انجمن علوم خاک ایران

موسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی

پژوهش‌های خاک

(علوم خاک و آب)

http:// www.srjournal.areeo.ir

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۹ / شماره ۱ سال ۱۴۰۴

فهرست مقالات

ادغام رویکرد فازی و زمین‌آمار در پهنه‌بندی pH خاک در بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان شرقی و غربی.....۱۷

لاله پرویز ، محمد سلامت اقباش و صبا نظرزاده

شناسایی محدودیت‌های اراضی با توجه به ارزیابی تناسب آن‌ها برای کشت گیاهان دانه روغنی در دشت‌های آبی کشور....۵۱

جواد سیدمحمدی و میرناصر نویدی

حد آستانه تحمل شوری و شیب کاهش عملکرد شنبلیله (Trigonella foenum-graecum L.) در مراحل مختلف رشد.....۷۳

محمدحسین بناکار، حمزه امیری، غلامحسن رنجبرو محمدجواد بابایی زارچ

بررسی وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌ها و درختان باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد ۱۰۱

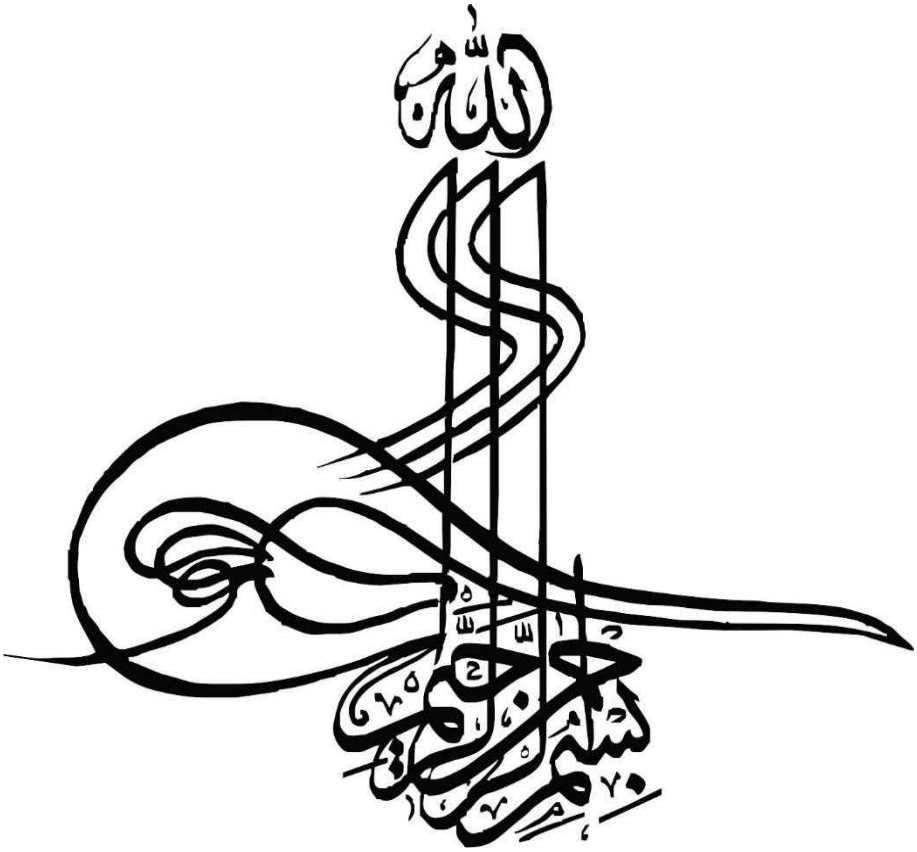
صفیه خلیلی، حمیدرضا اولیایی، محمدرضا چاکرالحسینی و ابراهیم ادهمی

ارزیابی کاربرد سه نوع کود آلی بر عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا سفید (Phaseolus vulgaris) در منطقه هیدج، استان زنجان.....۱۲۶

ادریس گویلی کیلانه، محمد بابا اکبری ساری، اکبر حسنی، میلاد پرو، ستاره امانی‌فر و اسماء احمدوند

بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی متأثر از شوری خاک در شرایط گلخانه‌ای ۱۵۱

فاطمه یزدانی نژاد، مصطفی چرم و محمد جواهریان


بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

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

نشریه

پژوهش‌های خاک

جلد ۳۹ شماره (۲)

۱۴۰۴

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 مسئول: **دکتر هادی اسدی رحمانی** **استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

سردبیر: **دکتر کریم شهبازی** **استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

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 حمید سیادت	**استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب**
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**

ویراستار فنی: **مهندس کیانا خامه‌چی**

تعداد انتشار در سال: **چهار شماره**

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

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

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

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

ین نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:

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

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

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

ایگاه سیویلیکا**www.civilica**

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعداز رزکان نو، بلوار امام خمینی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵

تلفن و نمابر: ۳۶۲۰۸۷۹۶ (۰۲۶) ***آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: www.srjournal.areeo.ir***

فهرست مقالات

ادغام رویکرد فازی و زمین‌آمار در پهنه‌بندی **pH** خاک در بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان شرقی و غربی.....۱۷
لاله پرویز ، محمد سلامت اقباش و صبا نظرزاده

شناسایی محدودیت‌های اراضی با توجه به ارزیابی تناسب آن‌ها برای کشت گیاهان دانه روغنی در دشت‌های آبی کشور....۵۱
جواد سیدمحمدی و میرناصر نویدی

حد آستانه تحمل شوری و شیب کاهش عملکرد شنبلیله (**Trigonella foenum-graecum L.**) در مراحل مختلف رشد.....۷۳
محمدحسین بناکار، حمزه امیری، غلامحسن رنجبرو محمدجواد بابایی زارچ

بررسی وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌ها و درختان باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد ۱۰۱
صفیه خلیلی، حمیدرضا اولیایی، محمدرضا چاکرالحسینی و ابراهیم ادهمی

ارزیابی کاربرد سه نوع کود آلی بر عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا سفید (**Phaseolus vulgaris**) در منطقه هیدج، استان زنجان.....۱۲۶
ادریس گویلی کیلانه، محمد بابا اکبری ساری، اکبر حسنی، میلاد پرو، ستاره امانی‌فر و اسماء احمدوند

بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی متأثر از شوری خاک در شرایط گلخانه‌ای ۱۵۱
فاطمه یزدانی نژاد، مصطفی چرم و محمد جواهریان

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

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

الف) اصول کلی

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

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

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

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

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوۀ نگارش مقاله

۱- مقاله حداکثر در ۱۵ صفحۀ A4 با فاصلۀ 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 اندازۀ آنها مطابق جدول(۱) استفاده شود.

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

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

جدول ۱- نوع قلم و اندازه

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

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

شناسنامه مقاله

مقالات باید شامل عنوان، چکیده فارسی و انگلیسی (حداکثر تا ۳۰۰ کلمه)، واژه‌های کلیدی (Keywords)، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی (در صورت نیاز) و فهرست منابع باشد.
برگ شناسه
عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی) و پست الکترونیکی همه نویسندگان در صفحه چکیده ها تایپ و در قسمت فایل‌های با نام نویسنده (گان) بارگذاری نمایید و در قسمت بدون نامه نویسنده(گان) مقاله بدون نام بارگذاری گردد.
*** نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که با امضای کلیه نگارندگان و الزامی می باشد در قسمت فایل‌های پیشنیاز بارگذاری نماید.**

عنوان مقاله

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

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

واژه های کلیدی:
واژه های کلیدی بایستی ۶-۳ کلمه باشد. واژه های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه های چکیده فارسی باشد.
در انتخاب واژه‌های کلیدی از تکرار واژه‌هایی که در عنوان مقاله آمده است خودداری فرمایید

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

مواد و روش‌ها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:
بای بوردی و همکاران (۱۳۸۲) گزارش کردند...
اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...
اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...
اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

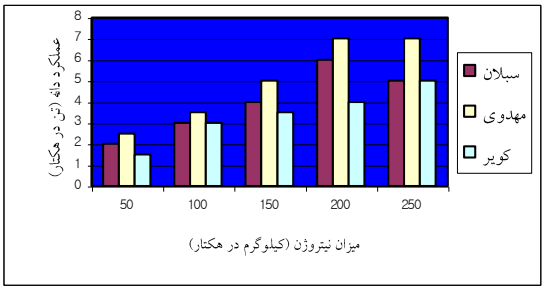
- در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق‌الذکر، مقاله پذیرفته نمی‌شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می‌رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می‌شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جدول نامناسب

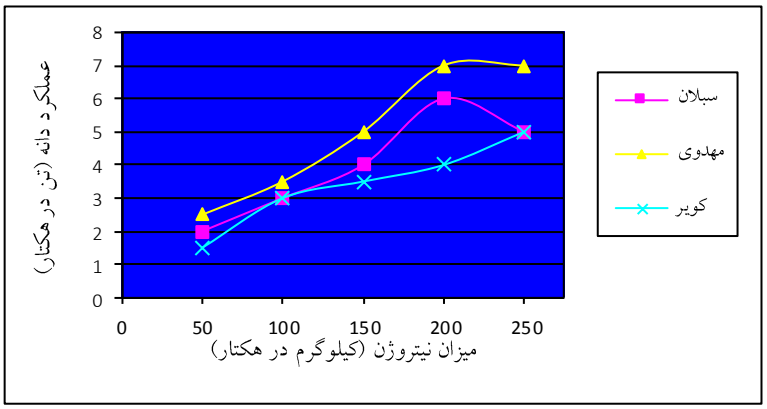
بافت	*Mgexch*	*Kavail.*	*Pavail*	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m-1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	۳۰۰	۲۹۰	۳/۶	۰/۶۲	۲۸	۷/۶	۸/۲	۰-۳۰
لومی رسی	۳۰۵	۲۹۵	۰/۶	۰/۵۰	۳۰	۷/۲	۸/۲	۳۰-۶۰
لومی شنی	۲۸۶	۳۳۲	۰/۵	۰/۲۱	۳۳	۹/۵	/۸ ۷	۶۰-۹۰

جدول مناسب

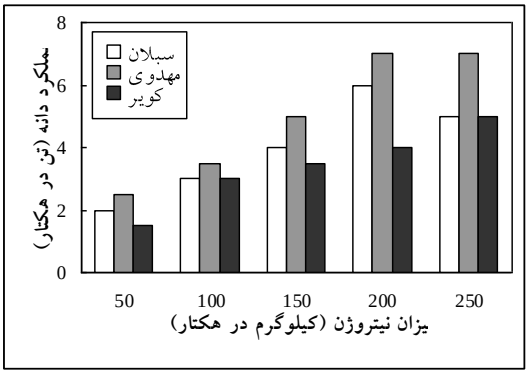
بافت	Mg_{ex}	K_{av}	P_{av}	OC (%)	TNV (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	عمق (cm)
		($mg.kg^{-1}$)						
لومی رسی	300	290	3/6	0/60	28	7/6	8/3	0-30
لومی رسی	305	295	/60	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	232	/50	0/21	33	9/5	7/8	



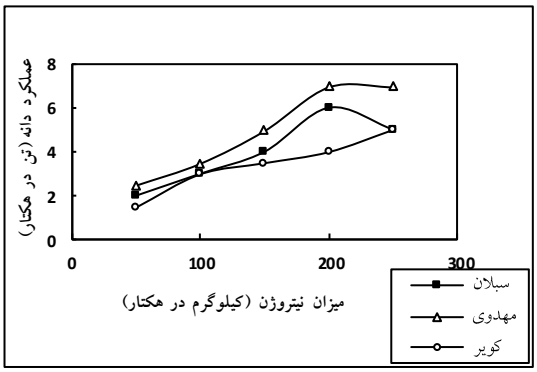
«نامناسب»



«مناسب»



«نامناسب»



«مناسب»

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب ..... نویسنده مسئول مقاله زیر:

- **سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود**

موارد زیر را به آگاهی می رسانم:

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

نام نام خانوادگی نویسنده اول: **امضاء نویسنده اول مقاله**

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: **امضاء نویسنده دوم مقاله**

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: **امضاء نویسنده سوم مقاله**

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: **امضاء نویسنده چهارم‌مقاله**

اسامی داوران	تعداد داوری
دکتر کامبیز بازرگان	۱
دکتر محمد جمشیدی	۱
دکتر حامد رضایی	۲
دکتر علی زین الدینی	۲
دکتر محسن سیلسپور	۱
دکتر مصطفی مارزی	۲
دکتر جهانگرد محمدی	۱
دکتر محمدحسن مسیح آبادی	۱
دکتر فرهاد مشیری	۲
دکتر علی اکبر موسوی	۴
دکتر علی مومن پور	۴

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۹ / شماره۱ / ۱۴۰۴/۱-۱۷
10.22092/IJSR.2025.367408.764

ادغام رویکرد فازی و زمین‌آمار در پهنه‌بندی pH خاک در بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان شرقی و غربی

لاله پرویز[*1] ، محمد سلامت اقباش[2] و صبا نظرزاده[3]

۱- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. laleh_parviz@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. msalamat@yahoo.com.com

