainable Approach) Foliar application of trace elements in alleviating drought stress. 669–681.
29. Raker, J., Bressan, R. A., Zhu, J. K. and H. J., Bohnert. 2013. Physiological bases for yield difference in selected maize cultivars. *Central America field Crop Research.* 42:69-80.
30. Sanders, O. T. R. and M. Shaw. 2014. Temperature and soil water effects on maize growth development yield and forage quality. *Crop sci.* 36: 341-348.
31. Saberi M., Modarres Sanavy M. A., Zare, R., and H. Ghomi. 2019. Improvement of photosynthesis and photosynthetic productivity of winter wheat by cold plasma treatment under haze condition. *J. Agric. Sci. Technol.* 21 (7) :1889-1904.
32. Sabouri, F., Sirousmehr, A., and H. Gorgini shabankareh. 2018. Effect of irrigation regimes and application of humic acid on some morphological and physiological characteristics of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Iran. J. Plant Biol.* 9 (4): pp. 13-24.
33. Dos Santos, T.B., Ribas, A.F., de Souza, S.G.H., Budzinski, I.G.F., and D.S. Domingues. 2022. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: A Review. *Stresses.* 2, 113-135.
34. Souza, T.C., Castro, E.M., Magalhaes, P.C., Lino, L. D. O., Alves, E.T. and P. E. P. Albuquerque. 2013. Morphophysiology, morphoanatomy and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. *Acta Physiol. Plant.* 35: 3201-3211.
35. Warren, J. M., Norby, R. J. and S. D. Wullschleger. 2011. Elevated CO<sub>2</sub> enhances leaf senescence during extreme drought in a temperate forest. *Tree Physiol. J.* 31: 117-130.
36. Zhao, Y., Li, H., Sun, M., Liang, Z., Yu, F., Li, F., and S. Liu. 2021. Effects of soil aeration and fertilization practices on alleviating iron deficiency chlorosis in “Huangguan” pears grafted onto quince A in calcareous soils. *Hortic.* 7, 172.





## تأثیر میزان مصرف کود نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات علوفه سالیکورنیا (*Salicornia persica* Akhani)

سید موسی صادقی\*، مهدی کریمی و ناصر فرار

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛  
smbooraki@gmail.com

استادیار پژوهشی، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران؛ Karimisc@gmail.com

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج  
کشاورزی، بوشهر، ایران؛ Farrar29@gmail.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷ و پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۴

### چکیده

تولید علوفه برای تامین خوراک دام با استفاده از منابع آب و خاک بسیار شور یکی از اجزای پروژه‌های شورورزی می‌باشد. بنابراین، پژوهش اخیر با هدف بررسی تأثیر مصرف کود نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات علوفه سالیکورنیا (*Salicornia persica* Akhani) آبیاری شده با آب خلیج فارس با قابلیت هدایت الکتریکی ۶۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اجرا شد. آزمایش با چهار سطح نیتروژن با استفاده از منبع کود اوره شامل صفر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از آب دریا در اراضی ساحلی خلیج فارس در حاشیه شهر دلووار استان بوشهر در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ انجام شد. نتایج نشان داد که میزان علوفه تولیدی با میزان مصرف کود یک رابطه خطی و افزایشی بود و مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره در هر هکتار میزان علوفه خشک را به ترتیب به میزان ۹۶/۷٪، ۱۴۴/۵٪ و ۱۸۸/۴٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف کود اوره موجب افزایش اجزا عملکرد شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، قطر خوشه و وزن خوشه گردید. نیز، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره موجب سه برابر افزایش کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد گردید. بنابراین، توصیه می‌شود برای بهینه‌سازی میزان تولید علوفه از گیاه سالیکورنیا و افزایش راندمان تولید و کارایی مصرف آب، کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شود. انجام پژوهش‌های بیشتر برای تعیین اثر آب شور بر خاک در سال‌های آینده پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب‌های نامتعارف، مصرف کود اوره، شورورزی، خوراک دام

\* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: smbooraki@gmail.com



## مقدمه

کشاورزی با آب شور به‌ویژه با آب دریا از مزیت‌های نسبی طبیعی در کشور ایران است که چنانچه به‌طور عملی و در سطح گسترده و در مقیاس تجاری اجرا شود، کمک قابل توجهی به امنیت غذایی در کشور و در سطح بین‌المللی می‌نماید. این فعالیت که "شورورزی" نام دارد، به‌عنوان یک فن‌آوری با رویکرد زیست‌محیطی و به‌منظور بهره‌برداری اقتصادی و پایدار از منابع خاک و آب شور در جهت تولید محصولات کشاورزی (جانوری، گیاهی و آبزیان) معرفی شده است (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۹). از جمله گیاهانی که برای فعالیت شورورزی پیشنهاد شده است گیاه سالیکورنیا است (خوش خلق‌سیما و همکاران، ۱۳۹۹). این گیاه بومی ایران بوده و گزارش شد که تا شوری ۲۰۰ دسی زیمنس بر متر را تحمل می‌کند (آخانی، ۲۰۰۶). ارزش اقتصادی و زیست‌محیطی سالیکورنیا نظیر ترسیب کربن و تولید اکسیژن، حفاظت از سواحل و تثبیت کانون‌های گردوغبار اخیراً گزارش شده است (هاشمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). ارزش فرهنگی آن نظیر ایجاد منظرگاه سبز در سواحل شور و کمک به امنیت غذایی است (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۹).

ونتورا و ساگی (۲۰۱۳) به این نکته تأکید دارند که تکنولوژی تولید و استفاده از گیاه سالیکورنیا در مراحل اولیه بوده و انجام تحقیقات بیشتر در این خصوص ضرورت دارد. پتانسیل تولید سالیکورنیا بیگلسوی و سالیکورنیا پرسیکا در مزرعه تکثیری مرکز ملی تحقیقات شوری که با آب باقابلیت هدایت الکتریکی ۱۵ دسی زیمنس بر متر انجام شده بود در دوره رشد ۲۱۵ روز به ترتیب ۱/۹ و ۱/۵ تن در هکتار گزارش شد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۶). تولید گیاه سالیکورنیا در منابع خارجی و داخلی و با استفاده از منابع آب شور گزارش شد. به‌عنوان مثال نتایج تحقیقات گلخانه‌ای رنجبر و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۸ دسی زیمنس بر متر میزان علوفه خشک سالیکورنیا از ۳ به ۴ گرم به ازای هر بوته افزایش یافت. صادقی و کریمی

(۱۴۰۰) حداکثر علوفه خشک سالیکورنیا که با آب دریا و در شرایط مزرعه‌ای کشت و آبیاری شده است را ۱/۵ تن در هکتار گزارش نمودند. رنجبر و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که اکوتیپ *S. sinus persica* بیشترین میزان تولید ماده خشک (۶۵۱/۱ گرم بر مترمربع) را در مقایسه با سایر اکوتیپ‌های این‌گونه و گونه *S. bigelovii* داشت. همچنین میزان روغن دانه آن با میزان دانه روغن *S. bigelovii* برابر (۲۴ درصد) بود. میزان علوفه تولیدی از سالیکورنیا با استفاده از آب دریا در مکزیک توسط گلن و همکاران (۱۹۹۱)، ۲۴ تن در هکتار گزارش شد. تحقیقات انجام‌شده روی سالیکورنیا به‌ویژه *Salicornia bigelovii* Torr. نشان داد که این‌گونه به ایران هم وارد شده و عملکرد بالای این‌گونه از نظر تولید زیست‌توده و روغن بذر آن تحت آبیاری با آب دریا گزارش شد (لیرا و همکاران، ۲۰۱۶؛ رنجبر و همکاران، ۲۰۲۲). در عین حال عملکرد بالای *Salicornia persica* Akhani از نظر تولید زیست‌توده و روغن دانه آن تحت آبیاری با آب دریا گزارش شد (رنجبر و همکاران، ۲۰۲۲). لیکن گزارشی که تولید علوفه این گیاه را با استفاده از منابع آب بسیار شور نظیر آب دریای خلیج فارس تحت تیمار کود اوره بیان کند، در دسترس نبود.

اگرچه اثر مثبت نیتروژن بر رشد و نمو گیاه سالیکورنیا توسط منابع داخلی و خارجی گزارش شد، لیکن تحقیقات انجام‌شده محدود بوده و دستورالعمل جامعی برای کوددهی این گیاه ارائه نشده است. به‌عنوان مثال نتایج تحقیقات گلدانی سیسای و همکاران (۲۰۲۲) بر روی گونه‌ای از سالیکورنیا (*Salicornia brachiata*) نشان داد که آبیاری این گیاه با آب آبیاری حاوی ۱۵ میلی‌مولار نیتروژن و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به آب حاوی ۹ میلی‌مولار نیتروژن و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، موجب افزایش علوفه خشک تولیدی از ۰/۱۳ به ۰/۲۴ گرم به ازای هر مترمربع گردید؛ به‌عبارت‌دیگر با افزایش میزان نیتروژن مصرفی از ۹ به ۱۵ میلی‌مولار در آب آبیاری، عملکرد علوفه خشک به میزان ۸۴ درصد



نسبت به تیمار نه میلی مولار افزایش یافت. همچنین نتایج این محققین نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری از ۵۰ به ۱۲۰ میلی مولار کلرید سدیم موجب کاهش معنی دار عملکرد علوفه خشک گردید و میزان علوفه خشک تولیدی در تیمار حاوی ۱۵ و ۹ میلی مولار نیتروژن به ترتیب معادل ۰/۱۵ و ۰/۰۶ کیلوگرم به ازای هر متر مربع بود (سیسای و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین اثر شوری‌های مختلف آب آبیاری (صد درصد آب دریا، ۵۰ درصد آب دریا، ۲۵ درصد آب دریا و آب چاه، به ترتیب باقابلیت هدایت الکتریکی ۵۱، ۳۰، ۱۶/۶ و ۲/۴ دسی زیمنس بر متر) و کودهای آلی و شیمیایی شامل مصرف خاکی و محلول پاشی جلبک دریایی، عناصر ماکرو همراه با عناصر میکرو و همچنین عناصر ماکرو همراه با عناصر میکرو و عصاره جلبک دریایی بدون اشاره به مقدار عناصر غذایی اضافه شده به گیاه توسط النوحی و همکاران (۲۰۲۰) در مصر بررسی گردید. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک در تیمارهای صد درصد آب دریا، ۵۰ درصد آب دریا و ۲۵ درصد آب دریا به ترتیب معادل ۱۳۹۸، ۱۵۷۶، ۱۵۰۹ و ۱۳۷۳ گرم بر مترمربع بود که همگی از تیمار مصرف خاکی عصاره جلبک همراه با کودهای ماکرو و میکرو حاصل گردید. ضمناً بیشترین عملکرد علوفه خشک سالیکورنیا که با آب چاه آبیاری شده بود معادل ۱۳۷۳ گرم به ازای هر مترمربع بود که از تیمار کودی مصرف خاکی عصاره جلبک حاصل گردید (النوحی و همکاران، ۲۰۲۰). مصرف ۵۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بسته به نتایج آزمون خاک در یک مزرعه تولیدی سالیکورنیا به منظور تأمین خوراک دام گزارش شده است (عبدل، ۲۰۰۹). نتایج تحقیقات مزرعه‌ای پاندا و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که میزان عملکرد علوفه خشک سالیکورنیا بر اچیتا در تیمارهای مصرف ۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به شکل کود اوره به ترتیب معادل ۴۵۵۲، ۵۸۸۰ و ۶۹۱۲ کیلوگرم در هکتار بود؛ به عبارت دیگر مصرف ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن موجب افزایش عملکرد علوفه خشک به ترتیب به میزان

۲۹/۱۷ و ۵۱/۸۴ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید؛ بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که مصرف کودهای نیتروژنی برای افزایش عملکرد در واحد سطح علوفه سالیکورنیا ضرورت دارد. لیکن بهینه‌سازی مصرف این کود نیاز به انجام تحقیقات بیشتری دارد.

نظر به اینکه حاصلخیزی خاک‌های ایران عموماً پایین است (مشیری و همکاران، ۲۰۱۴) لذا انتظار می‌رود مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی جهت افزایش تولید ضرورت داشته باشد؛ اما با افزایش شوری منابع آب و خاک عموماً نیاز غذایی گیاهان به دلیل کاهش پتانسیل تولید کاهش می‌یابد (کریمی‌زارچی، ۱۳۹۴). لذا در راستای تولید گیاه سالیکورنیا با استفاده از آب‌های بسیار شور این سؤال اساسی مطرح می‌شود که آیا می‌توان با مصرف کودهای نیتروژنی پتانسیل تولید گیاه سالیکورنیا با استفاده از آب‌های بسیار شور را افزایش داد یا خیر. لذا، این پژوهش مزرعه‌ای باهدف بررسی نقش کود اوره در افزایش عملکرد تولید علوفه گیاه سالیکورنیا با استفاده از آب دریای خلیج فارس و در خاک شور در استان بوشهر انجام شد.

#### روش تحقیق

این تحقیق مزرعه‌ای در ساحل خلیج فارس نزدیکی شهر دلو از توابع استان بوشهر (با مختصات جغرافیایی عرض شمالی ۱۷° ۴۴' ۲۸" و طول ۶۶° ۵۹' ۵۰") در سال ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و چهار سطح کود اوره (۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) با سه تکرار اجرا شد. قبل از شروع آزمایش نسبت به تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل پژوهش و تعیین ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری (آب دریا) اقدام شد. خصوصیات خاک همچون قابلیت هدایت الکتریکی، (آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا، ۱۹۵۴) بافت خاک به روش هیدرومتری (بیوکوز، ۱۹۶۲) اسیدیته در گل اشباع، کربن آلی به روش واکی بلاک (جکسون، ۱۹۵۸) فسفر

رایج نظیر گندم و جو از این منبع آبی امکان‌پذیر نیست (فائو، ۲۰۰۵). میزان اسیدیته آب آبیاری بیش از هشت بود و این موضوع خطر سدیمی شدن خاک را گوشزد می‌کند. همچنین وجود کربنات در آب آبیاری به میزان ۱/۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر این مهم را تأیید می‌نماید. نتایج آب دریا نشان داد که میزان نیتروژن و فسفر آن ناچیز بود. میزان پتاسیم آن بالا و معادل ۱۲/۵ میلی اکی‌والان در لیتر بود. غلظت زیاد پتاسیم در آب آبیاری می‌تواند مقادیر قابل توجهی از پتاسیم را به خاک اضافه و از نیاز گیاهان به کود پتاسیمی بکاهد. این مشاهده با توجه به نتایج تجزیه خاک و محتوای زیاد پتاسیم قابل‌استفاده در خاک (۸۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) تأیید می‌گردد.

قابل‌جذب به روش آبی آسکوربیک (واتانابی و اولسن، ۱۹۶۵) و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر تعیین شد. ترکیب آنیونی و کاتیونی آب‌های مورد‌استفاده در مزرعه نیز به روش آزمایشگاه شوری ایالات‌متحده امریکا (۱۹۵۴) اندازه‌گیری شد.

### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منابع آب و خاک

قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری که همان آب دریای خلیج فارس است معادل ۶۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و بسیار شور بود (جدول ۱). همچنین نسبت جذب سدیم در این آب بسیار زیاد و معادل ۶۳/۳۷ بود. لذا بر مبنای شاخص ویلکوکس، شوری و سدیم این آب بسیار زیاد بود (ویلکوکس، ۱۹۵۵) و تولید محصولات زراعی

جدول ۱- ویژگی‌های آب مورد‌استفاده (دریای خلیج فارس)

ویژگی	واحد	مقدار
اسیدیته	-	۸/۴۵
قابلیت هدایت الکتریکی	dSm <sup>-1</sup>	۶۴/۵
نسبت جذب سدیم		۶۳/۳۷
کلسیم	meqL <sup>-1</sup>	۳۵/۳۶
منیزیم	meqL <sup>-1</sup>	۱۳۴/۶۸
سدیم	meqL <sup>-1</sup>	۵۸۴/۳۵
پتاسیم	meqL <sup>-1</sup>	۱۲/۵۶
کربنات	meqL <sup>-1</sup>	۱/۴
بی‌کربنات	meqL <sup>-1</sup>	۰/۵۱
کلر	meqL <sup>-1</sup>	۶۸۴/۰۳
سولفات	meqL <sup>-1</sup>	۸۱

میزان نیتروژن و فسفر خاک به ترتیب برابر ۵/۷ پی. پی. ام؛ و ۰/۰۳۴ درصد بود (جدول ۲)؛ بنابراین خاک محل آزمایش از نظر عناصر غذایی نیتروژن و فسفر فقیر بود و مصرف کودهای شیمیایی حاوی این عناصر ضرورت دارد (مشیری و همکاران ۲۰۱۴). خاک محل اجرای پژوهش از نوع Typic aquisalids بود (جدول ۲).

### عملیات کاشت، داشت و برداشت سالیکورنیا

عملیات کاشت گیاه سالیکورنیا در تاریخ دهم اسفندماه سال ۱۳۹۵ هجری شمسی و به‌صورت نشایی و

نتایج تجزیه خاک (جدول ۲) نشان داد که خاک مورد‌مطالعه پیش از کشت گیاه سالیکورنیا بسیار شور است، زیرا قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک سطحی بیش از ۱۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین پس از برداشت محصول نیز خاک مورد‌مطالعه بسیار شور بود زیرا قابلیت هدایت الکتریکی آن معادل ۹۰/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. البته شوری خاک پس از برداشت محصول کمتر از شوری خاک پیش از شروع آزمایش بود. علت این مشاهده آبیاری مکرر خاک توسط آب دریا و آبشویی آن است. بافت خاک سطحی سیلتی لوم بود.

در محل داغاب جوی پشته‌ها انجام شد. فاصله کاشت در بین ردیف‌ها ۳۰ و در داخل ردیف‌ها ۲۵ سانتیمتر بود.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

مقدار		واحد	ویژگی
پس از برداشت محصول	قبل از آزمایش		
۷/۴۱	۶/۶۶	-	اسیدیته
۹۰/۲۱	۱۲۰/۲	dSm <sup>-1</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی
۳۲	۲۸/۳۶	(%)	شن
۱۸	۱۸	(%)	سیلت
۵۰	۵۲/۶۴	(%)	رس
۰/۲۴	۰/۳۹	(%)	کربن آلی
۳۶/۸۴	۳۹/۷۵	(%)	مواد خنثی شونده
۴/۴۹	۵/۷۰	mg kg <sup>-1</sup>	فسفر
۵۹۱	۸۳۴	mg kg <sup>-1</sup>	پتاسیم

کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. ارتفاع بوته و طول خوشه توسط خط‌کش و قطر خوشه توسط کولیس اندازه‌گیری شد. وزن خوشه توسط ترازو توزین گردید. منظور از کارایی مصرف آب، میزان علوفه خشک تولیدشده به ازای حجم آب مصرفی است که از طریق فرمول ذیل محاسبه گردید (زلفی‌باوریانی و همکاران، ۱۳۹۸):

$$IWUE = Y/TUW \quad (1)$$

در این معادله IWUE کارایی مصرف آب آبیاری برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y وزن علوفه خشک برحسب کیلوگرم و TUW حجم آب مصرفی برحسب مترمکعب است.

#### آنالیز داده‌ها

به‌منظور بررسی اثر کود اوره بر عملکرد علوفه خشک و اجزا عملکرد، نسبت به برآزش داده‌ها با مدل‌های مختلف آماری و انتخاب مناسب‌ترین مدل (تجزیه رگرسیون) اقدام گردید. این مهم با استفاده از نرم‌افزار سیگما پلات اقدام و مناسب‌ترین معادلات (با بیشترین همبستگی) انتخاب شدند.

نشاها در شرایط گلخانه‌ای در مرکز ملی تحقیقات شوری و با استفاده از آب باقابلیت هدایت الکتریکی سه دسی‌زیمنس بر متر تولید و زمانی که دارای ارتفاع حدود ۵ سانتیمتر و در مرحله رشد رویشی بودند به منطقه ارسال شدند. تیمارهای این تحقیق شامل چهار سطح کود اوره شامل ۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که به‌صورت تقسیط و در چهار مرحله در سطح مزرعه پخش گردید. تقسیط کود اوره به دلیل طولانی بودن دوره رشد گیاه (حدود شش ماه) و آبیاری مکرر آن و به‌منظور کاهش آبهوشی کودهای نیتروژنی انجام گرفت (ونتورا و ساگی، ۲۰۱۳ و مشیری و همکاران، ۲۰۱۴). عملیات آبیاری با استفاده از آب دریا و هر سه روز یکبار انجام شد (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶). کل حجم آب مصرفی در کل دوره رشد معادل ۲۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار بود (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶). هر واحد آزمایشی شامل یک کرت به طول شش متر با عرض سه متر بود. در پایان دوره رشد گیاه (۱۳۹۶/۵/۲۳)، نسبت به برداشت ۴۰ بوته از هر کرت آزمایشی توسط قیچی باغبانی اقدام شد. سپس بوته‌ها در فضای آزاد خشک شد و با استفاده از ترازو توزین گردید. اجزا عملکرد شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، قطر خوشه، وزن خوشه و کارایی مصرف آب نیز اندازه‌گیری شد. با توجه به تراکم کاشت، میزان علوفه خشک در واحد سطح برحسب

### نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر کود اوره بر عملکرد علوفه خشک گیاه سالیکورنیا و همچنین کارایی مصرف آب در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود لیکن مصرف کود اوره نتوانست تأثیر معنی‌داری بر سایر شاخص‌های گیاهی نظیر ارتفاع، طول خوشه، قطر خوشه، تعداد شاخه و وزن خوشه داشته باشد.

### اثر کشت گیاه سالیکورنیا بر خصوصیات خاک

همان‌طور که از جدول دو مشخص است، کشت گیاه سالیکورنیا و آبیاری آن با آب دریا با قابلیت هدایت

الکتریکی ۶۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر (جدول یک) موجب کاهش شوری اولیه خاک از ۱۲۰/۲ (پیش از کشت) به ۹۰/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر (پس از برداشت محصول) گردید. کاهش شوری خاک به دلیل آبیاری مزرعه با حجم بسیار زیاد (معادل ۲۴۰۰۰ مترمکعب) بود. این در حالی است که میزان pH خاک پس از برداشت محصول معادل ۷/۴۱ و بیشتر از pH پیش از کاشت سالیکورنیا (۶/۶۶) بود. افزایش pH خاک به دلیل کاهش شوری خاک که منجر به کاهش قدرت یونی محلول خاک شده و در نتیجه کاهش قدرت جایگزینی یون‌های قلیایی فاز محلول با پروتون‌های فاز تبادل‌ی خاک گزارش شده است (رنگاسامی، ۲۰۱۶).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف مصرف کود اوره بر عملکرد و اجزا عملکرد گیاه سالیکورنیا

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
کارایی مصرف آب	وزن خوشه	تعداد شاخه	قطر خوشه	طول خوشه	ارتفاع گیاه	علوفه خشک		
۰/۰۰۰۰۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۵۷ <sup>NS</sup>	۳/۵۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۵۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۷ <sup>NS</sup>	۰/۴۹ <sup>NS</sup>	۶۴۱۳/۲۸ <sup>NS</sup>	۲	بلوک
۰/۰۰۱۰*	۰/۰۰۹۷ <sup>NS</sup>	۲/۶۱ <sup>NS</sup>	۲/۱۴ <sup>NS</sup>	۱/۲۰ <sup>NS</sup>	۳/۷ <sup>NS</sup>	۷۳۵۸۸۹/۰۲*	۲	کود اوره
۰/۰۰۰۱۸۸	۰/۰۰۵۷	۳/۸۵	۰/۰۴	۰/۷۲	۱/۴	۱۰۵۶۶۲/۸۸	۶	خطا
۲۸/۸۶	۲۲/۱۰	۲۲/۶۴	۱۵/۶۰	۱۹/۳۶	۸/۵۷	۲۹/۰۷		ضریب تغییرات

میانگین مربعاتی که با <sup>NS</sup>، \* و \*\* مشخص شده‌اند به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

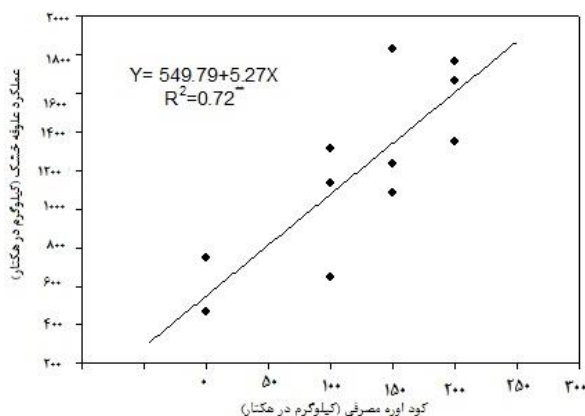
### اثر نیتروژن بر عملکرد علوفه خشک

اثر سطوح مختلف کود اوره بر میزان علوفه خشک در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش سطوح نیتروژن، مقدار علوفه خشک تولیدی به صورت خطی افزایش یافت. میزان علوفه تولیدی در تیمار شاهد (بدون مصرف کود اوره) معادل ۵۴۸/۶۸ کیلوگرم در هکتار بود. این نتایج نشان داد که پتانسیل تولید سالیکورنیا در خاک طبیعی منطقه بسیار محدود است. میزان عملکرد علوفه خشک در تیمارهای مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به ترتیب معادل ۱۰۷۹/۴۳، ۱۳۴۱/۷۱، ۱۵۸۲/۹۱ کیلوگرم در هکتار بود؛ به عبارت دیگر مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰

همچنین با توجه به غلظت سدیم در آب آبیاری و حجم آب مصرفی (۲۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار)، ۳۲۲/۵۶ تن سدیم به خاک اضافه شد. لیکن غلظت سدیم در خاک افزایش نیافت. علت این مشاهده، آبشویی املاح اضافه شده به زهکش‌های احداثی در اطراف محل پژوهش و انتقال آن‌ها به دریا است. شایان ذکر است که فاصله محل اجرای پژوهش تا دریا، کمتر از ۱۰۰ متر بود. همان‌طور که از جدول دو مشخص است سایر خصوصیات خاک نظیر درصد شن، سیلت، رس و میزان ترکیبات خنثی شونده پیش و پس از کشت گیاه سالیکورنیا تقریباً ثابت بود و تغییر فاحشی نداشت.

همچنین با نتایج تجزیه خاک محل آزمایش مطابقت دارد (جدول ۲). همان‌طور که از این جدول مشخص است میزان ماده آلی و نیتروژن کل خاک مورد مطالعه بسیار کم و به ترتیب معادل ۰/۳۹ و ۰/۰۳۴ درصد بود. لذا مصرف کودهای نیتروژنی جهت افزایش عملکرد در واحد سطح توصیه می‌شود (مشیری و همکاران ۲۰۱۴).

کیلوگرم کود اوره میزان علوفه خشک را به میزان ۹۶/۷۳، ۱۴۴/۵۳ و ۱۸۸/۴۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. افزایش میزان ماده خشک سالیکورنیا با افزایش میزان مصرف کود اوره (شکل ۱)، ضمن تأکید بر ضرورت مصرف کودهای نیتروژنی، بیانگر افزایش پتانسیل تولید گیاه سالیکورنیا با مصرف کود نیتروژنی و پایین بودن سطح حاصلخیزی خاک مورد مطالعه است. این مشاهده

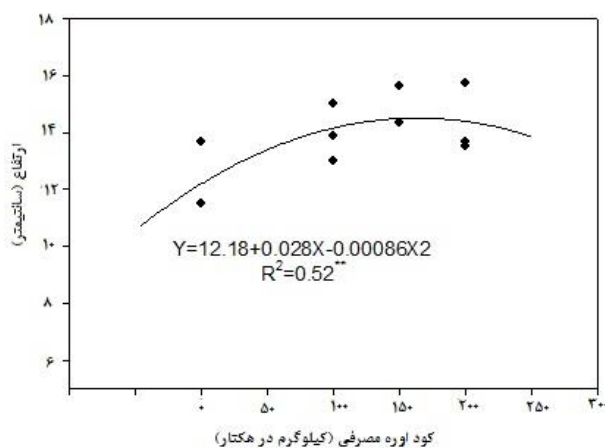


شکل ۱- اثر مقادیر مختلف کود اوره بر عملکرد علوفه خشک گیاه سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریای خلیج فارس

۱۲/۱۵ به ۱۴/۱۲ سانتی‌متر افزایش یافت. مصرف بیشتر کود اوره تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت. به‌نحوی که ارتفاع بوته در تیمارهای مصرف ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به ترتیب معادل ۱۴/۴۸ و ۱۴/۳۶ سانتی‌متر بود.

#### اثر کود اوره بر ارتفاع بوته

پاسخ ارتفاع بوته به کود اوره مصرفی از نوع غیرخطی بود و از معادله درجه دوم پیروی کرد (شکل ۲). با افزایش میزان کود اوره مصرفی از صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع گیاه سالیکورنیا افزایش یافت و از

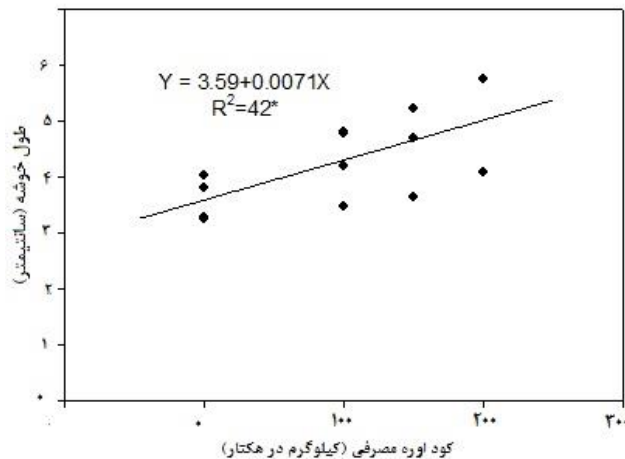


شکل ۲- اثر مقادیر مختلف کود اوره بر ارتفاع گیاه سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریای خلیج فارس

اثر کود اوره بر طول خوشه

هکتار کود اوره به ترتیب معادل ۳/۵۶، ۴/۳۰، ۴/۶۴ و ۵/۰۶ سانتیمتر بود؛ به عبارت دیگر مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره موجب افزایش طول خوشه به میزان ۲۰/۷۸، ۳۰/۳۳ و ۴۲/۱۳ درصدی طول خوشه گردید.

اثر مثبت کود اوره بر طول خوشه گیاه سالیکورنیا به صورت خطی بود (شکل ۳). همان‌طور که از این شکل مشخص است با افزایش مقدار اوره مصرفی، طول خوشه نیز روند افزایشی داشت. ارتفاع خوشه در تیمارهای مصرف صفر، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در

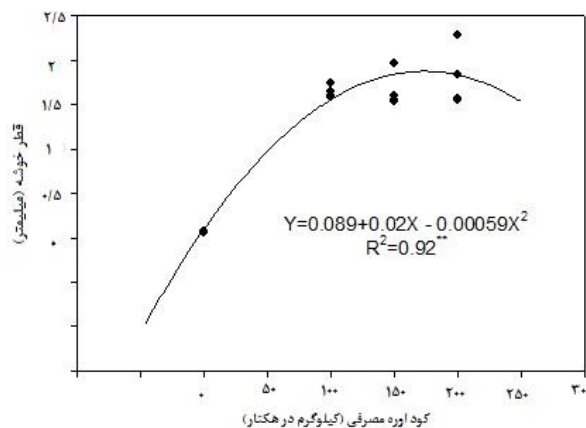


شکل ۳- اثر مقادیر مختلف کود اوره بر ارتفاع خوشه گیاه سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریای خلیج فارس

به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، قطر خوشه نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) به میزان ۱۷/۸ برابر (از ۰/۰۸۴ به ۱/۵۸ میلی‌متر) افزایش یافت. لیکن مصرف بیشتر کود اوره تأثیر معنی‌داری بر قطر خوشه نداشت و روند نمودار آن ثابت (افقی) شد (شکل ۴).

اثر کود اوره بر قطر خوشه

الگوی پاسخ قطر خوشه گیاه سالیکورنیا به سطوح مختلف کود نیتروژنی اوره از معادله درجه دوم تبعیت نمود (شکل ۴). همان‌طور که از شکل چهار مشخص است با افزایش میزان کود اوره مصرفی از صفر

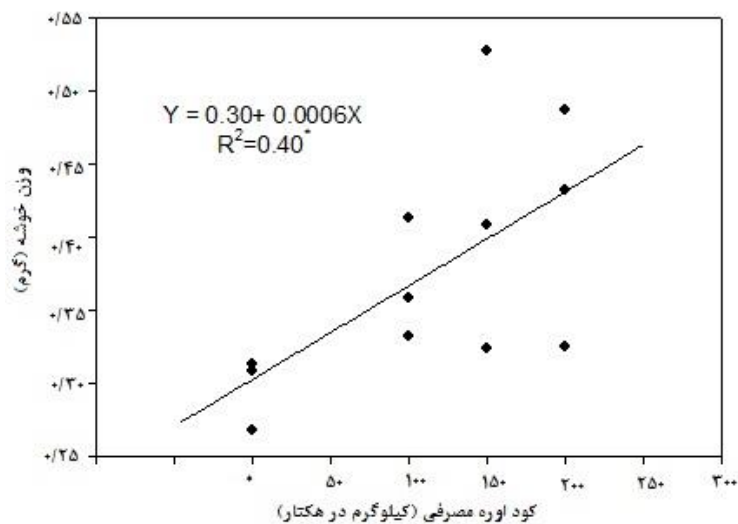


شکل ۴- اثر مقادیر مختلف کود اوره بر قطر خوشه گیاه سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریای خلیج فارس

### اثر کود اوره بر وزن خوشه

کود اوره تأثیر مثبتی بر وزن خوشه گیاه سالیکورنیا تحت آبیاری با آب دریای خلیج فارس داشت (شکل ۵). همان‌طور که از شکل پنج مشخص است با افزایش مقدار کود اوره مصرفی وزن خوشه به‌طور خطی افزایش یافت. وزن خوشه در تیمار عدم مصرف کود

نیترژنی معادل ۰/۳ گرم بود. مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره موجب افزایش وزن خوشه به ترتیب به ۰/۳۶، ۰/۳۹ و ۰/۴۳ گرم گردید؛ به‌عبارت‌دیگر با مصرف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره وزن خوشه نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) به میزان ۲۰، ۳۰ و ۴۳/۳۳ درصدی وزن خوشه گردید.