۳- دانشجوی کارشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. nazarzadeh.saba36@gmail.com

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۸/۱و پذیرش:۱۴۰۴/۴/۷

چکیده

در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ۵۳ نقطه در استان‌های آذربایجان‌شرقی و غربی نقشه pH خاک تهیه شد. تهیه نقشه پهنه‌بندی با سه رویکرد زمین‌آمار (کریجینگ با تحلیل حساسیت نیم تغییرنما)، رگرسیون (خطی و فازی) و ترکیب دو رویکرد فازی و کریجینگ انجام گرفت. در رویکرد رگرسیون لایه‌های ورودی شامل لایه بافت خاک، مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب در نظر گرفته شد. در نقشه‌های تهیه شده مناطق شمالی محدوده مطالعاتی، دارای مقادیر pH پایینی بود و با رفتن به طرف جنوب غربی ، مقادیر pH افزایش یافت. مقایسه رویکردها نشان داد که دقت عملکرد رگرسیون خطی پایین بود، به طوری که میزان افزایش ضریب نابرابری Theil از کریجینگ و رگرسیون فازی به رگرسیون خطی به ترتیب برابر با ۵۵/۵٪ و ۲۷/۲٪ بود. مقادیر ضریب جرم باقی مانده در دو روش کریجینگ و رگرسیون فازی خیلی نزدیک بهم بود، ولی مقدار ضریب جرم باقی مانده در روش ترکیبی نسبت به دو روش کاهش داشت (حدود ۵۷/۵٪). سطح معنی‌داری آزمون LSD در سطح یک درصد از رویکرد ترکیبی به کریجینگ و فازی به ترتیب ۶۳/۲٪ و ۶۷٪ کاهش داشت، یعنی رویکرد ترکیبی به داده‌های مشاهداتی نزدیکتر بود و این مساله دقت روش ترکیبی را نشان می‌دهد. شیب خط برازشی بر نمودار pH و ارتفاع در ۷۳ نقطه که به طور تصادفی استخراج شدند، مثبت بود که حاکی از افزایش pH در مناطق مرتفع است. تهیه نقشه پهنه‌بندی pH خاک می‌تواند در تعیین مکان مناسب برای کشت و یا انتخاب گیاه مناسب برای کشت براساس pH خاک در منطقه به عنوان راهنما عمل کند.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون فازی، تحلیل حساسیت، ترکیبی، کریجینگ، نیم تغییرنما

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

استناد: پرویز، ل.، سلامت اغباش،م.، نظرزاده، ص.، ۱۴۰۴. ادغام رویکرد فازی و زمین‌آمار در پهنه‌بندی pH خاک در بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان شرقی و غربی. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش های خاک، (۱) ۳۹، ۱۷-۱.

مقدمه

pH خاک که معیاری از اسیدی و بازی بودن خاک است، به دلیل تأثیر عمیق آن بر واکنش‌های شیمیایی بی‌شمار شامل مواد مغذی ضروری گیاه، یکی از متغیرهای اصلی شیمی خاک در نظر گرفته می‌شود (بارو و هارتمینک، ۲۰۲۳). pH خاک تأثیر زیادی بر رشد گیاهان و همچنین جذب و انتقال آلاینده‌ها در خاک دارد. pH خاک در برابر تغییر کاربری اراضی بسیار آسیب‌پذیر است. بنابراین درک توزیع مکانی و زمانی pH خاک برای برنامه-ریزی و مدیریت کاربری پایدار مهم است (اودیامبو و همکاران، ۲۰۲۰).

pH خاک در حال تبدیل‌شدن به نگرانی اصلی با توجه به اسیدی شدن خاک در سطح جهانی است، زیرا به نظر می‌رسد با کاهش باروری مشاهده‌شده در طول زمان مرتبط است (فورناسیر و همکاران، ۲۰۱۸). در بیشتر خاک-های ایران به علت وجود مقدار کربنات کلسیم و pH بالا، فرم قابل‌استفاده برخی از عناصر غذایی کمتر از میزان مناسب برای رشد گیاه است (نوروزی و همکاران ۱۳۹۷). از سوی دیگر تنوع اقلیمی، اختلاف در عوامل خاکسازی و توپوگرافی در نقاط مختلف ایران منجر به تشکیل خاک‌های مختلف شده است (کشتکار و همکاران ۱۳۹۷) که ضرورت مطالعه تغییرات pH را در کشور آشکار می‌سازد. در برخی از مناطق تغییرات مقادیر pH خاک زیاد است و نیاز به اندازه‌گیری دقیق از pH خاک است که به تعداد بسیار زیادی اندازه‌گیری نیاز است. این اندازه‌گیری‌ها را می‌توان با کمک روش‌های درون‌یابی کاهش داد. نقشه‌های پارامترهای خاک منابع ضروری برای استفاده از زمین‌های کشاورزی است، بخصوص نقشه‌برداری ویژگی‌های خاک به‌ویژه در مناطقی با شرایط توپوگرافی پیچیده پرهزینه و زمان‌بر است (گیافام و همکاران، ۲۰۱۹).

نیاز به اطلاعات دقیق خاک برای کاربردهای مختلف در حال افزایش است. در تحقیقی کاربردهای نقشه‌برداری رقومی خاک و روش‌های معمول نقشه‌برداری در ایران مطالعه شد. در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ مقالات مربوط به نقشه‌برداری رقومی خاک ۴۰ بود. نقشه‌برداری رقومی خاک تکنیک قدرتمند است که قادر به تولید اطلاعات قابل اعتماد در مناطق با تعداد داده کم بود. این مطالعات بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای انجام شد (زراعت پیشه و همکاران۲۰۲۰).

غلظت نیترات، فسفات، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی و pH با استفاده از اطلاعات ۸۳ موقعیت در منطقه شهر ری در جنوب پالایشگاه نفت تهران اندازه‌گیری و با روش وزن دهی عکس فاصله نقشه تهیه شد. pH خاک در کل منطقه در هر دو عمق کاهش نشان داد. نقشه پهنه‌بندی نشان داد که در هر دو عمق شمال منطقه pH قلیایی‌تری نسبت به جنوب منطقه دارد. همچنین در عمق یک تقریباً ۸۰ درصد سطح منطقه pH بیشتر از هشت دارد که تولید محصول توسط گیاهان زراعی در این منطقه را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد (بیات و همکاران، ۱۳۹۵). از روش کوکریجینگ در تهیه نقشه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در منطقه‌ای در سیستان استفاده شد. مدل نیم تغییرنما[۱] کروی برای محتوای سیلت، نمایی برای قابلیت هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، شن و pH استفاده شد. محدوده‌های pH خاک بین محدوده خنثی ۶/۹ و قلیایی ۹ بود. یکی از دلایل بالا بودن pH در این خاک‌ها مربوط به محتوای کربنات کلسیم بالا است. قلیاییت بالا نه تنها رشد گیاهان را محدود می‌کند بلکه باعث کاهش نفوذپذیری و از بین رفتن ساختمان خاک می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵). با استفاده از تکنیک زمین آمار (کریجینگ) برخی ویژگی‌های سطحی و عمقی پروفیل خاک در برخی از اراضی دشت قزوین آماده شدند. بهترین مدل برای pH خاک در هر دو عمق نمائی معرفی شد. نقشه‌های حاصل از کریجینگ نشان داد که دامنه پراکندگی مقادیر ویژگی‌های خاک در منطقه زیاد است که دلیل آن می‌تواند مربوط به وسعت زیاد منطقه، واحدهای فیزیوگرافی مختلف و شرایط مدیریتی باشد (طاعتی و همکاران، ۱۳۹۹). با استفاده از ۴۸

[۱] Semivariogram

نمونه خاک از اراضی دانشگاه زنجان برخی از ویژگی‌های مختلف خاک از جمله درصد شن، رس، سیلت، کربن آلی اندازه‌گیری و سپس نقشه پهنه‌بندی آن‌ها استخراج شد. نتایج نشان دادند که با توجه به جوان بودن خاک‌ها بیشتر ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت تأثیر بافت خاک قرار دارد (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). از طبقه‌بندی فازی برای پروفیل‌های pH خاک در شرق استرالیا استفاده شد که شامل ۵ گروه فازی (کلاس) همراه با عضویت در گروه فازی برای هر پروفیل pH بود. توزیع عضویت گروه فازی به‌طورکلی تغییرات عوامل خاک مانند زهکشی داخلی، وضعیت کربنات، موقعیت چشم‌انداز و رژیم آبیاری را منعکس می‌کند. طبقه‌بندی فازی به‌طور مفید روابط بین پروفیل‌ها را نشان داد و یک روش بالقوه ارزشمند برای بررسی تغییرپذیری در مناطق پیچیده است (پوول و همکاران، ۱۹۹۱). در تحقیقی از روش‌های درون‌یابی جهت نقشه‌برداری توزیع مکانی pH خاک، شوری و پوشش گیاهی در استان هرمزگان استفاده شد. نتایج نشان دادند که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله در پیش‌بینی توزیع مکانی ویژگی‌های خاک بهتر عمل می‌کند (زارع مهرجردی و همکاران، ۲۰۱۰). در مطالعه‌ای از یک رویکرد مبتنی بر رگرسیون- کریجینگ وزن‌دار جغرافیایی برای پیش‌بینی تغییرات مداوم خاک تا عمق ۱۵ سانتیمتری استفاده شد. این رویکرد با رگرسیون- کریجینگ خطی چندگانه با اطلاعات ۲۲۰ داده مشاهداتی و ۲۸ داده کمکی از جمله داده‌های اقلیمی، توپوگرافی و داده‌های سنجش از دور مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که مواد آلی، ماسه، سیلت، دما و باند ۷ لندست می‌توانند تغییرپذیری مکانی pH خاک را به‌خوبی توصیف کنند. همچنین نتایج نشان دادند که همبستگی بین pH خاک و متغیرهای کمکی محیطی در مکان ثابت نیست. مناطق جنگلی تمایل به اسیدی بسیار شدید تا متوسط دارند درحالی‌که زمین‌های زراعی کمی اسید تا خنثی هستند (اودیامبو و همکاران، ۲۰۲۰). ارزیابی بهترین متغیرهای محیطی برای pH خاک با کریجینگ رگرسیونی در منطقه تپه‌ای ویتنام مرکزی انجام گرفت. متغیرهای محیطی شامل نوع کاربری زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده بودند. در تعیین pH خاک نوع کاربری زمین دارای اهمیت بالایی بود (گیا فام و همکاران، ۲۰۱۹). از تکنیک‌های زمین‌آماری (درون‌یابی مکانی کریجینگ) در دو دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۰ و ۲۰۱۹-۲۰۲۱ برای تجزیه‌وتحلیل تغییرات زمانی و مکانی در pH خاک و بررسی رابطه بین عوامل مؤثر مرتبط با pH خاک در منطقه‌ای در چین استفاده شد. نتایج نشان دادند که توزیع زمانی و مکانی pH خاک در زمین‌های کشاورزی یکنواخت نیست. همچنین pH خاک به‌طور قابل‌توجهی از ۸/۱۱ به ۸/۱۳ افزایش یافت. عواملی مانند توپوگرافی، مواد مغذی، روش‌های آبیاری همه تأثیرات خاصی بر توزیع مکانی pH خاک دارند، درحالی‌که تغییرات در عوامل آب و هوایی و سطوح کوددهی ممکن است بر تغییرات زمانی طولانی‌مدت تأثیر بگذارد (زنگ و همکاران، ۲۰۲۴).

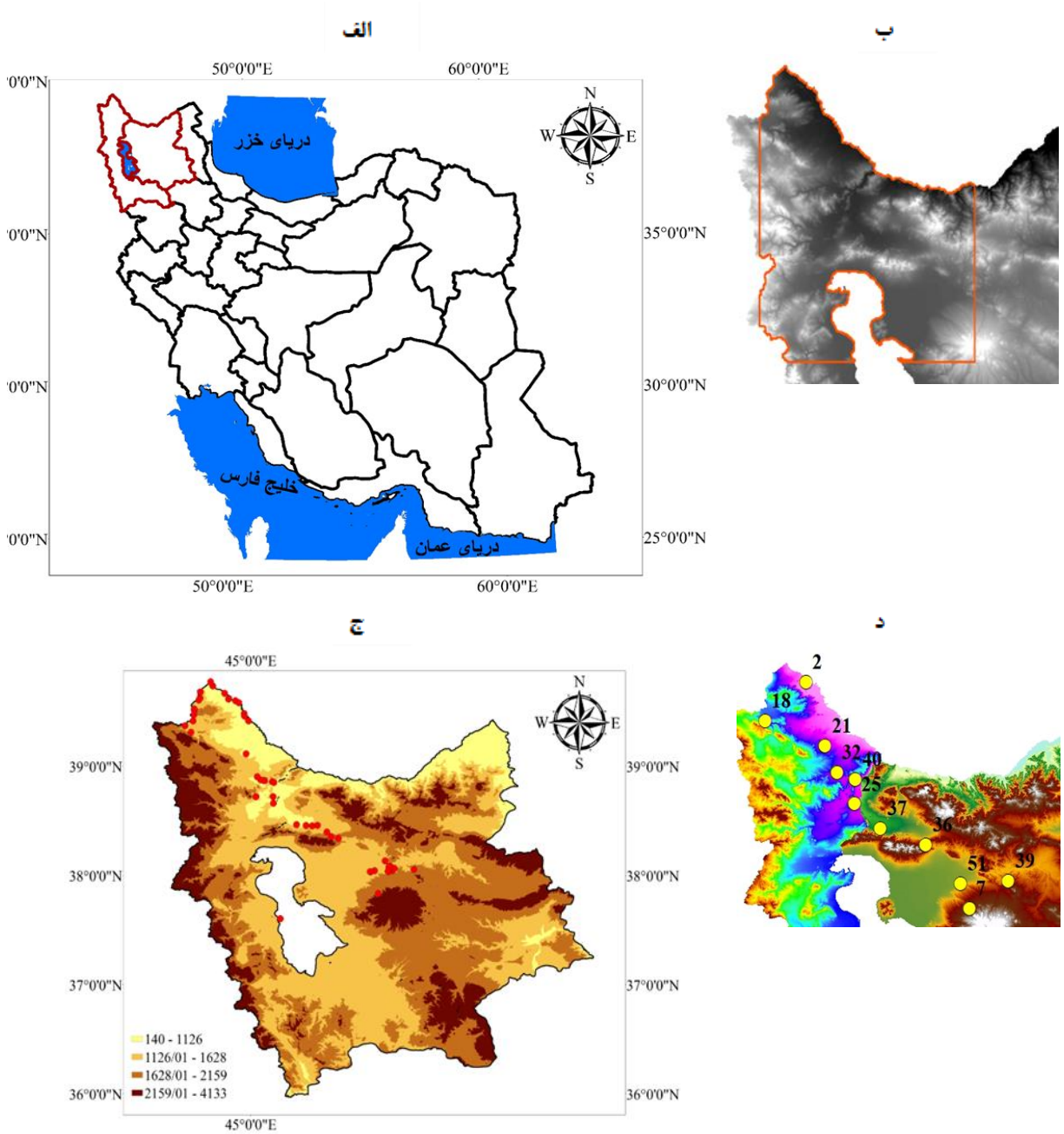
در تحقیقات انجام‌گرفته کارایی روش پهنه‌بندی در آگاهی از اطلاعات pH خاک اثبات شد. در این راستا نیاز به روشی دقیق جهت پهنه‌بندی با دقت بالا کاملاً احساس می‌شود. هدف این تحقیق پهنه‌بندی pH خاک است که از رویکرد کریجینگ و رگرسیونی (خطی و فازی) استفاده‌شده است. جهت پهنه‌بندی با استفاده از رگرسیون فازی از لایه‌های مؤثر بر pH خاک شامل شیب، جهت شیب، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و بافت خاک استفاده شد. همچنین جهت افزایش دقت پهنه‌بندی از ترکیب دو نقشه با دقت بالا استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

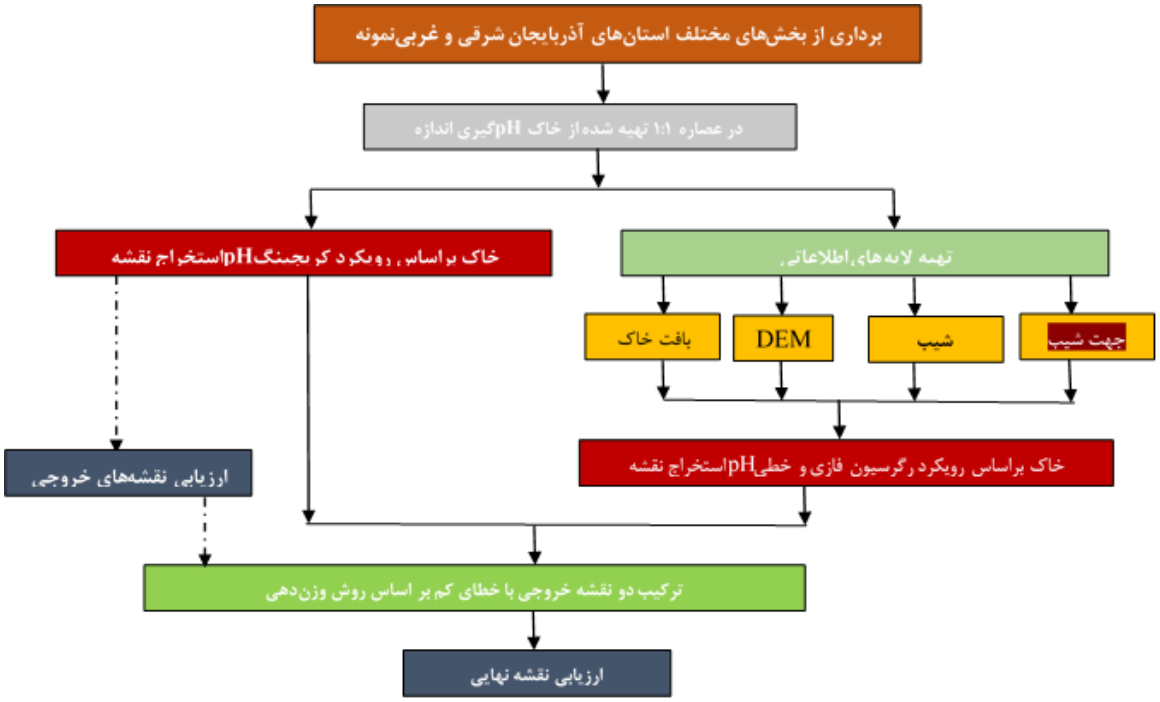
مناطق نمونه‌برداری مربوط به بخش‌هایی از استان های آذربایجان شرقی و غربی است که محدوده نمونه‌برداری و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. دلیل انتخاب این دو استان به علت تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر و خشک‌سالی دریاچه ارومیه می‌باشد

که پایش خاک‌های این دو استان را کاملاً ضروری ساخته است. نمونه‌ها به‌صورت تصادفی و از عمق سطحی (۰-۳۰ سانتیمتری) استخراج شدند. تعداد کل نقاط نمونه‌برداری شده ۵۳ نقطه است که به نسبت ۸۰ به ۲۰ تقسیم و به ترتیب ۴۲ و ۱۱ نقطه برای واسنجی و صحت‌سنجی انتخاب شدند. بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه و اعمال عملیات آماده‌سازی خاک (هوا خشک‌کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری) اقدام به استخراج عصاره‌های خاک (به‌صورت نسبت‌های مساوی ۱:۱ از مقادیر خاک و آب (وزنی –حجمی) بر اساس روش پیشنهادی کارتر و گرگوریچ (۲۰۰۷)) با استفاده از دستگاه pH متر (مدل PT-370) شد. اقلیم هر دو استان بر اساس طبقه‌بندی دومارتن با استفاده از داده‌های هواشناسی، نیمه‌خشک تعیین شد.



شکل ۱- موقعیت استان‌های مطالعاتی در کشور (الف)، محدوده منطقه نمونه‌برداری با مرز قرمز رنگ در نقشه زوم شده کشور در قسمت شمال غرب (ب)، موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری (ج)، موقعیت مکانی نقاط صحت‌سنجی با شماره (د)

در این تحقیق روند پهنه‌بندی بر اساس رویکرد زمین‌آمار و رگرسیون فازی انجام گرفت که توضیحات روش‌ها در ادامه آورده شده است و روندنمای تحقیق در شکل ۲ نمایش داده‌شده است



شکل ۲- روندنمای تحقیق برای پهنه‌بندی pH خاک با رویکردهای مختلف

کریجینگ

کریجینگ یک روش درون‌یابی زمین‌آماری برای تخمین یک متغیر تصادفی مانند متغیرهای خاک در یک نقطه نامعلوم بر اساس مشاهدات همان متغیر در مکان‌های مجاور می‌باشد. کریجینگ از چند مرحله تشکیل‌شده است. کریجینگ با تجزیه‌وتحلیل آماری اکتشافی داده‌ها شروع می‌شود. سپس به مدل‌سازی نیم تغییرنما، ساخت و تحلیل واریانس می‌پردازد. فرضیه اصلی آماری کریجینگ ثابت بودن است که نشان می‌دهد ویژگی‌های آماری مانند میانگین و واریانس مستقل از مکان‌های مکانی دقیق هستند، بنابراین میانگین و واریانس یک متغیر در یک مکان مشابه با میانگین و واریانس متغیر در موقعیت دیگر است.کریجینگ از خودهمبستگی یا همبستگی آماری بین نقاط مشاهداتی برای پیش‌بینی مقادیر مکانی برخلاف مدل-های قطعی استفاده می‌کند. کریجینگ ممکن است سطوح پیش‌بینی را با سطحی از عدم قطعیت ارائه کند. دو شرط اساسی برای کریجینگ برای بدست آوردن بهترین پیش-بینی، ایستایی (میانگین و واریانس ثابت) و ایزوتروپی (یکنواختی در همه جهات) است (هیلال و همکاران، ۲۰۲۴). کریجینگ یک مدل خطی است که از وزن‌های خطی استفاده می‌کند که نه‌تنها به فاصله بین نقاط بلکه به جهت نقاط محلی نیز بستگی دارد. کریجینگ اطلاعات ثانویه‌ای را برای همبستگی مکانی متغیرهای اولیه و ثانویه می‌گیرد. (معادله ۱) معادله پایه کریجینگ است.

$$\hat{Z}(x_0) = \sum \lambda_i \times Z(x_i) \quad (۱)$$

که λ_i وزن یا اهمیت کمیت موردنظر در نمونه iام، $Z(x_i)$ مقدار متغیر موردبررسی در نقطه x_i، $\hat{Z}(x_0)$ مقدار تخمینی متغیر در نقطه x_0 می‌باشند.

سمی واریوگرام (نیم تغییرنما) یک مفهوم اساسی در زمین آمار است که معادله آن در (رابطه ۲) آورده شده است (زارع مهرجردی و همکاران، ۲۰۱۰).

(۲)

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

که γ(h) مقدار نیم تغییرنما، N(h) تعداد جفت مشاهداتی که با فاصله مکانی h از هم جداشده‌اند، $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر Z در موقعیت مکانی x_i+h می‌باشند. از انواع کریجینگ شامل کریجینگ معمولی (با استفاده از نیم‌تغییرنماهای کروی، دایره‌ای، نمایی، گوسی، خطی) و جهانی (روند خطی) در این پژوهش استفاده شد. نوع نیم تغییرنما می‌تواند عملکرد کریجینگ را تحت تأثیر قرار دهد که انواع نیم تغییرنما در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفتند. روش کریجینگ مبتنی بر مدل‌های آماری شامل خودهمبستگی می‌باشد. در روش کریجینگ مقدار وزن‌های داده‌شده به نقاط هم بر اساس فاصله بین هر نقطه نمونه برداری می‌باشد، هم به نوع چیدمان و نظم کلی پراکنش داده‌های نمونه‌برداری وابسته است. با توجه به قابلیت‌های روش، برای کاهش خطای‌های ناشی از نمونه‌برداری با تعداد کم و نظم حاکم بر داده‌ها از الحاق با سایر روش‌ها سعی در افزایش دقت روش است.

رگرسیون فازی

منطق فازی ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده‌ای که درک آن‌ها مشکل و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری می‌باشد، بشمار می‌آید. به همین دلیل بهترین وسیله برای مدل‌سازی سیستم‌هایی است که دارای پیچیدگی زیاد بوده و داده‌های کافی از آن‌ها موجود نیست و یا اطلاعات آن‌ها مبهم و غیرصریح می‌باشد. استفاده از این ابزار در رگرسیون فازی سبب ارتقاء این مدل از یک مدل آماری محض به سمت مدلی باقابلیت و کارآیی بیشتری با تأکید بر در نظر گرفتن عدم قطعیت حاکم بر مسئله شده است. هدف اصلی در مدل رگرسیون پیدا کردن مدل ریاضی مناسب و تعیین ضرایب مدل با هدف بهترین برازش نتایج مدل رگرسیون با مقادیر مشاهداتی می‌باشد. اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی ناشی از خطای مشاهداتی است ولی این تفاوت در رگرسیون فازی ناشی از ابهام در ساختار سیستم می‌باشد. مدل‌سازی خطی فازی که به‌صورت (معادله ۳) نشان داده می‌شود مبین وابستگی متغیرهای ورودی و خروجی می‌باشد (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۴).