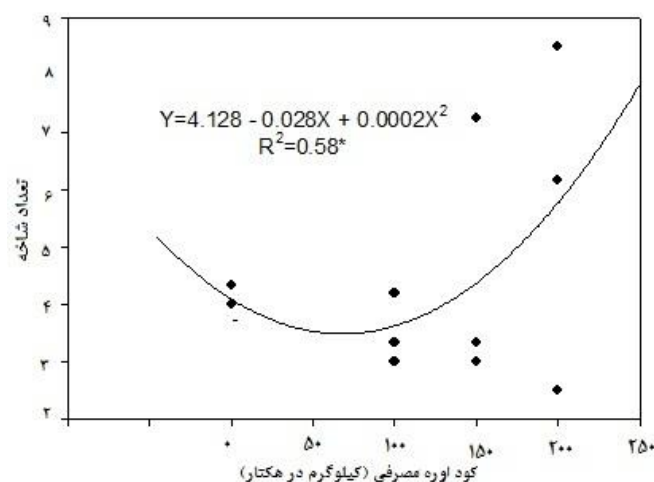


شکل ۵- اثر مقادیر مختلف کود اوره بر وزن خوشه گیاه سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریای خلیج فارس

### اثر کود اوره بر تعداد شاخه

الگوی تعداد شاخه‌های گیاه سالیکورنیا به‌عنوان تابعی از مقدار کود اوره مصرفی از معادله درجه دوم تبعیت کرد (شکل ۶). همان‌طور که از این شکل مشخص است تعداد شاخه‌های فرعی سالیکورنیا در تیمار شاهد (عدم مصرف کود نیترژنی) معادل ۴/۰۱ بود؛ اما مصرف

یکصد کیلوگرم کود اوره موجب کاهش تعداد شاخه‌ها به ۳/۶ عدد شد. کاهش تعداد شاخه‌ها با مصرف کود اوره به دلیل افزایش قطر خوشه‌ها، ارتفاع گیاه و طول خوشه است؛ اما مصرف بیشتر کود اوره به میزان ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش تعداد شاخه‌ها به ترتیب به میزان ۴/۳۵ و ۵/۸۳ عدد شد.

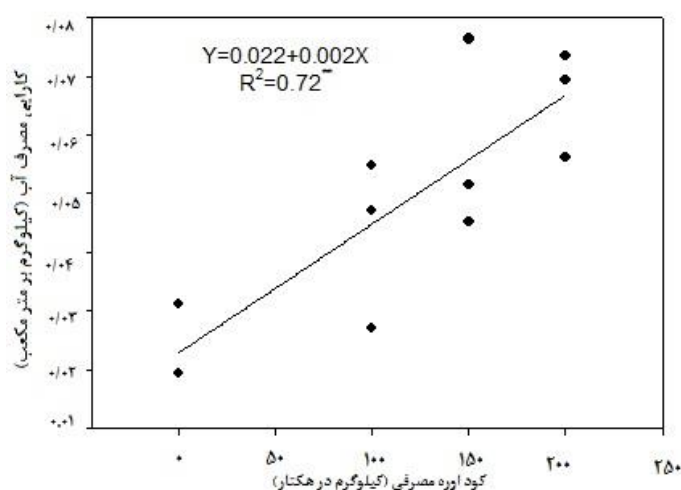


شکل ۶- اثر مقادیر مختلف کود اوره بر تعداد شاخه گیاه سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریای خلیج فارس

## اثر کود اوره بر کارایی مصرف آب

به میزان سه برابر افزایش یافت. افزایش کارایی مصرف آب با مصرف کودهای آلی و شیمیایی در خاک‌هایی که از کمبود عناصر رنج می‌برند کاملاً منطقی است و توسط سایر پژوهشگران و برای محصولات مختلف کشاورزی گزارش شده است (زلفی‌باوریانی و همکاران، ۱۳۹۸).

همان‌طور که در شکل هفت مشاهده می‌شود کارایی مصرف آب به‌عنوان تابعی از کود اوره مصرفی از معادله درجه اول تبعیت نمود. به‌نحوی که با افزایش میزان کود اوره مصرفی تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف آب در کشت گیاه سالیکورنیا نسبت به تیمار شاهد



شکل ۷- اثر مقادیر مختلف کود اوره بر کارایی مصرف آب جهت تولید گیاه سالیکورنیا با استفاده از آب دریای خلیج فارس

کود شیمیایی اوره دریافت نکرده است حدود نیم تن در هکتار بود.

پرسش دیگری که محققین را به انجام تحقیقات در آن زمینه ترغیب کرده است، بررسی نقش کودهای شیمیایی در بهبود عملکرد گیاه سالیکورنیا است. آنچه در این زمینه نقش کلیدی دارد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است. نظر به اینکه اکثر خاک‌هایی که به تولید گیاهان شور پسند اختصاص می‌یابد خاک‌های فقیر می‌باشند، لذا انتظار می‌رود مصرف کودهای شیمیایی تأثیر مثبتی بر عملکرد گیاه داشته باشد (سیسای و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج تحقیق اخیر هماهنگ با این پیش‌بینی بوده و افزایش تولید علوفه از گیاه سالیکورنیا با مصرف کود اوره را تأیید نمود.

از آنجاکه علوفه سالیکورنیا برای برخی از دامداران ناشناخته است و تولید این گیاه توسط آب دریا با مقادیر بالای عناصر سمی نظیر سدیم و کلر انجام می‌شود، ممکن است مصرف آن برای دام مشکلاتی ایجاد

## بحث

استفاده از آب دریا جهت تولید محصولات کشاورزی مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. لیکن با توجه به اینکه آب دریا بسیار شور است، استفاده از آن جهت تولید گیاهان زراعی رایج امکان‌پذیر نبود و محدود به کشت گیاهان شورپسند است. تحقیقات محدودی در دنیا جهت استفاده از آب دریا برای تولید گیاه سالیکورنیا به‌عنوان یک گیاه شورزیست و باهدف تولید علوفه بخشی از جیره دام به‌ویژه در مناطق ساحلی انجام شده است. بررسی منابع نشان می‌دهد، عملکرد سالیکورنیا بسته به عوامل مختلفی از جمله شوری آب آبیاری، حجم آب مصرفی، گونه، تاریخ کاشت، شرایط فیزیکی و بافت خاک بسیار متفاوت است (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۰). در این راستا نتایج تحقیق حاضر نشان داد که متوسط علوفه خشک تولیدی از گونه بیگلوی که در ساحل دریای خلیج فارس و با آب باقابلیت هدایت الکتریکی ۶۴/۵ دسی زیمنس بر متر آبیاری شده است و



### نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که خاک و آب مورد مطالعه که در سواحل خلیج فارس و دریای عمان قرار گرفته است از نظر حاصلخیزی پایین است و مصرف کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن نظیر کود اوره جهت بهینه‌سازی تولید و افزایش عملکرد در واحد سطح محصولات زراعی نظیر گیاه سالیکورنیا ضرورت دارد. به‌نحوی که مصرف دویست کیلوگرم در هکتار کود اوره میزان پتانسیل تولید علوفه از گیاه سالیکورنیا با استفاده از آب دریا با قابلیت هدایت الکتریکی ۶۵ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۱۸۸ درصد افزایش می‌دهد. نتایج این پژوهش توانایی بالای *S. persica* را به‌عنوان گونه‌ای مقاوم به شوری و سازگار با شرایط آب‌و‌خاک شور تأیید نمود و زمینه جدیدی از فرصت‌های سرمایه‌گذاری و تحقیقات وابسته به آن در قالب پروژه‌های شورورزی با کشت و توسعه گیاه شورزیست سالیکورنیا که به نظر می‌رسد پتانسیل صنعتی مناسبی در زمینه خوراک دام و تولید روغن دارد را برای کشاورزان و سایر علاقه‌مندان معرفی کرد.

### تشکر و قدردانی

با توجه به اینکه هزینه‌های اجرای این پژوهش توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی وزارت نیرو تأمین شده است، بدین‌وسیله از این سازمان محترم تشکر و قدردانی می‌گردد.

نماید. لذا این موضوع توسط برخی از محققین بررسی شده است. نتایج تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که امکان استفاده از این گیاه جهت تغذیه دام نظیر گوسفند امکان‌پذیر و بلا مانع است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۹). پاپی و همکاران (۱۳۹۹) نیز ضمن بررسی تأثیر بقایای سالیکورنیا بر دام، نتیجه گرفتند که افزودن بقایای سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریا به جیره گوسفند تا سطح ۲۱ درصد ماده خشک، بدون ایجاد محدودیت امکان‌پذیر است.

نکته دیگری که باید به آن توجه نمود، نیاز آبی زیاد و پایین بودن کارایی مصرف آب برای گیاه سالیکورنیا است. این موضوع توسط رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶) گزارش شده است. براساس نتایج این پژوهش نیاز آبی سالیکورنیا وابسته به محل کشت، راندمان کاربرد سیستم آبیاری و میزان آبشویی متفاوت بوده و از حداقل ۱۹ تا ۴۰ هزار مترمکعب متغیر است. نتایج تحقیق اخیر نیز این موضوع را تأیید می‌کند. لذا تولید این گیاه برای شرایطی که قابلیت دسترسی آب زیاد است نظیر سواحل دریا مناسب است. شایان ذکر است که مصرف کودهای شیمیایی نظیر کود اوره می‌تواند بر کارایی مصرف آب مؤثر باشد به‌نحوی که نتایج تحقیق اخیر نشان داد با مصرف کود اوره می‌توان کارایی مصرف آب را به میزان سه برابر افزایش داد. از آنجائی که این اولین آزمایش میدانی در زمینه استفاده از کود اوره برای کشت سالیکورنیا با آب شور است، تکرار این آزمایش برای تعیین اثر آب شور بر خاک در سال‌های آینده پیشنهاد شد.

### فهرست منابع

۱. خورسندی، ف. ژ. وزیری و ع.ا. عزیزی‌زهان. ۱۳۸۹. شورورزی: استفاده پایدار از منابع آب‌و‌خاک شور در کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ایران.
۲. خوش‌خلق‌سیما، ن. ع. عبادی، ن. ریاحی‌سامانی و ب. درویش‌روحانی. ۱۳۹۹. سالیکورنیا: کاربردها، توان اقتصادی، کشت و بهره‌برداری. نشر آموزش کشاورزی، کرج. ایران.
۳. رحیمیان، م. ح. ی. هاشمی‌نژاد، م. پورمقدم و ح. بیرامی. ۱۳۹۶. برآورد تبخیر و تعرق و نیاز آبی سالیکورنیا در نوار ساحلی جنوب کشور. اولین همایش ملی شورورزی، یزد، ۱-۲ آذر ۱۳۹۶، ایران، ۱ (۱): ۵۸-۵۹، یزد، ایران.

۴. رنجبر، غ. ف. دهقانی، ا. علاءالدین و. سلطانی‌گردفرامزنی و س. کشتکار. ۱۴۰۰. ارزیابی عملکرد برخی گونه‌ها و اکتوپ‌های سالیکورنیا آبیاری شده با آب دریا و آب شور زیرزمینی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵ (۲): ۱۸۷-۲۰۰.
۵. زلفی‌باوریانی، م. ن. رشیدی، م. نوروزی و پ. بیات. ۱۳۹۸. اثرات متقابل نیتروژن و آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب و نیتروژن در گوجه‌فرنگی در استان بوشهر. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۳۵: ۱۶۸-۱۸۱.
۶. صادقی، س. م. و م. کریمی. ۱۴۰۰. امکان تولید علوفه از سالیکورنیا (*Salicornia persica Akhani*) تحت تیمارهای مختلف کیفیت آب آبیاری و مقادیر مختلف سولفات پتاسیم در شرایط مزرعه‌ای استان بوشهر. نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۸ (۳): ۴۷۲-۴۸۱.
۷. صادقی، م. ه. م. ساری، ط. محمدآبادی و م. رضایی. ۱۳۹۹. تعیین ارزش غذایی، تولید گاز و تجزیه‌پذیری گیاهان شورزیست سالیکورنیا (*Salicornia europaea*)، کاکل (*Suaeda aegyptica*) و گتک (*Halocnemum strobilaceum*) در گوسفند. فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری. ۱۲ (۳): ۲۱-۳۲.
۸. صالحی، م. ف. دهقانی، و ن. ابراهیمی. ۱۳۹۶. تجربه موفق تکثیر بذر سالیکورنیا با منابع آب شور. آب و توسعه پایدار. ۴ (۱): ۳۷-۴۶.
۹. کریمی، م. و م. زارع مهرجردی. ۱۳۹۹. اثر نوع کود نیتروژنی و شوری بر غلظت و الگوی جذب نیتروژن در گندم. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). ۴۳ (۱): ۱۵-۳۱.
۱۰. کریمی، م. م. ح. بناکار و ح. حاتمی. ۱۴۰۱. امکان‌سنجی افزایش تولید علوفه از گیاه آتریپلکس لتیفرمیس با استفاده از منابع آب نامتعارف و کودهای شیمیایی. مجله ترویجی علوفه و خوراک دام. ۱ (۵): ۳۲-۳۸.
۱۱. کریمی‌زارچی، م. ۱۳۹۴. راهنمای مصرف کودهای نیتروژنی برای تولید گندم. انتشارات صحرا شرق. مشهد. ایران.
۱۲. خادمی، ز. مهاجر میلانی، پ. بلالی، م. درودی، م. س. شهبازی، ک. و ملکوتی، ۱۳۸۰. مدل جامع کامپیوتری توصیه کودهای شیمیایی و آلی در راستای تولیدات کشاورزی پایدار چغندر قند. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران.
۱۳. بنائی، م. ح. مؤمنی، ع. بایوردی، م. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۳. خاکهای ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۱۴. کریمی، م. ۱۳۹۴. راهنمای مصرف کودهای نیتروژنی برای تولید گندم. صحرا شرق، مشهد، ایران.
۱۵. کریمی، م. ۱۳۹۸. پاسخ گندم رقم بم به اثرات متقابل شوری آب آبیاری و سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۲ (۱): ۲۳۹-۲۴۹.
۱۶. کشاورز، پ. مشیری، ف. طهرانی، م. و بلالی، م. ر. ۱۳۹۴. راهبردهای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک در تولید گندم در ایران. مدیریت اراضی. ۳ (۱): ۶۱-۷۲.
۱۷. مشیری، ف. شهبازی، ع. ا. کشاورز، پ. خوگر، ز. فیضی اصل، و. طهرانی، محمد م. اسدی رحمانی، ه.، سماوات، س. غیبی، م. ن. سدري، م. ح. رشیدی، ن. و سعادت، س. ۱۳۹۳. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه گندم. انتشارات سنا. تهران. ایران.

۱۸. متشع زاده ب.، وطن‌آرا، ف. و ثواقبی فیروزآبادی، غ. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر پتاسیم و روی بر برخی واکنش‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) به تنش شوری. پژوهش‌های خاک. ۲۹ (۳): ۲۴۳-۲۵۸.

19. Abdal, M.S. 2009. *Salicornia* production in Kuwait. World Applied Sciences Journal. 8: 1033-1038.
20. Akhni, H. 2006. Biodiversity of halophytic and Sabkha ecosystemes in Iran. P. 71-88. In Khan M. A., Boer, B., Kust, G. S., Barth, H. J. (eds) Sabkha Ecosystems. Tasks for Vegetation Science, Vol 2. Springer, Dordrecht.
21. Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. Agronomy Journal, 54: 406-465.
22. El-Nwehy, S.S., A.I Rezk, A.B. El-Nasharty, and O.A. Nofal. 2020. Influences of Irrigation with Diluted Seawater and Fertilization on Growth, Seed Yield and Nutrients Status of *Salicornia* Plants. Pakistan Journal of Biological Sciences. 23 (10): 1267-1275.
23. F.A.O. 2005. Fertilizer use by crop in the Islamic Republic of Iran. <https://www.fao.org/3/a0037e/a0037e09.htm>.
24. Glenn, E.P, J.J Brown, and J.W. O'Leary. 1999. Irrigation crops with seawater. Scientific American, 279 (2): 76-81.
25. Genn, E.P., J.W. O'leary, C. Watson, T.L. Thompson, R. O. Kueh. 1991. *Salicornia bigelovii* Torr. An Oilseed Halophyte for Seawater Irrigation. Science, 251: 1065-1067.
26. Hamzenejad, T.T., H. Khodaverdiloo, S. Manafi and S. Rezapour. 2012. Simultaneous uptake and accumulation of sodium and cadmium or lead by three halophyte plants in two calcareous soils. Journal of Water and Soil, 25 (6): 1299-1309.
27. Jackson, M. L. 1958. Soil chemical analysis. Advanced course. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Madison, Wisconsin.
28. Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Washington, D.C.: CRC Press.
29. Lyra, D. A., S. Ismail, K.U.R.B. Butt, and J. J. Brown. 2016. Evaluating the growth performance of eleven *Salicornia bigelovii* populations under full strength seawater irrigation using multivariate analyses. Australian Journal of Crop Science, 10 (10): 1429-1441.
30. Ramasubramanian, A. and K. Uyyavanthan. 2017. Growth, productivity and nutritional status of *Salicornia brachiata* Roxb. Cultivated in saline soils supplemented with organic manures under sea water irrigation. Journal of Plant Stress Physiology, 7: 1-9.
31. Rengasamy, P. 2016. Soil Chemistry Factors Confounding Crop Salinity Tolerance—A Review. Agronomy. 53: 1-11.
32. Sisay, T.A., Z. Nurbekova, O. Dinara, K.D. Arvind, K. Khatri, V. Mudgal, A. Mudgal, A. Neori, M. Shpigel, R.K. Srivastava. M.B.C. Luísa, D. Standing, and M. Sagi. 2022. Effect of Salinity and Nitrogen Fertilization Levels on Growth Parameters of *Sarcocornia fruticosa*, *Salicornia brachiata*, and *Arthrocnemum macrostachyum*. Agronomy, 12: 1-16.
33. Page, A.L. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.

34. Pandya, J. B., R.H. Gohil, J.S. Patolia, M.T. Shah, and D.R. Parmar. 2006. A study on *Salicornia* (*S. brachiata* Roxb.) in salinity ingressed soils of India. *International Journal of Agricultural Research*, 1 (1): 91-99.
35. Ranjbar, G., H. Pirasteh-Anosheh, F. Dehghanie, S. Keshtkar, and M. Race. 2022. Feasibility of growing *Salicornia* species in a coastal environment through planting date and density management in a direct seawater irrigation system. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 1-10.
36. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington. DC. USDA Handbook No. 60.
37. Ventura, Y., and M. Sagi. 2013. Halophyte crop cultivation: the case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. *Environmental and Experimental Botany*, 92: 144-153.
38. Wilcox, L.V. 1955. Classification and use of irrigation waters. United States Department of Agriculture Circular, 969: 1-19.

# مدل‌سازی پراکنش مکانی کلاس‌های خاک با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین

## در بخشی از اراضی استان زنجان

مستانه رحیمی مشکله، محمد امیر دلاور\*، محمد جمشیدی و امین شریفی فر

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران؛ [mastanehrahimi@znu.ac.ir](mailto:mastanehrahimi@znu.ac.ir)

دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران؛ [amir-delavar@znu.ac.ir](mailto:amir-delavar@znu.ac.ir)

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ [mohammadjamshidi@yahoo.com](mailto:mohammadjamshidi@yahoo.com)

پژوهشگر گروه علوم خاک پردیس کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران؛ [sharififar@ut.ac.ir](mailto:sharififar@ut.ac.ir)

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ و پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۴

### چکیده

نقشه‌برداری رقومی از روش‌های نوینی است که از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و متغیرهای محیطی پیروی کرده و به دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه انجام مطالعه برای پهنه‌بندی خصوصیات و کلاس‌های خاک در سطوح مختلف طبقه‌بندی کاربرد گسترده‌ای در سطح جهانی دارد. این پژوهش باهدف مقایسه کارایی مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی مکانی زیرگروه‌های خاک در بخشی از اراضی استان زنجان انجام شد. برای این منظور، بر اساس الگوی طبقه‌بندی تصادفی با میانگین فاصله ۵۰۰ متر، ۱۴۸ خاک‌رخ حفر و تشریح گردید و مطابق با سامانه جامع رده‌بندی خاک به روش آمریکایی طبقه‌بندی شد. خاک‌ها در سطح زیرگروه در پنج کلاس تیبیک کلسی‌زریپتز، تیبیک هاپلوزریپتز، جیپسیک هاپلوزریپتز، تیبیک زراورتنز و لیتیک زراورتنز طبقه‌بندی شد. متغیرهای محیطی شامل نقشه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و داده‌های حاصل از تصاویر سنجش‌ازدور بود. ۵۷ متغیر محیطی به‌عنوان نمایندگان عوامل خاک‌سازی استخراج گردید و با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی و نظر کارشناسان، مؤثرترین متغیرهای محیطی انتخاب شد. مدل‌سازی خاک - زمین‌نما با استفاده از الگوریتم‌های جنگل تصادفی، درخت تصمیم توسعه‌یافته و رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای در محیط نرم‌افزار Rstudio انجام شد. صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه به ترتیب در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای ۶۵٪ و ۴۱٪، در مدل جنگل تصادفی ۶۵٪ و ۳۲٪ و در مدل درخت تصمیم توسعه‌یافته ۶۰٪ و ۳۵٪ به دست آمد. صحت کاربر و صحت تولیدکننده نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای برآورد قابل قبولی در پیش‌بینی مکانی زیرگروه‌های خاک ارائه می‌دهد. متغیرهای عمق دره، فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص همواری بالای پشته با درجه تفکیک بالا و شاخص طول در جهت شیب دارای بیش‌ترین اهمیت در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای بود. کلاس‌های خاک با فراوانی بیشتر صحت بالاتری داشت. که نشان می‌دهد رابطه مستقیمی بین فراوانی کلاس‌های خاک در داده‌های آموزشی با صحت نتایج پیش‌بینی کلاس‌های خاک برقرار است.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای، ضریب کاپا، نقشه برداری رقومی خاک، ویژگی‌های توپوگرافی

\* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: [amir-delavar@znu.ac.ir](mailto:amir-delavar@znu.ac.ir)

در این رابطه  $S_a$ : ویژگی‌های قابل پیش‌بینی خاک،  $S_c$ : کلاس خاک موردنظر،  $C$ : اقلیم،  $O$ : پوشش گیاهی یا فعالیت‌های جانوری و انسانی،  $T$ : توپوگرافی،  $P$ : مواد مادری خاک،  $a$ : سن و یا زمان سپری‌شده،  $n$ : موقعیت مکانی نمونه‌ها و پیش‌بینی‌ها و  $e$ : مقدار خطای پیش‌بینی است که در مدل اسکورپن، تابع مختصات و موقعیت مکانی آن‌ها است. در این رابطه، ویژگی‌ها یا کلاس‌های خاک با متغیرهای محیطی<sup>۳</sup> ارتباط داده می‌شوند. به این صورت که در هر منطقه، متغیرهای محیطی وجود دارند که می‌توانند با ویژگی‌ها یا کلاس‌های خاک در محل همبستگی داشته باشند. یافتن این ارتباط و پیش‌بینی ویژگی‌ها یا کلاس‌های خاک در نقاط دیگر، سبب تهیه نقشه رقومی خاک در تمام منطقه مورد مطالعه می‌گردد (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۲۰۱۴)؛ به واسطه نیاز تهیه نقشه‌های خاک و ارائه اطلاعات به‌روز و قابل‌اعتمادتر درباره خاک‌ها همراه با ارتقای تفسیر نتایج، به‌نحوی که افراد غیرمتخصص نیز بتوانند از این اطلاعات استفاده کنند، استفاده از روش‌های نوین در تهیه نقشه خاک ضروری است. در این راستا روش نقشه‌برداری رقومی خاک<sup>۴</sup> با هدف تهیه نقشه‌های دقیق بر مبنای مدل‌سازی کمی روابط بین کلاس‌ها یا ویژگی‌های خاک و داده‌های محیطی نماینده عوامل خاک‌سازی به‌عنوان یک روش جایگزین برای تهیه نقشه‌های خاک به روش سنتی معرفی شده است (هارتمینک و همکاران، ۲۰۰۸؛ کمپن و همکاران، ۲۰۰۹).

کلید اصلی نقشه‌برداری رقومی خاک، استفاده مؤثر از متغیرهای کمکی برای درک روابط خاک - زمین - نما است (فن و همکاران، ۲۰۲۲). انتخاب مجموعه‌ای از متغیرهای کمکی که با تجزیه و تحلیل ویژگی‌های محیطی یک منطقه روابط خاک - زمین نما را مشخص کنند، اهمیت بسیاری دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷، لیانگ و همکاران، ۲۰۲۰). محققان مختلف از مدل‌های رقومی

خاک به‌عنوان یک محیط چندمنظوره برای رشد گیاهان یک جزء کلیدی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار شناخته می‌شود (ایون و همکاران، ۲۰۲۱). امروزه استفاده بهینه از اراضی به‌عنوان یک چالش بزرگ مدیریتی در دنیا مطرح است (گارگ و همکاران، ۲۰۲۰)، بنابراین تصمیم‌گیرندگان به اطلاعات مکانی دقیق خاک نیاز دارند تا اطمینان حاصل کنند خاک و اراضی با روشی کارآمد و پایدار مورد استفاده، مدیریت و حفاظت قرار می‌گیرند (هلفنستاین و همکاران، ۲۰۲۲). نقشه‌های خاک از مهم‌ترین منابع اطلاعات شناسایی خاک در کشور هستند و اغلب با روش‌های سنتی (مرسوم) تهیه شده و یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های استفاده از روش‌های نقشه‌برداری مرسوم خاک تأکید بر قابلیت‌های فردی و درک خاک‌شناس از روابط خاک و زمین‌نما است که معمولاً با خطا همراه است (النگر، ۲۰۰۷). محدودیت‌های دیگر شامل بررسی میدانی طولانی است که فرآیند نقشه‌برداری را وقت‌گیر و غیراقتصادی می‌کند (لاگاچری و مک‌براتنی، ۲۰۰۶) و نقشه‌های تهیه شده اغلب توسط کاربران نهایی، غیرقابل‌دسترس و بدون استفاده باقی می‌مانند (سانترا و همکاران، ۲۰۲۱). به‌منظور رفع محدودیت‌های ذکر شده، مک‌براتنی و همکاران (۲۰۰۳) با مرور مدل‌های مختلف تخمین و برآورد مکانی خاک و توجه به علوم ریاضی و آمار برای انتخاب متغیرهای محیطی مناسب در تهیه نقشه خاک‌ها به ارائه یک چارچوب تعمیم‌یافته تحت عنوان مدل اسکورپن<sup>۱</sup> (رابطه ۱) اقدام کردند؛ آن‌ها با دخیل نمودن موقعیت مکانی و دیگر مشخصه‌های خاک، اقدام به بسط و توسعه مدل چندعاملی ینی<sup>۲</sup>، به‌منظور برآورد و تخمین یک ویژگی یا کلاس خاک نمودند و انقلابی گسترده در نقشه‌برداری خاک در سراسر جهان در دو دهه اخیر به‌وجود آوردند.

$$S_a \text{ or } S_c = f(s, c, o, r, p, a, n) + e \quad (1)$$

3. Environmental covariates  
4. Digital soil mapping, DSM

1. Scorpan  
2. Jeny

بزرگ حاصل از داده‌های ماهواره‌ای یا پارامترهای مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع است (پادریان و همکاران، ۲۰۲۰). این داده‌ها به عنوان کنترل‌کننده‌ها یا پیش‌بینی‌کننده‌های محیطی که نماینده عوامل خاک‌سازی هستند، نقش دارند (هنگل و همکاران، ۲۰۱۸). الگوریتم‌های مختلفی در نقشه‌برداری رقومی خاک استفاده می‌شود که از جمله این موارد می‌توان به جنگل تصادفی<sup>۲</sup>، درخت تصمیم توسعه‌یافته<sup>۳</sup> و رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای<sup>۴</sup> اشاره کرد. پژوهش‌های متعددی توسط محققان در سال‌های اخیر بر روی مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی کلاس‌های خاک انجام گرفته است (کمپن و همکاران، ۲۰۰۹؛ سای‌لین و همکاران ۲۰۱۱؛ تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۲۰۱۵؛ پلگرینو و همکاران، ۲۰۱۶؛ مصلح و همکاران، ۱۳۹۶).

با وجود گذشت بیش از شش دهه از انجام مطالعات خاک‌شناسی در ایران هنوز نقشه‌های خاک در کشور به‌طور کامل تهیه نشده و از این رو تهیه نقشه‌های خاک باکیفیت و دقت قابل قبول با استفاده از روش‌های نوین نقشه‌برداری می‌تواند برای اراضی فاقد نقشه موردتوجه قرار گیرد. از طرفی مطالعات نقشه‌برداری رقومی خاک در استفاده از متغیرهای محیطی بیشتر معطوف به استفاده از فاکتورهای رقومی ارتفاع و سنجش‌ازدور بوده و استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی به‌عنوان متغیرهای محیطی که به‌طور مستقیم می‌توانند بر پراکنش انواع خاک‌ها اثرگذار باشند کمتر استفاده شده است؛ بنابراین هدف از انجام این مطالعه تلفیق اطلاعات نقشه‌های ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی همراه با سایر متغیرهای محیطی برای تهیه نقشه‌های رقومی خاک با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین جنگل تصادفی، درخت تصمیم توسعه‌یافته و رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای است.

#### مواد و روش‌ها

ارتفاع، داده‌های طیفی سنجش‌ازدور و نقشه‌های حاصل از مطالعات موروثی به‌عنوان متغیرهای محیطی استفاده کرده‌اند. تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۱۴) برای نقشه‌برداری رقومی کلاس‌های خاک در منطقه اردکان استان یزد از ویژگی‌های توپوگرافی و نقشه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی، موسوی و همکاران (۱۳۹۸) در مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی کلاس خاک در بخشی از اراضی دشت قزوین با اطلاعات مدل رقومی ارتفاع و شاخص‌های سنجش‌ازدور، مقصودی و همکاران (۱۳۹۹) برای پیش‌بینی مکانی واحدهای خاک در اراضی استان ایلام تنها از داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاع به‌عنوان متغیرهای محیطی و عباس‌زاده افشار و همکاران (۱۳۹۷) از ویژگی‌های پستی و بلندی همراه با فرآیندهای ژئومورفیک در پیش‌بینی گروه بزرگ‌های خاک در بخشی از اراضی جنوب شرق ایران استفاده کردند. ملاح و همکاران (۲۰۲۲) در پیش‌بینی کلاس‌های بافتی خاک در مزارع شمال ایران از تصاویر سنجش‌از راه دور، مدل رقومی ارتفاع و داده‌های زیست اقلیم به‌عنوان متغیر محیطی استفاده کردند.

کاربرد روش‌های یادگیری ماشین در زمینه‌های مختلف علوم به‌ویژه در دهه گذشته به‌سرعت افزایش یافته است (میناسنی و مک‌براتی، ۲۰۱۶). دسترسی روزافزون به داده‌های خاک که می‌توانند به‌طور مؤثری از روش‌های دورسنجی و مطالعات سنجش‌از نزدیک<sup>۱</sup> به دست آیند و الگوریتم‌هایی که آزادانه در دسترس هستند، منجر به پذیرش سریع روش‌های یادگیری ماشین برای تجزیه و تحلیل داده‌های خاک شده است (پادریان و همکاران، ۲۰۲۰). تحقیقات علوم خاک، به‌ویژه، در زمینه پدومتریک، از مدل‌های آماری برای یادگیری یا درک داده‌ها استفاده کرده و چگونگی پراکنش خاک در مکان و زمان را بیان می‌کنند (مک‌براتی و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از کاربردهای مهم روش‌های یادگیری ماشین عمدتاً شناسایی و پیش‌بینی الگوهای موجود در چندین مجموعه داده

2. Random Forest, RF  
3. Boosted Decision Tree, BRT  
4. Multinomial Logistic Regression, MNLR

1. Proximal Sensing

خشک شدن از الگ ۲ میلی‌متری عبور داده شد و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک (بویوکاس، ۱۹۶۲)، واکنش خاک (پری و لاوتن‌شلاگر، ۱۹۸۴)، کربنات کلسیم معادل خاک (لانیون و هیلد، ۱۹۸۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی (سامنر و میلر، ۱۹۹۶)، قابلیت هدایت الکتریکی (ریچاردز، ۱۹۵۴)، کربن آلی (والکی و بلک، ۱۹۳۴) بر روی تمام نمونه‌ها و در صورت مشاهده صحرایی بر روی برخی نمونه‌های دارای گچ (آرتیدا و همکاران، ۲۰۰۶) انجام شد. خاک‌رخ‌ها بر اساس نتایج تشریح و اطلاعات تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در سیستم جامع رده‌بندی خاک به روش آمریکایی (هیئت شناسایی خاک<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴) تا سطح فامیل طبقه‌بندی شدند.

#### متغیرهای محیطی

متغیرهای محیطی مورد استفاده شامل اطلاعات نقشه‌های ژئومورفولوژی، نقشه زمین‌شناسی، داده‌های سنجش‌ازدور و توپوگرافی هستند. برای این منظور نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه تهیه‌شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در محیط Arc-GIS نسخه ۱۰٫۷ زمین مرجع و رقومی شد (شکل ۲، الف). از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ متر سنجنده استر، ۱۸ شاخص پستی‌وبلندی در محیط نرم‌افزار SAGA GIS (نسخه ۷٫۹) استخراج شد. ۳۶ شاخص سنجش‌ازدور از تصاویر سنجنده (OLI/TIRS) ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ متر (USGS 2014) پس از اعمال تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری در محیط نرم‌افزار ENVI (نسخه 5.3) تهیه و استخراج شد. نقشه ژئومورفولوژی منطقه بر اساس تلفیق لایه‌های اطلاعاتی شامل واحدهای لندفرم و مواد مادری به همراه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای بر اساس رویکرد سلسله‌مراتبی ارائه شده توسط زینک (زینک، ۲۰۱۵) تهیه گردید (جدول ۱، شکل ۲-ب). از میان متغیرهای محیطی

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۱۳۸۲۳ هکتار از توابع شهرستان ایچرود استان زنجان است. این منطقه در جنوب غربی استان زنجان با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی منطقه ۳۴۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۴ درجه سلسیوس و میانگین ارتفاع منطقه ۱۴۸۲ متر از سطح دریا است (سالنامه آماری زنجان، ۱۳۹۸). خاک‌های منطقه دارای رژیم حرارتی مزیک<sup>۱</sup> و رژیم رطوبتی زیریک<sup>۲</sup> هستند (موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۸۹). سازندهای زمین-شناسی عمده منطقه شامل لایه‌های کربناته، سنگ آهک، کنگلومرا و مواد آتشفشانی و فیزیوگرافی منطقه شامل دو واحد اراضی تپه‌ماهور<sup>۳</sup> و دشت‌های دامنه‌ای<sup>۴</sup> است. اراضی تپه‌ماهوری در سطح پستی‌وبلندی به تپه‌های با ارتفاع متوسط<sup>۵</sup> و تپه‌های با ارتفاع کم<sup>۶</sup> تفکیک شده‌اند. با توجه به تقسیم‌بندی زمین‌شناسی، تپه‌های با ارتفاع متوسط غالباً رسوبات واریزه‌ای - بادرفتی آهکی همراه با مارن<sup>۷</sup> و پستی‌وبلندی تپه‌های با ارتفاع کم غالباً شامل مخلوط رسوبات واریزه‌ای - بادرفتی و مارن<sup>۸</sup> هستند.

#### مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

پس از بررسی نقشه‌های توپوگرافی و استفاده از اطلاعات موروثی در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، تصاویر برگرفته از گوگل ارث و انجام بازدیدهای صحرایی، ۱۴۸ خاک‌رخ بر اساس الگوی طبقه‌بندی تصادفی با میانگین فاصله ۵۰۰ متر مطابق روش‌های استاندارد مطالعه (راهنمای مطالعات خاک<sup>۹</sup>، ۲۰۱۷) و نمونه‌برداری از افق‌های مشخصه سطحی و زیرسطحی هر خاک‌رخ انجام شد. نمونه‌ها پس از هوا

1. Mesic
2. Xeric
3. Hill lands
4. Piedmont plains
5. Medium hill
6. Low hill
7. Marl+lime+alluvio-colluvium
8. Marl+Alluvio-colluvium
9. Soil survey manual



بوستینگ<sup>۲</sup> و رگرسیون درختی است (آبر، ۲۰۰۹). بوستینگ یک روش مرحله‌ای روبه‌جلو است که در آن مدل‌های درختی به صورت تکرارپذیر با زیرمجموعه‌ای از داده‌های آموزشی برآزش داده می‌شوند. در برآزش رگرسیون درختی توسعه‌یافته باید دو پارامتر نرخ یادگیری<sup>۳</sup> و پیچیدگی درخت<sup>۴</sup> مشخص گردند. نرخ یا مقدار یادگیری سهم هر درخت متوالی را در مدل نهایی تعیین می‌کند. پیچیدگی درخت اثرات اصلی یا اثرات متقابل بین متغیرها را نشان می‌دهد (الیت و همکاران، ۲۰۰۸). مدل‌سازی رگرسیون درختی توسعه‌یافته در نرم‌افزار Rstudio و با بسته C5.0 انجام شد.

### رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای

مدل رگرسیون لجستیک یک نوع مدل خطی تعمیم‌یافته است و برای مجموعه داده‌هایی مناسب است که متغیر وابسته به صورت کیفی است. این مدل‌ها قادر به توصیف روابط بین مجموعه‌ای از متغیرهای پیش‌بینی کننده و یک متغیر وابسته دویخی است که دارای مقادیر صفر یا چهار است (کلاین باوم و همکاران، ۲۰۰۸). در هر دو حالت مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای برای هر کلاس خاک در منطقه مورد مطالعه توسعه و روابط توپوگرافی و واحدهای طبقه‌بندی خاک از داده‌ها تعیین شدند. مدل‌سازی رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار Rstudio بر اساس بسته "Caret" انجام شد.

تهیه‌شده، تعدادی متغیر محیطی بر اساس رویکرد تحلیل مؤلفه اصلی<sup>۱</sup> در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶،۰،۰ و رتبه-بندی اهمیت نسبی مدل یادگیری ماشین به همراه نظارت کارشناس برای ورود به مدل انتخاب گردید (کوهن و جانسون، ۲۰۱۳).

### مدل‌سازی مکانی

بعد از آماده‌سازی داده‌ها و متغیرهای محیطی مؤثر در مدل‌سازی به‌عنوان متغیرهای وابسته و داده‌های مربوط به کلاس‌های خاک به پیش‌بینی کلاس‌های خاک با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، درخت تصمیم توسعه‌یافته و رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای در محیط نرم‌افزار RStudio (نسخه ۲،۳،۴۹۲) اقدام شد.

### جنگل تصادفی

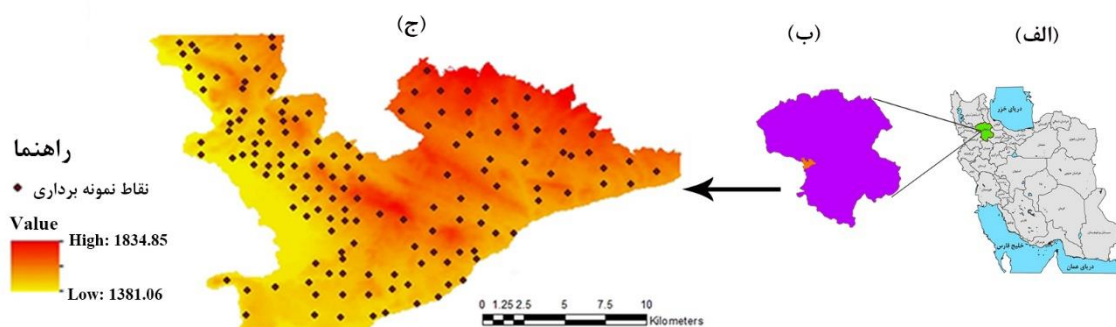
مدل جنگل تصادفی یک تکنیک یادگیرنده فعال و توسعه‌یافته از مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی است. در این روش داده‌ها به‌طور تکراری برای به دست آوردن ارتباط بین متغیر پاسخ و متغیرهای مستقل و انجام تخمین جداسازی می‌شوند. در روش جنگل تصادفی برخلاف سایر روش‌های درختی که تعداد محدودی درخت ترسیم می‌کنند، صدها یا هزاران درخت طبقه‌بندی تولید می‌شود (بريمن و کالتر، ۲۰۰۴). این روش یک روش یادگیری گروهی است و برای طبقه‌بندی با ساختن تعداد درختان زیاد عمل می‌نماید (بريمن، ۲۰۰۱). کلید مراحل مدل-سازی با استفاده از روش یادگیری جنگل تصادفی با استفاده از بسته Random Forest به همراه کدنویسی در محیط نرم‌افزار RStudio انجام شد.

### درخت تصمیم توسعه‌یافته

رگرسیون درختی توسعه‌یافته به‌عنوان یکی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین ترکیبی از دو تکنیک آماری

2. Boosting  
3. Learning rate  
4. Tree complexity

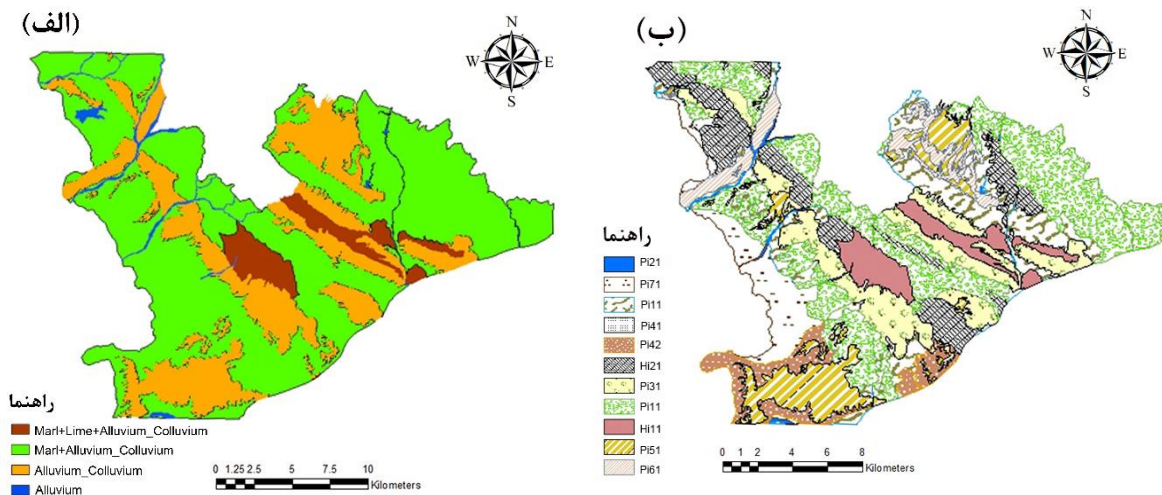
1. Principal Component Analysis, PCA



شکل ۱- موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری (الف) ایران، (ب) زنجان و (ج) مدل رقومی ارتفاع منطقه

جدول ۱\_ واحدهای تفکیک‌شده در سطح لندفرم بر اساس اطلاعات ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه

واحد نقشه	اجزای لندفرم	شکل زمین	سنگ‌شناسی/منشأ	پستی‌وبلندی/قالب	زمین‌نما
Consociation	Hi111	Slope facet complex	Marl + Lime + Alluvium - Colluvium	Medium hill	تپه‌ماهور
	Hi211	Summit			
	Hi212	Shoulder			
Complex	Hi213	Backslope	Marl + Alluvium - Colluvium	Low hill	
	Hi214	Footslope			
	Hi215	Toeslope			
Association	Pi111	High glacial	Alluvium - Colluvium	Glacial, Dissected	
Complex	Pi211	Middle glacial	Marl + Alluvium - Colluvium	Glacial, Moderately dissected	
Association	Pi311	Low glacial	Marl + Alluvium - Colluvium	Glacial, Low dissected	
Association	Pi411	Side slope	Alluvium	Glacial terrace, Dissected	دشت دامنه‌ای
Consociation	Pi421	Tread	Alluvium - Colluvium		
Association	Pi511	Side slope	Marl + Alluvium - Colluvium	Glacial terrace, Slightly eroded	
Association	Pi611	Side slope	Alluvium - Colluvium	Coalescing fan	
Association	Pi711	Upper part	Marl + Alluvium - Colluvium	Channeled recent alluvial deposits	
	Pi712	Middle part			
	Pi713	Lower part			



شکل ۲\_ الف) نقشه زمین‌شناسی ب) نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

شاخص دارای مقداری بین صفر و یک است. اگر کاپا برابر با صفر باشد نشان‌دهنده طبقه‌بندی کاملاً تصادفی و مقدار منفی نشان‌دهنده خطا در طبقه‌بندی و اگر این مقدار برابر با یک باشد نشان‌دهنده طبقه‌بندی کاملاً صحیح است.

$$Kappa = N \sum_{i=1}^k X_{ii} - \sum_{i=1}^k (X_{i+} \times X_{+i}) / N^2 - \sum_{i=1}^k (X_{i+} \times X_{+i}) \quad (3)$$

در این رابطه  $X_{i+}$  و  $X_{+j}$  به ترتیب مجموع حاشیه‌ای برای ردیف  $i$  و ستون  $j$  هستند. مقادیر کاپا بیشتر از  $0/8$  نشان‌دهنده توافق یا دقت قوی بین نقشه طبقه‌بندی و اطلاعات مرجع زمینی است. مقادیر بین  $0/4$  و  $0/8$  نشان‌دهنده توافق متوسط و مقادیر کمتر از  $0/4$  نشان‌دهنده توافق ضعیف است (کنگلتون، ۱۹۹۱).

برای ارزیابی هر طبقه خاک، دو شاخص صحت تولیدکننده و صحت کاربر نیز محاسبه شد. دقت تولیدکننده از تقسیم تعداد کل پیکسل‌های صحیح یک کلاس بر تعداد کل پیکسل‌های آن کلاس از داده‌های مرجع زمین (کل ستون) محاسبه می‌شود و از رابطه ۴ به-دست می‌آید.

$$PA = \frac{X_{jj}}{X_{+j}} \quad (4)$$

در این رابطه  $X_{jj}$  و  $X_{+j}$  به ترتیب مجموع حاشیه‌ای برای ردیف  $j$  و ستون  $j$  هستند.

### ارزیابی عملکرد مدل‌ها

اعتبار یک مدل به‌طور ساده بیان درصدی از پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط آن مدل است که با واقعیت موجود هماهنگی دارد. به‌منظور آموزش مدل‌ها مجموعه خاک رخ‌ها (متغیرهای محیطی و کلاس‌های خاک) به‌صورت تصادفی به دو مجموعه با نسبت چهار به یک تقسیم شدند. ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل و ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده شد. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های صحت کلی نقشه، صحت تولیدکننده، صحت کاربر<sup>۳</sup> و ضریب کاپا<sup>۴</sup> انجام شد (جنسن، ۱۹۹۶). صحت کلی نقشه از تقسیم تعداد کل پیکسل‌های که به‌درستی پیش‌بینی شده (مجموع قطر در ماتریس خطا) بر تعداد کل پیکسل‌های ماتریس خطا ( $N$ ) به دست می‌آید (رابطه ۲).

$$OA = \sum_{i=1}^k X_{ii} / N \quad (2)$$

در این رابطه  $X_{ii}$  تعداد مشاهده‌ها در ردیف  $i$  و ستون  $i$  است،  $k$  تعداد سطرها (کلاس‌های خاک) در ماتریس خطا است.

شاخص کاپا معیاری برای مقایسه طبقه‌بندی مدل خودکار با طبقه‌بندی تصادفی است (رابطه ۳). این

1. Overall Accuracy, OA
2. Producer Accuracy, PA
3. Users Accuracy, UA
4. Kappa Index

جدول (۳) ارائه شده است. نتایج مطالعه خاک‌رخ‌ها نشان می‌دهد خاک‌رخ شماره (۱) خاکی است با ضخامت زیاد و بافت سبک (شنی لومی) و زهکشی مناسب، فاقد گچ بوده و بیشترین میزان میزان آهک در افق‌های این خاک‌رخ مشاهده می‌گردد که از سطح به عمق با روندی نامنظم کاهش می‌یابد. خاک‌رخ شماره (۲) خاکی عمیق و دارای بافت شنی لومی است این خاک‌ها بر روی مواد مادری مارن گچی تشکیل شده و دارای نفوذپذیری متوسط می‌باشند. میزان گچ در این خاک‌رخ از سطح به عمق به‌طور نامنظم افزایش پیدا کرده است و رنگ آن در افق‌های سطحی روشن‌تر از سایر خاک‌رخ‌هاست. در این خاک رخ بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی به چشم می‌خورد و به نظر می‌رسد رابطه مستقیمی بین میزان گچ و شوری وجود دارد. خاک‌رخ شماره (۳) تنها خاک‌رخی است که ضخامت آن کم است و این موضوع به شیب و توپوگرافی زیاد منطقه مربوط است. بیشترین مقدار سیلت، رس و آهک در این خاک‌رخ قابل مشاهده است. بافت آن لومی رسی است که دارای زهکشی و نفوذپذیری متوسط است. خاک‌رخ شماره (۴) خاکی است عمیق که بیشترین مقدار شن در آن مشاهده می‌شود و بافت آن در تمامی افق‌ها شنی لومی است. بیشترین مقدار کربن آلی در این خاک رخ مشاهده می‌شود که از سطح به عمق روند کاهش دارد و به‌طور کلی مقدار ماده آلی با عمق کاهش می‌یابد. این خاک‌رخ دارای زهکشی و نفوذپذیری مناسب است. در خاک‌رخ شماره (۵) بیشترین میزان سیلت و رس مشاهده می‌شود و بافت آن سیلت رسی است. این خاک-رخ نیز مانند سایر خاک‌رخ‌ها ضخامت زیاد دارد و نفوذپذیری آن متوسط است.

مطابق با نتایج حاصل شده از جدول (۳)، خاک‌رخ‌های شاهد شماره (۱) و (۲) در رده اینسپتی‌سول در مراحل آغازین تکامل و بر روی زمین‌نمای تپه‌ماهور مشاهده شدند. این خاک‌ها بر روی مواد مادری آهکی و گچی تشکیل شده و دارای نفوذپذیری مناسبی هستند. وجود افق مشخصه زیرسطحی کلسیک در این دو خاک-

صحت کاربرد از تقسیم تعداد کل پیکسل‌های صحیح یک کلاس بر تعداد کل پیکسل‌هایی که واقعاً در آن دسته طبقه‌بندی شده‌اند (کل ردیف) محاسبه می‌شود و از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$UA = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \quad (5)$$

در این رابطه  $X_{+i}$  و  $X_{ii}$  به ترتیب مجموع حاشیه‌ای برای ردیف  $i$  و ستون  $j$  هستند. دامنه تغییرات صحت تولیدکننده و صحت کاربرد بین صفر و یک است و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل است.

## نتایج و بحث

### تشریح کلی خاک‌های منطقه

نتایج طبقه‌بندی نشان داد که خاک‌های منطقه در دو رده انتی‌سولز<sup>۱</sup> و اینسپتی‌سولز<sup>۲</sup> قرار می‌گیرند. این خاک‌ها در سطح زیرگروه در پنج کلاس تیبیک کلسی-زریپتز<sup>۳</sup>، تیبیک هاپلوزریپتز<sup>۴</sup>، جیپسیک هاپلوزریپتز<sup>۵</sup>، تیبیک زراورتنتر<sup>۶</sup> و لیتیک زراورتنتر<sup>۷</sup> طبقه‌بندی شدند. نتایج محاسبه مساحت گسترش و درصد مساحت هر کدام از کلاس‌ها با توجه به مدل‌های جنگل تصادفی، درخت تصمیم توسعه‌یافته و رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای در جدول (۲) ارائه شده است. کلاس خاک تیبیک کلسی-زریپتز ۶۳/۹۳ درصد با مدل جنگل تصادفی، ۷۶/۷۵ درصد با مدل درخت تصمیم توسعه‌یافته و ۶۴/۱۲ درصد با مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای و کلاس جیپسیک هاپلوزریپتز، ۰/۸۰ درصد با مدل جنگل تصادفی، ۰/۹۴ درصد با مدل درخت تصمیم توسعه‌یافته و ۰/۷۳ درصد با مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای به ترتیب بیش‌ترین و کمترین فراوانی و مساحت را در بین هر سه مدل به خود اختصاص دادند. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و طبقه‌بندی خاک‌رخ‌ها در منطقه مورد مطالعه در

1. Entisols
2. Inceptisols
3. Typic Calcixerepts
4. Typic Haploxerepts
5. Gypsic Haploxerepts
6. Typic Xerorthents
7. Lithic Xerorthents

شانه شیب دارای عمق کم و زهکشی متوسط است؛ و با توجه به موقعیت مکانی آن امکان نفوذ عمقی آب باران کم و در نتیجه افزایش آبدوی و فرسایش ذرات ریز در خاک سطحی می‌شود. خاک‌رخ شاهد شماره (۴) در رده انتی‌سول قرار داشته و به دلیل واقع شدن در زمین‌نمای دشت دامنه‌ای و تأثیر رسوبات دوره‌ای فاقد تکامل پروفیلی است. در این زمین‌نما شیب زمین تا حد زیادی کاهش یافته و تقریباً به صورت مسطح درآمد است و ضخامت لایه‌های رسوب قابل توجه است.

رخ حاصل فرآیند تجمع آهک ثانویه در افق‌های زیرین است. تشکیل افق کلسیک به دلیل افزایش میزان کربنات کلسیم از سطح به عمق تحت تأثیر فرآیند آبشویی از لایه‌های سطحی و انتقال و انباشت آن‌ها در لایه‌های زیرسطحی یا تجمع در محل آهک ثانویه در افق خاک است (تان و همکاران، ۲۰۱۴؛ شیتزل و تامپسون، ۲۰۱۵). خاک‌رخ شاهد شماره (۳) خاکی جوان، بدون تکامل پروفیلی و در رده انتی‌سول طبقه‌بندی شده است. این خاک‌رخ با قرار گرفتن در زمین‌نمای تپه‌ماهور و موقعیت

جدول ۲- فراوانی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین

کلاس‌های خاک	زمین‌نما	مدل‌های یادگیری ماشین					
		جنگل تصادفی		درخت تصمیم توسعه یافته		رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای	
		درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار
تیبیک کلسی زیرتپه		۶۳/۹۳	۸۸۳۷/۸۹	۷۶/۷۵	۱۰۶۱۰/۱۳	۶۴/۱۲	۸۸۶۳/۶۳
جیپسیک هاپلوزریتز	تپه‌ماهور	۰/۸۰	۱۰۹/۶۱	۰/۹۴	۱۳۱/۱۳	۰/۷۳	۱۰۲/۱۶
لیتیک زراورتنز		۶/۶۶	۹۲۱/۲۷	۰/۸۹	۱۲۳/۸۷	۶/۵۷	۹۰۹/۱۲
تیبیک زراورتنز		۱۹/۴۸	۲۶۹۲/۸۳	۱۰/۷۳	۱۴۸۳/۶۴	۱۹/۵۸	۲۷۰۷/۱۲
تیبیک هاپلوزریتز	دشت دامنه‌ای	۹/۱۳	۱۲۶۱/۷۲	۱۰/۶۶	۱۴۷۴/۵۵	۸/۹۷	۱۲۴۱/۲۷

به دلیل متأثر بودن از مواد مادری (مارن گچی) و اثر شیب از توسعه قابل توجهی در منطقه برخوردار نیستند. خاک-رخ‌های ۴ و ۵ به دلیل وقوع فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری از تکامل پروفیلی کم و از طرفی گستره کمتر زمین‌نمای دشت دامنه‌ای نسبت به تپه‌ماهور برخوردار هستند.

#### متغیرهای محیطی منتخب

بر اساس اهداف تحقیق و روش‌های انتخاب متغیر محیطی از میان ۵۷ متغیر محیطی تولیدشده، ۱۰ متغیر محیطی شامل اطلاعات نقشه‌های ژئومورفولوژی، اطلاعات زمین‌شناسی و ویژگی‌های مستخرج از مدل رقومی ارتفاع شامل تجزیه و تحلیل سایه‌اندازی تپه‌ها، طلوع خورشید<sup>۲</sup>، عمق دره<sup>۳</sup>، شاخص طول در جهت

فرزام‌نیا و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود گزارش نمودند که خاک‌های تشکیل شده در زمین‌نمای دشت دامنه‌ای به علت فرآیندهای متوالی فرسایش و رسوب‌گذاری دارای ضخامت بیشتر و تحول پروفیلی کمتر هستند. خاک‌رخ شاهد شماره (۵) خاکی است از رده اینسپتی‌سول، نسبتاً عمیق با زهکشی مناسب که در انتهای زمین‌نمای دشت دامنه‌ای قرار گرفته است. وجود افق مشخصه کمبیک در این خاک‌رخ نشان‌دهنده توسعه کم و مراحل اولیه تکامل است.

نتایج نشان داد که خاک‌رخ شاهد ۱ بیش‌ترین فراوانی را در مقایسه با سایر خاک‌رخ‌های شاهد به خود اختصاص داده است. این خاک‌رخ عمدتاً در مناطقی از زمین‌نما قرار دارند که امکان تجمع املاح و زمان کافی برای وقوع فرآیندهای خاک‌سازی در آن فراهم است و دارای شرایط پایداری بوده و گستره قابل توجهی از منطقه را به خود اختصاص داده است. خاک‌رخ‌های شاهد ۲ و ۳

1. Analytical Hillshading

2. Sunset

3. Valley Depth

لجستیک چندجمله‌ای به ترتیب برابر ۶۵، ۶۰ و ۶۶ درصد پیش‌بینی‌شده و مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای بهترین عملکرد برای پیش‌بینی زیرگروه‌های خاک را نشان می‌دهد. در پژوهشی مشابه توسط فاتحی و همکاران (۱۳۹۴) در بخشی از اراضی استان کرمانشاه نشان داده شد که صحت کلی نقشه پیش‌بینی زیرگروه‌های خاک با روش‌های رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای و درختان طبقه‌بندی به ترتیب ۵۰ و ۴۷ درصد است که مؤید آن است که مدل رگرسیون لجستیک توانایی بیشتری برای پیش‌بینی زیرگروه‌های خاک در منطقه مورد مطالعه داشته است. جین و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه نقشه‌برداری رقومی کلاس‌های خاک در غرب هائیتی با مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای و مدل درختان تصادفی به این نتیجه رسیدند که رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای با مقدار شاخص کاپا ۰/۴۵ کارایی بهتری نسبت به مدل درخت تصادفی داشته است.

نتایج دو شاخص صحت کاربر و صحت تولیدکننده برای کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، زیرگروه تیبیک کلسی‌زپتیز که ۶۴/۱۲ درصد از نقاط مشاهداتی را به خود اختصاص داده است در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای به ترتیب دارای صحت کاربر ۶۴ درصد و صحت تولیدکننده ۹۴ درصد است که نشان می‌دهد این مدل دارای توانایی بالاتری برای پیش‌بینی این کلاس نسبت به دو مدل جنگل تصادفی (صحت کاربر ۶۱ درصد و صحت تولیدکننده ۸۵ درصد) و درخت تصمیم توسعه‌یافته (صحت کاربر ۶۲ درصد و صحت تولیدکننده ۸۰ درصد) است. از طرفی زیرگروه جیپسیک هاپلوزپتیز با کمترین فراوانی نقاط مشاهداتی (۰/۷۳ درصد) کمترین صحت کاربر و صحت تولیدکننده در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای (صحت کاربر ۲۰ درصد و صحت تولیدکننده ۳۴ درصد) را دارا است. جین و همکاران (۲۰۱۸) بالاترین مقدار صحت کاربر و صحت تولیدکننده را ۷۹ و ۶۹ درصد و کمترین مقدار را برای

شیب<sup>۱</sup>، فاصله تا شبکه آبراهه<sup>۲</sup>، شاخص رطوبتی توپوگرافی<sup>۳</sup> و شاخص همواری بالای پشته با درجه تفکیک بالا<sup>۴</sup> به‌عنوان مؤثرترین متغیرهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک شناخته‌شده و به‌عنوان ورودی مدل انتخاب گردید (جدول ۴). اثر فرآیندهای ژئومورفولوژی در توسعه خاک توسط تعدادی از محققین مانند اسکول و همکاران (۲۰۰۵)، جعفری و همکاران (۲۰۱۲)، تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) بررسی شده است. آن‌ها تأکید کردند اطلاعات ژئومورفولوژی مهم‌ترین متغیر کمکی برای تخمین نقشه کلاس‌های خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. ادھیکاری و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود بیان کردند نقشه زمین‌شناسی در کنار مقدار رس خاک سطحی و ارتفاع، مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای بیان تغییرات خاک با استفاده از سامانه رده‌بندی جهانی هستند. جعفری و همکاران (۲۰۱۳) و ویس و لاگچری (۲۰۱۵) در مطالعه خود گزارش کردند که ویژگی‌های توپوگرافی و فرآیندهای ژئومورفیک در پیش‌بینی کلاس‌های خاک از عوامل مؤثر بر تشکیل خاک در مناطق مورد مطالعه هستند.

#### کارایی مدل‌های پیش‌بینی کننده

نتایج مقادیر صحت‌سنجی پیش‌بینی مکانی هر یک از کلاس‌های خاک بر اساس چهار شاخص صحت کلی، شاخص کاپا، صحت کاربر و صحت تولیدکننده در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. مطابق با نتایج ارائه‌شده، شاخص کاپا در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای ۰/۴۱، در مدل جنگل تصادفی ۰/۳۲ و در مدل درخت تصمیم توسعه‌یافته ۰/۳۵ است که مؤید آن است که این شاخص در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای دارای توافق متوسط و در دو مدل دیگر دارای توافق ضعیف است. مقادیر شاخص صحت کلی برای مدل جنگل تصادفی، مدل درخت تصمیم توسعه‌یافته و رگرسیون

1. LS\_Factor  
2. Channel Network Distance  
3. Topographic Wetness Index, TWI  
4. Multi-Resolution Ridge Top Flatness Index, MRRTF

## اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل رگرسیون

### لجستیک چندجمله‌ای

نتایج برازش مدل‌های یادگیری ماشین بر روی کلاس‌های خاک نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای بالاترین میزان صحت را برای پیش‌بینی زیرگروه‌های خاک ارائه داده است. شکل ۳ نتایج اهمیت نسبی متغیرهای محیطی و شکل ۴ پراکنش مکانی چهار مورد از مهم‌ترین متغیرهای محیطی در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج از میان متغیرهای محیطی منتخب چهار متغیر وابسته به توپوگرافی شامل عمق دره، فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص همواری بالای پشته با درجه تفکیک بالا و شاخص طول در جهت شیب دارای بیش‌ترین اهمیت هستند که نشان می‌دهد توپوگرافی مهم‌ترین عامل خاک‌سازی در منطقه مورد مطالعه است. در همین راستا موسوی و همکاران (۱۳۹۸) پارامترهای توپوگرافی را به‌عنوان مهم‌ترین پیش‌رسان‌های محیطی برای مدل‌سازی کلاس‌های خاک گزارش نمودند. عباس‌زاده افشار و همکاران (۱۳۹۷) بیان کردند متغیرهای محیطی مستخرج از مدل رقومی ارتفاع به دلیل داشتن همبستگی بالا با کلاس‌های خاک موجب ارتقاء صحت نقشه‌های رقومی خاک تهیه شده است. در مناطق با شدت پستی و بلندی بالا، مشخصه‌های توپوگرافی معمولاً پیش‌بینی‌کننده مناسبی در مدل‌سازی کلاس‌های خاک هستند و اغلب این ویژگی‌ها به‌عنوان پیش‌بینی‌شده کلیدی در نقشه‌برداری رقومی خاک استفاده می‌شوند (مک‌برانتی و همکاران، ۲۰۰۳). کلاس‌ها و ویژگی‌های خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک غالباً به‌وسیله مواد مادری و توپوگرافی تعیین و کنترل می‌شوند (مارکوس و مرکلی، ۲۰۰۷). لاگچری و همکاران (۲۰۰۷) و دبلا و اتزلمور (۲۰۰۹) تأثیر معنی‌دار خصوصیات توپوگرافی را به ترتیب در پیش‌بینی کلاس‌ها و ویژگی‌های خاک و پراکنش گروه‌های خاک با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای نشان دادند.

برخی از کلاس‌های خاک حداقل یا نزدیک به صفر گزارش نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد کلاس‌هایی که فراوانی بیش‌تری در مشاهده‌ها دارند صحت بالاتری در پیش‌بینی مدل نشان می‌دهند. برای افزایش صحت کلاس‌هایی که دارای کمترین صحت و صحت نامشخص هستند، می‌توان از تعداد نقاط مشاهداتی بیشتری استفاده کرد. دلیل دیگر این صحت نامشخص و کم، داده‌های محیطی به‌کاررفته در پهنه بزرگی از منطقه است که باعث می‌شود تغییرات خاک با صحت کمتری پیش‌بینی شود. صحت پیش‌بینی نسبتاً ضعیفی برای طبقات طبقه‌بندی خاک با حجم کم نمونه در ایران مرکزی گزارش شده است (جعفری و همکاران ۲۰۱۲). در مدل‌سازی گروه‌های خاک مرجع ایران، مشخص شد که گروه‌های خاک مرجع با تعداد نمونه بیشتر، با الگوریتم‌های یادگیری ماشین با دقت بیشتری نسبت به کلاس‌هایی با تعداد نمونه کم مدل‌سازی می‌شوند (تقی زاده و همکاران، ۲۰۲۰). هنگل و همکاران (۲۰۰۷) علت این صحت کم در پیش‌بینی کلاس‌های خاک را تعداد کم خاک‌رخ‌های مشاهداتی و همچنین دخیل نبودن سایر متغیرهای محیطی که نماینده سایر عوامل خاک‌سازی در تبیین ارتباط خاک و زمین‌نما باشند، می‌دانند. یانگ و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود نتیجه گرفتند تعداد نمونه‌ها، سطح منطقه مورد مطالعه و مقیاس نقشه از جمله خصوصیات هستند که نتایج و عملکرد پیش‌بینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مارچیتی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای یک برآورد سریع و قابل‌اعتماد برای متغیرهای طبقه‌ای نظیر کلاس خاک دارد. جعفری و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند در صورت شناخت کامل منطقه مورد بررسی و انتخاب متغیر محیطی مناسب مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای پتانسیل بالایی در پیش‌بینی کلاس‌های خاک دارند.

## پراکنش مکانی کلاس‌های خاک

با توجه به اینکه مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای نسبت به سایر مدل‌های یادگیری ماشین مورد استفاده در این تحقیق از صحت بالاتری برخوردار بود نقشه نهایی پیش‌بینی کلاس‌های خاک بر اساس این مدل در شکل ۵ ارائه شد. زیرگروه تیپیک کلسی‌زرپتز بیشترین و زیرگروه جیپسیک هاپلوزرپتز کمترین پراکنش را در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. گستره مکانی غالب، کلاس تیپیک کلسی‌زرپتز مربوط به بخش اعظم منطقه به‌جز مناطق محدودی از نواحی غربی، شمال شرقی و مرکزی است. الگوی پراکنش مکانی متغیر محیطی عمق دره رابطه معکوسی با سه متغیر فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص همواری بالای پشته با درجه تفکیک بالا و شاخص طول در جهت شیب دارد (شکل ۳) و به نظر می‌رسد در مناطقی که حداکثر عمق دره مشاهده می‌شود عمدتاً خاک‌های تیپیک زراورتنز، لیتیک زراورتنز و تا حدودی تیپیک هاپلوزرپتز که به ترتیب خاک‌هایی جوان و یا با تکامل پروفیلی حداقلی هستند، گسترش دارند. از دیدگاه پدولوژی چنین می‌توان تفسیر نمود که با افزایش مقدار فاکتور عمق دره در منطقه مطالعاتی شرایط و زمان کافی برای تشکیل و تکامل خاک‌هایی که در افق زیرسطحی آن‌ها امکان تجمع رس، آهک و گچ باشد وجود ندارد و در نقطه مقابل در بخش‌های از منطقه مطالعاتی که مقدار عمق دره کاهش یافته تشکیل خاک‌های تیپیک کلسی‌زرپتز و جیپسیک هاپلوزرپتز که خاک‌هایی متکامل‌تری هستند، فراهم شده است (شکل ۴). ارتباط بین پراکنش مکانی کلاس‌های خاک و واحدهای فیزیوگرافی شناسایی شده (جدول ۲) خاک لیتیک زراورتنز خاکی کم‌عمق در شیب زیاد (۱۲ تا ۲۵ درصد) بر روی واحد فیزیوگرافی تپه‌ماهور مشاهده شد که به دلیل واقع شدن بر روی بخش شانه شیب و فرسایش آبی ناپایدار است. دو خاک تیپیک کلسی‌زرپتز و جیپسیک هاپلوزرپتز نیز بر روی واحدهای فیزیوگرافی تپه‌ماهور مشاهده شدند اما به دلیل اینکه عمدتاً بر روی

قسمت پایدار این واحد فیزیوگرافی واقع شده‌اند امکان تشکیل دو افق زیرسطحی کلسیک و جیپسیک در آن‌ها فراهم شده که در نهایت منجر به تکامل پروفیلی این دو خاک شده است. در مورد تشکیل خاک تیپیک زراورتنز و تیپیک هاپلوزرپتز که بر روی واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای واقع شده است می‌توان بیان کرد که دلیل تکامل عدم پروفیلی این خاک‌ها، مربوط به فرآیندهای فرسایش یا رسوب‌گذاری دوره‌ای است که شرایط پایداری زمین‌نما<sup>۱</sup> در این بخش از فیزیوگرافی را به صورت محلی از بین برده است.



جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و طبقه‌بندی خاک‌رخ‌ها در منطقه مورد مطالعه

افق	عمق (cm)	رنگ خاک	در صد نسبی ذرات (%)			واکنش خاک <sup>۴</sup>	قابلیت هدایت الکتریکی <sup>۵</sup> (dSm <sup>-1</sup> )	ظرفیت تبادل کاتیونی <sup>۶</sup> (Cmol+ kg <sup>-1</sup> )	کربن آلی <sup>۷</sup> (%)	آهک <sup>۸</sup> (%)	کج <sup>۹</sup>
			شن <sup>۱</sup>	سیلت <sup>۲</sup>	رس <sup>۳</sup>						
A	۰-۱۵	10YR4/4	۵۶	۲۸	۱۶	۷/۹۸	-/۴۹	۱۲/۹۰	۰/۴۶	۱۶/۷	-
Bk1	۱۵-۴۵	10YR5/4	۵۰	۲۲	۲۸	۸/۳۰	-/۲۹	۱۸/۹۰	۰/۲۶	۲۶/۱	-
Bk2	۴۵-۶۵	10YR5/4	۶۴	۱۶	۲۰	۸/۱۳	-/۲۹	۱۶/۳۰	۰/۰۶	۲۷/۹	-
C	۶۵-۱۵۰	10YR5/4	۷۴	۱۲	۱۴	۸/۱۹	-/۴۴	۶/۴۰	۰/۰۷	۲۵/۸	-
خاک‌رخ شاهد شماره ۲ جیبسیک هاپلوزریتر (زمین‌نما: تپه‌ماهور، ارتفاع: ۱۴۴۹، شیب: ۵ تا ۸ درصد)											
A	۰-۱۵	10YR7/2	۵۴	۳۶	۱۰	۷/۶۵	۲/۸	۱۲/۵۰	۱/۱۵	۲۱/۴	۷/۰
Bky1	۱۵-۳۰	10YR8/2	۵۴	۳۶	۱۰	۷/۸۶	۲/۷	۹/۶۰	۰/۶۱	۱۶/۹	۲۳/۰
Bky2	۳۰-۴۷	10YR5/4	۴۶	۳۶	۱۸	۷/۸۱	۲/۹	۱۵/۶۰	۰/۳۹	۱۸/۹	۱۰/۰
Cky	۴۷-۷۵	7.5YR5/4	۵۲	۳۰	۱۸	۷/۶۲	۹/۲۶	۱۰/۶۰	۰/۳۵	۱۸/۳	۲۰/۰
Cy	۷۵-۱۵۰	7.5YR5/4	۵۸	۳۰	۱۲	۷/۶۲	۸/۱۰	۱۰/۳۰	۰/۱۹	۱۳/۱	۳۹
خاک‌رخ شاهد شماره ۳ لیتیک زراورتنتر (زمین‌نما: تپه‌ماهور، ارتفاع: ۱۶۶۹۹، شیب: ۱۲ تا ۲۵ درصد)											
A	۰-۱۰	10YR5/6	۱۶	۴۸	۳۶	۷/۹۴	-/۴۳	۲۵/۶۰	۰/۱۱	۱۹/۳	-
C	۱۰-۴۰	10YR5/6	۱۲	۴۸	۴۰	۸/۷۷	۱/۰۴	۲۳/۹۰	۰/۱۳	۲۳/۳	-
Cr	۴۰-۸۰		۱۶	۵۰	۳۴	۸/۲۶	۲/۵۳	۱۹/۲	۰/۰۶	۲۵/۵	-
خاک‌رخ شاهد شماره ۴ تیبیک زراورتنتر (زمین‌نما: دشت دامنه‌ای، ارتفاع: ۱۴۱۷، شیب: ۲ تا ۵ درصد)											
A	۰-۲۰	10YR6/3	۶۸	۲۲	۱۰	۷/۸۱	-/۶۰	۹/۱۰	۰/۲۸	۱۳/۱	-
C1	۲۰-۴۵	10YR5/3	۶۸	۲۰	۱۲	۷/۷۹	۱/۰۱	۱۰/۶۰	۰/۲۳	۱۴/۳	-
C2	۴۵-۸۰	10YR5/3	۶۸	۲۰	۱۲	۷/۹۳	۱/۰۳	۹/۹۰	۰/۲۰	۱۱/۵	-
C3	۸۰-۱۵۰	10YR5/3	۸۰	۱۴	۶	۸/۱۵	-/۶۵	-	۰/۱۰	۱۲/۶	-
خاک‌رخ شاهد شماره ۵ تیبیک هاپلوزریتر (زمین‌نما: دشت دامنه‌ای، ارتفاع: ۱۴۷۹، شیب: ۲ تا ۵ درصد)											
A	۰-۲۵	10YR4/4	۲۱	۵۱	۲۸	۸/۰۲	-/۷۶	۱۸/۰۰	۰/۲۵	۲۱/۶	-
Bw1	۲۵-۸۰	10YR4/3	۱۲	۴۲	۴۶	۸/۶۳	۱/۵۳	۲۸/۵۰	۰/۱۶	۲۲/۶	-
Bw2	۸۰-۱۵۰	10YR4/3	۸	۴۲	۵۰	۸/۶۶	۳/۷۷	-	۰/۱۷	۱۸/۷	-

۱- شن (sand)، ۲- سیلت (silt)، ۳- رس (clay)، ۴- واکنش خاک (pH)، ۵- قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، ۶- ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، ۷- کربن آلی (OC)، ۸- آهک (Calcium carbonate)

جدول ۴- متغیرهای محیطی منتخب برای مدل سازی جهت پیش بینی کلاس های خاک

منبع	نام متغیر	مقیاس	ماهیت متغیر	متغیر محیطی مورد استفاده
(زینک و همکاران، ۲۰۱۶)	نقشه ژئومورفولوژی (Geomorphology)	۱:۵۰۰۰۰	ژئومورفولوژی	نقشه ژئومورفولوژی
سازمان زمین شناسی کشور	نقشه زمین شناسی (Geology)	۱:۲۵۰۰۰۰	زمین شناسی	نقشه زمین شناسی
(ماهواره آوس، ۲۰۱۱)	مدل رقومی ارتفاع (DEM)	۳۰ متر		
(اولایا، ۲۰۰۴)	تجزیه و تحلیل سایه اندازی تپه ها (Analytical Hillshading)	۳۰ متر		
(اولایا، ۲۰۰۴)	طلوع خورشید (Sunrise)	۳۰ متر		
(اولایا، ۲۰۰۴)	عمق دره (Valley Depth)	۳۰ متر		
(اولایا، ۲۰۰۴)	شاخص طول در جهت شیب (LS_Factor)	۳۰ متر	توپوگرافی	مدل رقومی ارتفاع
(اولایا، ۲۰۰۴)	فاصله تا شبکه آبراهه (Channel Network Distance)	۳۰ متر		
(اولایا، ۲۰۰۴)	شاخص رطوبتی (TWI)	۳۰ متر		
(اولایا، ۲۰۰۴)	شاخص همواری بالای پشته با درجه تفکیک بالا (MRRTF)	۳۰ متر		

جدول ۵- صحت پیش بینی سطح طبقه بندی زیر گروه توسط الگوریتم های یادگیرنده

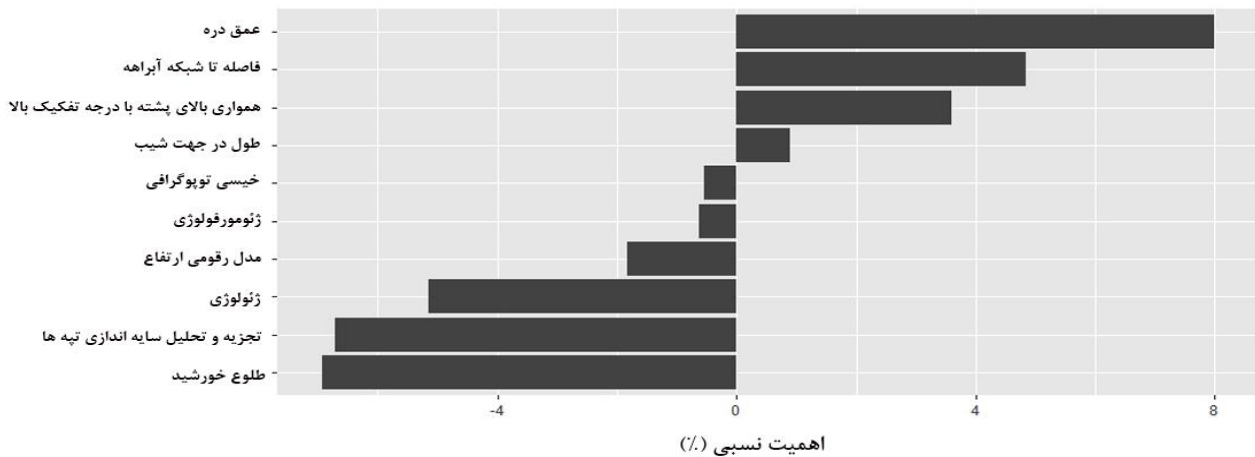
مدل یادگیری ماشین	شاخص های صحت سنجی	
	ضریب	صحت کلی (%)
جنگل تصادفی	۰/۳۲	۶۵
درخت تصمیم توسعه یافته	۰/۳۵	۶۰
رگرسیون لجستیک چندجمله ای	۰/۴۱	۶۶

جدول ۶- صحت تولید کننده و کاربر برای کلاس های خاک در سطح زیر گروه بر اساس مدل های برازش داده شده

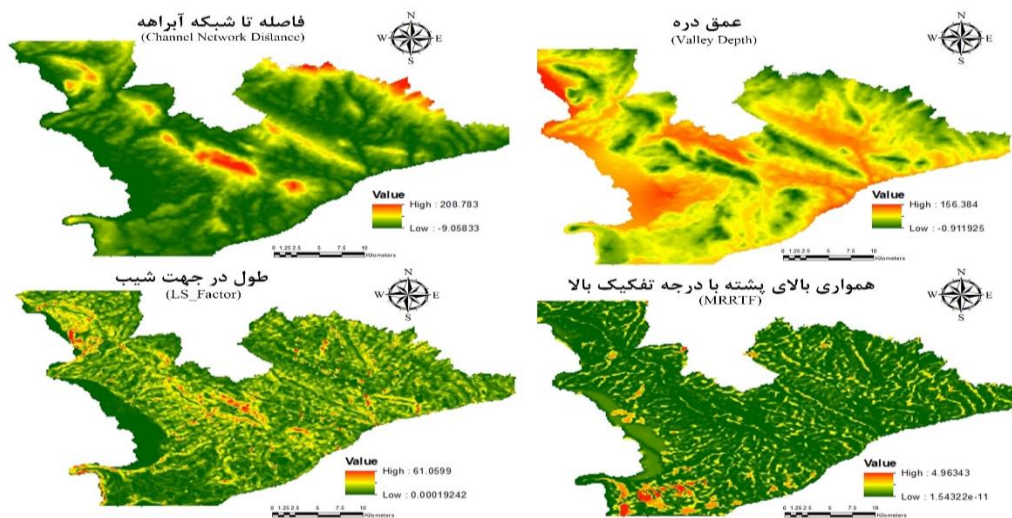
قابلیت اطمینان

کلاس خاک در سطح زیر گروه	صحت تولید کننده (%)			صحت کاربر (%)			
	مدل یادگیری ماشین	جنگل تصادفی	درخت تصمیم توسعه یافته	رگرسیون لجستیک چندجمله ای	جنگل تصادفی	درخت تصمیم توسعه یافته	رگرسیون لجستیک چندجمله ای
تیبیک کلسی زرپتزر		۸۵	۸۰	۹۴	۶۱	۶۲	۶۴
تیبیک هاپلوزرپتزر		۵۰	۵۰	۶۷	۱۰۰	۶۷	۱۰۰
جیپسیک هاپلوزرپتزر		۰	۰	۳۴	NaN	NaN	۲۰
تیبیک زراوتنتزر		۳۴	۴۰	۴۰	۶۵	۴۰	۶۷
لیتیک زراوتنتزر		۰	۰	۱۰۰	NaN	NaN	۱۰۰

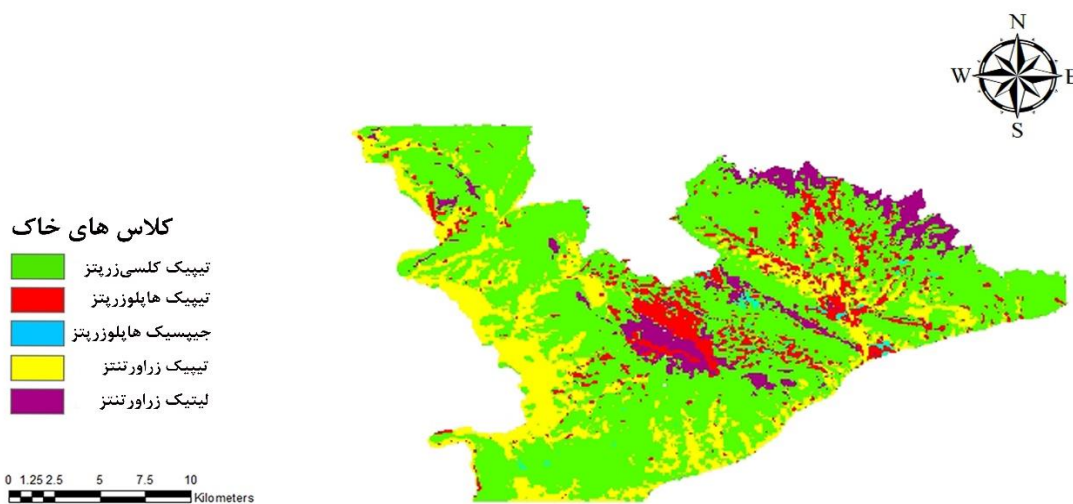
\*NaN: عدد نیست، هیچ پیش بینی برای این کلاس انجام نشده است



شکل ۳- اهمیت نسبی متغیرهای محیطی پیش‌بینی کننده کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه بر اساس مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای



شکل ۴- نقشه مهم‌ترین متغیرهای محیطی پیش‌بینی کننده کلاس خاک در مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای



شکل ۵- پراکنش مکانی زیرگروه‌های خاک با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای

## نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه با هدف استفاده از الگوریتم‌های جنگل تصادفی، درخت تصمیم توسعه‌یافته و رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای به منظور پیش‌بینی توزیع مکانی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه انجام شد. نتایج نشان داد که روش‌های یادگیری ماشینی یکی از مؤثرترین الگوریتم‌های داده‌کاوی در نقشه‌برداری رقومی خاک هستند. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که روش رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای با ایجاد ارتباط قوی بین داده‌های مشاهده‌ای صحرایی و متغیرهای محیطی قادر به ارائه نقشه پیش‌بینی مکانی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه با دقت قابل قبول و مورد اطمینان است. استفاده از متغیرهای ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی در کنار متغیرهای سنجش‌ازدور و مدل رقومی

ارتفاع می‌تواند در برقراری ارتباط بین خاک و زمین‌نما مؤثر باشد اما علی‌رغم استفاده از این متغیرها، متغیرهای توپوگرافی بیشترین اهمیت را در پیش‌بینی و مدل‌سازی رقومی کلاس‌های خاک داشتند. با وجود اینکه مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای توانست نسبت به سایر مدل‌ها دقت قابل قبولی ارائه دهد اما مقادیر پایین شاخص‌های دقت کاربر و تولیدکننده برای کلاس‌هایی که دارای فراوانی حداقل بودند می‌تواند به عدم تعادل داده‌های خاک در منطقه مطالعاتی مربوط باشد و پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی، تأثیر متعادل‌سازی کلاس‌های خاک در مطالعات نقشه‌برداری رقومی در مناطق شیب‌دار مورد ارزیابی و نتایج صحت‌سنجی حاصله با نتایج تحقیق حاضر در این منطقه مقایسه گردد.

## فهرست منابع

۱. سالنامه آماری استان زنجان ۱۳۹۸، «۱- سرزمین و آب‌وهوا»، سازمان آمار کشور.
۲. عباس زاده افشار، ف.، و ایوبی، ش.، و جعفری، ا. ۱۳۹۷. پیش‌بینی مکانی گروه بزرگ‌های خاک با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و درخت تصمیم در منطقه جنوب شرق ایران. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، ۴۱(۲): ۱۳۳-۱۴۶.
۳. فاتحی، ش.، محمدی، ج.، صالحی، م.، مؤمنی، ع.، تومانیان، ت.، جعفری، ا. ۱۳۹۴. انبوهش‌زدائی مکانی نقشه‌ی سنتی خاک با استفاده از رگرسیون لجستیک چند کلاسه و درختان طبقه‌بندی) مطالعه موردی: زیر حوضه آبخیز مرک در استان کرمانشاه. چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۸-۳۰ شهریور، رفسنجان، ایران، ۲۰۸-۲۱۳.
۴. فرزام نیا، پ.، منافی، ش.، ممتاز، ح. ر. ۱۳۹۴. تشکیل و تحول خاک‌های متشکله بر روی رسوبات کواترنر در بخشی از دشت ارومیه. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۵(۲): ۹۳-۱۱۱.
۵. مصلح، ز.، صالحی، م. ح.، و جعفری، ع. ۱۳۹۶. نقشه‌برداری رقومی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف رده‌بندی آمریکایی با استفاده از مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته در دشت شهرکرد. چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۸-۳۰ شهریور، رفسنجان، ایران، ۳۴۷-۳۴۳.
۶. مقصودی ز، رستمی‌نیا م، فرامرزی م، کشاورزی ع، رحمانی ا، موسوی س. ا. نقشه‌برداری رقومی کلاس فامیل خاک با استفاده از رویکرد یادگیری ماشین (مطالعه موردی: اراضی نیمه‌خشک غرب ایران). ۱۳۹۹. مجله علوم آب‌و خاک. ۲۴ (۲): ۱۶۳-۱۵۳.

۷. موسوی، س.، و سرمیدیان، ف.، و رحمانی، ا. ۱۳۹۸. مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی کلاس خاک با استفاده از الگوریتم یادگیری رگرسیون درختی توسعه‌یافته و جنگل‌های تصادفی در بخشی از اراضی دشت قزوین. تحقیقات آب‌و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۵۰(۱۰): ۲۵۲۵-۲۵۳۸.
۸. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۸۹. مطالعات پژوهشی مکان‌یابی، خاک‌شناسی و ارزیابی اراضی برای احداث باغات در استان زنجان. نشریه شماره ۱۵۴۷، ۳۶۴ صفحه. کرج. ایران.
9. Abeare, S. 2009. Comparisons of boosted regression tree, GLM and GAM performance in the standardization of yellowfin tuna catch-rate data from the Gulf of Mexico lonline [sic] fishery.
  10. Adhikari, K., Hartemink, A.E., Minasny, B., Bou Kheir, R., Greve, M.B., and Greve M.H. 2014. Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. PLoS ONE, 9:1-13.
  11. Artieda, O., Herrero, J., and Drohan, P. J. 2006. Refinement of the differential water loss method for gypsum determination in soils. Soil Science Society of America Journal, 70(6): 1932-1935.
  12. Behrens, T., Schmidt, K., MacMillan, R. A., and Viscarra Rossel, R. A. 2018. Multi-scale digital soil mapping with deep learning. Scientific reports, 8(1): 1-9.
  13. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal, 54(5): 464-465.
  14. Breiman, L. 2001. Random forests. Machine learning, 45(1): 5-32.
  15. Breiman, L., and Cutler, A. 2004. Random Forests. Department of Statistics, University of Berkeley.
  16. Brungard, C. W., Boettinger, J. L., Duniway, M. C., Wills, S. A., and Edwards Jr, T. C. 2015. Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. Geoderma, 239: 68-83.
  17. Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote sensing of environment, 37(1): 35-46.
  18. Debella-Gilo, M., and Etzelmüller, B. 2009. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vestfold County, Norway. Catena, 77(1): 8-18.
  19. Elith, J., Leathwick, J. R., and Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. Journal of animal ecology, 77(4): 802-813.
  20. Elnaggar, A. A. 2007. Development of predictive mapping techniques for soil survey and salinity mapping. Oregon State University.
  21. Evans, D.L., Janes-Bassett, V., Borrelli, P., Chenu, C., Ferreira, C.S., Griffiths, R.I., Kalantari, Z., Keesstra, S., Lal, R., Panagos, P. and Robinson, D.A. 2022. Sustainable futures over the next decade are rooted in soil science. European Journal of Soil Science, 73(1): e13145.
  22. Fan, N.Q., Zhao, F.H., Zhu, L.J., Qin, C.Z. and Zhu, A.X. 2022. Digital soil mapping with adaptive consideration of the applicability of environmental covariates over large areas. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 113:102986.
  23. Garg, K.K., Anantha, K.H., Nune, R., Akuraju, V.R., Singh, P., Gumma, M.K., Dixit, S. and Ragab, R. 2020. Impact of land use changes and management practices on groundwater resources in Kolar district, Southern India. Journal of Hydrology: Regional Studies, 31: 100732.
  24. Hartemink, A. E., A. McBratney and M. d. L. Mendonca-Santos. 2008. Digital soil mapping with limited data. Springer.
  25. Helfenstein, A., Mulder, V.L., Heuvelink, G.B. and Okx, J.P. 2022. Tier 4 maps of soil pH at 25 m resolution for the Netherlands. Geoderma, 410:115659.

26. Hengl, T., Nussbaum, M., Wright, M. N., Heuvelink, G. B., and Gräler, B. 2018. Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ*, 6, e5518.
27. Hengl, T., Toomanian, N., Reuter, H., and Malakouti, M.J. 2007. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: Lessons from Iran. *Geoderma*, 140: 417-427.
28. Jafari, A., Finke P.A, Van deWauw, J., Ayoubi, S., and Khademi, H. 2012. Spatial prediction of USDA-great soil groups in the arid Zarand region, Iran: comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. *European Journal Soil Science*, 63(2): 284-298.
29. Jafari, A., Ayoubi, S., Khademi, H., Finke, P. A., and Toomanian, N. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: a case study from an Iranian arid region. *Geomorphology*, 201:86-97.
30. Jenny, H. 1994. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Courier Corporation.
31. Jensen, J. R. 1996. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (No. Ed. 2). Prentice-Hall Inc.
32. Jeune, W., Francelino, M. R., Souza, E. D., Fernandes Filho, E. I., & Rocha, G. C. 2018. Multinomial logistic regression and random forest classifiers in digital mapping of soil classes in western Haiti. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42.
33. Kempen, B., Brus, D. J., Heuvelink, G. B., and Stoorvogel, J. J. 2009. Updating the 1: 50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. *Geoderma*, 151(3-4): 311-326.
34. Kirkham, M. B. 2014. Principles of soil and plant water relations. Academic Press.
35. Kleinbaum, A. M. 2018. Reorganization and tie decay choices. *Management Science*, 64(5): 2219-2237.
36. Kuhn, M., and Johnson, K. 2013. Applied predictive modeling (Vol. 26, p. 13). New York: Springer.
37. Lagacherie, P., McBratny, A.B. and Volts, M. 2007. Digital soil mapping: An introductory perspective. *Developments in soil science* 31(Elsevier, Amsterdam).
38. Lanyon, L. E., and Heald, W. R. 1983. Magnesium, calcium, strontium, and barium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9: 247-262.
39. Liang, P., Qin, C.-Z., Zhu, A.-X., Hou, Z.-W., Fan, N.-Q., Wang, Y.-J. 2020. A case-based method of selecting covariates for digital soil mapping. *Journal of Integrative Agriculture* 19: 2-11
40. Ma, Y., Minasny, B., Malone, B. P., and Mcbratney, A. B. 2019. Pedology and digital soil mapping (DSM). *European Journal of Soil Science*, 70(2): 216-235.
41. Mallah, S., Delsouz Khaki, B., Davatgar, N., Scholten, T., Amirian-Chakan, A., Emadi, M., Kerry, R., Mosavi, A.H. and Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2022. Predicting Soil Textural Classes Using Random Forest Models: Learning from Imbalanced Dataset. *Agronomy*, 12(11): 2613.
42. Marchetti, A., Piccini, C., Santucci, S., Chiuchiarelli, I., and Francaviglia, R. 2011. Simulation of soil types in Teramo province (Central Italy) with terrain parameters and remote sensing data. *Catena*, 85(3): 267-273.
43. Markus, E., and Merkli, C. 2007. Weathering, mineralogical evolution and soil organic matter along aHolocene soil toposequence developed on carbonate-rich materials. *Geomorphology* 97: 675-696.
44. McBratney, A. B., Santos, M. M., and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2): 3-52.
45. McBratney, A., de Gruijter, J., and Bryce, A. 2019. Pedometrics timeline. *Geoderma*, 338: 568-575.
46. Olaya, V. 2004. A gentle introduction to SAGA GIS. The SAGA user group.
47. Padarian, J., Minasny, B., and McBratney, A. B. 2020. Machine learning and soil sciences: A review aided by machine learning tools. *Soil*, 6(1): 35-52.

48. Pelegrino, M. H. P., Silva, S. H. G., Menezes, M. D. D., Silva, E. D., Owens, P. R., and Curi, N. 2016. Mapping soils in two watersheds using legacy data and extrapolation for similar surrounding areas. *Ciência e Agrotecnologia*, 40:534-546.
49. Perry Jr, C. R., & Lautenschlager, L. F. 1984. Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 14(1-3): 169-182.
50. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (Vol. 78, No. 2, p. 154). LWW.
51. Schaetzl, R. J., and Thompson, M. L. 2015. *Soils*. Cambridge university press.
52. Scull, P., Franklin, J., and Chadwick, O.A. 2005. The application of classification tree analysis to soil type prediction in a desert landscape. *Ecological Modelling*, 181: 1–15.
53. Soil science division staff. 2017. "Soil survey manual". USDA Handbook 18.120-131
54. Staff, S. S. 2014. Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA.
55. Sumner, M. E., and Miller, W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5:1201-1229.
56. Santra, P., Meena, H.M. and Yadav, O.P. 2021. Spatial and temporal variation of photosynthetic photon flux density within agrivoltaic system in hot arid region of India. *Biosystems Engineering*, 209:74-93.
57. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Minasny, B., Sarmadian, F., and Malone, B. P. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*, 213:15-28.
58. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Minasny, B., and Triantafilis, J. 2015. Comparing data mining classifiers to predict spatial distribution of USDA-family soil groups in Baneh region, Iran. *Geoderma*, 253: 67-77.
59. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Mahdianpari, M., Mohammadimanesh, F., Behrens, T., Toomanian, N., Scholten, T. and Schmidt, K., 2020. Multi-task convolutional neural networks outperformed random forest for mapping soil particle size fractions in central Iran. *Geoderma*, 376, p.114552.
60. Tan, W. F., Zhang, R., Cao, H., Huang, C. Q., Yang, Q. K., Wang, M. K., and Koopal, L. K. 2014. Soil inorganic carbon stock under different soil types and land uses on the Loess Plateau region of China. *Catena*, 121: 22-30.
61. Vaysse, K., and Lagacherie, P. 2015. Evaluating digital soil mapping approaches for mapping Global Soil Map soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France). *Geoderma Regional*, 4: 20-30.
62. 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.
63. Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützw, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N. and Wollschläger, U. 2019. Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, 333: 149-162.
64. Xiao-Lin, S. U. N., Yu-Guo, Z. H. A. O., ZHANG, G. L., Sheng-Chun, W. U., Yu-Bon, M. A. N., and Ming-Hung, W. O. N. G. 2011. Application of a digital soil mapping method in producing soil orders on mountain areas of Hong Kong based on legacy soil data. *Pedosphere*, 21(3): 339-350.
65. Yang, I., Jiao, Y., Fahmy, S., Zhu, A-X., Hann, S., Burt, J. E., and Qi, F. 2011. Updating conventional soil maps through digital soil mapping. *Soil Science Society of America Journal AbstractPedology*, 75(3): 1044-1053
66. Zhang, G.L., Liu, F., Song, X.D. 2017. Recent progress and future prospect of digital soil mapping: A review. *Journal of Integrative Agriculture* 16 (12): 2871–2885.
67. Zinck, J.A., Metternicht, G., Bocco, G. and Del Valle, H.F. eds. 2015. *Geopedology: An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies*. Springer.





## بررسی رابطه بین میزان نیتروژن کل و برخی ویژگی‌های خاک در منطقه زرین‌شهر

نیلوفر پیرستانی، مژگان احمدی ندوشن\*، محمدهادی ابوالحسنی، رسول زمانی احمد محمودی

دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران؛ niloofar.pirestani@yahoo.com

استادیار، گروه محیط‌زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان،

ایران؛ m.ahmadi1984@gmail.com

استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران؛ Hadi.mha2001@yahoo.com

دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران؛ zamani@nres.sku.ac.ir

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۰ و پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۱

### چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اسیدپته خاک، هدایت الکتریکی و کربن آلی بر میزان نیتروژن کل در خاک منطقه زرین‌شهر با استفاده از آنالیزهای آماری (تحلیل خط مرزی و رگرسیون گام‌به‌گام) بود. در منطقه زرین‌شهر، به مدت یک سال در هر فصل، با استفاده از GPS تعداد ۶۰ نقطه پلات‌هایی به طول، عرض و ارتفاع  $۵۰ \times ۵۰ \times ۲۰$  سانتی‌متر در اراضی کشاورزی، درختکاری و خاک لخت منطقه با متوسط فاصله‌ی ۵۴۶ متر انتخاب گردید و در هر یک از نمونه‌های خاک، ویژگی‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از آنالیز خط مرزی حداکثر واکنش یک فرآیند بیوژئوشیمیایی به یک عامل محیطی معین، مشخص شد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، هدایت الکتریکی خاک در فصول گرم سال مقادیر بیشتری نسبت به سایر فصول بود به طوری که در تابستان، حداکثر مقدار این پارامتر در حدود ۱۵۸۷ دسی زیمنس بر متر بود حال آنکه در زمستان به حدود ۱۱۴۰ دسی زیمنس بر متر نیز رسید. تحلیل مقادیر اسیدپته خاک نیز نشان داد که خاک‌های مطالعه شده عموماً در بخش خاک‌های قلیایی قرار دارند. درصد مواد آلی و کربن آلی خاک نیز تغییرپذیری مشهودی در بین فصول سال نشان دادند به صورتی که در پاییز و زمستان مقادیر این دو پارامتر نسبتاً کم (بین ۰/۰۴ - ۲/۵۲) و در تابستان و بهار افزایش چشمگیری داشت (بین ۰/۱۲ - ۲/۳۹). در این پژوهش، تحلیل خط مرزی برای بررسی روابط درونی بین متغیرها و همچنین مقادیری از شاخص‌هایی که باعث افزایش حداکثری نیتروژن خاک شد استفاده شد و مشاهده گردید که دو متغیر درصد کربن آلی و درصد نیتروژن خاک در کلیه کاربری‌ها رابطه خطی معنی‌داری داشتند به شکلی که با افزایش درصد کربن آلی، مقدار نیتروژن کل در خاک نیز افزایش پیدا کرد. رابطه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که از بین متغیرهای مورد مطالعه، درصد نیتروژن کل در خاک را می‌توان بر اساس تأثیر دو پارامتر هدایت الکتریکی و درصد کربن آلی شناسایی کرد. بر اساس نتایج، آنالیز خط مرزی و رگرسیون گام‌به‌گام روش مناسبی برای تعیین تأثیر فاکتورهای مؤثر بر میزان نیتروژن موجود در خاک است.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی، تحلیل خط مرزی، رگرسیون گام‌به‌گام

\*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.ahmadi1984@gmail.com

بیولوژیک و بیوشیمیایی قرار می‌گیرد. تغییر برخی از ویژگی‌های خاک همچون pH و EC بر روی نیتروژن در خاک اثر می‌گذارد، همچنین می‌تواند حلالیت و رسوب عناصر کم‌مصرف را تغییر دهد (کاشی‌ساز و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از روش‌هایی که حداکثر واکنش یک فرآیند بیوژئوشیمیایی به یک عامل محیطی معین را ارائه می‌دهد، آنالیز خط مرزی است. در تجزیه و تحلیل خط مرزی، یک پاسخ بیولوژیکی (عملکرد محصول یا محتوای نیتروژن خاک) تابعی از یک متغیر (غلظت مواد مغذی و کربن خاک) در نظر گرفته می‌شود که پاسخ را فقط به برخی زیرمجموعه مشاهدات محدود می‌کند زیرا سایر عوامل محدودکننده نیز اعمال می‌شوند؛ بنابراین تابع پاسخ به صورت مرز بالایی از نمودار پاسخ در برابر متغیر بیان می‌شود. این مدل به طور فراوان در شاخه‌های مختلف علوم مورد استفاده قرار می‌گیرد (لارک و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از روش‌های دیگری که برای کمی کردن خلأ عملکرد استفاده می‌شود روش رگرسیون گام‌به‌گام است (حجاری‌پور و همکاران، ۲۰۱۱). با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلأ عملکرد تعیین می‌شوند. در روش رگرسیون گام‌به‌گام محدودیت‌های عملکرد و در نهایت مدل تولید تعیین می‌شود. با استفاده از مدل تولید و مقادیر پارامترهای مدل سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد مشخص می‌شود (نوبتیانی و همکاران، ۱۴۰۱).

در مطالعه انجام شده توسط نوبتیانی و همکاران (۱۴۰۱) بررسی و تعیین سهم کودهای شیمیایی ماکرو و خصوصیات خاک بر خلأ عملکرد گندم (*Triticum aestivum L.*) در شهرستان کلاله با استفاده از روش آنالیز خط مرزی انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آنالیز خط مرزی به عنوان یک روش مناسب، به نحو مطلوبی تأثیر عوامل مختلف در خلأ عملکرد گندم را نشان داد و به نظر می‌رسد که با اصلاح این عوامل محدودکننده، می‌توان اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی را کاهش داد. مطالعه دیگری توسط مدبنسکی و همکاران

در بوم نظام‌های زراعی پایدار، خاک به عنوان یک بخش زنده در نظر گرفته می‌شود و حفظ پویایی آن در طول زمان از لحاظ فعالیت ریز جانداران و همچنین چرخه ی مواد غذایی، از نکات بسیار مهم در دستیابی به پایداری است (آلتیری، ۲۰۱۸). خاک حاصلخیز، خاکی است که خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن در سطح مطلوب باشد (زارعی، ۲۰۱۹). از این رو، یافتن روش‌های ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر برای آگاهی از تغییرات ویژگی‌های خاک، می‌تواند سبب تسریع دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار شود. گزارش‌هایی مبنی بر وجود همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارائه شده است. به عنوان مثال می‌توان به وجود همبستگی بین هدایت الکتریکی و مقدار نیتروژن خاک، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و همبستگی بین هدایت الکتریکی و میزان ماده آلی خاک اشاره کرد (شیدای کرکچ و همکاران، ۱۳۹۶). نیتروژن بعد از کربن یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاهان و جانوران است که نقش بسیار مهمی در تغذیه گیاه دارد. این عنصر در ساختمان کلروفیل جزء ترکیب ساختمانی نوکلئیک اسیدها (DNA و RNA) و در ساختمان پروتئین نقش‌های عمده‌ای دارد (زارعی، ۲۰۱۹). مقدار نیتروژن در گیاهان مختلف بین ۱ تا ۱۰ درصد متغیر است و بنابراین می‌توان کمبود نیتروژن را محدودیت عمده‌ای برای عملیات اصلاح و احیای طبیعی در مناطق آسیب‌دیده محسوب کرد (لسزینسکی و همکاران، ۲۰۲۱). عوامل مؤثر در میزان نیتروژن معدنی خاک شامل رطوبت و دمای خاک، پوشش گیاهی، عملیات زراعی و مقدار مواد آلی خاک می‌باشند. شکل دیگر نیتروژن در خاک نیتروژن آلی است که ۹۰ تا ۹۵٪ از نیتروژن کل خاک را تشکیل می‌دهد و به اشکال اسیدهای آمینه، قندهای آمینه، بازهای آلی، لیگنین و غیره است (کاشی‌ساز و همکاران، ۱۳۹۴). فرم قابل جذب نیتروژن برای گیاهان نیتروژن معدنی یا نیترات و آمونیوم است (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۲). نیتروژن در خاک تحت تأثیر واکنش‌های شیمیایی،

نمونه‌های خاک از لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری با استفاده از بیل و بیلچه جمع‌آوری و با استفاده از آنالیزهای آماری (آنالیز خط مرزی و روش رگرسیون گام‌به‌گام) بررسی شد.