(۳)

$$\tilde{Y}=\tilde{A}_0+\tilde{A}_1x_1+\ldots+\tilde{A}_nx_n$$
$$\tilde{A}=(\tilde{A}_0,\tilde{A}_1,\ldots,\tilde{A}_n)$$

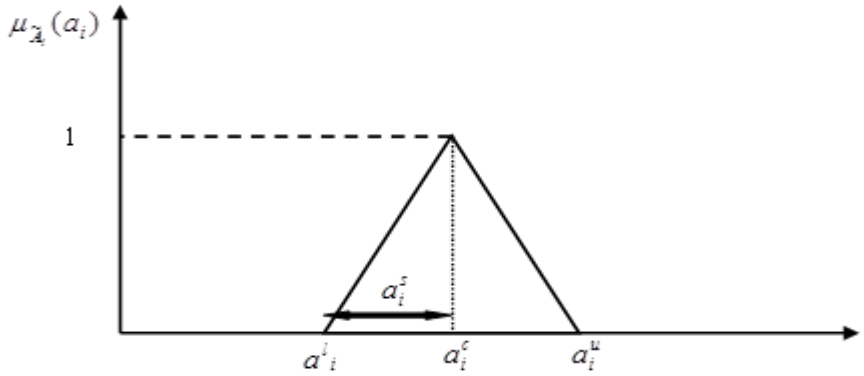
که $\tilde{A}$ و $\tilde{Y}$ به ترتیب ضرایب و خروجی فازی، x مقادیر مشاهداتی می‌باشند.

هدف این است که بر اساس یک مجموعه از داده های مشاهداتی ضرایب فازی معادله به‌گونه‌ای به دست آورده شود که معادله مزبور بهترین برازش بر روی مقادیر مشاهداتی را داشته باشد. در این تحقیق، اثر تابع عضویت مثلثی در دو حالت متقارن و نامتقارن به‌منظور در نظر گرفتن ضرایب فازی رگرسیون بررسی‌شده است. در حالت توابع عضویت در حالت متقارن، متغیر فازی خروجی به‌صورت (معادله ۴) تعریف می‌شود (کوره‌پزان، ۱۳۸۴).

(۴)

$$\mu_{\tilde{Y}}(y)=\begin{cases}\max\left[\min\ \mu_{\tilde{A}_j}(a_j)\right] & if \quad f^{-1}(y,x)\neq 0\\ o & otherwise\end{cases}$$

ضـرایب فازی با در نظر گرفتن توابع عضـویت مثلثی متقـارن بـه دو صـــورت $\tilde{A}_i = \{a_i^c, a_i^s\}$ و $\tilde{A}_i = \{a_i^u, a_i^l\}$ تعریف می‌شـــوند که ضـــرایب همراه با اندیس l,u,s,c به ترتیب مرکز و پهنای تابع عضـــویت و حدود بالا و پایین را نشان می‌دهند. مدل رگرسیون، امکان بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به دســـت می‌آورند. این کار را با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌دهند. بنابراین برای د ستیابی به بهترین برازش باید یک مدل بهینه سازی تهیه شود. (شکل ۳) تابع عضویت مثلثی متقارن یک عدد فازی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تابع عضویت مثلثی متقارن ضرایب فازی

درصـــورتی که از توابع عضـــویت مثلثی برای نمایش اعداد فازی این مدل‌ها اســـتفاده شـــود رگرســـیون فازی را می‌توان در قالب یک مســـئله برنامه‌ریزی خطی فرموله و حل نمود. هدف مدل رگرســـیون تعیین مقادیر بهینه ضرایب می‌با شد به‌گونه‌ای که درجه ع ضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معین مانند h بزرگتر باشد (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۴).

(۵)

$$\mu_{\tilde{y}}(y_i) \geq h \qquad j = 1,\ldots,m$$

که $\mu_{\tilde{y}}$ تابع عضویت متغیر خروجی و h پارامتر سطح اعتماد می‌باشند.

در نهایت مدل برنامه‌ریزی خطی در حالت تابع عضـــویت متقارن به‌صورت (رابطه ۶) می‌باشد.

(۶)

$$\textit{Objective function} \qquad a_0^s + \sum_{i=1}^{n} a_i^s \sum_{j=1}^{m} |x_{ij}|$$

$$\textit{Subject to}$$

$$a_0^c + \sum_{i=1}^{n} a_i^c x_{ij} - (1-h)\left[a_0^s + \sum_{i=1}^{n} a_i^s x_{ij}\right] \leq y_j$$

$$a_0^c + \sum_{i=1}^{n} a_i^c x_{ij} + (1-h)\left[a_0^s + \sum_{i=1}^{n} a_i^s x_{ij}\right] \geq y_j$$

که y متغیر وابسته، x متغیر مستقل، h پارامتر سطح اعتماد، a_i^s پهنای تابع عضـــو یت و a_i^c مرکز تابع عضـــو یت می‌باشند.

با حل مدل برنامه‌ریزی خطی فوق، ضرایب رگرسیون فازی به دست می‌آیند. با قرار دادن مقادیر به‌دست‌آمده برای ضرایب در معادله رگرسیون، مقدار متغیر خروجی به‌صورت فازی تعیین می‌شود. روش‌های مختلفی برای غیرفازی‌سازی متغیر فازی و تبدیل آن به حالت قطعی وجود دارد که می‌توان به روش میانه ماکزیمم، روش مرکز مجموع‌ها و روش مرکز سطح اشاره کرد (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۴).

در این تحقیق از رگرسیون خطی چندگانه و فازی با لایه‌های ورودی شامل لایه‌های بافت خاک، مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب استفاده شد.

آماره‌های ارزیابی

از روش‌های مورداستفاده برای مقایسه روش‌های درون‌یابی می‌توان به اعتبارسنجی متقابل و اعتبارسنجی با مجموعه داده‌های مستقل اشاره کرد (رحیم‌پور و علی عباسپور، ۱۳۹۳). در این تحقیق از اعتبارسنجی با داده‌های مستقل استفاده شد، به‌طوری‌که نسبت۸۰:۲۰ برای تقسیم بندی داده‌ها به دو قسمت واسنجی و صحت‌سنجی بکار برده شد. از نقاط مربوط به واسنجی برای تعیین وزن و پارامترهای روش‌های مورداستفاده شامل کریجینگ و رگرسیون فازی استفاده شد. بعد از ساخته‌شدن مدل‌ها، برای بررسی عملکرد آن‌ها در نقاط صحت‌سنجی (نقاط صحت‌سنجی در این تحقیق طوری انتخاب شدند که پراکنش مکانی مناسبی داشته باشند و عملکرد مدل ساخته‌شده در نقاط مختلف ارزیابی شود و صحت آن با اعتبار بالایی تایید شود) از آماره‌های ارزیابی استفاده شد که معادلات آن‌ها در (جدول ۱) آورده شده است. حالت بهینه آماره‌ها مربوط به کمینه RMSE، nRMSE، TIC و بیشینه RPD می‌باشد. مقادیر مثبت و منفی CRM به ترتیب حاکی از بیش برآورد و کم‌بر آورد است (زراعت پیشه و همکاران ۲۰۲۰، یانگ و همکاران ۲۰۲۰).

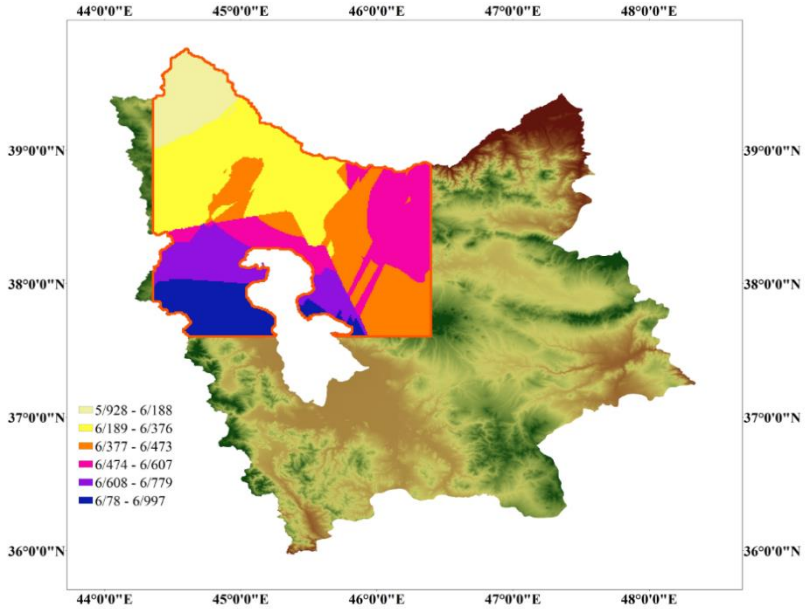
جدول ۱- آماره‌های ارزیابی برای بررسی عملکرد رویکردهای پهنه‌بندی

نام معیار	معادله معیار	نام معیار	معادله معیار
		جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده	$nRMSE = RMSE \times \frac{100}{\overline{O}}$
جذر میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{N}}$	ضریب نابرابری *Theil*	$TIC = \frac{RMSE}{\sqrt{\frac{1}{N}\sum P_i^2} + \sqrt{\frac{1}{N}\sum O_i^2}}$
		انحراف پیش‌بینی باقی‌مانده	$RPD = \frac{SD}{RMSE}$
ضریب جرم باقی‌مانده			$CRM = \frac{\sum P_i}{\sum O_i} - 1$

P: مقادیر شبیه‌سازی‌شده، O: مقادیر مشاهداتی، N: تعداد داده، $\overline{O}$: متوسط مقادیر مشاهداتی

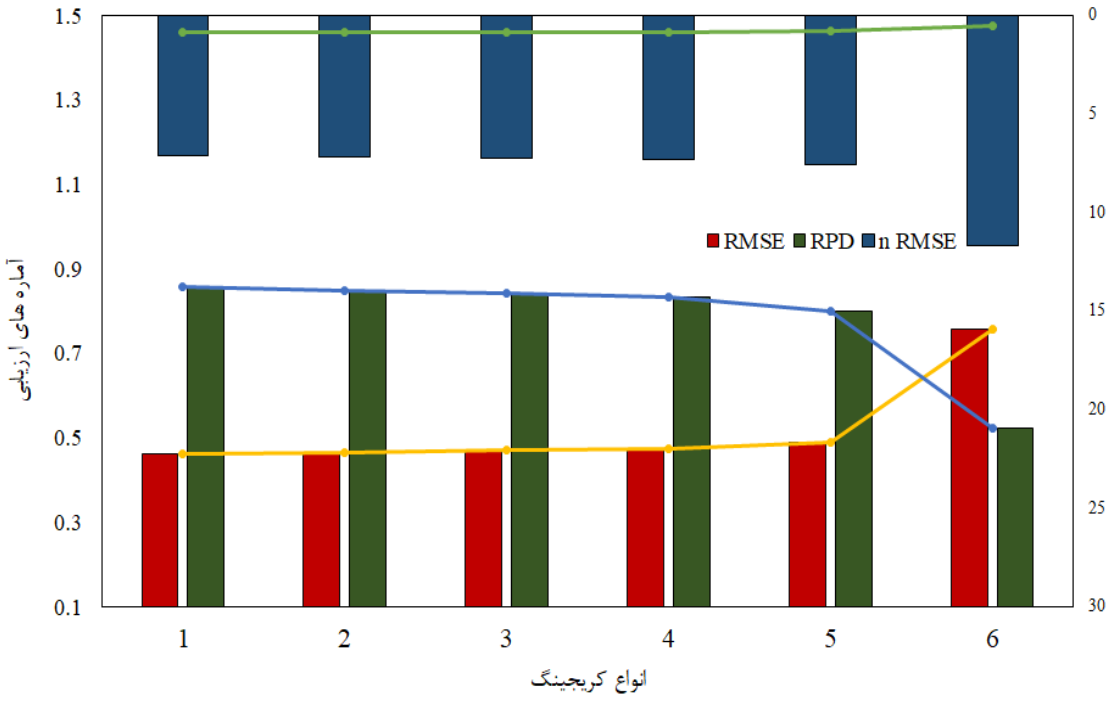
نتایج

تعداد کل نقاط نمونه‌برداری شده برابر با ۵۳ نقطه از استان‌های آذربایجان شرقی و غربی در نظر گرفته شدند. ضریب تغییرات لایه‌های ورودی شامل جهت شیب، شیب، بافت خاک، توپوگرافی و pH به ترتیب برابر با ۵۴، ۹۸، ۳۰، ۲۳ و ۶ درصد در نقاط واسنجی محاسبه شدند. ضریب تغییرات داده‌های نمونه‌برداری شده پایین‌تر از ۱۰ است که مقدار کمی می‌باشد. بازه pH اندازه‌گیری شده در محدوده اسیدی تا بازی ($5<pH<8$) است. در ابتدا از روش کریجینگ برای درون‌یابی مقادیر pH در کل منطقه استفاده شد که (شکل ۴) نشان‌دهنده نقشه خروجی است.