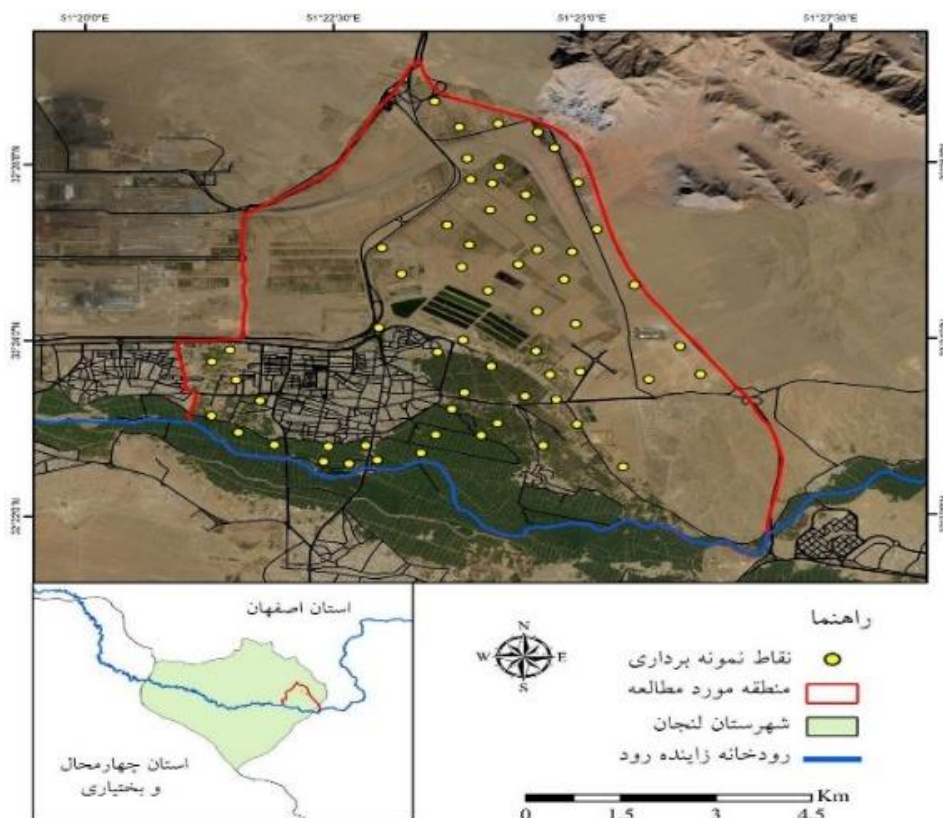
## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

شهرستان لنگان به مرکزیت زرین‌شهر با وسعت ۱۱۷۰ کیلومتر مربع در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و در موقعیت ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۲۴ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۷۶۸ متر است. بالاترین و پایین‌ترین میانگین درجه حرارت منطقه به‌موجب آمار اندازه‌گیری شده عبارت از ۲۷ و ۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی اریدیک و اکوئیک است. متوسط بارندگی سالانه در آن ۱۶۰ میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی ۲۸ درصد و تعداد روزهای یخبندان ۹۳ روز است. کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه شامل کشاورزی (عمدتاً کشت گندم و برنج)، شهری، صنعتی و زمین‌های بایر و کشت نشده است (الوندی و همکاران، ۱۳۹۷). برای انتخاب نقاط نمونه‌برداری، در ابتدا نواحی نفوذناپذیر (ساختمان و آسفالت) از محدوده‌ی جستجو حذف گردیدند، سپس تعداد ۶۰ نقطه مطالعاتی به‌صورت یکنواخت در یک شبکه نمونه‌برداری منظم و بافاصله نقاط ۵۴۶ متر انتخاب شد. منظور از اراضی درختی شامل ۱۵ نقطه از اراضی منابع طبیعی محل مطالعه بودند که اراضی جنگلی طبیعی و دست‌کاشت کنار جاده‌ها را شامل می‌شد که دارای پوشش درختی از نوع کاج می‌شدند. ۱۸ نقطه زمین‌های لخت و بایر بودند و ۲۷ مورد شامل اراضی کشاورزی زراعی و باغی می‌باشند. به‌منظور انتخاب این نقاط از روش بلوک کاملاً تصادفی استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌های به‌دست‌آمده به روش دانکن انجام گرفت. پراکنشی مکانی این نقاط در شکل (۱) نشان داده شده است.

(۲۰۱۰) بر روی تأثیر خصوصیت محدودکننده خاک بر میزان غنای گونه توسط تجزیه و تحلیل آنالیز خط مرزی در چندین زیست‌بوم در جنوب غربی آفریقا انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد، غنای گونه‌ای در محدوده یکسانی از یک ویژگی خاص خاک ممکن است تحت تأثیر برهم‌کنش خواصی از خاک باشد که به‌طور هم‌زمان در جهات مختلف عمل می‌کنند. الگوهای مشاهده‌شده لزوماً اثرات یک ویژگی خاص خاک را نشان نمی‌دهند، بلکه ممکن است نشان‌دهنده همبستگی بین چندین ویژگی خاک باشند. اشمیت و همکاران (۲۰۰۰) تحقیقی بر روی استفاده از آنالیز خط مرزی برای تجزیه و تحلیل داده‌های انتشار  $N_2O$  از خاک‌های کشاورزی انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که خطوط مرزی مشخص شده در این مطالعه با مفاهیم نظری موجود و همچنین نتایج تجربی به‌دست‌آمده در شرایط کنترل‌شده و میدانی که در پژوهش گزارش شده است، مطابقت دارد؛ بنابراین، رویکرد خط مرزی می‌تواند برای بهبود مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی انتشار  $N_2O$  مورد استفاده قرار گیرد. رویکرد خط مرزی مبتنی بر این فرضیه است که این خط وابستگی عملکردی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. برای تعیین این خطوط مرزی از روش جدیدی استفاده شد. تابعی که بهترین رابطه بین انتشار  $N_2O$  و دمای خاک را نشان می‌دهد حداکثر بالای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و تابعی که بین انتقال  $N_2O$  و فضای منافذ پر از آب (WFPS)، برای نشان دادن محتوای آب) تعریف شد، حداکثر در ۷۲٪ WFPS داشت. در محدوده ۰ تا ۲۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم، رابطه بین شار  $N_2O$  و نترات در خاک با یک تابع خطی به‌بهترین وجه توصیف شد.

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های خاک مانند pH، EC، CEC، بافت خاک، کربن آلی و رطوبت بر میزان نیتروژن کل در خاک اراضی کشاورزی، درختی و اراضی بایر منطقه زرین‌شهر بود که در هر یک،



شکل ۱- پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری و انجام تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی خاک از هر نقطه مطالعاتی به مدت یک سال در فصول مختلف نمونه‌برداری خاک انجام شد. در هر زمان برای نمونه‌برداری از هر نقطه مطالعاتی، تعداد پنج نقطه تابعه یکی در مرکز و چهار نقطه در اطراف مرکز به فاصله ۰/۵ متری از آن در جهت‌های اصلی جغرافیایی انتخاب شدند. نمونه‌های خاک از لایه ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک از پنج نقطه یک پلات (پلات‌هایی به طول، عرض و ارتفاع ۵۰×۵۰×۲۰ سانتی‌متر) با استفاده از بیل و بیلچه نمونه‌برداری و مخلوط شدند. سپس نمونه مخلوط حدود سه کیلوژی به‌عنوان نماینده پلات تهیه و در نایلون زیپدار مجزا جمع‌آوری و شماره‌گذاری شدند. خشک شدن نمونه‌ها در دمای اتاق و با زیرورو کردن نمونه‌ها انجام شد. نمونه خاک خشک از الک با منافذ ۲ میلی‌متر عبور داده شد و خصوصیات pH، EC، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، کربن آلی، رطوبت و نیتروژن کل در آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن کل از روش کج‌لدال

استفاده شد، برای این منظور ابتدا نمونه در هاضم مدل HACH هضم و سپس با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (برمنر، ۱۹۹۶). برای اندازه‌گیری کربن آلی از روش احتراق‌تر (wet ashing) استفاده گردید. در این روش مواد آلی خاک در حضور اسیدسولفوریک و بی‌کربنات پتاسیم اکسید می‌گردند. در ادامه، باقی‌مانده بی‌کربنات پتاسیم با محلول فرو آمونیوم سولفات تیترومی‌گردد. در این فرآیند، حجم مصرفی بی‌کربنات پتاسیم در واکنش اکسیداسیون خاک را می‌توان به کربن آلی خاک نسبت داد. در این فرآیند، کربن آلی خاک در اثر واکنش اکسیداسیون به کربن دی‌اکسید (CO<sub>2</sub>) تبدیل شده و از محلول متصاعد می‌گردد و در نتیجه حجم بی‌کربنات پتاسیم مصرف‌شده میزان کربن آلی خاک را به دست می‌دهد. برای اندازه‌گیری pH و EC در ابتدا سوسپانسیون از نمونه خاک به نسبت ۱:۱۰ وزن به حجم (خاک به آب مقطر) تهیه و به مدت ۴۰ دقیقه هم‌زده شد و در نهایت توسط دستگاه pH متر و EC متر قرائت شد (بورت، ۲۰۰۴). رطوبت خاک به روش وزنی و از

نیترژن کل خاک است. در رگرسیون گام‌به‌گام، تعدادی متغیر مستقل وارد مدل می‌شوند و مرتبه ورود آن‌ها توسط معیار آماری که به‌وسیله روش گام‌به‌گام حاصل می‌شود، تعیین می‌گردد (نه‌بندانی و همکاران، ۱۳۹۶).

### نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری خصوصیات کیفی در نمونه‌های خاک مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل هدایت الکتریکی خاک، اسیدیته، نیترژن کل، مواد آلی و کربن آلی در جدول (۱) و جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس یافته‌های جدول (۱)، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی خاک به ترتیب در فصل پاییز، زمستان، بهار و تابستان برابر با ۴۲۳۴، ۲۵۱۰، ۵۰۶۴ و ۴۴۰۰ دسی زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن در فصول گفته شده برابر با ۸۲، ۱۱۰، ۹۵ و ۱۰۰ دسی زیمنس بر متر بود. مطابق جدول (۲) میانگین هدایت الکتریکی خاک در فصل تابستان با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول بیشترین مقدار بود ( $0/10 \pm$  ۱۵۸۷) و کمترین مقدار آن نیز با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول در فصل زمستان به مقدار  $0/1 \pm$  ۱۱۴۰ دسی زیمنس بر متر به ثبت رسید. طبق جدول (۱) اسیدیته خاک محدوده‌ی بزرگی از قلیایی تا اسیدی را در بر گرفته بود. در فصل پاییز، اسیدی‌ترین نمونه با pH برابر با ۵/۵۱ و قلیایی‌ترین نمونه با pH برابر با ۸/۹۵ تعیین گردید. pH در فصل پاییز به‌طور متوسط در محدوده‌ی قلیایی قرار داشت ( $0/51 \pm 7/64$ ). در فصل زمستان نیز خاک‌های منطقه به‌طور متوسط دارای pH برابر با ۷/۹۳ و در محدوده قلیایی بودند. بیشترین مقدار pH نمونه‌های خاک در فصل زمستان که در بین کلیه فصول نیز بیشترین بود، برابر با ۹/۰۷ به ثبت رسید و کمترین مقدار pH نمونه‌های خاک در فصل زمستان برابر با ۵/۹ بود که البته این دو مقدار تفاوت معنی‌داری با سایر فصول نداشتند. در دو فصل بهار و تابستان نیز خاک‌های منطقه در محدوده قلیایی قرار داشتند. در فصل بهار، pH اسیدی‌ترین نمونه به مقدار ۵/۱۸ و برای قلیایی‌ترین نمونه برابر ۸/۶ بود. همچنین اسیدی‌ترین نمونه اندازه‌گیری شده در فصل تابستان pH برابر با ۵/۳ و قلیایی‌ترین نمونه در

طریق خشک کردن نمونه در دستگاه آون الکتریکی با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. دمای خاک نیز با استفاده از دستگاه دماسنج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی از روش چاپمن استفاده شد (چاپمن، ۱۹۶۵). برای اندازه‌گیری بافت خاک نیز از روش هیدرومتری استفاده شد (بویوکوس، ۱۹۶۲).

### آنالیز خط مرزی

اگرچه پروتکل توافق شده‌ای برای آنالیز خط مرزی وجود ندارد و در مواردی محققین به‌صورت کاملاً اختیاری خط مرزی را به داده‌ها برازش می‌دهند، با این حال در این آزمایش به روش حجاریپور و همکاران (۱۳۹۴) پنج مرحله زیر برای آنالیز خط مرزی انجام شد: ۱- بررسی نمودار پراکنش داده‌ها؛ بین نیترژن به‌عنوان متغیر وابسته و خصوصیات خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل یک نمودار پراکنش نقاط رسم شد. ۲- دسته‌بندی و گروه‌بندی نقطه داده‌ها؛ در این مرحله با توجه به پراکنش نقاط و همچنین با کمک گرفتن از متخصصین ذیربط و اطلاعات قبلی، متغیر مستقل بسته به نظر متخصص و کیفیت داده‌ها، به گروه‌هایی با فواصل منظم و یا غیرمنظم تقسیم شد. ۳- حذف داده‌های پرت؛ در این مرحله با استفاده از اطلاعات قبلی و نظر متخصص، داده‌های خارج از محدوده کنار گذاشته شد. ۴- تشخیص بالاترین بازدهی در هر زیرگروه؛ بالاترین عملکردها در هر گروه انتخاب شد. از گروه‌هایی که حاوی داده‌هایی با مقادیر غیرقابل قبول بودند صرف‌نظر گردید. ۵- برازش یک تابع مناسب؛ با توجه به نحوه چیدمان داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS، یک تابع بر لبه‌ی بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد با توجه به نتایج مرحله ۵ و نحوه چیدمان داده‌ها، تابع مناسب (دوتکه‌ای و یا سه‌تکه‌ای) انتخاب می‌شود.

### روش رگرسیون گام‌به‌گام

برای تعیین رابطه میان متغیر پاسخ نیترژن و متغیرهای مستقل، روش رگرسیون گام‌به‌گام با استفاده از نرم‌افزار SAS، بکار گرفته شد. در این مطالعه متغیر وابسته

۲/۳۹٪ محاسبه گردید. مطابق با جدول (۲) نیز میانگین درصد کربن آلی خاک در فصل بهار با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول بیشترین مقدار بود ( $0/10 \pm 1/16$ ) و کمترین مقدار آن نیز با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول در فصل زمستان به مقدار  $0/1 \pm 0/90$  درصد به ثبت رسید. مطابق با جدول (۲) از نظر درصد مواد آلی خاک نیز مشابه با درصد کربن آلی خاک بیشترین مقدار متوسط در فصل بهار و برابر با  $0/11 \pm 2/01$  به دست آمد. کمترین مقدار درصد مواد آلی خاک در بین نمونه‌های خاک و فصول مورد مطالعه در فصل زمستان و برابر با  $0/01 \pm 1/55$  به دست آمد. به‌طور کلی بر اساس جدول (۲) فصل بهار دارای بیشترین مقدار درصد کربن آلی، درصد مواد آلی خاک و کل نیتروژن بوده است. هدایت الکتریکی خاک در فصل تابستان در بیشترین مقدار و در فصل زمستان در کمترین مقدار قرار داشته است. مقدار اسیدیته خاک نیز در فصل بهار در نزدیک‌ترین مقدار به حالت خنثی مشاهده شد. همچنین ترانسکتی از شمال به جنوب در نظر گرفته شد و نتایج آنالیز میزان کل کربن آلی، میزان اسیدیته و میزان نیتروژن بررسی شد. نتایج نشان داد میزان کربن آلی در کاربری جنگل < کاربری کشاورزی > زمین‌های بایر و بدون پوشش است. میزان نیتروژن در کاربری کشاورزی < کاربری جنگل > زمین‌های بایر و بدون پوشش است. میزان pH در زمین‌های بدون پوشش بیشتر از اراضی جنگلی و کشاورزی بوده است و میزان pH در اراضی جنگلی کمتر از اراضی کشاورزی است.

فصل تابستان pH برابر با نه داشتند. با توجه به جدول (۲) میانگین pH خاک در فصل پاییز نسبت به سایر فصول دارای بیشترین مقدار بود که البته اختلاف معنی‌داری با دیگر فصل‌ها نداشت ( $0/01 \pm 7/64$ ) و کمترین میانگین فصول نیز در فصل بهار به مقدار  $0/10 \pm 7/47$  دسی‌زیمنس بر متر به ثبت رسید که این مقدار هم اختلاف معنی‌داری با دیگر فصل‌ها نداشت. به‌صورت کلی به‌جز مواردی که pH خاک در محدوده اسیدی شدید قرار داشت (مانند یک نمونه در فصل تابستان)، خاک‌های منطقه را می‌توان در pH خنثی و کمی قلیایی در نظر گرفت. از نظر مقادیر نیتروژن کل، خاک‌های منطقه در بین خاک‌های فقیر قرار دارند. مطابق جدول (۱) حداکثر مقدار نیتروژن به ثبت رسیده در منطقه در فصل تابستان و برابر با  $0/28$ ٪ بوده و کمترین آن مربوط به فصل بهار به مقدار  $0/04$ ٪ بوده است. همچنین طبق جدول (۲) میانگین نیتروژن خاک در فصل بهار با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول دارای بیشترین مقدار بود ( $0/01 \pm 0/103$ ) و کمترین مقدار آن نیز با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول در فصل زمستان به مقدار  $0/01 \pm 0/082$ ٪ به ثبت رسید. مطابق جدول (۱) مقدار کربن آلی خاک در فصل پاییز بین محدوده  $0/04$ ٪ و  $2/52$ ٪ اندازه‌گیری شد. در فصل زمستان نیز درصد کربن آلی خاک با اندکی کاهش نسبت به فصل پاییز در محدوده بین  $0/08$ ٪ و  $1/92$ ٪ قرار گرفت. بیشترین مقدار درصد کربن آلی خاک در فصل بهار به مقدار  $2/65$ ٪ و کمترین مقدار آن به میزان  $0/13$ ٪ به ثبت رسید. حداقل و حداکثر درصد کربن آلی خاک در فصل تابستان به ترتیب برابر با  $0/12$ ٪ و

جدول ۱- آماره‌های توصیفی خصوصیات خاک در فصول مختلف سال

پارامتر				آماره	فصل
%O.C	%N	pH	EC(micro S/cm)		
۰/۰۴	۰/۰۱	۵/۵۱	۸۲	حداقل	پاییز
۲/۵۲	۰/۲	۸/۹۵	۴۲۳۴	حداکثر	
۱/۰۶	۰/۰۸	۷/۶۴	۱۴۲۲	متوسط	
۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱	۰/۱	انحراف استاندارد	
۰/۰۸	۰/۰۱	۵/۹	۱۱۰	حداقل	زمستان
۱/۹۲	۰/۱۸	۹/۰۷	۲۵۱۰	حداکثر	
۰/۹	۰/۰۸	۷/۵۹	۱۱۴۰	متوسط	
۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۱	انحراف استاندارد	
۰/۱۳	۰/۰۰۴	۵/۱۸	۹۵	حداقل	بهار
۲/۶۵	۰/۲۴	۸/۶	۵۰۶۴	حداکثر	
۱/۱۶	۰/۱۶	۷/۴۷	۱۴۹۲	متوسط	
۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۰۱	انحراف استاندارد	
۰/۱۲	۰/۰۱	۵/۳	۱۰۰	حداقل	تابستان
۲/۳۹	۰/۲۸	۹	۴۴۰۰	حداکثر	
۱/۰۴	۰/۰۹	۷/۵۷	۱۵۸۷	متوسط	
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۱	انحراف استاندارد	

جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک در فصول مختلف

پارامتر/فصل	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
EC(micro S/cm)	۱۴۲۲ ± ۰/۱ <sup>b</sup>	۱۱۴۰/± ۰/۱ <sup>a</sup>	۱۴۹۲ ± ۰/۰۱ <sup>c</sup>	۱۵۸۷/± ۰/۱۰ <sup>d</sup>
pH	۷/۶۴ ± ۰/۰۱ <sup>a</sup>	۷/۵۹ ± ۰/۴۹ <sup>a</sup>	۷/۴۷ ± ۰/۱۰ <sup>a</sup>	۷/۵۷ ± ۰/۱ <sup>a</sup>
%O.C	۱/۰۶۰ ± ۰/۰۱۰ <sup>b</sup>	۰/۹۰ ± ۰/۱۰ <sup>a</sup>	۱/۱۶ ± ۰/۱۰ <sup>b</sup>	۱/۰۴ ± ۰/۰۱ <sup>b</sup>
%N	۰/۰۸۸ ± ۰/۰۱۱ <sup>b</sup>	۰/۰۸۲ ± ۰/۰۱۰ <sup>a</sup>	۰/۱۰۳ ± ۰/۰۱ <sup>c</sup>	۰/۰۹۵ ± ۰/۰۱۰ <sup>b</sup>

### نتایج تحلیل خط مرزی

نتایج حاصل از تحلیل خط مرزی برای یافتن مقادیر بهینه نیتروژن کل در جدول (۳) و شکل (۲) برای درصد کربن آلی، شکل (۳) برای اسیدیته و شکل (۴) برای هدایت الکتریکی نشان داده شده است. روابط رگرسیونی خط مرزی کربن آلی به صورت معادله‌های درجه اول و به صورت یک سطحی برای کلیه فصول سال و همچنین برای کلیه مقادیر به دست آمد. بر اساس نمودار مشاهده شده در شکل (۲) مقدار کربن آلی در فصل پاییز در مقادیری که بالای خط نمودار باشد مقدار نامناسب و در مقادیر پایین خط نمودار به صورت مناسب برای میزان

نیتروژن است. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی با در نظر گرفتن کلیه داده‌های این چهار فصل، رابطه نیتروژن کل با کربن آلی از معادله  $(y = 0.0888x + 0.0123)$  پیروی می‌نماید. برای روابط کربن آلی با نیتروژن کل در فصول مختلف، عرض از مبدأ در محدوده عددی بین ۰/۰۰۸۲ و ۰/۱۲۳، همچنین شیب خط رگرسیون بین ۰/۷۹۹ و ۰/۹۱۵ به دست آمد. ضریب تشخیص کلیه مدل‌های مربوط به کربن آلی خاک نیز بیش از ۰/۹۹ به دست آمد که نشان از دقت بالای تحلیل خط مرزی برای این دو پارامتر است. همان‌طور که در نمودارهای شکل (۳) مشاهده شد، مقادیر pH پایین‌تر از خط منحنی نمودارها

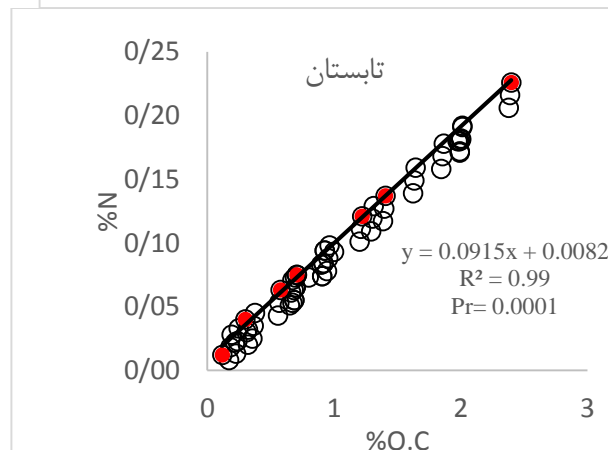
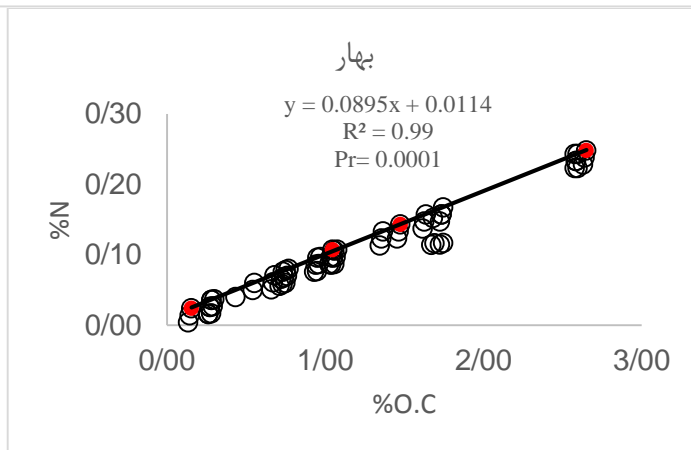
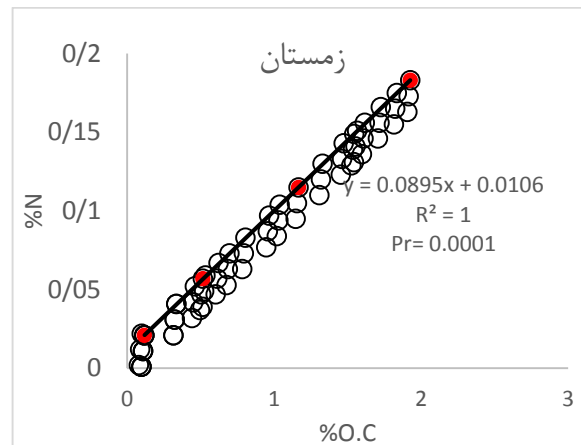
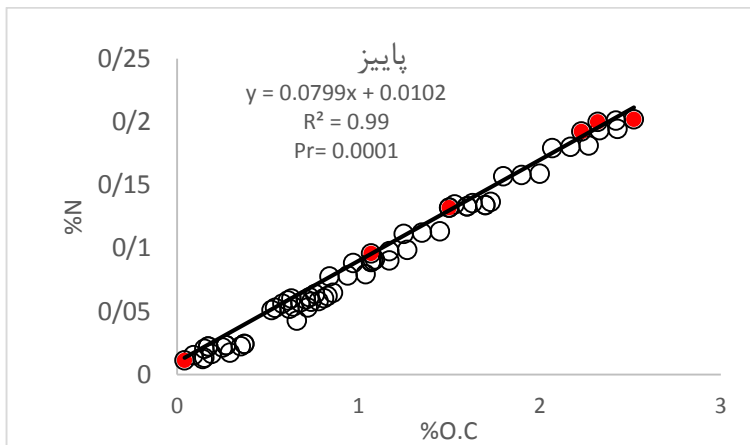
معادله ( $y=0.1636$ ; if  $x \leq 2090$ ) پیروی می‌نماید. در فصل بهار دو معادله در مقادیر EC کمتر و بیشتر از ۲۵۰۱ دسی زیمنس بر متر ارائه گردیده و برای روابط این دو در فصل تابستان در مقادیر EC بیشتر از ۱۳۹۱ و کمتر از آن از دو معادله متفاوت پیروی می‌نمایند. به‌طور کلی با در نظر گرفتن کلیه داده‌های مربوط به EC، رابطه آن با نیتروژن کل در صورتی که EC بیشتر از ۲۰۶۰ دسی زیمنس بر متر باشد از معادله ( $y=-0.2945x-0.00003$  if  $x > 2060$ ) و در صورتی که کمتر از ۲۰۶۰ دسی زیمنس بر متر باشد از معادله ( $y=0.2327$ ; if  $x \leq 2060$ ) پیروی می‌نماید. برخلاف درصد کربن آلی و pH که از یک معادله درجه یک در کل گستره تغییرپذیری اعداد استفاده شد، در مدل عملکرد نیتروژن کل در برابر هدایت الکتریکی، تغییرپذیری نمونه‌ها در مرز پراکنش در ابتدا به صورت یک خط افقی با شیب صفر درجه و در مقادیر هدایت الکتریکی بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دسی زیمنس بر متر به صورت کاهشی تعیین گردید جدول (۳). در بین ضریب تعیین مدل‌های به دست آمده، عملکرد خط مرزی اسیدیت خاک از دقت به مراتب پایین‌تری نسبت به هدایت الکتریکی و سپس درصد کربن آلی برخوردار بود. کمترین صحت به دست آمده در بین فصول مربوط به عملکرد نیتروژن در برابر اسیدیت در فصل زمستان برابر با ۰/۸۰ و به صورت کلی کمترین مقدار عملکرد مربوط به کارایی اسیدیت با ضریب تعیین برابر با ۰/۷۴ به دست آمد. به صورت کلی بر اساس نتایج حاصل از تحلیل خط مرزی می‌توان چنین استنباط کرد که مقادیر بهینه نیتروژن خاک (محدوده‌ی عددی ۰/۲۰ تا ۰/۲۵ درصد) در منطقه مورد مطالعه با افزایش مقدار درصد کربن آلی خاک در اسیدیت‌های بین هفت تا هشت و شوری کمتر از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ دسی زیمنس بر متر حاصل می‌شود.

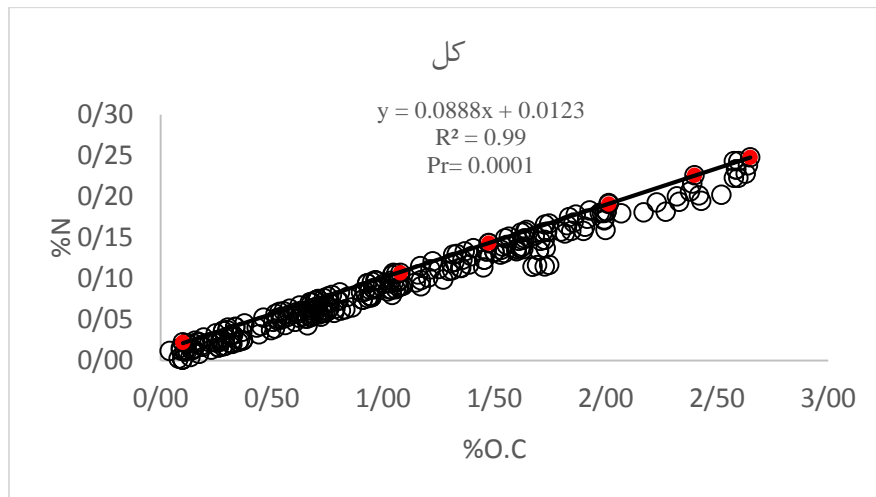
مناسب و مقادیر بالای خط منحنی نامناسب می‌باشند و به‌طور کلی با در نظر گرفتن کلیه داده‌ها در فصول مختلف، رابطه بین pH خاک و نیتروژن کل از معادله ( $y = -0.0568x^2 + 0.8187x - 2.678$ ) پیروی می‌کند. ملاحظه می‌گردد که ارتباط بین این دو در فصول مختلف سال از یک معادله درجه ۲ با مقدار ضریب  $x^2$  منفی (۰/۰۴۴-) تا (۰/۰۷۷-) و ضریب  $x$  مثبت (۰/۶۶۳ تا ۱/۰۶۷) پیروی می‌کند. چنانچه در شکل (۳) نشان داده شده است، خط مرزی عملکرد نیتروژن در برابر اسیدیت با افزایش مقدار pH تا محدوده‌های خشتی برای تمام فصول روند صعودی و در نهایت با عبور pH از محدوده خشتی به سمت محدوده قلیایی، مقدار نیتروژن کل روند کاهشی را خواهد داشت. به عبارت دیگر حداکثر مقدار نیتروژن در برابر مقادیر متفاوت pH را می‌توان در محدوده‌های خشتی مشاهده کرد که بافاصله گرفتن از این محدوده به سمت pH قلیایی و یا اسیدی، این مقدار به شدت کاهش می‌یابد (تا کمتر از ۰/۱). با این حال، حداکثر مقدار بهینه در دو فصل زمستان و تابستان به سمت محدوده‌های قلیایی دارای اریب (چولگی) است که اثر آن را می‌توان در نمودار کلی عملکرد نیتروژن کل در برابر pH به خوبی مشاهده کرد. بر اساس نمودارهای مشاهده شده در شکل (۴) که به صورت دوتکه‌ای است، در فصل پاییز روابط بین هدایت الکتریکی و درصد نیتروژن در خاک‌های با EC کمتر از ۱۶۵۲ دسی زیمنس بر متر و بیشتر از آن از دو معادله متفاوت پیروی می‌نماید. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد در فصل زمستان، مرز تفاوت روند تبعیت نیتروژن کل خاک از EC در ۲۰۹۰ دسی زیمنس بر متر بود به نحوی که برای مقادیر هدایت الکتریکی بیشتر از ۲۰۹۰ دسی زیمنس بر متر از معادله ( $y=-0.2054x-0.00002$  if  $x > 2090$ ) و در صورتی که از ۲۰۹۰ دسی زیمنس بر متر کمتر باشد از



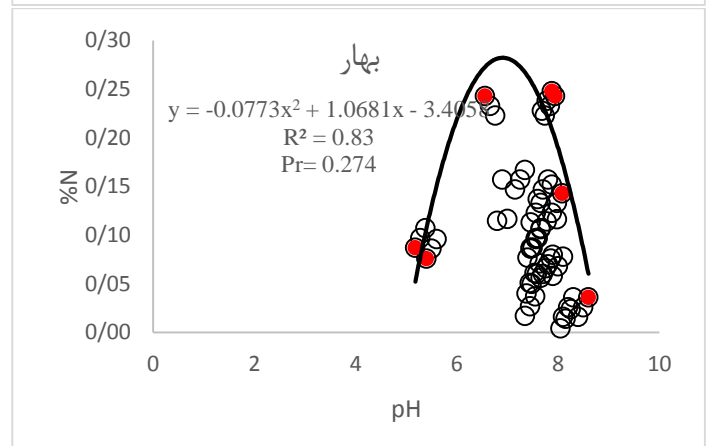
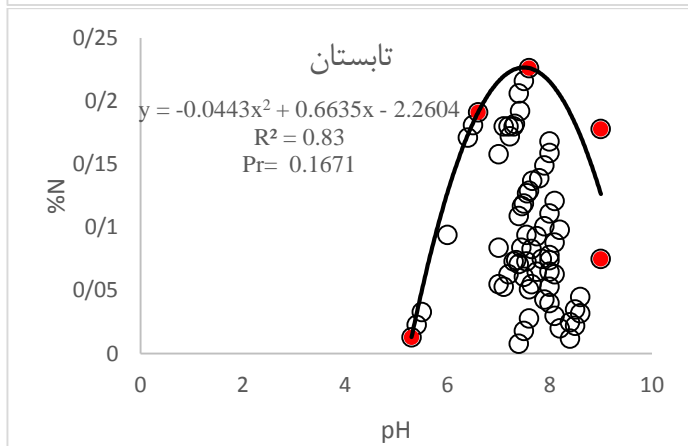
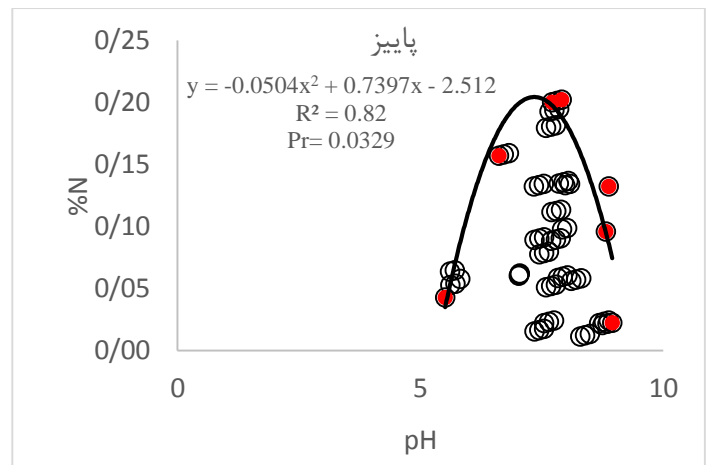
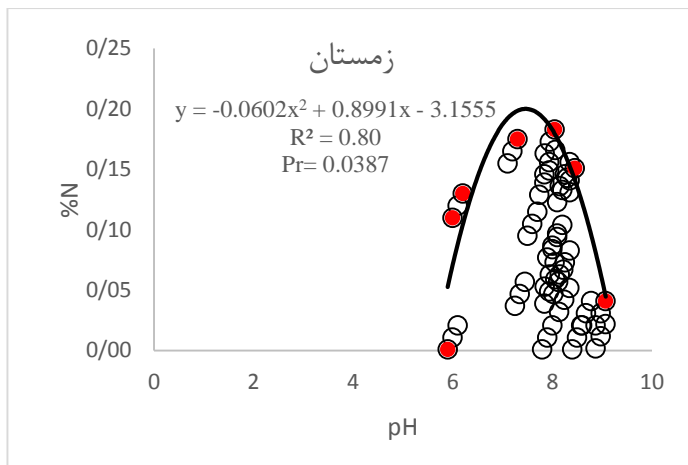
جدول ۳- معادلات عملکرد خط مرزی نیتروژن در برابر کربن آلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی