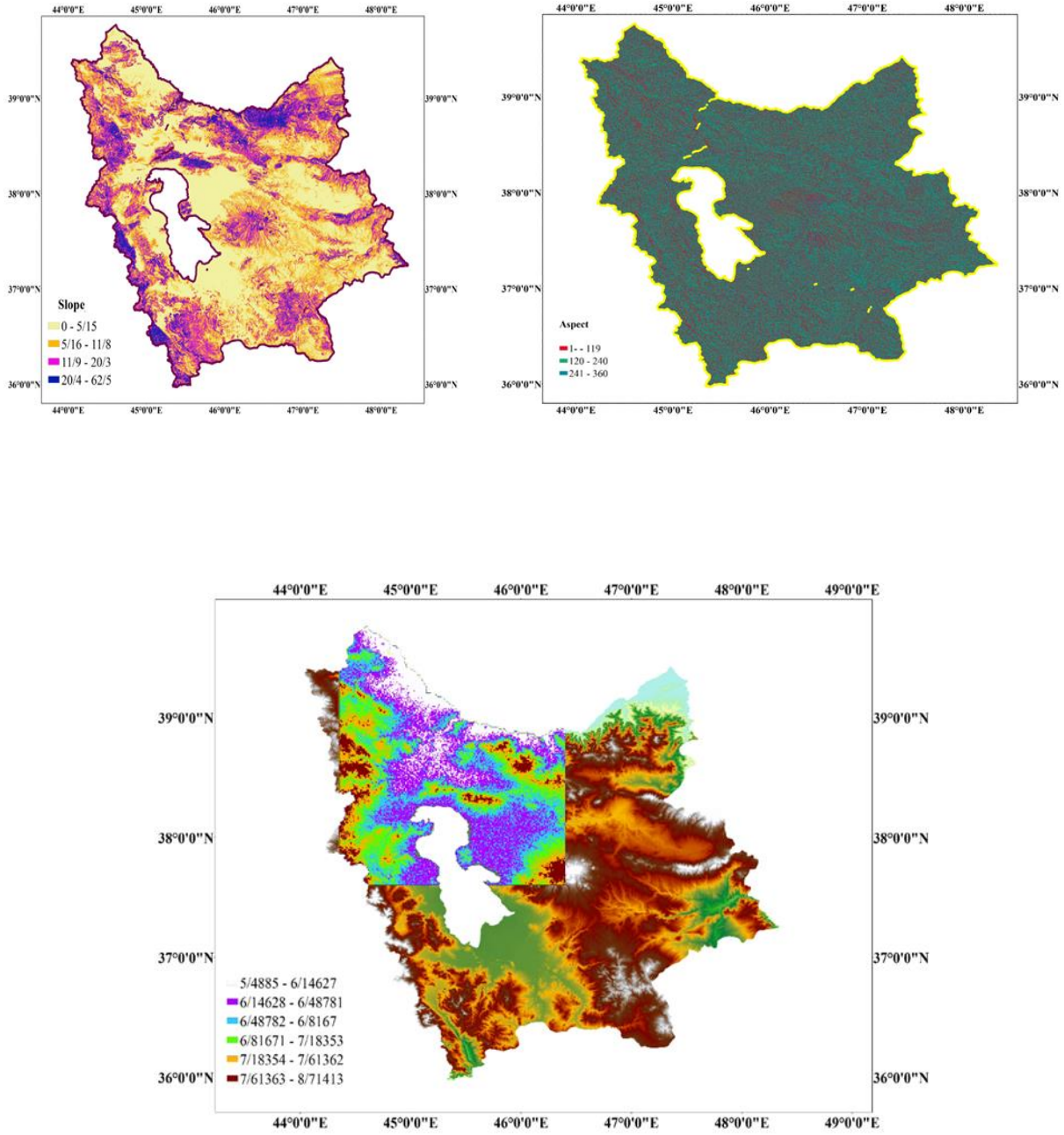
شکل۴- نقشه حاصل از درون‌یابی pH با روش معمولی در محدود مطالعاتی

براساس نقشه خروجی (شکل ۴) مناطق شمالی محدوده مطالعاتی دارای مقادیر pH پایینی هستند و هر چه قدر به طرف جنوب غربی حرکت شود مقادیر pH افزایش می‌یابد (افزایش حدود ۱۳/۷۲درصدی). براساس راهنمای نقشه منطقه در بازه اسیدی قرار دارد که پهنه وسیعی در محدوده ۵/۹۲۸ و ۶/۴۷۴ می‌باشد. در این تحقیق از دو نوع کریجینگ استفاده شد (کریجینگ معمولی و جهانی). از جمله مواردی که روش کریجینگ را تحت تاثیر قرار می‌دهد نوع نیم تغییرنما است. به همین دلیل انواع نیم تغییرنما مورد بررسی قرار گرفتند و عملکرد آنها در نقاط صحت‌سنجی مقایسه شدند که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- آماره‌های ارزیابی مربوط به بررسی عملکرد انواع نیم تغییرنما (۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب نمایانگر کریجینگ معمولی با نیم‌تغییرنماهای کروی، دایره‌ای، نمایی، گوسی، خطی و کریجینگ جهانی یا کریجینگ روند خطی می‌باشند.)

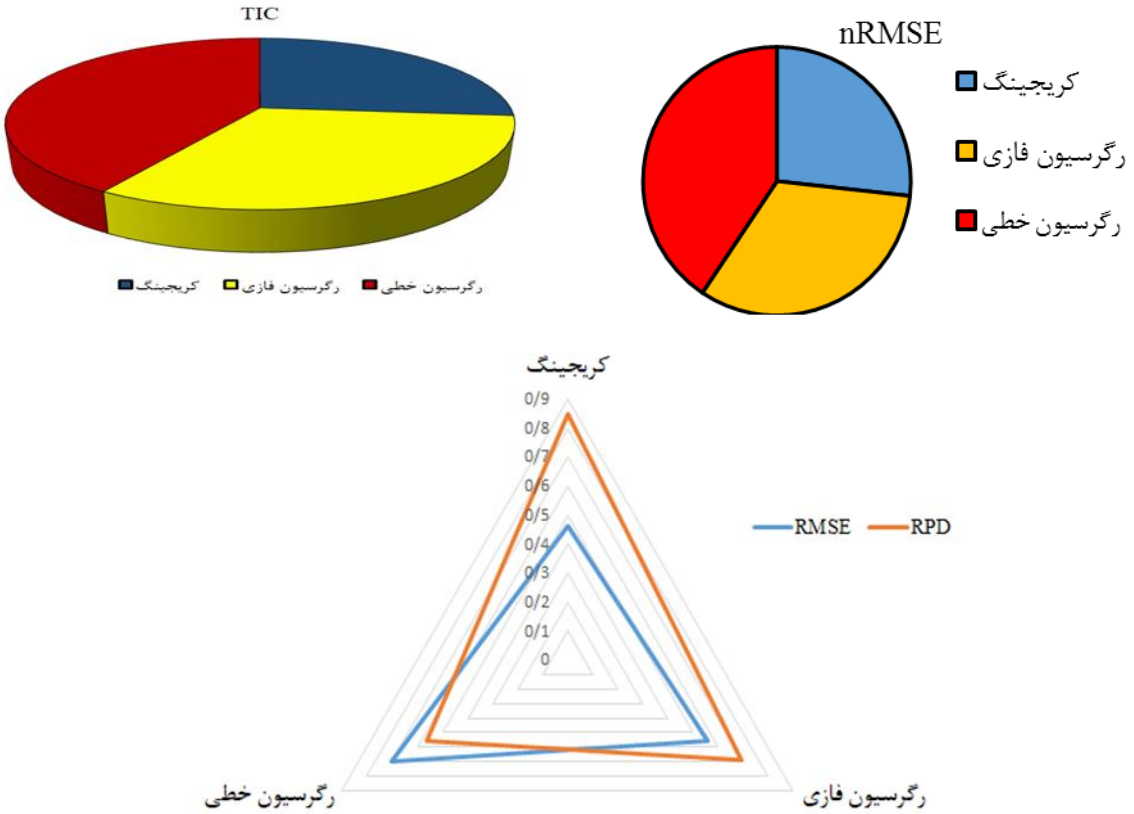
براساس (شکل ۵) مقادیر آماره‌های ارزیابی کریجینگ معمولی با مدل‌های کروی، دایره‌ای و نمایی در حالت بهینه هستند و کریجینگ جهانی (روند خطی) دارای بیشترین خطا می‌باشد. نیم تغییرنما تاثیر چشمگیری در روند پهنه‌بندی دارند. در پژوهش هاشمی و همکاران (۱۳۹۵) مدل نمایی برای متغیرهای کربنات کلسیم، قابلیت هدایت الکتریکی، pH خاک، درصد شن، رطوبت اشباع در منطقه میانکنگی سیستان و در پژوهش فتوحی فیروزآباد و افخمی اردکانی (۱۴۰۱) مدل گوسی در تعیین توزیع مکانی بارش در استان چهارمحال و بختیاری دارای عملکرد بهتری بودند. در صورت بررسی دقیق‌تر شکل ۵ مدل کروی تطابق بهتری در تعیین روند پهنه‌بندی دارد. در رویکرد دیگر از رگرسیون فازی برای پهنه‌بندی pH خاک استفاده شد که در این حالت نیاز به یکسری لایه‌های ورودی است که لایه-های مدنظر در این تحقیق شامل لایه‌های بافت خاک، شیب، مدل رقومی ارتفاع و جهت شیب است که دو لایه آخر براساس نقشه‌های موجود استخراج شدند (شکل ۶) و در نهایت نقشه نهایی pH براساس لایه‌های اطلاعاتی و رگرسیون فازی تهیه شدند (شکل ۶).



شکل۶- نقشه شیب و جهت شیب در دو استان مطالعاتی و نقشه پهنه‌بندی pH خاک براساس روش رگرسیون فازی

براساس نقشه شیب در محدوده مطالعاتی مقادیر شیب در مناطق شمالی و شمال‌شرقی کمتر از مناطق جنوب و جنوب‌غربی هستند. نقشه جهت شیب در محدوده مطالعاتی در بیشتر مناطق دارای مقادیر بالای جهت شیب است. مناطق شمالی دارای مقادیر پایینی از pH نسبت به بخش غربی هستند (افزایش ۳۸/۷۱ درصد). نقشه پهنه‌بندی با روش رگرسیون فازی دارای محدوده‌های متفاوتی از pH است (اسیدی و بازی). در این نقشه نیز مشابه نقشه حاصل از کریجینگ پهنه‌هایی از شمال و قسمت‌های میانی دارای pH اسیدی هستند، به عبارت دیگر بخش‌های زیادی از

محدوده مطالعاتی دارای pH اسیدی می‌باشد. براساس راهنمای دو نقشه پهنه‌بندی کمینه مقدار نقشه رگرسیون فازی نسبت به کریجینگ ۷/۴۱ درصد کاهش داشته است. شکل ۷ مقایسه‌ای از عملکرد رویکردهای مورد استفاده در نقاط صحت‌سنجی را نشان می‌دهد. برای بررسی بیشتر از ترکیب لایه‌های ورودی (لایه‌های بافت خاک، مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب) با رگرسیون خطی معمولی هم استفاده شد.



شکل ۷- عملکرد رویکردهای مورد استفاده (رگرسیون خطی، فازی و کریجینگ معمولی) برای پهنه‌بندی pH خاک در محدوده مطالعاتی

براساس آماره‌های ارزیابی، رگرسیون خطی دارای عملکرد ضعیفی است، به طوری که مقادیر افزایش RMSE از کریجینگ و رگرسیون فازی به خطی به‌ترتیب برابر با ۵۱/۸۴ و ۲۵ درصد و میزان افزایش nRMSE به‌ترتیب برابر با ۵۱/۷۵ و ۲۴/۳۶ درصد و میزان افزایش TIC به ترتیب برابر با ۵۵/۵۵ و ۲۷/۲۷ و میزان کاهش RPD از کریجینگ و رگرسیون فازی به رگرسیون خطی به‌ترتیب ۳۴/۵۷ و ۲۰ درصد است. اگر مقایسه‌ای بین عملکرد روش رگرسیون فازی و کریجینگ انجام شود، عملکرد کریجینگ دارای دقت بالایی است، به طوری که مقادیر افزایش RMSE از کریجینگ به رگرسیون فازی برابر با ۲۱/۴۷ درصد و میزان افزایش nRMSE برابر با ۲۲/۰۱ درصد و میزان افزایش TIC به ترتیب برابر با ۲۲/۲۲ و میزان کاهش RPD از کریجینگ به رگرسیون فازی ۱۸/۸۲درصد است. در تحقیق فتوحی فیروزآباد و افخمی اردکانی (۱۴۰۱) مقایسه رگرسیون خطی و کریجینگ حاکی از عملکرد بهتر کریجینگ بود. در حالت دیگر برای مقایسه عملکرد رگرسیون فازی و کریجینگ قدرمطلق اختلاف مقادیر واقعی و شبیه‌سازی به‌صورت تک به تک در نقاط صحت-سنجی (۲-۱۸-۲۱-۳۲-۴۰-۲۵-۳۷-۳۶-۵۱-۷-۳۹) که در شکل ۱-د نشان داده شده، محاسبه شدند، کمینه این اختلاف در نقاط ۲-۱۸-۳۲-۷-۳۹ مربوط به روش کریجینگ و در نقاط ۲۱-۴۰-۲۵-۳۷-۳۶-۵۱ مربوط به روش رگرسیون فازی می‌باشد. تعداد نقاط با کمینه خطا در رویکرد کریجینگ و رگرسیون فازی به ترتیب ۵ و ۶ است که اختلاف دو روش کم است، ولی رویکرد رگرسیون فازی

دارای تعداد زیادی نقاط با کمینه خطا است. حال اگر این نقاط صحت‌سنجی براساس جهت گروه‌بندی شوند، نقاط ۲ و ۱۸ در جهت شمال و شمال غربی، نقاط ۲۱-۳۲-۴۰-۲۵-۳۷-۳۶ در مرکز و نقاط ۵۱-۷-۳۹ در شرق می‌باشند. در این حال متوسط مقادیر خطا در هر دسته محاسبه شد که در رویکرد کریجینگ کمینه خطا به ترتیب مربوط به دسته سوم، دسته اول و دوم و در رویکرد رگرسیون فازی کمینه خطا به ترتیب در دسته سوم، دوم و اول می‌باشد. در مورد دسته سوم یعنی قسمت شرق هر سه رویکرد دارای وجه مشترک هستند، ولی از نظر دسته‌های اول و دوم با هم متفاوت هستند. در حالت دیگر از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) و آزمون LSD (جدول ۳) جهت مقایسه عملکرد سه رویکرد استفاده شد.