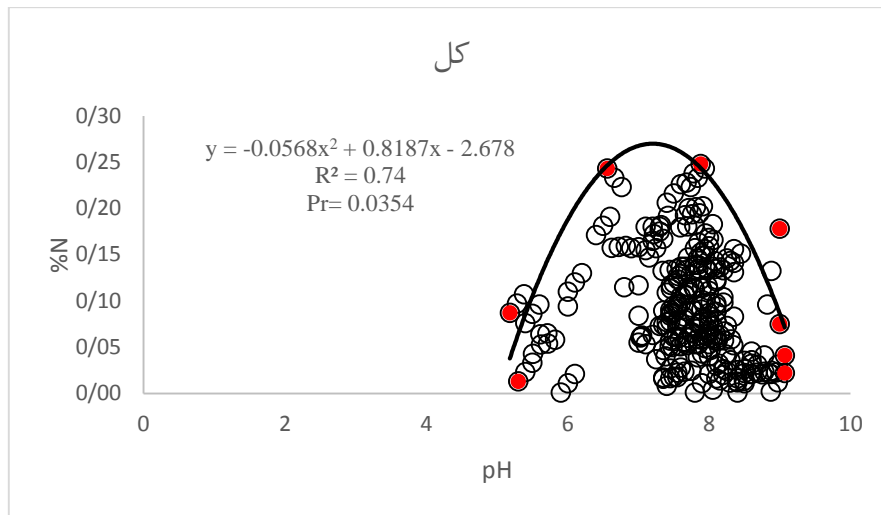
پارامتر	فصل	معادله	R <sup>2</sup>	Pr
%O.C	پاییز	$y = 0.0799x + 0.0102$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
	زمستان	$y = 0.0895x + 0.0106$	۱	۰/۰۰۰۱
	بهار	$y = 0.0895x + 0.0114$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
	تابستان	$y = 0.0915x + 0.0082$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
	کل	$y = 0.0888x + 0.0123$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
pH	پاییز	$y = -0.0504x^2 + 0.7397x - 2.512$	۰/۸۲	۰/۰۳۳۹
	زمستان	$y = -0.0602x^2 + 0.8991x - 3.1555$	۰/۸۰	۰/۰۳۸۷
	بهار	$y = -0.0773x^2 + 1.0681x - 3.4058$	۰/۸۳	۰/۲۷۴
	تابستان	$y = -0.0443x^2 + 0.6635x - 2.2604$	۰/۸۳	۰/۱۶۷
	کل	$y = -0.0568x^2 + 0.8187x - 2.678$	۰/۷۴	۰/۰۳۵
EC(dS/m)	پاییز	$y = -0.2853x - 0.00006$ if $x > 1652$ $y = 0.18618$ if $x \leq 1652$	۰/۹۴	۰/۰۰۳
	زمستان	$y = -0.2054x - 0.00002$ if $x > 2090$ $y = 0.1636$ if $x \leq 2090$	۰/۹۶	۰/۰۰۴
	بهار	$y = -0.37x - 0.00005$ if $x > 2501$ $y = 0.24495$ if $x \leq 2501$	۰/۹۹	۰/۰۰۱
	تابستان	$y = -0.259x - 0.00004$ if $x > 1391$ $y = 0.20337$ if $x \leq 1391$	۰/۹۷	۰/۰۰۱
	کل	$y = -0.2945x - 0.00003$ if $x > 2060$ $y = 0.2327$ if $x \leq 2060$	۰/۹۷	۰/۰۰۱



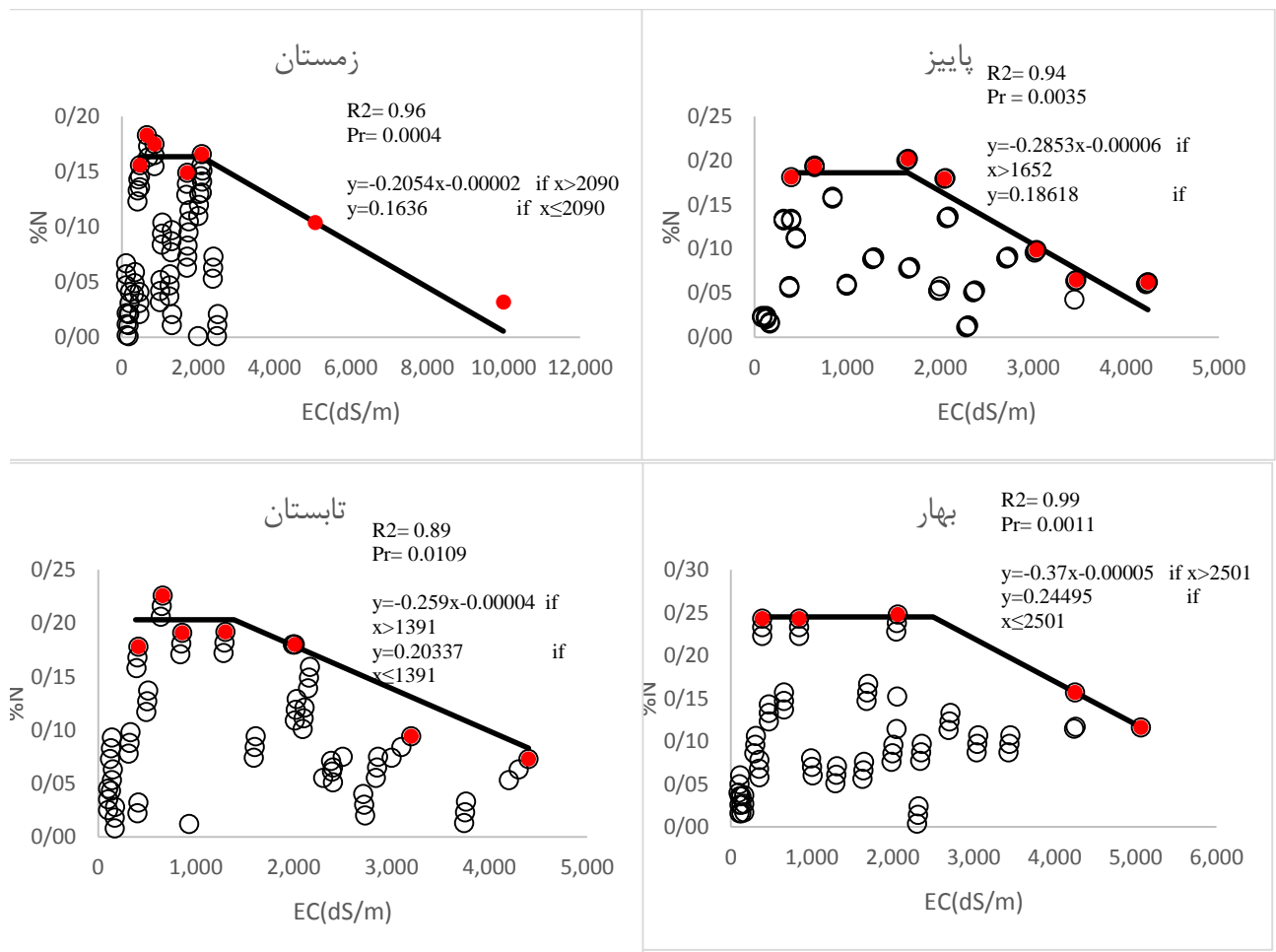


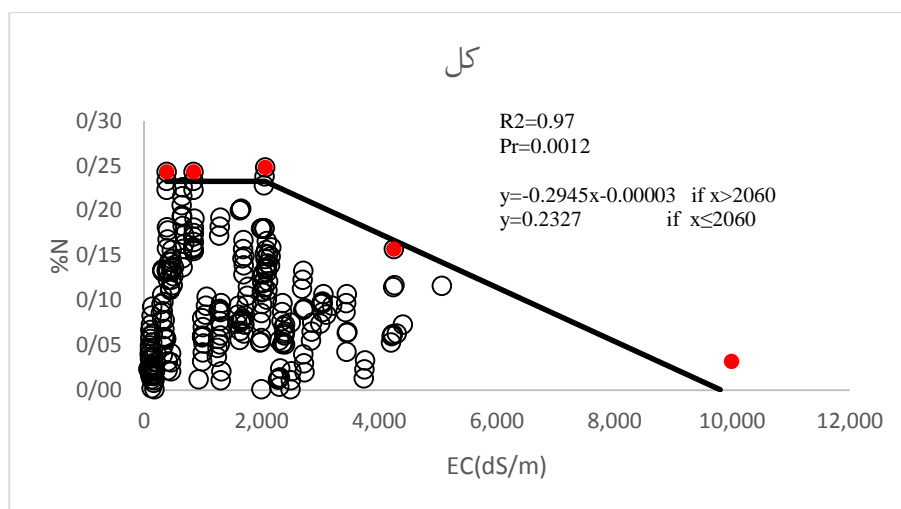
شکل ۲- خط مرزی نیتروژن کل در برابر کربن آلی خاک





شکل ۳- خط مرزی نیتروژن کل در برابر اسیدیته خاک





شکل ۴- خط مرزی نیتروژن کل در برابر هدایت الکتریکی خاک

جدول ۴- نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بین متغیر وابسته نیتروژن و متغیرهای مستقل EC، pH و OC

VIF	مقدار معنی‌داری	T	ضریب استاندارد	خطای معیار	ضریب استاندارد نشده	عرض از مبدأ
	۰/۰۰۲	۳/۱۱۶		۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	o.c
۱/۰۰۳	۰/۰۰۰	۱۰۶/۷۷۷	-۰/۹۸۹	۰/۰۰۱	۰/۰۸۷	Ec
۱/۰۰۳	۰/۰۲۳	-۲/۲۸	-۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۰۰۱۱	
ADJ. R <sup>2</sup> =0.977		R <sup>2</sup> =0.977		R = 0.988		

#### نتایج تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام در جدول (۴) نشان داده شده است. ابتدا همبستگی بین متغیرهای مستقل شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته و کربن آلی خاک بررسی شد. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بر اساس نتایج خروجی حاصل شده نشان می‌دهد که دو متغیر هدایت الکتریکی و کربن آلی حدود ۹۷ درصد از تغییرپذیری میزان نیتروژن کل را با توجه به مقدار R Square و R ADJ که برابر با ۰/۹۷ است، بیان می‌کند. متغیر اسیدیته خاک نتوانست از معیار موردنظر (سطح معنی‌داری) عبور کند و از مدل حذف شد. ب؛ بر این متغیر کربن آلی و هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر را بر نیتروژن کل خواهند داشت.

#### بحث

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، هدایت الکتریکی خاک در فصول گرم سال دارای مقادیر بیشتری نسبت به سایر فصول بود به طوری که در فصل تابستان، حداکثر مقدار این پارامتر در حدود ۱۵۸۷ دسی زیمنس بر

متر قرار داشت حال آنکه در فصل زمستان مقادیر این پارامتر به نزدیک ۱۱۴۰ دسی زیمنس بر متر نیز رسید. این نتایج را می‌توان با استفاده از یافته‌های برویک و همکاران (۲۰۰۶) و فریدمن (۲۰۰۵) تفسیر نمود. چنانچه این محققان در مطالعه خود نشان دادند، میزان هدایت الکتریکی خاک رابطه مستقیمی با میزان رطوبت و دمای خاک دارد و این دو پارامتر می‌تواند موجب افزایش چشمگیر میزان هدایت الکتریکی در خاک شود؛ با توجه به این مشاهدات این گونه استنتاج می‌گردد که با افزایش میزان رطوبت خاک، حجم سیال موردنیاز (آب، الکترولیت) برای حرکت بیشتر یون‌های موجود در خاک بیشتر شده و در نتیجه باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد. با این حال در مناطق خشک و بیابانی همچون منطقه زرین‌شهر، رطوبت خاک به طور میانگین تغییرات چشمگیری را از خود نشان نمی‌دهد. در این گونه موارد به نظر می‌رسد عامل دما بیشترین نقش فعال را در میزان EC خاک ایفا کند، زیرا به صورت یک قانون علمی پذیرفته شده، افزایش دما موجب افزایش تحرک یونی و

در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی می‌گردد. تحلیل مقادیر اسیدیت خاک در نقاط نمونه‌برداری نیز نشان داد که خاک‌های منطقه مورد مطالعه عموماً در بخش خاک‌های قلیایی قرار دارند. مطالعات قبلی نیز که در این ناحیه انجام شد (ایوبی و همکاران، ۲۰۱۴)، خاک‌های این ناحیه و مناطق هم‌جوار آن را در محدوده خاک‌های قلیایی با قلیانیت بیشتر از هفت طبقه‌بندی کردند. با مقایسه نتایج حاصل از محاسبه نیتروژن کل با مطالعاتی از قبیل نهبندانی و همکاران (۲۰۱۷) که در سایر نواحی ایران انجام شده است، می‌توان خاک‌های منطقه مورد مطالعه را در طبقه خاک‌های فقیر از لحاظ نیتروژن خاک قرارداد، به طوری که درصد نیتروژن اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک برداشته شده از منطقه به‌طور میانگین کمتر از ۰/۱ درصد بود. از منظر تغییرات زمانی نیز بیشترین مقدار نیتروژن خاک در فصل تابستان و برابر با ۰/۲۸ درصد به دست آمد. این الگوی تغییرات زمانی درصد نیتروژن کل در مطالعاتی از قبیل است (۲۰۱۵) و سونگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز مشاهده گردید. درصد کربن آلی خاک نیز تغییرپذیری مشهودی در بین فصول سال نشان دادند به صورتی که در فصل پاییز و زمستان مقادیر این دو پارامتر نسبتاً کم (بین محدوده ۰/۰۴ - ۲/۵۲) و در فصول تابستان و بهار افزایش چشمگیری را داشته است (بین محدوده ۰/۱۲ - ۲/۳۹). فصل بهار از جنبه پارامترهای مورد بررسی دارای بالاترین مقدار در صد کربن آلی، در صد مواد آلی و همچنین مقدار نیتروژن کل بوده است. تاکنون مطالعات بسیاری به تفسیر پارامترهای مؤثر بر این تغییرپذیری درصد مواد آلی و کربن آلی خاک و افزایش مقادیر آن‌ها در فصول بهار و تابستان نسبت به پاییز و زمستان پرداخته‌اند. همسو با نتایج این تحقیق، یوان و همکاران (۲۰۱۳) و کاهومبا (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که مواد آلی خاک در فصول گرم سال افزایش معنی‌داری نسبت به فصول سرد سال بخصوص زمستان دارند. چاپاگین (۲۰۱۶) این تغییرات را به بالاتر بودن شار خورشیدی مرتبط می‌داند که در فصول گرم سال بالاتر بوده و

برافزایش در صد ترکیبات کربنی خاک مؤثر است. در این مطالعه، تحلیل خط مرزی برای بررسی روابط درونی بین متغیرها و همچنین مقادیری از شاخص‌هایی که باعث افزایش حداکثری نیتروژن خاک می‌شوند مورد استفاده قرار گرفت و مشاهده گردید، دو عامل درصد کربن آلی و درصد نیتروژن خاک دارای رابطه خطی معنی‌داری هستند به صورتی که با افزایش در صد کربن آلی، مقدار نیتروژن کل در خاک نیز افزایش پیدا می‌کند. این ارتباط علاوه بر مکان در طول زمان نیز صادق است به این معنی که تغییرات درصد کربن آلی در خاک در هر فصل با تغییرات درصد نیتروژن کل در آن فصل نیز دارای رابطه همبستگی مستقیم و معنی‌دار است. تحقیقات بسیاری بر ارتباط خطی مثبت و معنی‌دار این دو متغیر صحه گذاشته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات الزینی و اففات (۲۰۱۹)، بارروس و همکاران (۲۰۱۰) و تاجیک و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد. در تفسیر این نتایج باید توجه داشت که این رابطه تنها برای مقادیر درصد کربن آلی کمتر از سه درصد و برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن کمتر از ۰/۳ درصد صادق است. همچنین ارتباط مشابهی بین درصد مواد آلی خاک و درصد نیتروژن کل وجود دارد. علیرغم این یافته، تحلیل خط مرزی عملکرد نیتروژن در برابر اسیدیت نشان داد که با کاهش و افزایش مقدار اسیدیت از حالت خنثی، میزان درصد نیتروژن کل خاک روند کاهشی را خواهد داشت به صورتی که در مقادیر اسیدیت بیشتر از هشت و کمتر از شش، مقدار نیتروژن خاک به پایین‌ترین حد ممکن و در برخی از موارد به مقدار صفر نزدیک می‌شود. در خاک‌های قلیایی، مطالعاتی از قبیل شارما و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که با افزایش قلیانیت خاک، مقدار نیتروژن خاک کاهش چشمگیری خواهد داشت و رابطه همبستگی منفی معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد. به‌طور عکس، ژائو و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که در خاک‌های اسیدی، رابطه بین اسیدیت و درصد نیتروژن کل خاک مثبت و معنی‌دار است.

## نتیجه‌گیری

و از معادلات رگرسیونی متفاوتی پیروی می‌کنند. به صورتی که افزایش مقدار نیتروژن خاک با اسیدیته دارای الگوی سهموی با بیشترین عملکرد در اسیدیته خنثی بود، حال آنکه برای درصد کربن آلی (مواد آلی) روندی خطی و مثبت و برای هدایت الکتریکی روندی منفی داشت. این تحقیق نشان داد رابطه خطی معنی‌داری بین مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک در خاک‌های با کاربری متفاوت (درختکاری، کشاورزی و باپر) برقرار است. در استفاده از این نتایج باید توجه داشت که روابط یافت شده برای مناطقی با درصد نیتروژن و کربن آلی ناچیز در خاک صادق است و برای مناطقی با محتوای بالاتر نیتروژن کل اجرای آنالیز خط مرزی لازم و ضروری است.

در این تحقیق بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های خاک بر میزان نیتروژن کل در منطقه زرین‌شهر با استفاده از آنالیزهای خط مرزی و روش تحلیل مقایسه کارکرد پرداخته شد و با بررسی چند خصوصیت مهم خاک حداقل‌های مطلوب لازم از هر عامل برای دست یافتن به بهترین میزان نیتروژن خاک به‌وسیله آنالیز خط مرزی مشخص شدند. نتایج این تحقیق نشان از تغییرپذیری بالای هدایت الکتریکی، اسیدیته و درصد کربن آلی خاک در فصول مختلف سال در خاک‌های این منطقه داشت نتایج حاصل از آنالیز خط مرزی نیز نشان داد که عملکرد نیتروژن کل در مقادیر مختلف این پارامترها متفاوت است

## فهرست منابع

۱. الوندی، ا. د. فروتن و م. دهمرده قلعه نو. ۱۳۹۷. مدل‌سازی تناسب زمین برای توسعه شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت استان گلستان. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۱): ۸۱-۱۶۹.
۲. حجارپور، ا. ا. سلطانی و ب. ترابی. ۱۳۹۴. استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلأ عملکرد: مطالعه موردی گندم در گرگان مجله تولید گیاهان زراعی، ۸(۴): ۱۸۳-۲۰۱.
۳. دهنوی، ا. س. متین خواه، و ن. نوربخش. ۱۳۹۲. بررسی نقش داغداغان "Celtis caucasica" به‌عنوان درخت تثبیت‌کننده نیتروژن بر خصوصیات خاک زیراشکوب در ذخیره‌گاه جنگلی اردسته دهقان-اصفهان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۴): ۶۴۳-۶۵۳.
۴. سیاهمرگویی، آ. ب. ترابی، ر. سهرابی، و س. م. عالیمقام. ۱۳۹۷. بررسی خلأ عملکرد ناشی از علف‌های هرز و عوامل مدیریتی بر عملکرد سویا در شهرستان کلاله. به زراعی کشاورزی، ۲۰(۲): ۵۶۳-۵۷۶.
۵. شیدای کرکج، ا. ع. سپهری، ح. بارانی و ج. معتمدی. ۱۳۹۶. ارتباط ذخیره کربن آلی خاک با برخی ویژگی‌های خاک در مراتع آذربایجان شرقی. مرتع، ۱۱: ۱۲۵-۱۳۷.
۶. کاشی‌ساز، م. ص. عبدالامیر، و آ. لطفعلی. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات غلظت آمونیم و نترات در نیمرخ خاک، در سه نوع تناوب‌زراعی. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۵(۲): ۱۴۹-۱۶۳.
۷. نوبتیانی، م. ش. راحمی کاریزکی، ع. بیابانی، و ر. منصوری. ۱۴۰۱. بررسی و تعیین سهم کودهای شیمیایی ماکرو و خصوصیات خاک بر خلأ عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در شهرستان کلاله با استفاده از روش آنالیز خط مرزی. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۳(۴): ۱-۴.
۸. نه‌بندانی، ع. ر. ا. سلطانی، ا. زینلی، و ف. حسینی. ۱۳۹۶. تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد سویا در شرایط گرگان و علی‌آبادکتول با استفاده از روش CPA، ۷(۱): ۱۰۹-۱۲۳.

10. Ayoubi, S., Amiri, S., and Tajik, S., 2014. Lithogenic and anthropogenic impacts on soil surface magnetic susceptibility in an arid region of Central Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 60 (10), 1467-1483.
11. Barros, G. V., Martinelli, L. A., Novais, T. M. O., Ometto, J. P. H., Zuppi, G. M. 2010. Stable isotopes of bulk organic matter to trace carbon and nitrogen dynamics in an estuarine ecosystem in Babitonga Bay (Santa Catarina, Brazil). *Science of the Total Environment*. 408 (10): 2226-2232.
12. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J*. 56: 464-465.
13. Bremner JM. 1996. Nitrogen-total. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. 1(5): 1085-121.
14. Brevik, Eric C., Thomas E. Fenton, and Andreas Lazari. "Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping." *Precision Agriculture* 7 (2006): 393-404.
15. Chapagain, N. P. 2016. Total ozone content over Kathmandu from TOMS observations. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 6: 69-80.
16. Chapman, H. D. 1965. Cation-exchange capacity. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (methods of soil analysis)*. Monograph. 9(2): 891-901.
17. El-Zeiny, A. M., Effat, H. A. 2019. Environmental analysis of soil characteristics in El-Fayoum Governorate using geomatics approach. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191 (7): 1-20.
18. Friedman, Shmulik P. "Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review." *Computers and electronics in agriculture* 46.1-3 (2005): 45-70.
19. Kahumba, A. 2018. Assessment of the impact of land use practices on vegetation, soil and carbon-nitrogen sequestration potential in Mopane rangelands of central Northern Namibia.
20. Lark, R. M., Gillingham, V., Langton, D. Marchant, B. P. 2020. Boundary line models for soil nutrient concentrations and wheat yield in national-scale datasets. *European Journal of Soil Science*. 71 (3): 334-351.
21. Leszczyński., J. 2021. Removal of Ammonium Ions from Aqueous Solutions Using Weathered Halloysite. *Materials*. 14(16): 4359-4371.
22. Medinski, T. V., Mills, A. J., Esler, K. J., Schmiedel, U., & Jürgens, N. (2010). Do soil properties constrain species richness? Insights from boundary line analysis across several biomes in south western Africa. *Journal of Arid Environments*, 74(9), 1052-1060.
23. Rhoades, J.D. 1982. *Chemical and microbiological Properties*. Agronomy Monograph no. 9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison. 2: 167-179.
24. Sharma, G., Sharma, R., Sharma, E. 2009. Impact of stand age on soil C, N and P dynamics in a 40-year chronosequence of alder-cardamom agroforestry stands of the Sikkim Himalaya. *Pedobiologia*. 52 (6): 401-414.
25. Song, Z., Zheng, Z., Li, J., Sun, X., Han, X., Wang, W. Xu, M. 2006. Seasonal and annual performance of a full-scale constructed wetland system for sewage treatment in China. *Ecological engineering*. 26 (3): 272-282.
26. Schmidt, U., Thöni, H., & Kaupenjohann, M. (2000). Using a boundary line approach to analyze N<sub>2</sub>O flux data from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 57, 119-129.
27. Tajik, S., Ayoubi, S., Lorenz, N. 2020. Soil microbial communities affected by vegetation, topography and soil properties in a forest ecosystem. *Applied Soil Ecology*. 149: 103-114.
28. West, N. 2015. Determination of the baseline levels of key chemical parameters in a proposed aquaculture development zone.

29. Yuan, D., Yang, D., Pu, G., Zhang, Q., Chen, X., Peng, W., Sun, J., Xiong, S., Li, J. 2013. Fertility dynamics of three types of tea garden soils in Western Sichuan, China. *Pak. J. Agri. Sci.* 50 (1): 29-35.
30. Zarei, A. 2019. Sustainable Agriculture. Day System.
31. Zhao, H. L., Yi, X.Y., Zhou, R.L., Zhao, X.Y., Zhang, T.H., Drake, S., 2006. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin Sandy Farmland, Inner Mongolia. *Catena.* 65 (1): 71-79.





## تهیه نقشه رقومی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک‌های زراعی بخش جنوبی دشت سیستان

فاطمه کیخایی، معصومه دلبری\*، ناصر دواتگر، فرزاد حسن پور، محمد جمشیدی و پیمان افراسیاب

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه زابل و عضو هیأت علمی

موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج. ایران. [keykhaei80@gmail.com](mailto:keykhaei80@gmail.com)

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. [masoomeh.delbari@uoz.ac.ir](mailto:masoomeh.delbari@uoz.ac.ir)

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج. ایران [n\\_davatgar@yahoo.com](mailto:n_davatgar@yahoo.com)

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران [hassanpourir@uoz.ac.ir](mailto:hassanpourir@uoz.ac.ir)

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج. ایران [mohammadjamshidi@yahoo.com](mailto:mohammadjamshidi@yahoo.com)

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران [peyman.afrafiab@uoz.ac.ir](mailto:peyman.afrafiab@uoz.ac.ir)

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ و پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۸

### چکیده

این پژوهش باهدف بررسی توزیع مکانی ویژگی‌های خاک شامل ظرفیت زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و کل آب قابل دسترس (TAW) با استفاده از روش کریجینگ معمولی (OK) و مدل جنگل تصادفی (RF) در بخش جنوبی دشت سیستان با مساحت حدود ۱۴۷ هزار هکتار انجام شد. مقادیر FC، PWP و TAW و اجزای بافت خاک برای ۲۰۰ نمونه خاک جمع‌آوری شده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. ارزیابی عملکرد دو روش OK و RF بر اساس شاخص درصد ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) نشان داد که عملکرد روش OK با ۵٪ خطای کمتر در پیش‌بینی FC، ۳٪ خطای کمتر در پیش‌بینی PWP و ۳٪ خطای کمتر در پیش‌بینی TAW، اندکی بهتر از روش جنگل تصادفی است. مقایسه میانگین انحراف (Bias) هر دو روش نشان داد که مدل OK دو ویژگی FC و PWP را کمتر و مقدار TAW را بیشتر برآورد نموده است، اما روش RF هر سه ویژگی را بیش برآورد کرده است. نقشه‌های پراکنش مکانی FC، PWP و TAW تولید شده با مدل OK نشان داد که بیشترین مقدار FC (۲۳٪) و TAW (۱۴٪) در غرب و شمال شرق منطقه بود که دارای بافت سنگین‌تر و ارتفاع کمتری از سطح دریا هستند. در مناطق جنوبی و جنوب شرقی منطقه که دارای بافت خاک سبک‌تری هستند، مقدار آب قابل دسترس نسبت به مناطق غربی و شمال شرقی کمتر به دست آمد. در مدل RF، مهم‌ترین متغیر مستخرج از تصاویر ماهواره-ای، مدل رقومی ارتفاع بود و هر سه ویژگی در مناطقی که DEM کمتر بود، مقادیر بیشتری داشتند. به نظر می‌رسد مسطح بودن منطقه و ناکافی بودن متغیرهای کمکی موجب دقت پایین‌تر روش مدل جنگل تصادفی شده است. واژه‌های کلیدی: آب قابل دسترس خاک، متغیرهای محیطی، کریجینگ معمولی، مدل جنگل تصادفی

\*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: [masoomeh.delbari@uoz.ac.ir](mailto:masoomeh.delbari@uoz.ac.ir)

## مقدمه

انتظار می‌رود جمعیت رو به رشد جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر برسد و نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر، افزایش یابد؛ بنابراین، توسعه کشاورزی به‌ویژه کشاورزی آبی نقش اساسی در تأمین این تقاضا دارد (داتا و همکاران، ۲۰۱۷). با وجود آنکه کشور ایران در اقلیم خشک قرار دارد، حدود ۵۱ درصد از اراضی زراعی آن آبی و بقیه دیم‌زار است. این در حالی است که اراضی آبی ۹۱ درصد محصولات کشاورزی را تولید می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰) که نیازمند مصرف مقدار زیادی آب برای حفظ حداکثر عملکرد محصول است.

با شیوه‌های کارآمد مدیریت آبیاری، تولیدکنندگان می‌توانند مصرف آب را مدیریت کرده، عملکرد محصولات را به حداکثر رسانده و منافع اقتصادی را بهبود بخشند (داتا و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از روش‌ها برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری، آگاهی از میزان آب قابل دسترس خاک (TAW) است. تفاوت محتوای آب در رطوبت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) را آب قابل دسترس می‌نامند (داتا و همکاران، ۲۰۱۷). آب قابل دسترس خاک به‌رغم آنکه بخش بسیار اندکی از آب موجود روی کره زمین را شامل می‌شود، تأثیر زیادی در گردش آب، انرژی و رشد گیاهان در طبیعت دارد. همچنین، از داده‌های TAW، FC و PWP به‌عنوان متغیرهای ورودی در بسیاری از مدل‌های کشاورزی و زیست‌محیطی نظیر مدل‌های CENTURY (پارتون و همکاران، ۱۹۸۷)، STICS (برسیون و همکاران، ۱۹۹۸) و SWAT (آرنولد و وفورر، ۲۰۰۵، آرنولد و ویلیام، ۱۹۸۷) استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری مستقیم ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله TAW در مقیاس ناحیه‌ای زمان‌بر بوده و به نیروی انسانی و منابع مالی زیادی احتیاج دارد (بابائیان، ۲۰۱۹). از سویی پایگاه‌های داده‌های ملی به‌ندرت دارای داده TAW زمین مرجع شده کافی برای طراحی و برنامه‌ریزی آبیاری و زهکشی در مقیاس ناحیه‌ای هستند. از این‌رو نیاز است به

کمک روش‌های مناسب اندازه‌گیری‌های محدود موجود را به سطح گسترده‌ای از مناطق تعمیم داده و اطلاعات موردنیاز را به‌صورت بانک داده و نقشه در اختیار مدیران و کاربران قرار داد.

روش‌های مرسوم کلاسیک و زمین‌آمار برای تهیه نقشه ویژگی‌های خاک نیازمند اندازه‌گیری‌های میدانی است، لذا تهیه نقشه توزیع مکانی برای مقیاس‌های بزرگ مانند دشت و یا حوضه با این روش‌ها با مشکلات فراوان مواجه خواهد شد. نقشه‌برداری رقومی خاک (DSM) روشی مدرن برای پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک است که در آن از ابزارهایی مانند زمین‌آمار، ماشین‌های یادگیری و توابع انتقالی استفاده می‌شود (تریبل و همکاران، ۲۰۱۱). در این روش، یک مدل برآورد کننده با برقراری ارتباط بین متغیر هدف و متغیرهای کمکی (محیطی) مانند پوشش گیاهی، عوارض زمینی و دیگر ویژگی‌های خاک، مقادیر متغیر هدف را در کل منطقه مورد مطالعه برآورد می‌کند (میشرا و همکاران، ۲۰۱۰).

بخشی از متغیرهای محیطی شامل باند طیفی، شاخص‌های پوشش گیاهی و تصاویر دریافتی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای بوده، درحالی‌که بخش دیگر به‌طور عمده شامل شاخص‌های توپوگرافی حاصل از مدل رقومی ارتفاع است (میشرا و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال، صحت و دقت مدل برآورد کننده تا حدود زیادی به داده‌های حاصل از مطالعات صحرائی و متغیرهای کمکی وابسته است.

در سال‌های اخیر، الگوریتم‌های یادگیری ماشین از قبیل جنگل تصادفی (RF)، برای توسعه روابط بین ویژگی‌های خاک و متغیرهای محیطی استفاده شده است (آیتکنهد و کول، ۲۰۱۶). مدل رگرسیون جنگل تصادفی یک روش یادگیری ماشین است که توانایی بالایی برای تعیین روابط غیرخطی بین خاک و زمین‌نما دارد (هنگل و همکاران، ۲۰۱۵؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ تقی زاده

پشتیبان و جنگل تصادفی با استفاده از رویکرد نقشه‌برداری رقومی خاک برای برآورد اجزا بافت خاک در بخشی از اراضی استان خوزستان انجام شد. نتایج نشان داد که مدل جنگل تصادفی از دقت بالاتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان برخوردار است.

پژوهشی با هدف تهیه نقشه رقومی بافت خاک اراضی کشاورزی دشت آبرفتی سیستان با استفاده از مدل‌های  $RK^8$ ،  $RKNNRK^5$ ،  $RF$ ،  $COK^7$  و  $NNRK^6$  انجام شد و روش  $RKNNRK$  در تلفیق با داده‌های سنجش از دور بر دقت برآورد نقشه‌های رقومی اجزاء بافت خاک افزود (شهریاری و همکاران، ۲۰۱۹). تغییرات مکانی نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در اراضی دشت سیستان با استفاده از زمین‌آمار و درختان تصمیم‌گیری تصادفی توسط پهلوان راد (۱۳۹۸) در سطح ۲۲۷۰۰۰ هکتار انجام شد. روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی نسبت به زمین‌آمار توزیع مکانی این دو ویژگی را بهتر نشان داد.