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس مقایسه رگرسیون فازی، خطی، کریجینگ معمولی با نیم تغییرنما **کروی با داده‌های برداشت شده در سطح یک درصد در تعیین pH خاک**

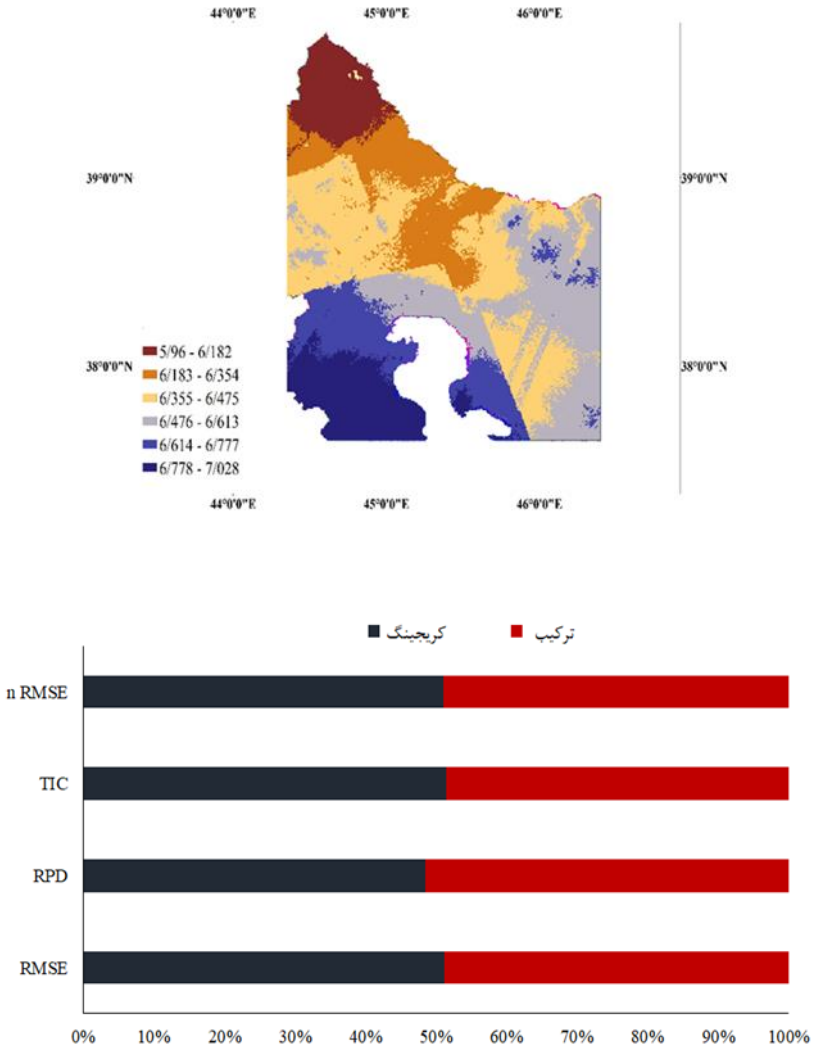
	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
بین گروه	1.73	3	0.58	5.14	0.004
داخل گروه	4.5	40	0.11		
کل	6.2	43			

جدول ۳- آزمون LSD برای مقایسه نتایج سه رویکرد با داده‌های برداشت شده در سطح یک درصد در تعیین pH خاک

رویکردهای مدنظر		تفاوت میانگین	سطح معنی‌داری	فاصله طمینان	
				حد پایین سطح اطمینان	حد بالای سطح اطمینان
داده‌های برداشت شده	کریجینگ معمولی **(نیم تغییر نما کروی)**	0.208	0.154	-0.17	0.59
	خطی	0.55*	0	0.16	0.94
	فازی	0.21	0.138	-0.17	0.6
کریجینگ	خطی	0.34	0.02	-0.04	0.73
	فازی	0.008	0.95	-0.37	0.39
خطی	فازی	-0.338	0.023	-0.72	0.049

سطح معنی‌داری (جدول ۲) کمتر از ۰/۰۱ است و حاکی از آن است که بین گروه‌های مورد بررسی اختلاف وجود دارد. حال جهت دانستن دقیق این که بین کدام رویکرد اختلاف معنی‌داری وجود دارد از آزمون LSD در جدول ۳ استفاده شد. سطح معنی‌داری بین رویکردهای برداشت شده- کریجینگ و برداشت شده -فازی بزرگتر از ۰/۰۱ است که نشان می‌دهد اختلاف بین رویکردهای داده-های مشاهداتی با کریجینگ و رگرسیون فازی معنی‌دار نیست. سطح معنی‌داری داده‌های برداشت شده و رگرسیون خطی کوچکتر از ۰/۰۱ است که حاکی وجود اختلاف معنی‌دار داده‌های مشاهداتی با رگرسیون خطی است. جهت بررسی تاثیر لایه‌های مورد استفاده در نقشه نهایی از رگرسیون خطی استفاده شد که در حالت اول لایه جهت شیب حذف در حالت دوم لایه شیب حذف و در حالت سوم لایه بافت خاک حذف شد. میزان افزایش RMSE از حالتی که تمام لایه‌ها استفاده شد به حالت اول، دوم و سوم به ترتیب برابر با ۱/۴۲، ۲/۲۵ و ۳۱/۴۲ درصد، میزان افزایش nRMSE به ترتیب برابر با ۱/۸۴، ۲/۲۱، ۳۲/۵۳ درصد و میزان افزایش TIC به ترتیب برابر با ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳۵/۷۱ درصد و میزان کاهش RPD به ترتیب برابر با ۱/۷۸، ۱/۴۲، ۲۵ درصد می‌باشد. جهت بررسی رابطه بین pH و ارتفاع ابتدا ۷۳ نقطه به صورت تصادفی انتخاب شدند و مقادیر pH در نقشه کریجینگ و نقشه DEM در این نقاط استخراج شدند. ضریب تغییرات لایه های ورودی و pH

خاک در نقاط صحت‌سنجی محاسبه شدند که میزان کاهش ضریب تغییرات از جهت شیب، شیب، بافت خاک و مدل رقومی ارتفاع به pH به ترتیب برابر با ۴۷/۹، ۹۶، ۲۲/۹۲، ۱۴/۹۲ درصد است. کمترین و بیشترین ضریب تغییرات به ترتیب مربوط به لایه شیب و pH است. سپس این مقادیر در یک دستگاه محور مختصات ترسیم شدند و شیب خط روند محاسبه شد که مثبت و برابر با ۶/۸۸ بود. براساس اطلاعات نقاط صحت‌سنجی رویکرد کریجینگ و رگرسیون فازی دارای عملکرد قابل قبولی بودند. دو عامل پیشنهادی می‌تواند دقت رویکرد رگرسیون فازی را افزایش دهد که می‌توان به استفاده از رگرسیون فازی نامتقارن و استفاده از اطلاعات طول و عرض جغرافیایی به عنوان داده‌های ورودی اشاره کرد. در ادامه جهت افزایش دقت پهنه‌بندی از ترکیب دو نقشه حاصل از کریجینگ و رگرسیون فازی استفاده شد که ارزیابی عملکرد روش ترکیبی در نقاط صحت‌سنجی در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی pH خاک با روش ترکیبی و آماره‌های مربوط به مقایسه دو رویکرد ترکیبی و کریجینگ

وضعیت آماره‌ها در حالت ترکیبی بهبود پیدا کرده است، به طوری که میزان کاهش RMSE، TIC، nRMSE از کریجینگ به حالت ترکیبی به ترتیب برابر با ۴/۵۵، ۵/۵۵ و ۴/۳۴ و میزان افزایش RPD برابر با ۵/۸۸ بود. در این حالت نیز پهنه‌های وسیعی از نقشه پهنه‌بندی در محدوده اسیدی است. کمینه مقدار راهنمای نقشه در

حالت ترکیبی نسبت به حالت دو نقشه قبلی افزایش داشته است. اگر نقشه حالت ترکیبی با کریجینگ مقایسه شود، مشاهده می‌شود که حالت گسستگی که در نقشه کریجینگ وجود داشت از بین رفته و حالت پیوستگی در نقشه ترکیبی کاملا قابل مشاهده است. در نقشه کریجینگ پهنه وسیعی به رنگ زرد است که در محدوده ۶/۱۸۹ تا ۶/۳۷۶ است ولی در نقشه ترکیبی این پهنه دارای حالت‌های مختلفی از pH (۶/۱۸۳ تا ۶/۳۵۴ و ۶/۳۵۵ تا ۶/۴۷۵ و ۶/۴۷۶ تا ۶/۶۱۳) است و در واقع توانسته مقادیر pH را دقیق‌تر پیدا کند. سطح معنی داری آزمون LSD در سطح ۱ درصد روش ترکیبی و داده‌های مشاهداتی در نقاط صحت سنجی برابر با ۰/۴۱۹ بود که چون از ۰/۰۱ بزرگتر است حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌داری بین روش ترکیبی و داده‌های مشاهداتی است. اگر مقایسه‌ای بین سطح معنی‌داری رویکرد رگرسیون فازی و کریجینگ (جدول ۳ با داده‌های مشاهداتی) با سطح معنی‌داری رویکرد ترکیبی انجام شود مشاهده می‌شود که سطح معنی‌داری از رویکرد ترکیبی به کریجینگ و فازی به ترتیب ۶۳/۲۴ و ۶۷ درصد کاهش داشته است، یعنی سطح معنی‌داری رویکرد ترکیبی بزرگتر از رویکردهای دیگر است و به داده‌های مشاهداتی نزدیکتر هستند و این مساله دقت روش ترکیبی را نشان می‌دهد. در حالت دیگر جهت مقایسه روش‌های پهنه‌بندی، کمینه و بیشینه اعداد در سمت چپ در راهنمای هر نقشه در نظر گرفته می‌شود و سپس قدر مطلق اختلاف این دو عدد در هر نقشه محاسبه می‌شود که بیشترین مربوط به رگرسیون فازی بود، به طوری که میزان کاهش این آماره از رویکرد رگرسیون فازی به کریجینگ و ترکیبی به ترتیب برابر با ۵۹/۹ و ۶۱/۵ درصد می‌باشد.

در حالت دیگر برای مقایسه روش‌های مورد استفاده از آماره CRM استفاده شد که به ترتیب برای روش‌های کریجینگ، رگرسیون فازی و ترکیبی به ترتیب برابر با ۰/۰۳۲-، ۰/۰۳۳ - و ۰/۰۱۴ - است. علامت منفی نشان دهنده کم برآورد در هر سه روش می‌باشد. مقادیر CRM در دو روش کریجینگ و رگرسیون فازی خیلی نزدیک بهم هستند، ولی مقدار CRM در روش ترکیبی نسبت به دو روش کاهش داشته است (حدود ۵۷/۵۷ درصد).