در سال‌های اخیر به دلیل کاهش بارندگی و بروز خشک‌سالی و نیز کاهش آورد رودخانه مرزی هیرمند، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری در راستای افزایش بهره‌وری آب و توسعه پایدار کشاورزی برای مدیران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان استانی و کشوری اهمیت زیادی پیدا کرده است. در این راستا، طرح انتقال آب به ۴۶۰۰۰ هکتار اراضی دشت سیستان با هدف اصلی حفظ فعالیت‌های کشاورزی، کاهش اثرات خشک‌سالی در منطقه، صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب اجرا شده است. آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک برای حفظ آب، خاک و جلوگیری از نفوذ عمقی و رواناب در آبیاری مزارع بسیار اهمیت دارد. بررسی منابع نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های زمین‌آمار و جنگل تصادفی در پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک رایج هستند. بنابراین پژوهش حاضر با هدف تعیین کارایی نقشه‌برداری رقومی خاک برای برآورد ظرفیت

مهرجردی و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویسمیر و همکاران، ۲۰۱۱؛ اوتی و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج فاضلی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که می‌توان از روش کریجینگ به دلیل درونیابی دقیق‌تر  $FC$  و  $PWP$  در مقایسه با روش‌های میانگین عام و فاصله معکوس برای تهیه نقشه‌های این دو ویژگی استفاده کرد. کیانو و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر  $FC$  و  $PWP$  را با استفاده از روش‌های  $SMLR^1$  و  $ANN^2$  و به کمک توابع انتقالی در منطقه لس پلاتیو<sup>۳</sup> در کشور چین برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو روش مقادیر مشابه‌ای را برآورد می‌کند. مهم‌ترین متغیر در برآورد  $FC$ ، مقدار شن بود درحالی‌که در برآورد مقادیر  $PWP$  مقدار رس و جرم مخصوص ظاهری نقش مؤثرتری نسبت به متغیرهای دیگر داشتند.

زاو و همکاران (۲۰۱۹) ویژگی‌های هیدرولیکی سه‌بعدی خاک را با استفاده از دو رویکرد توابع انتقالی ( $PTF$ ) و جنگل تصادفی در حوضه بالاتون<sup>۴</sup> در مجارستان پردازش و سپس با استفاده از کریجینگ پهنه‌بندی کردند. روش پهنه‌بندی بر مبنای توابع انتقالی به‌طور قابل‌توجهی عملکرد بهتری نسبت به روش ترکیبی جنگل تصادفی - کریجینگ ( $RFK$ ) برای محتوای آب اشباع در اعماق ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک داشت. در روش مبتنی بر  $PTF$  میزان عدم قطعیت موجود در پهنه‌بندی خصوصیات هیدرولیکی خاک مقدار کمتری داشت.

نوبدی و همکاران (۲۰۲۲) مقادیر  $FC$  و  $PWP$  را با ماشین‌های یادگیری شامل مدل‌های  $ANN$ ،  $ANFIS$ ،  $SVM$ ،  $SVM-FFA$  و  $SVM-PSA$  در شمال غربی ایران برآورد نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که دو مدل  $SVM-PSA$  و  $SVM-FFA$  عملکرد بهتری نسبت به بقیه مدل‌ها در برآورد این دو خصوصیت خاک دارد.

مطالعه‌ای توسط صحرایی و همکاران (۱۴۰۱) باهدف ارزیابی و مقایسه کارایی مدل‌های ماشین بردار

<sup>5</sup> - Regression kriging-neural network residual kriging

<sup>6</sup> - Neural network residual kriging

<sup>7</sup> - Cokriging

<sup>8</sup> - Regression kriging

<sup>1</sup> - Stepwise multiple linear regression

<sup>2</sup> - Artificial neural network

<sup>3</sup> - Loess Plateau

<sup>4</sup> - Balaton

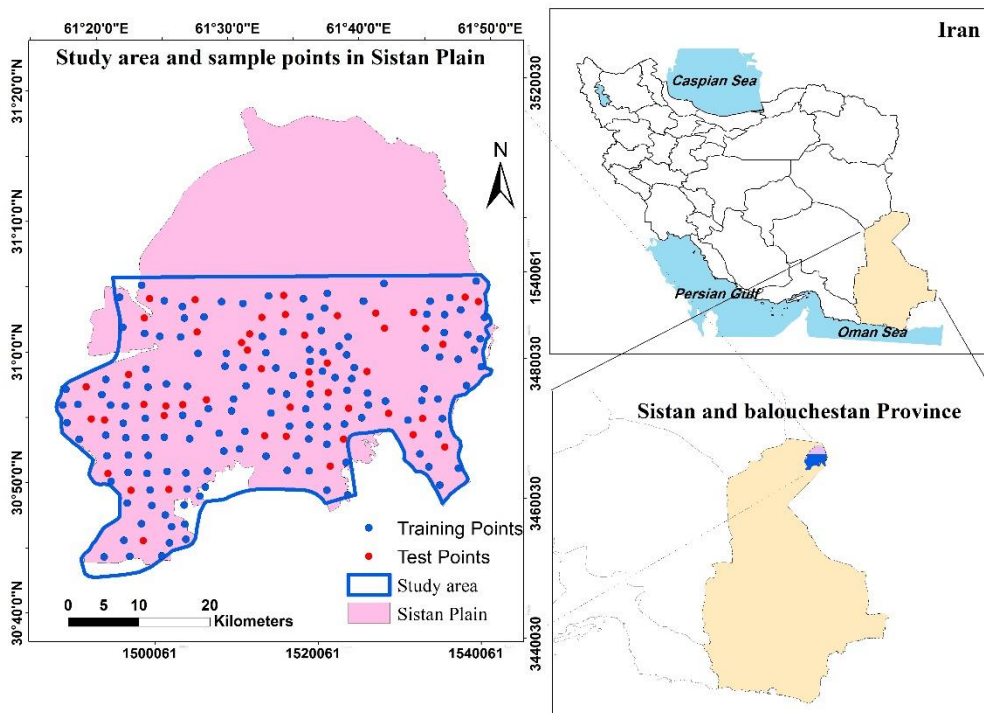
و تبخیر ۴۵۰۰ میلی‌متر است. محصولات غالب منطقه شامل گندم، جو، سورگوم، هندوانه، خربزه و انگور است. خاک‌های دشت سیستان تکامل زیادی ندارد و شامل ۵۲ درصد رده ایتی‌سول و ۴۸ درصد رده اریدی‌سول است (پهلوان راد، ۱۳۹۸). میانگین ارتفاع دشت ۴۹۷ متر از سطح دریا و دارای شیب عمومی کمتر از یک درصد است. منبع تأمین آب دشت، رودخانه هیرمند است که از کوه‌های هندوکش در افغانستان سرچشمه می‌گیرد و رسوبات دشت سیستان متأثر از این رودخانه است (پهلوان راد، ۱۳۹۸).

زراعی، نقطه پژمردگی دائم و میزان آب قابل‌دسترس خاک اراضی دشت سیستان با روش‌های زمین‌آمار و جنگل تصادفی که تاکنون بررسی نشده است انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در منطقه‌ای به وسعت ۱۴۶/۸ هزار هکتار در جنوب دشت سیستان واقع در شمال استان سیستان و بلوچستان انجام شد (شکل ۱). اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن گرم و خشک با میانگین سالانه درجه حرارت ۲۱/۷ درجه سانتی‌گراد، بارندگی ۵۵ میلی‌متر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری خاک در دشت سیستان

گذشته بوده که رسوبات با دانه‌بندی بسیار ریز همراه با رس زیاد را به جا گذاشته است (آقا نباتی، ۱۳۸۵). با توجه به اینکه اراضی دشت آبرفتی سیستان مسطح بوده و از لحاظ ژئومورفولوژی متأثر از رسوبات انشعابات رودخانه هیرمند است، انتظار می‌رود ویژگی‌های خاک دارای تغییرات مکانی زیادی باشد. لذا داشتن آگاهی از توزیع مکانی خصوصیات خاک از جمله بافت خاک در این دشت آبرفتی ضروری است.

مطالعات زمین‌شناسی دشت سیستان نشان می‌دهد که واحدهای سنگی کرتاسه، قدیمی‌ترین واحدهای منطقه هستند که به دو صورت واحدهای افیولیتی کرتاسه و واحدهای عمدتاً رسوبی همراه با مواد آذرین کرتاسه وجود دارند. رودخانه هیرمند نقش مهمی در تشکیل رسوبات دانه ریز میان‌دشتی، پایان‌دشتی و حتی دریاچه‌ای در دشت سیستان دارد. رسوبات آبرفتی دشت در نتیجه رسوب‌گذاری دریاچه بسیار وسیع مربوط به دوران‌های

مدل بر اساس ماهیت شاخص‌ها، در دسترس بودن داده‌ها، همگنی تغییرات متغیر، همبستگی ورودی‌ها با خروجی مدل انتخاب شد. برای پهنه‌بندی متغیرها از کریجینگ معمولی در نرم‌افزار ArcGis استفاده شد. همچنین، در مدل جنگل تصادفی، با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل تعداد درخت (ntree) بهینه که برای هر یک از متغیرهای FC، PWP و TAW به ترتیب ۳۰، ۵۰۰ و ۳۵۰ بود، تعیین شد. تعداد متغیرهای محیطی قابل استفاده برای رشد هر درخت (mtry) بر اساس حداقل مقدار خطا (RMSE) در محیط نرم‌افزار R نسخه 3.5.3 در بسته "Caret" تعیین شد. برای مدل‌سازی خصوصیات FC، TAW و PWP تعداد داده ۱۹۵ داده مشاهده‌شده خاک به مدل وارد شد که ۷۵ درصد داده‌ها (۱۴۷ داده) به‌عنوان داده آموزش و ۲۵ درصد (۴۹ داده) به‌عنوان داده اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد.

#### متغیرهای محیطی

متغیرهای محیطی استفاده‌شده در این بررسی شامل شاخص‌های توپوگرافی مستخرج از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر (ماهواره ALOS PALSAR) و شاخص‌های بیوفیزیکی تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به ۱۳ مهر ۱۳۹۹ (4 اکتبر ۲۰۲۰) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بود (جدول ۱). متغیرهای موردنیاز با استفاده از نرم‌افزارهای SAGA GIS و ERDAS IMAGINE 2015 استخراج شد. با استفاده از شاخص تأثیر نسبی، سهم هر متغیر در برآورد مشخص و پارامترهای مهم برای مدل‌سازی و برآورد FC، PWP و TAW انتخاب شد. این مرحله با استفاده از نرم‌افزار R صورت گرفت.

#### نمونه‌برداری خاک و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

پس از تعیین مرز جغرافیایی منطقه دشت سیستان و در نیمه جنوبی آن، ۲۰۰ واحد مدیریتی هم‌آب برای نمونه‌برداری خاک انتخاب شد. موقعیت محدوده مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری شده خاک در شکل ۱ نشان داده شده است. واحدهای هم‌آب، واحدهایی ۲۰ هکتاری است که در هریک از آن‌ها، کشاورزان برای بهره‌برداری و مدیریت مناسب آبیاری تجمع شده‌اند. از هر محل نمونه‌برداری، نمونه‌های دست نخورده (استوانه دو سر باز با قطر داخلی ۴/۹۵ و ارتفاع ۵/۱۰ سانتیمتر) و دست‌خورده خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها در آزمایشگاه و عبور از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل اجزای بافت خاک به روش هیدرومتری و کربن آلی به روش Walkly-Black اصلاح شده اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی، ۱۳۷۲). اندازه‌گیری مقدار رطوبت جرمی در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشاری به ترتیب با اعمال مکش ۰/۳۳ و ۱۵ بار انجام شد.

#### تغییرات مکانی

برای بررسی پراکنش مکانی داده‌های FC، PWP و TAW ابتدا فرضیه‌های پیش‌پردازش، همبستگی خطی و رگرسیون داده‌ها، از جمله تشخیص داده‌های پرت<sup>۱</sup> و آزمون نرمال کردن داده‌ها برای همه متغیرها اعمال شد (بری و همکاران، ۱۹۹۸). آزمون نرمال بودن داده‌ها با روش‌های کولموگراف-اسمیرنوف، بررسی چولگی و کشیدگی داده‌ها و تحلیل نمودارهای چندک-چندک (q-q) در نرم‌افزار SPSS انجام شد. در این پژوهش برآورد متغیرهای FC، PWP و TAW بر اساس دو الگوریتم کریجینگ معمولی به‌عنوان یک مدل زمین‌آماري و جنگل تصادفی به‌عنوان یک مدل یادگیری ماشین انجام شد. ورودی هر

<sup>۱</sup> . Outlier data

جدول ۱- متغیرهای محیطی (کمکی) مستخرج از مدل رقمی ارتفاع و تصاویر ماهواره‌ای

شرح	نام متغیر	نماد	منبع
مستخرج از مدل رقمی ارتفاع	مدل رقمی ارتفاع	DEM	Wilson and Gallant (2000)
	سطح پایه شبکه کانال‌ها	Channel Network Base Level (cnbl)	Wilson and Gallant (2000)
	تفاضل ارتفاع‌های اصلی سطح پایه شبکه کانال	Valley Depth (vd)	Skentos (1987)
	شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا	MRVBF	Taghizadeh-Mehrjardi (2014)
	عمق تقریبی شار سطح پایه حوضه	Vertical Distance to Channel Network (vdcn)	Betz et al. (2016)
	موقعیت شیب نسبی	Relative slope position (rsp)	Boehner and Selige (2006)
	$(R-NIR)/(R+NIR)$	NDSI <sup>1</sup>	Allbed and Kumar (2013)
	$\sqrt{(B \times R)}$	SI <sup>2</sup>	Allbed and Kumar (2013)
مستخرج از ماهواره لندست ۸	$(NIR-R)/(NIR+R)$	NDVI <sup>3</sup>	Rouse et al. (1974)
	NIR/R	RVI <sup>4</sup>	Rouse et al. (1974)
	$(s(NIR-s \times R-a))/(a \times NIR+R-a \times s+X \times (1+s2))$	TSAVI <sup>5</sup>	Baret and Guyot (1991)
	$(B2 \times 0.3029) + (B3 \times 0.2786) + (B4 \times 0.4733) + (B5 \times 0.5599) + (B6 \times 0.5080) + (B7 \times 0.1872)$	Tbright <sup>6</sup>	Baig et al. (2014)
	4-Ratio Vegetation Index		
	5- Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index		

1-Normalized Difference Salinity Index

2-Salinity Index

3-Normalized Difference Vegetation Index

4-Ratio Vegetation Index

5- Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index

6- Soil Brightness

### اعتبارسنجی مدل

و بهترین حالت عملکرد زمانی است که مقدار آن‌ها به صفر نزدیک باشد (ادب، ۱۳۹۶). با توجه به اینکه مقدار RMSE متناسب با واحد اندازه‌گیری ویژگی هدف است. شاخص nRMSE زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده قوی بودن مدل، ۲۰-۱۰ درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۲۰ درصد متوسط بودن مدل و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است (ویلجان و همکاران، ۲۰۱۸). برای بررسی بیش برآوردی و یا کم برآوردی از معیاره Bias استفاده شده. مقادیر مثبت Bias نشانه بیش برآوردی و مقادیر منفی آن نشانه کم برآوردی مدل است (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷).

صحت هر یک از مدل‌ها بر پایه ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) و میانگین انحراف (Bias) (در محیط نرم افزار R نسخه 3.5.3 در بسته "Caret" ارزیابی شد (هونکپتین و همکاران، ۲۰۱۸):

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2\right)} \quad (1)$$

$$\%NRMSE = RMSE / O_{ave} * 100 \quad (2)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (3)$$

که در آن‌ها:  $P_i$  مقدار برآورد شده،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $O_{ave}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده،  $P_{ave}$  میانگین مقادیر برآورد شده و  $n$  تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

مقادیر آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده همواره مثبت بوده

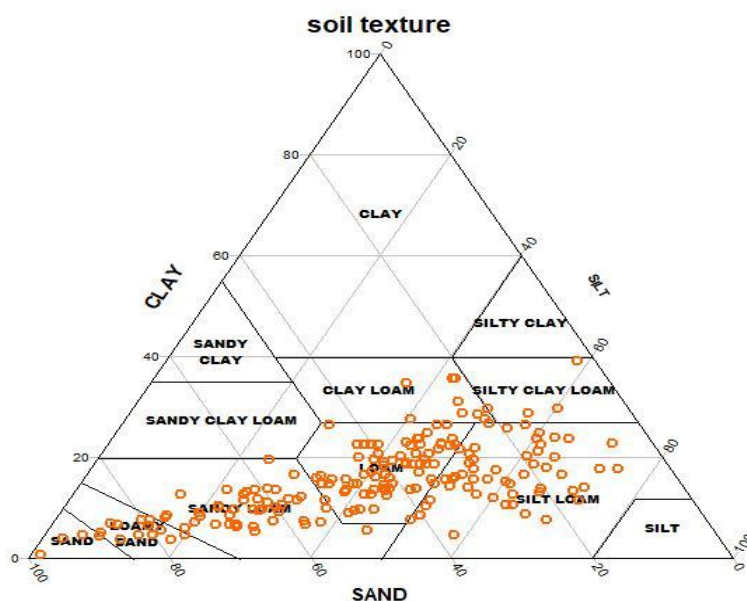
### یافته‌ها و بحث

#### آمار توصیفی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

توزیع بافت خاک نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس مثلث بافت خاک USDA نشان داد که خاک منطقه در کلاس‌های بافت لومی (Loam)، لومی‌شنی (Sandy Loam)، لومی (Loamy Sand) و لومی سیلتی (Silt Loam) است.

ذخیره عناصر غذایی و تبادل کاتیون‌های عناصر غذایی ضعیف هستند، قدرت نگهداری آب و ظرفیت زراعی ضعیفی دارند.

Loam قرار دارد (شکل ۲) که به نسبت متوسط تا سبک هستند که دلیل آن می‌تواند رسوبی بودن دشت سیستان است. خاک‌های دارای بافت سبک، افزون بر آنکه از نظر



شکل ۲- توزیع کلاس بافت خاک نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس مثلث USDA

به ترتیب دارای تغییرات کم، متوسط و زیاد هستند. با توجه به جدول ۲، هر سه ویژگی FC، PWP و TAW دارای تغییرات و غیریکنواختی زیادی هستند. اجزای بافت خاک و مواد آلی نیز غیریکنواختی زیادی دارند.

خلاصه آمار توصیفی ویژگی‌های مطالعه شده خاک در این پژوهش در جدول ۲ آمده است. بر پایه گروه‌بندی ویلدینگ و درس (۱۹۸۳)، متغیرهایی با ضریب تغییرات (CV) کمتر از ۱۵ درصد، بین ۱۵ تا ۳۵ درصد و بزرگ‌تر از ۳۵ درصد

جدول ۲- خلاصه آمار توصیفی داده‌های ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس (درصد وزنی)

نوع داده‌ها	ویژگی	تعداد داده‌ها	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات (%)
آموزش (Train)	FC	۱۴۶	۲/۷۷	۳۱/۴	۱۶/۵	۶/۲	۳۹	-۰/۰۷	-۰/۵۷	۳۷
	PWP	۱۴۶	۱/۴۸	۱۴/۸	۹/۴۷	۳/۹	۱۴/۸	۰/۱۴	-۰/۳۵	۴۱
	TAW		۰/۹۹	۱۷/۴	۷/۰۵	۳/۰۵	۹/۳	۰/۴۷	۰/۳۱	۴۳
آزمایش (Test)	FC	۴۹	۴/۴	۲۸/۸	۱۸/۲۸	۶	۳۵/۷	-۰/۴۴	-۰/۷۲	۳۲
	PWP	۴۹	۲/۷۷	۲۱/۱۸	۱۰/۸۶	۴/۱۲	۱۷/۰۵	-۰/۲۲	-۰/۱۰	۳۸
	TAW		۱/۶۴	۱۳/۳	۷/۴۲	۲/۶	۶/۷۸	-۰/۰۴	-۰/۴۵	۳۵

### نتایج روش کریجینگ معمولی

مشخصات مدل مناسب نیم‌تغییرنمای برازش شده به نیم‌تغییرنمای تجربی FC، PWP و TAW در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج حاصل از مقایسه آماره‌های مجموع مربعات خطا (RSS) و ضرب تبیین (R<sup>2</sup>) نشان می‌دهد که مدل نمایی با اثر قطعه‌ای ۲۷ و دامنه تأثیر ۱۸۳۰۰ متر برازش بهتری را بر نیم‌تغییرنمای محاسبه

با استفاده از هیستوگرام داده‌ها داده‌های ویژگی‌های مورد مطالعه، ۷ داده پرت شناسایی شد که بر اساس نظر کارشناس آشنا به فیزیک خاک منطقه، ۵ داده پرت حذف شد. با توجه به مقادیر کم چولگی و کشیدگی ویژگی‌های ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس (جدول ۲) از توزیع فراوانی نرمال پیروی می‌کنند (دیجورویس و همکاران، ۲۰۰۰). آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز این جمع بندی را تأیید کرد.

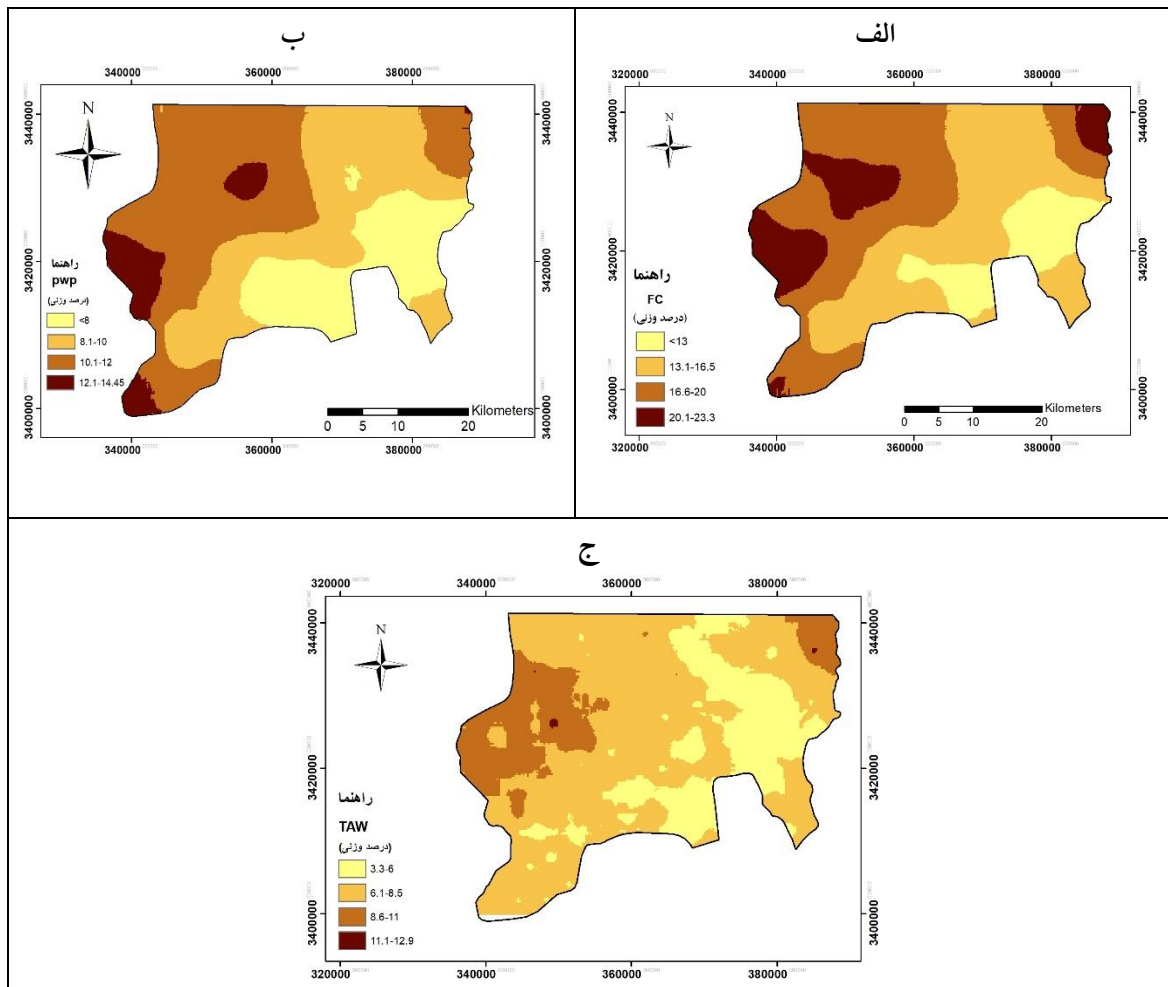
شکل ۳ نقشه پراکنش مکانی مکانی FC، PWP و TAW را در دشت سیستان که به روش کریجینگ معمولی تهیه شده را نشان می‌دهد. پهنه‌بندی پراکنش مکانی درصد سیلت، رس و شن با استفاده از روش کریجینگ معمولی نیز در شکل ۴ (الف، ب و ج) نشان داده شده است. بر اساس شکل ۳ بیشترین مقدار رطوبت ظرفیت زراعی و آب قابل دسترس در غرب و شمال شرق منطقه مشاهده می‌شود که طبق نقشه مدل رقومی ارتفاع (شکل ۵-د) دارای ارتفاع کمتری از سطح دریا نسبت به سایر قسمت‌های منطقه مطالعاتی است. از سویی، این مناطق دارای بافت خاک سنگین‌تری هستند (شکل ۴-الف، ب و ج). در مناطق جنوب و جنوب شرقی منطقه که دارای بافت خاک سبک‌تری است، مقدار آب قابل دسترس نسبت به مناطق غربی و شمال شرقی کمتر است. با افزایش میزان شن به علت افزایش منافذ درشت خاک، میزان آب ثقلی افزایش و ظرفیت زراعی کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۵ بیشترین مقدار سیلت و رس در شمال شرق و غرب منطقه مشاهده می‌شود.

شده FC دارد. دامنه تأثیر ۱۸۳۰۰ متر نشان‌دهنده این است که همبستگی مکانی FC می‌تواند تا حدود این فاصله توسعه یابد. لذا مناسب‌ترین فاصله نمونه‌برداری خاک برای تعیین مقدار FC، فواصل کمتر از این مقدار است. این در حالی است که برخی محققین فاصله معادل ۷۰ درصد دامنه تأثیر یعنی کمتر از ۱۲۸۰۰ متر را به‌عنوان فاصله بهینه نمونه‌برداری پیشنهاد داده‌اند (محمدی، ۲۰۰۶). کمباردلا و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند برای پی بردن به قدرت ساختار (همبستگی) مکانی هر متغیر می‌توان از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نیم‌تغییرنا استفاده نمود. درصد همبستگی مکانی کمتر از ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۷۵ درصد و بیشتر از ۷۵ درصد به ترتیب بیانگر ساختار مکانی قوی، متوسط و ضعیف است. همبستگی مکانی آب قابل دسترس، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم متوسط بودند (جدول ۳). با توجه به آنکه مدل‌های نیم‌تغییرنا دارای آستانه بودند، از مؤلفه‌های این مدل‌ها (جدول ۳) برای درون‌یابی به روش کریجینگ معمولی استفاده شد.

جدول ۳- مؤلفه‌های مدل‌های نیم‌تغییر نمای ویژگی‌های مورد مطالعه

ویژگی	واحد	مدل	دامنه تأثیر (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه وابستگی مکانی	درصد	R <sup>2</sup>	RSS
FC	درصد	نمایی	۱۸۳۰۰	۲۷	۳۹/۱	۷۰	۰/۹۶۸	۳/۲۷
PWP	وزنی	کروی	۱۵۰۰۰	۱۱	۱۴/۷۲	۷۵	۰/۹۵۲	۰/۳۵۶
TAW		نمایی	۱۶۳۰۰	۴/۷۲	۹/۴۴	۵۰	۰/۸۵۱	۲/۱۴

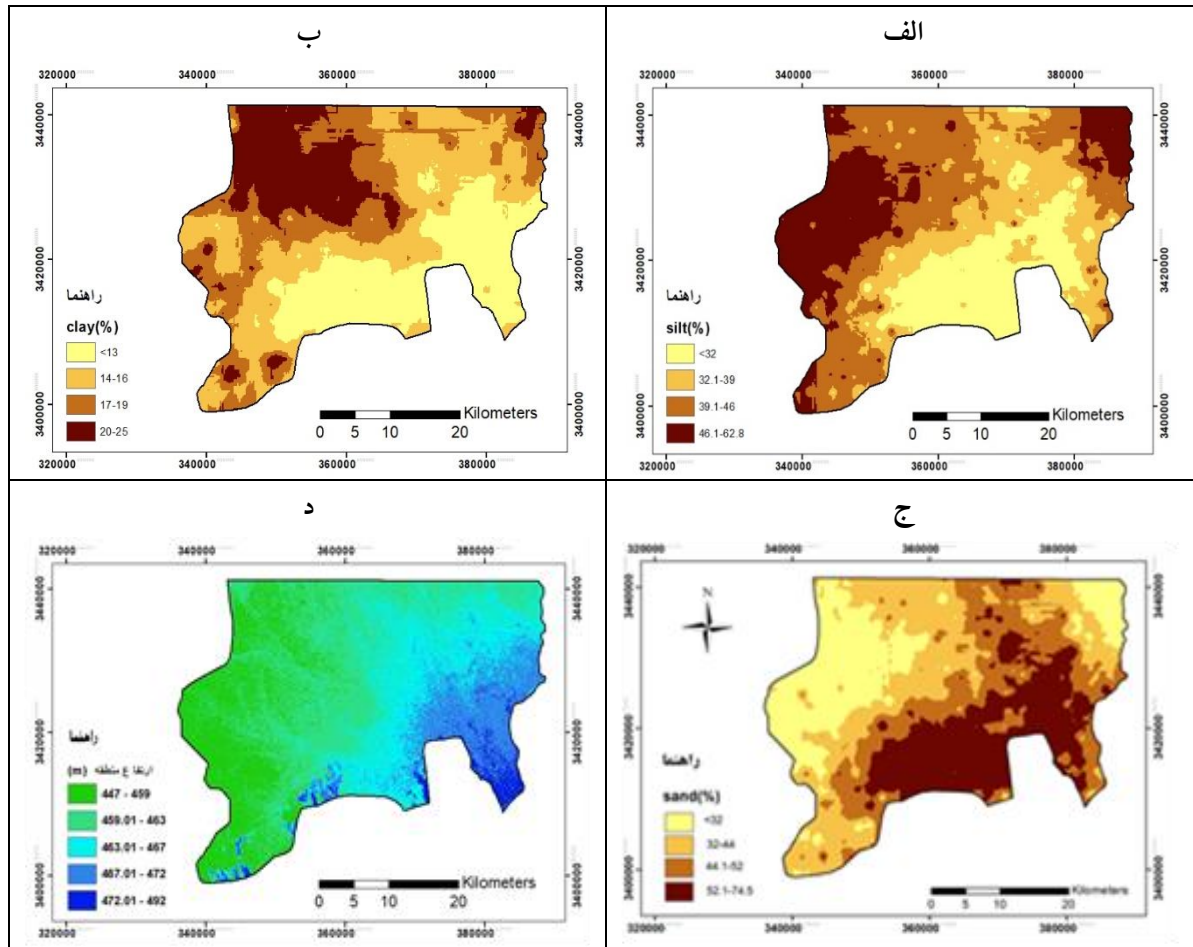




شکل ۳- نقشه پراکنش مکانی FC (الف)، PWP (ب) و TAW (ج) تهیه شده با روش کریجینگ معمولی

جنوب شرقی مشاهده می‌شود. این نتایج با یافته‌های پهلوان راد (۱۳۹۸) که نشان داد بیشترین نفوذپذیری مربوط به جنوب شرقی دشت بوده که مقدار شن بیشتری دارند و کمترین مقادیر نفوذپذیری هم مربوط به قسمت‌های شمالی دشت بود که نزدیک تالاب هامون بوده و مقدار رس بیشتری دارند، همخوانی دارد.

بیشترین مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی دائم در غرب و جنوب غرب منطقه و کمترین مقدار آن در بخش‌های جنوب شرقی منطقه که کمترین مقدار رس را دارد، مشاهده می‌شود. همچنین، بر اساس نقشه رقومی ارتفاع، مناطق جنوب شرقی دارای ارتفاع بیشتر و بافت درشت‌تر است. بر اساس نقشه درصد شن نیز بیشترین مقدار شن در مناطق



شکل ۴- نقشه پراکنش مکانی درصد سیلت (الف)، درصد رس (ب) و درصد شن (ج) تهیه شده با روش کریجینگ معمولی و مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه (د)

ارتفاع‌های اصلی سطح پایه شبکه کانال (Vdcn)، عمق تقریبی شار سطح پایه حوضه (Vd)، شاخص شوری (SI) و شاخص درخشندگی خاک با استفاده از روش تسلدکپ (tbright) دارای همبستگی مثبت یا منفی با ویژگی‌های FC، PWP و TAW بود. این همبستگی‌ها هرچند قوی نبودند، اما در سطح یک درصد معنی دار بود. لذا از این متغیرهای کمکی در مدل جنگل تصادفی استفاده شد.