نتیجه‌گیری

pH خاک برای کیفیت زمین کشاورزی و رشد محصول بسیار مهم است. در این میان آگاهی در مورد توزیع مکانی pH خاک بخصوص در مناطق بزرگ دارای اهمیت قابل توجهی است. بنابراین در این تحقیق در ابتدا کارایی رویکردهای رگرسیون (فازی و خطی)، کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. براساس اطلاعات نقاط صحت-سنجی رویکرد کریجینگ و رگرسیون فازی دارای عملکرد قابل قبولی بودند. در ادامه جهت افزایش دقت پهنه‌بندی از ترکیب دو نقشه کریجینگ معمولی و رگرسیون فازی استفاده شد که رویکرد ترکیبی منجر به افزایش دقت پهنه-بندی شد، زیرا که در این حالت اطلاعات از دو نقشه استخراج می‌شود. روش درون یابی براساس مفاهیم خودهمبستگی و فازی براساس مدل‌سازی سیستم‌هایی با پیچیدگی‌های زیاد با در نظر گرفتن عدم قطعیت حاکم بر مسئله است که در حالت ترکیبی از این دو قابلیت در نمایش دقیق پراکندگی مکانی متغیرها استفاده می‌شود. سطح معنی-داری رویکرد ترکیبی بزرگتر از رویکردهای رگرسیون فازی و کریجینگ معمولی است که منجر به نزدیکی به داده‌های مشاهداتی می‌شود و این مساله دقت روش ترکیبی را نشان می‌دهد. شیب خط برازشی مثبت بود که حاکی از افزایش pH در مناطق مرتفع است. لایه‌های ورودی در رویکرد رگرسیونی اهمیت بالایی در استخراج نقشه خروجی دارند، به طوری که حذف برخی لایه‌ها می‌تواند خطای پهنه‌بندی را به شدت افزایش دهد که در این تحقیق لایه بافت خاک دارای اهمیت بالایی بود. بافت خاک بر میزان نفوذپذیری تاثیر دارد. آبی که از خاک عبور می‌کند مواد مغذی مانند کلسیم و منیزیم را از خاک بیرون می‌برد و آنها را با عناصر اسیدی مانند آلومینیم و آهن جایگزین می‌کند. به همین دلیل خاک‌هایی که در شرایط بارندگی زیاد تشکیل می‌شوند،

اسیدی‌تر هستند. نقشه پهنه‌بندی pH خاک همراه با اطلاعات مکانی از pH خاک می‌تواند در مکان‌یابی کشت گیاهان در مناطق مختلف کمک شایانی داشته باشد.

فهرست منابع

۱. بیات، جواد، هاشمی، سید حسین، خوشبخت، کورس، و دیهیم فرد، رضا، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی عناصر غذایی (نیترات و فسفات)، کربن آلی، هدایت الکتریکی و pH خاک در اراضی جنوب شهر تهران. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۴(۲)، صص. ۱-۱۲.

۲. رحیم‌پور، فاطمه، علی عباس پور، رحیم، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از روش-های کریجینگ و توابع پایه شعاعی (مطالعه موردی: شهرستان هریس). *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، ۲۳(۹۱)، صص. ۵۵-۶۷.

۳. شعبانی، حدیثه، دلاور، محمد امیر، صفری، یاسر، علمداری، پریسا، ۱۳۹۸. پهنه بندی و تحلیل مکانی برخی خصوصیات خاک در اراضی دانشگاه زنجان. تحقیقات کاربردی خاک، ۷ (۴)، صص ۱۶۴-۱۸۷.

۴. طاعتی، عباس، سرمدیان، فریدون، متقیان، حمید رضا، و موسوی، سید روح الله، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های سطحی و عمقی پروفیل خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار در بخشی از اراضی دشت قزوین. *فصلنامه انسان و محیط زیست*، ۵۲، صص۶۷-۸۱.

۵. عباسی، طاهره و شمس‌نیا سید امیر، ۱۳۹۳. ارزیابی مقایسه‌ای سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS) و روش‌های متداول درون‌یابی در تخمین بارش در استان فارس. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۳(۱۱)، صص ۴۴۸-۴۶۰.

۶. فتوحی فیروز آباد، فرزانه و افخمی اردکانی، حمیده، ۱۴۰۱. ارزیابی و مقایسه روش‌های درون‌یابی و رگرسیون خطی جهت تعیین توزیع مکانی بارش در استان چهارمحال و بختیاری. *نشریه محیط زیست و مهندسی آب*، ۸ (۱)، صص ۲۲۱-۲۳۲.

۷. کشتکار، سمیرا، جعفری، اعظم و فرپور، محمد هادی، ۱۳۹۷. تاثیر عوامل محیطی و خاکساز بر تنوع خاک های مناطق کرمان و لاله زار. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۸(۱)، صص ۱۰۶-۸۹.

۸. کوره‌پزان دزفولی، امین، ۱۳۸۴، اصول تئوری مجموعه های فازی و کاربردهای آن در مدلسازی مسایل مهندسی *منابع* آب، چاپ اول. *انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر*، صص ۱۳۷-۱۵۳.

۹. نوروزی، سارا، سهرابی، اکبر، خاوازی، کاظم، متین فر، حمیدرضا ،۱۳۹۷. تاثیر مصرف گوگرد بر روند تغییرات pH و قابلیت جذب فسفر خاک در گندم ,(Triticum aestivum L.)'، *زیست شناسی خاک*، ۶(۱)، صص ۴۱-۲۹.

۱۰. هاشمی، مسعود، غلامعلی‌زاده آهنگر، احمد، بامری، ابوالفضل، سارانی، فریدون، و حجازی زاده، ابوالفضل، ۱۳۹۵. شناسایی و پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمایی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در GIS (مورد مطالعاتی: منطقه میانکنگی سیستان). *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۰(۲)، صص ۴۴۳-۴۵۸.

11. Barrow, N.J. and Hartemink, A.E., 2023. The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, *487*(1), pp.21-37.

12. Carter, M.R. and Gregorich, E.G., 2007. Soil sampling and methods of analysis. CRC press.
13. Fornasier, E., Fornasier, F. and Di Marco, V., 2018. Spectrophotometric methods for the measurement of soil pH: A reappraisal. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *204*, pp.113-118.
14. Hilal, A., Bangroo, S.A., Kirmani, N.A., Wani, J.A., Biswas, A., Bhat, M.I., Farooq, K., Bashir, O. and Shah, T.I., 2024. Geostatistical modeling—a tool for predictive soil mapping. In *Remote Sensing in Precision Agriculture*, pp. 389-418. Academic Press.
15. Gia PHam, T., Kappas, M., Van Huynh, C. and Hoang Khanh Nguyen, L., 2019. Application of ordinary kriging and regression kriging method for soil properties mapping in hilly region of Central Vietnam. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *8*(3), pp.147.
16. Odhiambo, B.O., Kenduiywo, B.K. and Were, K., 2020. Spatial prediction and mapping of soil pH across a tropical afro-montane landscape. *Applied Geography*, *114*, pp.102129.
17. Powell, B., McBratney, A.B. and MacLeod, D.A., 1991. The application of fuzzy classification to soil pH profiles in the Lockyer Valley, Queensland, Australia. *Catena*, *18*(3-4), pp.409-420.
18. Yang, H., Zhu, Z., Li, C. and Li, R., 2020. A novel combined forecasting system for air pollutants concentration based on fuzzy theory and optimization of aggregation weight. *Applied Soft Computing*, *87*, pp.105972.
19. Zeraatpisheh, M., Bakhshandeh, E., Emadi, M., Li, T. and Xu, M., 2020. Integration of PCA and fuzzy clustering for delineation of soil management zones and cost-efficiency analysis in a citrus plantation. *Sustainability*, *12*(14), pp.5809.
20. Zhang, Y., Ye, H., Liu, R., Tang, M., Nie, C., Han, X., Zhao, X., Wei, P. and Wen, F., 2024. Spatial and Temporal Variations of Soil pH in Farmland in Xinjiang, China over the Past Decade. *Agriculture*, *14*(7), pp.1048.
21. Zare Mehrjardi, M., Taghizadeh-Mehrjardi, R. and Akbarzadeh, A., 2010. Evaluation of geostatistical techniques for mapping spatial distribution of soil pH, salinity and plant cover affected by environmental factors in Southern Iran. *Notulae Scientia Biologicae*, *2*(4), pp.92-103.

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۹ / شماره۱ / ۱۴۰۴/۵۱-۱۹
DOI:10.22092/IJSR.2025.369128.775

شناسایی محدودیت‌های اراضی با توجه به ارزیابی تناسب آن‌ها برای کشت گیاهان دانه روغنی در دشت‌های آبی کشور

جواد سیدمحمدی[۱*] و میرناصر نویدی[۲]

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
j.mohammadi@areeo.ac.ir
۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
n.navidi@areeo.ac.ir

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۴/۲/۷و پذیرش:۱۴۰۴/۴/۲۳

چکیده

در این پژوهش، تناسب اراضی برای کشت آبی محصولات آفتابگردان، سویا، کلزا و کنجد، با تجمیع، آماده‌سازی و رقومی‌سازی مطالعات خاکشناسی در سطح کشور و با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری و در نظر گرفتن پهنه‌های زراعی- اقلیمی، واحدهای خاک در دشت‌های آبی سراسر کشور مشخص شد. سپس، با وارد کردن داده‌های اقلیم، خاک و پستی و بلندی در نرم‌افزار تهیه شده بر پایه چارچوب فائو و روش پارامتریک ریشه دوم، اراضی مزبور برای کشت آبی محصولات ذکر شده مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار گرفت. نتایج مشخص کرد که از چهار میلیون هکتار اراضی مورد بررسی برای کشت آبی آفتابگردان، حدود ۱۵۸ هزار هکتار در کلاس S1 (مناسب زیاد)، ۱/۲ میلیون هکتار در کلاس S2 (مناسب متوسط)، ۱/۳۶ میلیون هکتار دارای کلاس S3 (مناسب بحرانی)، ۵۸۵ هزار هکتار دارای کلاس N1 (نامناسب در حال حاضر) و ۷۰۲ هزار هکتار کلاس N2 (نامناسب دائمی) بود، از اراضی به مساحت حدود ۱/۸ میلیون هکتار برای کشت سویا، ۲۷ هزار هکتار در کلاس S1، ۵۰۰ هزار هکتار دارای کلاس S2، ۵۴۸ هزار هکتار در کلاس S3، ۳۱۶ هزار هکتار دارای کلاس N1 و ۴۵۰ هزار هکتار کلاس N2، از ۵/۵ میلیون هکتار اراضی برای کشت کلزا، ۱۹۵ هزار هکتار در کلاس S1، ۱/۶ میلیون هکتار دارای کلاس S2، ۲/۴ میلیون هکتار دارای کلاس S3، ۵۹۶ هزار هکتار دارای کلاس N1 و ۸۰۴ هزار هکتار در کلاس N2 و از اراضی به مساحت حدود ۱/۷ میلیون هکتار برای کشت کنجد، ۲۳ هزار هکتار در کلاس S1، ۱۳۵ هزار هکتار دارای کلاس S2، ۵۵۴ هزار هکتار دارای کلاس S3، اراضی به مساحت ۴۶۰ هزار هکتار دارای کلاس N1 و ۵۳۷ هزار هکتار در کلاس N2 قرار داشت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بر پایه تحلیل واریانس چندمتغیره نشان داد که تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی دارای دقت قابل قبولی بود. مهمترین مشخصه‌های محدودکننده در اراضی کشت آبی کشور عبارت بود از، برای آفتابگردان: اسیدیته، بافت و به‌ویژه در کلاس‌های نامناسب شوری و قلیائیت، آهک و شیب، برای سویا: کربن‌آلی، اقلیم، شیب، شوری و قلیائیت، برای کلزا: اسیدیته، بافت، شوری و قلیائیت و برای کنجد: کربن‌آلی، اسیدیته، شوری و قلیائیت. تحلیل‌ها و نقشه‌های ارائه شده در این پژوهش می‌تواند یک راهنمای برنامه‌ریزی مناسب برای کشاورزان، تولیدکنندگان و برنامه‌ریزان به منظور تصمیم‌گیری دقیق‌تر در کشت گیاهان دانه روغنی در مناطق مختلف از دشت‌های آبی کشور باشد.

واژه های کلیدی: آفتابگردان، تناسب اراضی، سویا، محدودیت‌های اراضی، کلزا، کنجد.

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: j.mohammadi@areeo.ac.ir

استناد: سیدمحمدی، ج.، نویدی، م.ن.، ۱۴۰۴. شناسایی محدودیت‌های اراضی با توجه به ارزیابی تناسب آن‌ها برای کشت گیاهان دانه روغنی در دشت‌های آبی کشور. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش های خاک، (۱) ۳۹، ۵۱-۱۹.

مقدمه

کشاورزی، پایه و اساس اقتصاد، مهمترین بستر امنیت غذایی برای ادامه حیات بشر و از اساسی‌ترین صنایع در توسعه و پایداری جامعه است (کوندو و همکاران، ۲۰۱۹؛ سیدمحمدی و نویدی، ۲۰۲۲). برای سیاست‌گذاری مناسب استفاده از اراضی جهت ارتقاء توسعه پایدار، ضروری است که اولویت‌های مدیریتی و تصمیم‌گیری‌های مطمئن توسعه داده شود تا به عنوان ابزاری به شناسایی مناسب‌ترین الگوی مکانی کشت کمک کند (نگوین و همکاران، ۲۰۲۰؛ التعانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ نویدی و همکاران، ۲۰۲۲). از این رو، تحلیل مناسب بودن اراضی، ابزاری مهم برای برنامه‌ریزان و سیاستگذاران بوده تا با اختصاص دادن درست اراضی برای استفاده‌های آینده، به طور مؤثر، تخریب اراضی و تأثیرات منفی زیست‌محیطی به حداقل رسانده شود (فان و همکاران، ۲۰۱۲؛ مالمیر و همکاران، ۲۰۱۶؛ اوستااوغلو و آیدین‌اوغلو، ۲۰۲۰؛ سیدمحمدی و همکاران، ۱۴۰۱). خاک و اراضی از مهمترین منابع طبیعی برای تولید محصولات زراعی، تأمین معیشت زندگی و توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه می‌باشند (نویدی و همکاران، ۱۴۰۱). کشت محصولات زراعی بدون اطلاع از ظرفیت ذاتی خاص مکان از جمله محدودیت‌های خاک، منجر به کاهش چشمگیر بهره‌وری و وخیم شدن وضعیت خاک خواهد شد. داشتن اطلاعات دقیق از قابلیت خاص موقعیت مکانی خاک، استفاده از منابع خاک را در جهت کشت محصولات زراعی بهینه کرده و حداکثر بازدهی را به همراه می‌آورد (کاندهی و ساوالیا، ۲۰۱۴؛ وانیاما و همکاران، ۲۰۱۹؛ سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ ۲۰۱۹؛ مندال و همکاران، ۲۰۲۰). ارزیابی تناسب اراضی یکی از اجزاء مهم برنامه‌ریزی کاربری اراضی بوده که به دلیل پشتیبانی از مدیریت اراضی، در کاهش تخریب اراضی و کارایی بهتر اراضی مؤثر است (سینگا و اسواین، ۲۰۱۶؛ مظهره و همکاران، ۲۰۱۹؛ نگوین و همکاران، ۲۰۲۰).