نتایج مدل‌سازی بر مبنای الگوریتم جنگل تصادفی ضرایب همبستگی خطی پیرسون بین ویژگی‌های FC، PWP و TAW و متغیرهای کمکی استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (جدول ۴) نشان داد که متغیرهای محیطی مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا (MRVBF)، سطح پایه شبکه کانال‌ها (Cnbl)، موقعیت شیب نسبی (Rsp)، تفاضل

جدول ۴- مقادیر ضرایب همبستگی خطی بین ویژگی‌های FC، PWP و TAW و متغیرهای کمکی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره  
لندست ۸

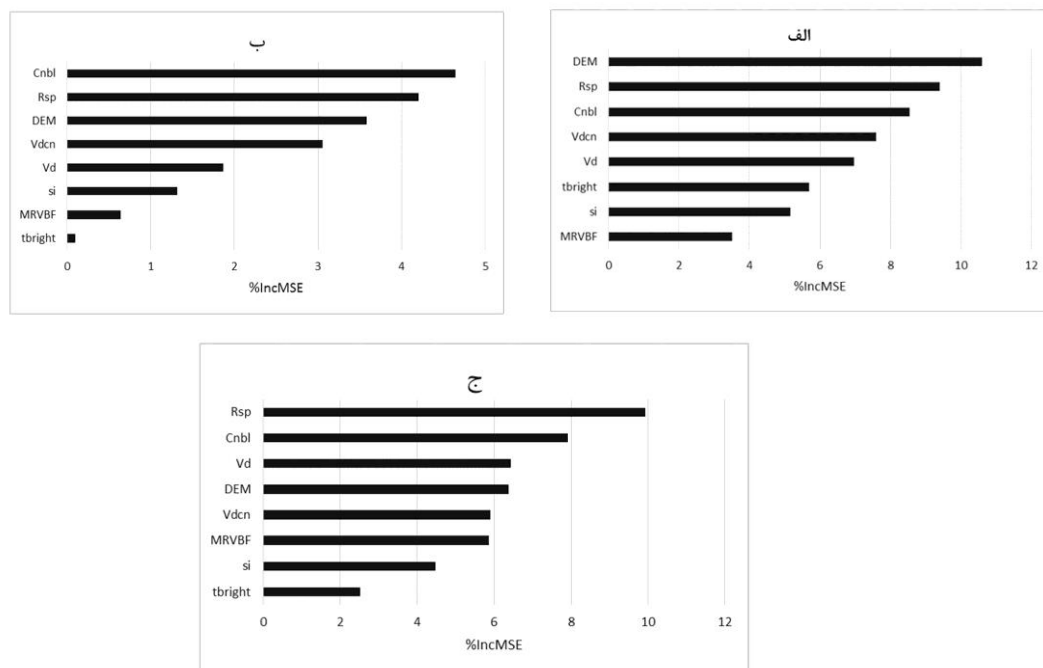
TAW	PWP	FC	Environmental variables <sup>a</sup>
-.۲۷۵**	-.۳۷۴**	-.۳۶۳**	DEM
.۱۸۶**	.۲۶۰**	.۲۵۰**	MRVBF
-.۲۳۹**	-.۳۳۲**	-.۳۲۰**	Channel Network Base level(Cnbl)
-.۲۲۷**	-.۲۷۳**	-.۲۷۷**	Relative slope position(Rsp)
.۲۲۹**	.۳۳۲**	.۳۱۵**	Valley depth(Vd)
-.۱۶۲**	-.۱۹۱**	-.۱۹۵**	Vertical Distance to Channel Network(Vdcn)
.۱۰۸ <sup>ns</sup>	.۰۷۲ <sup>ns</sup>	.۰۹۶ <sup>ns</sup>	NDSI
-.۱۰۸ <sup>ns</sup>	-.۰۷۲ <sup>ns</sup>	-.۰۹۶ <sup>ns</sup>	NDVI
.۱۱۰ <sup>ns</sup>	.۰۷۷ <sup>ns</sup>	.۰۰۱ <sup>ns</sup>	RVI
.۱۷۹**	.۱۵۶**	.۱۸۲**	SI
-.۱۰۸ <sup>ns</sup>	-.۰۷۲ <sup>ns</sup>	-.۰۹۶ <sup>ns</sup>	TSAVI
.۱۸۲**	.۱۶۱**	.۱۹۵**	Tbright

\*\* دارای همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد -<sup>ns</sup> بدون همبستگی معنی‌دار

<sup>a</sup> Digital Elevation Model (DEM), Module Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness (MRVBF), Normalized-Difference Snow Index (NDSI), Normalized-Difference Vegetation Index (NDVI), Radar Vegetation Index (RVI), Salinity Index (SI), Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI)

و عمق تقریبی شار سطح پایه حوضه (شکل ۵، ج). سطح پایه شبکه کانال‌ها دارای همبستگی خطی معنی‌دار با سه ویژگی PWP، TAW و FC بود. مدل رقومی ارتفاع، منبع استخراج عوارض مختلف پستی و بلندی و تحلیل‌های رقومی عوارض زمین است. کانال‌ها یکی از اجزای ژئومورفومتری خروجی مدل رقومی ارتفاعی است. در کانال‌ها باید به این نکته توجه داشت که جهت جریان آب در سلول‌ها بر اساس ارتفاع آن‌ها صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر جهت جریان از سلول با ارتفاع بیشتر به سمت سلول با ارتفاع کمتر است (تازه و همکاران، ۱۳۹۴). در مناطقی که میزان FC، TAW و PWP بیشتر است، مدل رقومی ارتفاع مقادیر کمتری داشته و تأکیدی بر این نکته است که وضعیت توپوگرافی اثر مهمی بر این خصوصیات دارد.

یافته‌های الگوریتم جنگل تصادفی نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای محیطی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، برای برآورد توزیع مکانی دو ویژگی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، مدل رقومی ارتفاع، سطح پایه شبکه کانال‌ها و موقعیت شیب نسبی است (شکل ۶، الف و ب). اهمیت تعیین شیب و درجه آن به این دلیل است که در شیب‌های آفتاب‌گیر، تبخیر بیشتر بوده و بنابراین ذخیره آب خاک کم شده و پوشش گیاهی کمتر است (رفاهی، ۱۳۸۸). البته در دشت‌های سیلابی سیستان به دلیل رسوب ذرات درشت در شیب‌های بالاتر و تشکیل بافت‌های سبک‌تر نقش تعیین‌کننده دارد. همچنین، متغیرهای محیطی که در برآورد توزیع مکانی مقدار آب قابل‌دسترس نقش مهمی داشتند، عبارت‌اند از سطح پایه شبکه کانال‌ها، موقعیت شیب نسبی



شکل ۵- ترتیب متغیرهای محیطی برتر الگوریتم جنگل تصادفی برای تخمین ظرفیت زراعی (الف)، نقطه پژمردگی دائم (ب) و آب قابل دسترس (ج)

تصادفی مقادیر این ویژگی‌های را بیشتر برآورد کرده‌اند. دقت کمتر روش جنگل تصادفی در تخمین ویژگی‌های خاک می‌تواند به دلیل مسطح بودن اراضی منطقه باشد که باعث شده متغیرهای محیطی استخراج شده از تصاویر ماهواره و مدل رقمی ارتفاع نتوانند به خوبی تغییرات مکانی ویژگی‌های PWP، FC و TAW خاک را نشان دهند. از سوی دیگر، بر اساس پراکنش جغرافیایی اجزای بافت خاک سطحی، به نظر می‌رسد نقشه‌های خروجی از مدل کریجینگ انطباق بهتری با شرایط خاک‌های منطقه با توجه به پراکنش خصوصیات بافت خاک به‌عنوان یک پارامتر مؤثر در ظرفیت نگهداشت آب خاک دارد.

مقایسه عملکرد روش‌های کریجینگ معمولی و جنگل تصادفی در برآورد PWP، FC و TAW در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس شاخص درصد nRMSE ارائه شده در جدول ۵، روش کریجینگ عملکرد قابل قبولی برای تخمین FC دارد، در حالی که عملکرد هر دو مدل برای تخمین PWP و TAW، در محدوده قابل قبول نیست؛ بنابراین با توجه به تأثیر PWP در محاسبه مقادیر TAW، در صورتی که بتوان روش مناسبی برای تخمین PWP ارائه داد، قطعاً مقادیر تخمینی TAW نیز از دقت کافی برخوردار خواهند شد. از سویی، بر اساس شاخص انحراف، مدل کریجینگ مقادیر ویژگی‌های مورد نظر را کمتر و مدل جنگل

جدول ۵- مقایسه شاخص‌های ارزیابی عملکرد دو روش کریجینگ و جنگل تصادفی برای تخمین FC، PWP و TAW

تفاوت دقت دو روش (%)	کریجینگ معمولی		جنگل تصادفی		ویژگی
	nRMSE	Bias	%nRMSE	Bias	
۵	-۰/۸۹	۲۸	۱/۴۱	۳۳	FC
۳	-۰/۶۱	۳۷	۱/۳۷	۴۰	PWP
۳	۰/۶۵	۳۴	۰/۰۸۸	۳۷	TAW

جنگل تصادفی و زمین‌آمار برای تولید نقشه‌های رطوبت ظرفیت زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و رطوبت در دسترس (TAW) در بخشی از اراضی کشاورزی دشت سیستان استفاده شد. بر اساس نتایج، FC،

#### نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر از نقشه‌برداری رقمی خاک برای تولید نقشه کلاس‌ها یا خصوصیات خاک استفاده می‌شود. در این بررسی، از مدل‌های مبتنی بر الگوریتم

بیشترین مقادیر FC، PWP و TAW در خاک‌های مناطق غربی و شمال غربی دشت سیستان که دارای بیشترین درصد رس هستند، مشاهده شد. با توجه به اینکه مدیریت صحیح آبیاری مستلزم آگاهی از مقدار آب قابل دسترس خاک است، لذا با تعیین عوامل مؤثر بر آب قابل دسترس (FC و PWP) و شناسایی الگوی تغییرات مکانی این پارامترها می‌توان در هزینه‌های مطالعات آبیاری صرفه‌جویی نموده و در برنامه‌های مدیریت آبیاری از این اطلاعات جهت کاهش آب مصرفی و جلوگیری از نفوذ عمقی و رواناب مزارع بهره جست.

#### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با کد پژوهانه UOZ-GR-6621 انجام شد که بدین وسیله از آن تشکر و قدردانی می‌شود.

PWP و TAW دارای همبستگی مکانی متوسط و تغییرات همگن بودند که می‌توان از این ویژگی برای تهیه نقشه پهنه-بندی شده خصوصیات در سطح منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. مقایسه روش‌های کریجینگ معمولی و جنگل تصادفی برای برآورد FC، PWP و TAW در اراضی دشت سیستان نشان داد که روش کریجینگ معمولی با توجه به راحتی و سرعت اجرای بیشتر و حصول مقادیر کمتر nRMSE، از عملکرد بهتری نسبت به جنگل تصادفی برخوردار است. پیشنهاد می‌شود به منظور بررسی امکان افزایش دقت روش کریجینگ، از روش‌های ترکیبی مانند کریجینگ با ژنتیک، نروفاری و بیزین تجربی در مطالعات آینده استفاده شود. برتری کریجینگ در این تحقیق می‌تواند به دلیل شیب خیلی کم اراضی منطقه باشد که منجر شده متغیرهای محیطی نتوانند با مقادیر اندازه‌گیری شده خصوصیات مورد بررسی ارتباط مناسبی برقرار کنند. افزایش تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده و نیز استفاده از متغیرهای کمکی با دقت بالاتر (نظیر نقشه رقوم ارتفاع) در تحقیقات بعدی می‌تواند موجب دقت بیشتر نقشه‌های تولیدی شود.

#### فهرست منابع

۱. آق‌نابتی، س. ع. ۱۳۸۵. زمین شناسی و توان معدنی استان سیستان و بلوچستان. نشریه رشد آموزش علوم زمین، شماره ۴۵، ص ۱۱-۴.
۲. احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، حاتمی، ف.، محمدنیا افروزی، ش.، اسفندیاری، ا و طاقانی، ر. ع. ۱۴۰۰. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی. ۹۲ ص.
۳. ادب، ح. ۱۳۹۶. برآورد رطوبت لحظه‌ای سطح خاک در فصل سرد با استفاده از داده‌های سنجش از دور نوری و حرارتی در شرایط بدون نمناکی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۱ (۲): ص ۱۷۵-۱۹۱.
۴. پهلوان راد، م. ر. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات مکانی نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در اراضی دشت سیستان با استفاده از زمین آمار و درختان تصمیم‌گیری تصادفی. گزارش نهایی موسسه خاک و آب. ۵۸ ص.
۵. تازه، م.، اسدی، م. و کلانتری، س. ۱۳۹۴. ارزیابی قابلیت شاخص های ژئومورفومتری در استخراج نقشه شبکه آبراهه (مطالعه موردی، حوزه سه قلعه- همبوسرایان)، نشریه علمی پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم. شماره ۱، ص ۱۴۴-۱۳۴.
۶. رفاهی، ح. ق. ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ۶۳۳ ص.

۷. صحرايي، ن.، لندی، ا و حجتی، س. ۱۴۰۱. نقشه‌برداری رقومی اجزا بافت خاک در بخشی از اراضی دشت خوزستان با استفاده از برخی مدل‌های یادگیری ماشین. مجله تحقیقات خاک و آب ایران (دانشگاه تهران شماره ۱۰. ص ۲۲۷۶-۲۲۶۱.
۸. فاضلی سنگانی، م.، شرفا، م. و سرمیدیان، ف. ۱۳۸۹. درونیابی و پهنه‌بندی میزان رطوبت حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم. مجله آبیاری و زهکشی ایران. دوره چهارم. شماره ۲. ص ۲۶۲-۲۵۱.
۹. علی‌احیایی، م. و بهبهانی زاده، ع.ا. ۱۳۷۲. نشریه فنی. شماره ۸۹۲. ۱۲۹ ص.
۱۰. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری: آمار مکانی (۲جلد). انتشارات پلک. ۴۵۶ ص.
11. Aitkenhead, M. J., and M. C. Coull. 2016. Mapping soil carbon stocks across Scotland using a neural network model. *Geoderma*. 262: 187-198.
12. Allbed, A. and L. Kumar. 2013. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in Remote Sensing*. 2(4) : 373-385, DOI: 10.4236/ars.2013.24040
13. Arnold, J. G. and J.R.Williams. 1987. Validation of SWRRB: simulator for water resources in rural basins. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 113(2): 243-256.
14. Arnold, J.G. and N. Fohrer. 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrological Processes*. 19(3): 563-572.
15. Babaeian, E., M. Sadeghi, S.B. Jones, C. Montzka, H.Vereecken and M. Tuller. 2019. Ground, proximal, and satellite remote sensing of soil moisture. *Rev. Geophys*. 57: 530-616.
16. Baig, M.H.A., L. Zhang, T. Shuai and Q. Tong. 2014. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*. 5(5): 423-431.
17. Baret, F. and G. Guyot. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*. 35(2-3): 161-173.
18. Berry, W.D. 1993. Understanding regression assumptions. quantitative applications in the social sciences. Sage Publications. 92:104P.
19. Betz, F., J. Rauschenberger, M. Lauermann, and B. Cyffka. 2016. Using GIS and remote sensing for assessing riparian ecosystems along the Naryn River Kyrgyzstan. *International Journal of Geoinformatics*. 12 (4): 25-30.
20. Brisson, N., B. Mary, D. Ripoche, M.H. Jeuffroy, F. Ruget, and B. Nicoulaud .1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomy Journal*. 18(5-6): 311-346.
21. Böhner, J. and T. Selige. 2006. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. *Göttinger Geographische Abhandlungen*. 115:13-28.
22. Cambardella, C.A., A.T. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco, and A.E. Konopka. 1994. Field-scale heterogeneity of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*. 58: 1501-1511.
23. Datta, S., S. Taghvaeian, and J. Stivers. 2017. Understanding soil water content and thresholds for irrigation management. *Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets*. BAE-1537. <http://osufacts.okstate.edu>
24. Djurovic, Z., B. Kovacevic and V. Barroso. 2000. QQ-plot based probability density function estimation. In *Proceedings of the Tenth IEEE Workshop on Statistical Signal and Array Processing* . 243-247.
25. Hengl, T., B.M. Heuvelink, B. Kempen, J.G.B. Leenaars, M. G. Walsh, K.D. Shepherd, A. Sila, R.A. MacMillan, J. M. Jesus, L. Tamene and J.E. Tondoh. 2015. Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: random forests significantly improve current predictions. *PLOS ONE*. 10 (6): doi: 10.1371/journal.pone.0125814.

26. Hounkpatin, O.K., F.O. de Hipt, A. Y. Bossa, G. Welp, and W. Amelung. 2018. Soil organic carbon stocks and their determining factors in the Dano catchment (Southwest Burkina Faso). *Catena*. 166: 298-309.
27. Mishra, U., R. Lal, D. Liu and M.Van Meirvenne. 2010. Predicting the spatial variation of the soil organic carbon pool at a regional scale. *Soil Science Society of America Journal*. 74(3): 906-914.
28. Navidi, M.N., J. Seyedmohammadi, and S.A. Seyed Jalali. 2022. Predicting soil water content using support vector machines improved by meta-heuristic algorithms and remotely sensed data. *Geomechanics and Geoengineering*. 17(3): 712-726.
29. Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R. L., Bingner, R.D. Harmel , and T. L.Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(3): 885–900.
30. Ottoy, S., B. De Vos, A. Sindayihebura, M. Hermy, and J.Van Orshoven. 2017. Assessing soil organic carbon stocks under current and potential forest cover using digital soil mapping and spatial generalisation. *Ecological Indicators*. 77: 139-150.
31. Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. Coleand D.S. Ojima. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains Grasslands. *Soil Science Society of America Journal*. 51(5): 1173–1179.
32. Qiao, J., Y. Zhu,, X. Jia, L. Huang and M.A. Shao.2019. Pedotransfer functions for estimating the field capacity and permanent wilting point in the critical zone of the Loess Plateau, China. *Journal of Soils and Sediments*, 19: 140-147.
33. Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, and J.C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation (No. E75-10354).
34. Shahriari, M., M. Delbari, P. Afrasiab, and M.R. Pahlavan-Rad. 2019. Predicting regional spatial distribution of soil texture in floodplains using remote sensing data: A case of southeastern Iran. *Catena*. 182:104-149.
35. Skentos, A. 2018. Topographic position index based landform analysis of Messaria (Ikaria Island, Greece). *Acta Geobalcanica*. 4(1):7-15
36. Szabo, B., G. Szatmari, K. Takacs, A. Laborczi, A. Mako, K. Rajkai and I. Pasztor. 2019. Mapping soil hydraulic properties using random-forest-based pedotransfer functions and geostatistics. *Hydrology and Earth System Sciences*. 23: 2615-2635.
37. Taghizadeh-Mehrjardi, R., B. Minasny, F. Sarmadian, and B.P. Malone. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*. 213: 15-28.
38. Terribile, F., A. Coppola, G. Langella, M. Martinaand A. Basile. 2011. Potential and limitations of using soil mapping information to understand landscape hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15: 3895–3933.
39. Viljanen, N., E. Honkavaara, R.Näsi., T. Hakala, O. Niemeläinen, and J. Kaivosoja. 2018. A novel machine learning method for estimating biomass of Grass Swards using a photogrammetric canopy height model, images and vegetation indices captured by a drone. *Agriculture*. 8: 1-28.
40. Wilson, J.P. and J.C. Gallant. 2000. Digital terrain analysis. Principles and applications. 6(12): 1-27.
41. Wiesmeier, M., F. Barthold, B. Blank, and I. Kögel-Knabner. 2011. Digital mapping of soil organic matter stocks using Random Forest modeling in a semi-arid steppe ecosystem. *Plant and Soil*. 340(1-2): 7-24.
42. Wilding, L. and L.R. Drees. 1983. Spatial variability and pedology. In *Developments in Soil Science*. Elsevier. 11: 83-116
43. Zhang, H., P. Wu,A.Yin , X. Yang, M. Zhangand C. Gao. 2017. Prediction of soil organic carbon in an intensively managed reclamation zone of eastern China: A comparison of multiple linear regressions and the random forest model. *Science of the Total Environment*. 592: 704-713.

# Generating a Digital Map of Field Capacity and Permanent Wilting Point of Agricultural Soils in the Southern Part of Sistan Plain

**F. Keykhaei, M. Delbari\*, N. Davatgar, F. Hassanpour, M. Jamshidi, and P.Afrasiab**

PhD Student in Department of Water Engineering, University of Zabol and member of the faculty Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran  
**keykhaei80@gmail.com**

Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran **masoomeh.delbari@uoz.ac.ir**

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran **n\_davatgar@yahoo.com**

Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran **hassanpourir@uoz.ac.ir**

Assistant Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

**mohammadjamshidi@yahoo.com**

Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran **peyman.afraziab@uoz.ac.ir**

Received: March 14, 2023 and Accepted: September 19, 2023

## Abstract

This study aimed to estimate the spatial distribution of soil properties including field capacity (FC), permanent wilting point (PWP) and total available water (TAW) using ordinary kriging (OK) and random forest (RF) in agricultural lands of the southern Sistan Plain, covering an area of approximately 147000 hectares. FC, PWP, and TAW and soil texture components were measured for a total of 200 surface soil samples (0-30 cm). Performance evaluation of the two methods based on the percentage of normalized root mean square error (nRMSE) revealed that the conventional OK with 5% less error in estimating FC, 3% less error in estimating PWP, and 5% less error in estimating TAW performed slightly better than RF. Comparing Bias values showed that OK underestimates both FC and PWP and overestimates TAW, while RF overestimates all three parameters. Spatial distribution maps of FC, PWP, and TAW produced by OK model showed that the highest amount of FC (23%) and TAW (14.4%) were in the west and northeast of the region, which had heavier texture and lower altitude from the sea level. In the southern and southeastern regions, which have lighter soil texture, the amount of available water was less compared to the western and northeastern regions. In the RF model, the most important variable extracted from satellite images was Digital Elevation Model (DEM), and all three features had higher values in areas where DEM was lower. It seems that the flatness of the study area and the inadequacy of auxiliary variables caused the lower accuracy of the RF method.

**Keywords:** Total available water, Environmental variables, Ordinary Kriging, Random Forest Model

---

\* Corresponding author's email: masoomeh.delbari@uoz.ac.ir



## Investigating the Relationship between the Amount of Total Nitrogen and Some Soil Characteristics in Zarin Shahr Region

N. Pirastani , M. Ahmadi Nodooshan\*, M .Abolhassani, and R. Zamani

**Ahmad Mahmoudi**

PhD student, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran; [Niloofer.pirestani@yahoo.com](mailto:Niloofer.pirestani@yahoo.com)  
Assistant Professor, Department of Environment, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan Branch (Khorasgan),  
Islamic Azad University, Isfahan, Iran; [m.ahmadi1984@gmail.com](mailto:m.ahmadi1984@gmail.com)

Assistant Professor, Department of Environment, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran;  
[Hadi.mha2001@yahoo.com](mailto:Hadi.mha2001@yahoo.com)

Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University,  
Shahrekord, Iran; [zamani@nres.sku.ac.ir](mailto:zamani@nres.sku.ac.ir)

Received: July11, 2022 and Accepted: September12, 2023

### Abstract

The purpose of this research was to investigate the impact of pH, EC, and organic carbon (OC) on the amount of total nitrogen in the soil of the Zarin Shahr Region using statistical analyses (borderline analysis and step-by-step regression). In the Zarinshahr region, a comprehensive study was conducted for a duration of one year across all four seasons. The study employed GPS technology to select a total of 60 points in agricultural, tree plantations, and bare soil areas while ensuring an average distance of 546 meters between each point. The plots areas were 50x50x20 cm in length, width, and height. The various soil samples collected from these plots were analyzed. Then, the maximum reaction of a biogeochemical process to a certain environmental factor was determined using borderline analysis. According to the findings, the soil's EC exhibited higher readings during the hotter seasons of the year, in comparison to other seasons. Specifically, during the summer, the maximum value of this parameter was approximately 1587 dS/m, while in the winter, the values were nearly 1140 dS/m. Also, pH levels of the soil was generally alkaline. The seasonal variations in soil OC and organic matter percentage were evident, with notably lower values (ranging from 0.04-2.52) in the autumn and winter, followed by a marked increase during the summer and spring (0.12-2.39). Boundary line analysis was used to investigate the relationships between variables and the values of indicators that caused the maximum increase in soil nitrogen. It was ascertained that OC percentage and soil nitrogen percentage exhibited a significant linear correlation in all land uses. Hence, increase in OC percentage resulted in an increase in the total nitrogen content in the soil. The step-by-step regression analysis in a systematic manner revealed that, within the variables under investigation, the percentage of total nitrogen in the soil can be determined based on the impact of two key parameters, namely, EC and the percentage of OC. The results suggest that use of boundary line analysis and step-by-step regression represent a viable approach for determining the effects of the significant factors on the levels of nitrogen content in the soil.

**Keywords:** Organic carbon, Boundary line analysis, Regression analysis

---

\*. Corresponding author's email: [m.ahmadi1984@gmail.com](mailto:m.ahmadi1984@gmail.com)

## Modeling Spatial Distribution of Soil Classes Using Machine Learning Algorithms in Some Parts of Zanjan Provice

**M. Rahimi Mashkaleh, M. A. Delavar\*, M. Jamshidi and A. Sharififar**

Ph.D. Student of Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran;  
[mastanehrahimi@znu.ac.ir](mailto:mastanehrahimi@znu.ac.ir)

Associate Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran;  
[amir-delavar@znu.ac.ir](mailto:amir-delavar@znu.ac.ir)

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; [mohammadjamshidi@yahoo.com](mailto:mohammadjamshidi@yahoo.com)

Researcher, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran;  
[sharififar@ut.ac.ir](mailto:sharififar@ut.ac.ir)

Received March 6, 2023 and Accepted: July 5, 2023

### Abstract

Digital soil mapping (DSM), which uses machine learning (ML) algorithms and environmental covariates, is used worldwide for predicting soil properties and classes, due to being time-effective and cost-saving. This research was conducted to compare ML models and their efficiency in predicting the spatial distribution of soil subgroups in part of Zanjan Province. For this purpose, sampling was carried out through a regular pattern with 500 meters intervals, and 148 soil profile samples were randomly collected and classified. The soils of the region at the subgroup level were categorized in five classes, including Typic Calcixerepts, Typic Haploxerepts, Gypsic Haploxerepts, Typic Xerorthents, and Lithic Xerorthents. Environmental covariates included geomorphological and geological maps, digital elevation model (DEM), and remote sensing (RS), selected by principal component analysis (PCA) and expert knowledge approaches. Fifty-seven environmental variables were extracted as representatives of soil forming factors. Modeling of the soil-landscape relationship was performed using three algorithms, namely, multinomial logistic regression (MNLr), random forest (RF), and boosted regression tree (BRT) in Rstudio software. The results of evaluation metrics such as overall accuracy and Kappa index were 65% and 0.32 for the RF algorithm, 60% and 0.35 for the BRT, and 65% and 0.41 for the MNLr. Referring to the importance of environmental variables, results showed that the four factors of valley depth, LS-Factor, channel network distance, and multiple resolution ridge top flatness index (MRRTF) were the most important variables in MNLr algorithm. Also, the results of two statistics of user's accuracy (UA) and producer's accuracy (PA) showed that the MNLr model performed better in the spatial prediction of soil at subgroup level. Soil classes with higher frequency had higher accuracy. The results of the prediction accuracy of soil classes showed that the model prediction is more accurate for the more frequent types in the observations.

**Keywords:** Multinomial logistic regression, Kappa Index, Digital soil mapping, Terrain attributes

---

\* - Corresponding author's email: [amir-delavar@znu.ac.ir](mailto:amir-delavar@znu.ac.ir)

## Effect of Nitrogen Fertilizer Amount on Some Fodder Characteristics and Performance of *Salicornia persica* Akhani

**S.M.Sadeghi\*, M.Karimi and N. Farrar**

Assistant Prof., Forest research Division, Research Institute of Forests and Reangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; Email: [smbooraki@gmail.com](mailto:smbooraki@gmail.com)

Assistant Prof., National Salinity Research Center (NSRC), AREEO, Yazd, Iran. [Karimisrc@gmail.com](mailto:Karimisrc@gmail.com)

Assistant Prof., Forests and Rangelands Research Department, Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran. [Farrar29@gmail.com](mailto:Farrar29@gmail.com)

Received: January 17, 2023 and Accepted July 5, 2023

### Abstract

Fodder production for livestock using highly saline soil and waters is a part of halo-culture projects. So, the present study aimed to elucidate the effect of nitrogen fertilizer amount on some fodder characteristics and performance of salicornia (*Salicornia persica* Akhani) irrigated with the Persian Gulf seawater with the electrical conductivity of 64.5 dSm<sup>-1</sup>. A field experiment with four levels of urea fertilizer including zero, 100, 150, and 200 kg ha<sup>-1</sup> in the form of randomized complete block design with three replications was carried out at seashore of Delwar City, Bushehr Province, in 2017. The results showed that fodder production and fertilizer application had a linear and increasing relationship. As the rate of urea fertilizer increased (100, 150, and 200 kg ha<sup>-1</sup>), the dry fodder production rose by 96.7%, 144.5%, and 188.4%, respectively, compared with the control treatment. In addition, results showed that urea application increased plant height, spike length, spike diameter and spike weight. Moreover, application of urea fertilizer at a rate of 200 kg ha<sup>-1</sup> increased water use efficiency by three times compared to the control. Hence, to optimize the quantity of fodder production from *Salicornia* and water use efficiency, urea application at a rate of 200 kg ha<sup>-1</sup> is recommended. It is suggested to determine the effect of saline water on soil in future research.

**Keywords:** Unconventional waters, Use of urea, Halo-culture, Animal feed

---

\* -Corresponding author's email: [smbooraki@gmail.com](mailto:smbooraki@gmail.com)

## Effect of Zinc and Iron Foliar Application on Corn Yield and Redistribution of Photosynthetic Materials in Water Stress Conditions

**M. Afshari\* and A. Naderi**

Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran;  
Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. [afshari.sci@gmail.com](mailto:afshari.sci@gmail.com)  
Associate Prof., of Research Organization, Agricultural Extension and Education, Khuzestan Research Center of  
Agriculture and Natural Resources, Ahvaz, Iran. [naderi.ah1336@gmail.com](mailto:naderi.ah1336@gmail.com)

Received: December 2022, and Accepted: July 2023

### Abstract

In order to evaluate the effect of iron and zinc on maize grain yield and the contribution of current photosynthesis and photosynthate redistribution under water stress conditions, this study was conducted in two seasons (2018-2020) in research farm at northwest of Ahvaz. The experiment was conducted in split split-plot design with randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of water stress at three levels including complete irrigation, cut-off irrigation at vegetative growth stage (CI-VGS), and cut-off irrigation at early seed stage (CI-ESS). Sub-plots consisted of foliar application of zinc sulfate with three concentrations (0, 0.5 %, and 1 %) and sub sub-plots received foliar application of iron sulfate at three concentrations (0, 0.3 % and 0.6 %). The results showed that cut-off irrigation at CI-ESS decreased grain yield, biological yield, current photosynthesis rate, and current photosynthetic contribution, significantly ( $p < 1\%$ ). But the redistribution of storage materials was the highest in this treatment. Also, 1000-grain weight in the CI-ESS was 26.9% lower than that of complete irrigation. The highest biological yield and current photosynthesis contribution were obtained by leaf foliar application of iron sulfate. Foliar application of zinc sulfate with 1% concentrations in CI-VGS resulted in significant increase in grain yield of 33.7%, a 7.6% share of current photosynthesis and a decrease in the redistribution of storage materials. The highest grain yields (7062 and 6735 kg.ha<sup>-1</sup>) and current photosynthesis rate (536.6 g.m<sup>-2</sup>) were obtained in the foliar application of 1% ZnSO<sub>4</sub> and 0.6% iron sulfate. In general, water stress reduced the contribution of current photosynthesis and, consequently, decreased grain yield of maize cv.704 hybrid, which could be compensated by foliar application of 1% zinc sulfate and 0.6% iron sulfate.

**Keywords:** Assimilate, Iron sulfate, Zinc sulfate, Current photosynthesis, Water stress

---

\* -Corresponding author's email : [afshari.sci@gmail.com](mailto:afshari.sci@gmail.com)

# Evaluation of Nutritional Balance in Sugar Beet Fields through Deviation from Optimum Percentage (DOP) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND) Methods

**J. Ghaderi\*, M. M. Tehrani, F. Hamadi, and K. Heydari**

Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran.

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, AREEO, Iran.

Scientific Staff, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran.

MSc, Soil Pedology, Agricultural Jihad Organization of Kermanshah Province

Received: September, 2022, and Accepted July, 2023

## Abstract

Tissue analysis is a useful tool for evaluation and optimizing nutrients for sugar beet using Deviation from Optimum Percentage (DOP) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND) methods. In order to evaluate the nutritional status of sugar beet farms in Kermanshah Province, this project was conducted in two cropping seasons (2018-21). In each year, 30 different farms with different ranges of soil properties were selected in each region. The project database for the first and second seasons was completed and analyzed and DOP and CND indices were calculated for each nutrient element. Compared with the critical nutrient concentration in Kermanshah Province, the results showed that 85%, 10%, 97.5%, 67%, 93%, 100%, and 5% of farms were deficient in phosphorus, potassium, iron, manganese, zinc, boron and copper, respectively. The average sugar beet yield in this region was about 67.6 t/ha. Selected sugar beet farms were divided into two groups of high and low yields. The results of CND and DOP indices in the Kermanshah province showed that Mg, P, N and K deficiencies were more prevalent among macro-elements and Fe, Mn and Zn deficiencies were observed among micro-elements. However, there was a difference between the two methods in terms of the content of N, Mn, and Fe among the deficient elements. There was a significant correlation (0.48) between nutritional balance index and yield at 1% probability level. The results obtained in this study can be used to increase the yield and improve the quality of sugar beet in each of the regions.

**Keywords:** Tissue analysis, Evaluation and optimization of nutrients, Critical nutrients concentration

---

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

## Contents

<b>Subject</b>	<b>Page</b>
<b>Evaluation of Nutritional Balance in Sugar Beet Fields through Deviation from Optimum Percentage(DOP)andCompositionalNutrientDiagnosis(CND)Methods.....</b>	<b>7</b>
<b>J. Ghaderi , M. M. Tehrani, F. Hamed, and K. Heydari</b>	
<b>Effect of Zinc and Iron Foliar Application on Corn Yield and Redistribution of Photosynthetic Conditions Materials in Water Stress.....</b>	<b>8</b>
<b>M. Afshari, and A. Naderi</b>	
<b>Effect of Nitrogen Fertilizer Amount on Some Fodder Characteristics and Performance of Salicornia persica Akhani.....</b>	<b>9</b>
<b>S.M.Sadeghi , M.Karimi, and N. Farrar</b>	
<b>Modeling Spatial Distribution of Soil Classes Using Machine Learning Algorithms in Some Parts of Zanzan Province.....</b>	<b>10</b>
<b>M. Rahimi Mashkaleh, M.A. Delavar, M. Jamshidi, and A. Sharififar</b>	
<b>Investigating the Relationship between the Amount of Total Nitrogen and Some Soil Characteristics in Zarin Shahr Region.....</b>	<b>11</b>
<b>N. Pirastani , M. Ahmadi Nodooshan, M .Abolhassani, and R. Zamani Ahmad Mahmoudi</b>	
<b>Generating a Digital Map of Field Capacity and Permanent Wilting Point of Agricultural Soils in the Southern Part of Sistan Plain.....</b>	<b>12</b>
<b>F. Keykhaei, M. Delbari, N. Davatgar, F. Hassanpour, M. Jamshidi, and P.Afrasiab</b>	

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. 37, No. 2  
2023**

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

***Editorial Board***

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

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

**Address: P. O. Box: 31785-311, Karaj – IRAN  
Tel / Fax: 026-36208796  
Soil and Water Institute Website: [www.swri.ir](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 37 \ No. 2 \ 2023

ISSN: 2228 -7124

## Contents

Subject	Page
Evaluation of Nutritional Balance in Sugar Beet Fields through Deviation from Optimum Percentage(DOP)andCompositionalNutrientDiagnosis(CND)Methods.....7 J. Ghaderi , M. M. Tehrani, F. Hamed, and K. Heydari	7
Effect of Zinc and Iron Foliar Application on Corn Yield and Redistribution of Photosynthetic Conditions Materials in Water Stress.....8 M. Afshari and A. Naderi	8
Effect of Nitrogen Fertilizer Amount on Some Fodder Characteristics and Performance of Salicornia persica Akhani.....9 S.M.Sadeghi , M.Karimi and N. Farrar	9
Modeling Spatial Distribution of Soil Classes Using Machine Learning Algorithms in Some Parts of Zanzan Provice.....10 M. Rahimi Mashkaleh, M.A. Delavar, M. Jamshidi, and A. Shariffar	10
Investigating the Relationship between the Amount of Total Nitrogen and Some Soil Characteristics in Zarin Shahr Region.....11 N. Pirastani , M. Ahmadi Nodooshan, M .Abolhassani, and R. Zamani Ahmad Mahmoudi	11
Generating a Digital Map of Field Capacity and Permanent Wilting Point of Agricultural Soils in the Southern Part of Sistan Plain.....12 F. Keykhaei, M. Delbari, N. Davatgar, F. Hassanpour, M. Jamshidi, and P.Afrasiab	12