به منظور تدوین سیاست‌های کشاورزی پایدار، مدیریت محصولات استراتژیک با ارزش، بسیار مهم است. در این زمینه، ارزیابی تناسب اراضی مبتنی بر تولید کشاورزی و تصمیم‌گیری انتخاب مکان مناسب نقش مهمی دارند. انتخاب و اولویت‌بندی مناسب‌ترین مناطق یکی از مهمترین موارد، مراحل تجزیه و تحلیل تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی است (پورنماسری و همکاران، ۲۰۱۹؛ تیرکان و دیرلی، ۲۰۲۰؛ نویدی و همکاران، ۲۰۲۳؛ نویدی و سیدمحمدی، ۱۴۰۲). تجزیه و تحلیل مناسب بودن اراضی کشاورزی یکی از ابزارهای مهمی است که برای شناسایی استفاده بهینه از اراضی در دسترس، برای تولید محصولات زراعی استفاده می‌شود (ددی‌اوغلو و دنگیز، ۲۰۱۹؛ آکپوتی و همکاران، ۲۰۲۰). اطلاعات کشاورزی مانند انواع خاک و خصوصیات آن‌ها، بارندگی، دما، ساعات آفتابی و مشخصات توپوگرافی اطلاعات اساسی می‌باشند که به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری پشتیبان قبل از تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بهترین محصولات زراعی برای کشت در اراضی خاص بایستی تعیین شوند (هزیر و همکاران، ۲۰۲۰؛ تشایو و همکاران، ۲۰۲۰). در تجزیه و تحلیل تناسب اراضی، به برخی از مشخصه‌های اساسی تأثیرگذار همانند بافت خاک و در دسترس بودن مواد مغذی، pH، کربن‌آلی، EC و مقاومت خاک؛ تعادل بین ترمیم و فرایند تخریب، به دلیل ظرفیت کنترل‌کنندگی بیشتر آن‌ها در سیستم‌های کاشت، صرف نظر از سایر خصوصیات زیست محیطی، تأکید بیشتری شده است. بنابراین تجزیه و تحلیل مناسب بودن محل خاک و اراضی در انتخاب گیاهان زراعی مناسب برای مکان‌یابی واحدهای خاص خاک برای بهینه‌سازی بهره‌وری محصول کمک می‌نماید و به دلیل نقش مؤثر آن در مدیریت مناسب خاک، یکی از ابزارهای مهم در کشاورزی پایدار می‌باشد (دیهاروماراجان و سینگ، ۲۰۱۴؛ صفوان و همکاران، ۲۰۲۰).

مفهوم مناسب بودن مکان‌های خاکی همانطور که توسط فائو پیشنهاد شده است در رویکرد ارزیابی اراضی

تعبیه شده است. ارزیابی تناسب اراضی به ارزیابی پتانسیل اراضی برای استفاده خاص اشاره دارد (فائو، ۱۹۷۶). علیرغم چندین محدودیت، بولتن‌های خاک فائو ۳۲ (۱۹۷۶) و ۵۵ (۱۹۸۵)، به‌دلیل رویکرد مستقیم رو به جلو با کاربردهای مدل‌های ساده، هنوز هم متداول‌ترین راهنمای استفاده در ارزیابی تناسب اراضی هستند (مندال و همکاران، ۲۰۲۰؛ التعانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سیدمحمدی و نویدی، ۲۰۲۲). چندین مرحله مستمر در سیستم ارزیابی اراضی فائو شامل توصیف ویژگی‌های بارز خاک، آب و هوا و الگوی کاربری اراضی، شناسایی معیارهای مربوط به خاک و زمین‌نما (نیازمندی‌های محصول)، تطابق نیازمندی‌های گیاهان با وضعیت موجود خاک و زمین‌نما و در نهایت پیشنهاد مناسب‌ترین محصولات زراعی، وجود دارد.

چندین محقق مناسب بودن اراضی را برای محصولات گیاهان دانه روغنی در سطح کشور ارزیابی کرده‌اند از جمله دادگر و همکاران (۲۰۰۷) اراضی به مساحت ۲۰ هزار هکتار در منطقه دماوند برای کشت آبی سویا و آفتاب‌گردان، پاکپور رباطی و همکاران (۲۰۱۲) اراضی به مساحت ۱۰ هزار هکتار در منطقه پسوه و جلدیان آذربایجان غربی برای کشت آفتابگردان، یزدانی و همکاران (۲۰۱۳) اراضی استان‌های تهران و البرز برای کشت کلزا، کامکار و همکاران (۲۰۱۴) اراضی به وسعت حدود ۵۰ هزار هکتار در استان گلستان برای کشت سویا و کلزا، گیوی و حقیقی (۱۳۹۴) اراضی به مساحت ۲۵ هکتار در شهرکرد برای کشت کلزا، سیدمحمدی و همکاران (۲۰۱۸) اراضی به وسعت ۱۲۰۰۰ هکتار در دشت مغان برای کشت آبی محصولات سویا و کلزا، استواری و همکاران (۲۰۱۹) محدوده‌ای به مساحت حدود ۵۲ هزار هکتار در شمال شرقی آذربایجانشرقی برای کلزا، که هیچکدام به صورت جامع و در سطح ملی نبوده و غالباً در مقیاس محلی و وسعت کم انجام شده‌اند.

تصمیم‌گیری و انتخاب نامناسب اراضی می‌تواند بهره‌وری اراضی را محدود کند. ارزیابی تناسب اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده فعلی و آینده اراضی ضروری است. کمبود اطلاعات در مورد توزیع مکانی خاک‌ها در مقابل مناسب بودن اراضی برای رشد و توسعه محصولات زراعی خاص از جمله گیاهان دانه روغنی یکی از محدودیت‌های عمده برای سیاست‌گذاران جهت برنامه‌ریزی مناسب برای مناطق مستعد کشاورزی می‌باشد. وضعیت اقتصادی و اجتماعی نامساعد با آسیب‌پذیری زیاد در برابر بلایای زیست‌محیطی همراه با رشد جمعیت و محدود شدن منابع اراضی کشاورزی ناشی از عواملی همچون فرسایش، کشاورزان را وادار کرده، بدون هیچگونه آگاهی در مورد مناسب بودن اراضی برای محصولات خاص، عملیات کشت و کار را انجام دهند. از طرف دیگر، کاربری اراضی، هواشناسی، توپوگرافی، هیدرولوژیکی و شرایط اجتماعی مناطق مختلف کشور با یکدیگر متفاوت است. برای این دلیل، ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی بایستی بر اساس طیف گسترده‌ای از معیارهای ارزیابی در مناطق مختلف کشور انجام شود. با توجه به اینکه، دانه‌های روغنی و فراورده‌های آن‌ها به دلیل خواص غذایی و مواد سرشار از انرژی موجود در آن‌ها بسیار سودمند بوده و روغن آن‌ها دارای مزایای ویژه‌ای از جمله قابلیت تجدید و تجزیه بیولوژیکی (سازگاری با محیط) و کمی خواص بیماری‌زایی و آلرژی‌زایی می‌باشند. برای این منظور، اراضی کشاورزی در دشت‌های آبی کشور با روش پارامتریک ریشه دوم برای کشت آبی محصولات دانه روغنی شامل آفتاب‌گردان، سویا، کلزا و کنجد مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار گرفت.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل اراضی واقع شده در دشت‌های آبی سطح کشور که دارای مطالعه خاکشناسی بوده، می‌باشد. اقلیم محدوده مطالعاتی شامل پهنه‌های مختلف اقلیمی از گرم و خشک تا سرد و مرطوب را در بر می‌گیرد.

مراحل پژوهش

جمع آوری مستندات و آماده‌سازی، رقومی‌سازی مطالعات خاکشناسی و محاسبه مقادیر شاخص اراضی و تعیین کلاس‌های تناسب اراضی در واحدهای خاک برای کشت گیاهان دانه روغنی شامل آفتاب گردان، کلزا، سویا و کنجد در دشت‌های آبی کشور طی مراحل زیر انجام شد:

جمع‌آوری مستندات: گزارش‌های مطالعات خاکشناسی انجام شده در سطح کشور جمع‌آوری شده، سپس مشخصات کلی مطالعات مانند سال انجام، دقت مطالعه، مقیاس نقشه‌ها، نوع نقشه‌های تفسیری، مساحت مطالعه، سیستم طبقه‌بندی خاک و همچنین کیفیت نقشه‌ها از نظر مرجع مکانی (داشتن مختصات جغرافیایی) و سایر موارد تعیین شدند تا به‌عنوان فراداده[1] مورد استفاده قرار گیرند. در هر مطالعه، کیفیت و کمیت محتویات گزارش مطالعات از جمله وجود اطلاعات پایه مورد نیاز طرح تناسب اراضی شامل مشخصات مورفولوژی و جدول تجزیه‌های آزمایشگاهی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق‌های خاک سری‌های شاهد بررسی و قابلیت بکارگیری آن‌ها در فرآیند ارزیابی تناسب اراضی مورد بررسی دقیق واقع شد.

رقومی‌سازی اطلاعات و پردازش داده‌ها: نقشه‌های خاک کاغذی اسکن شده و سپس زمین‌مرجع گردید. یکپارچه‌سازی لایه‌های واحدهای خاک و اندکس نقشه‌های توپوگرافی برای هر منطقه مطالعاتی انجام شده و در نهایت، عملیات هم‌پوشانی کناره‌ای، پالایش و آماده‌سازی نقشه‌ها برای پردازش در محیط نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفت. داده‌های توصیفی شامل خصوصیات مورفولوژیک خاک‌ها و نتایج مشاهدات میدانی و تجزیه‌های آزمایشگاهی خاکرخ‌های شاهد مانند بافت و ساختمان، سنگریزه، عمق خاک، آهک، گچ، شوری و قلیائیت و شیب اراضی در محیط نرم‌افزارهای متنی ذخیره و ثبت شده، سپس این داده‌ها به داده‌های مکانی مرتبط خود در محیط GIS ملحق شدند. بدین ترتیب پایگاه داده خاک تهیه شده و به هر یک از واحدهای نقشه نیز براساس استان، شماره گزارش، واحد خاک و شماره خاکرخ شاهد یک کد اختصاصی تعلق گرفت، به گونه‌ای که بتوانند با نتایج تناسب اراضی مرتبط شوند (جمشیدی، ۱۳۹۸).

کنترل کیفی مطالعات رقومی‌شده: به منظور کنترل کیفی مطالعات، مرزهای نقشه توسط تصاویر گوگل‌ارث صحت‌سنجی شد و اصلاحات مورد نیاز صورت پذیرفت. همچنین منابع خطا مانند خطاهای تکنیکی و شخصی در رقومی‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. خطای تکنیکی مربوط به خطای عکس‌های هوایی به‌عنوان لایه مبنایی مطالعات خاکشناسی (موزائیک عکس‌های هوایی) است. این نوع خطا به‌دلیل تفاوت مقیاس در قسمت‌های مختلف عکس هوایی بوده و بنابراین وجود خطا در مرزهای واحدهای منفک شده نقشه خاک دور از انتظار نیست. خطای شخصی نیز شامل خطای خاکشناس در ترسیم مرز خاک‌ها بر روی نقشه مبنایی و همچنین نقشه نهایی است که پس از مرحله مطالعات میدانی انجام می‌شود. همچنین خطای رقومی‌ساز شامل خطا در مراحل مختلف رقومی‌سازی از مرحله کپی نقشه‌های اصلی، خطای زمین‌مرجع و خطای ترسیم مرزهای واحدهای نقشه خاک می‌باشد. بنابراین با کاهش منابع خطا، نقشه‌های تهیه شده دارای دقت و صحت مناسبی شدند.

تهیه لایه اراضی هدف و اجرای فرایند تناسب اراضی

پس از تهیه لایه اراضی تحت کشت آبی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۴، تصاویر ماهواره مودیس ۲۰۱۵، نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادی وزرات جهاد کشاورزی با عنوان سیمای آبخیزها در سال ۱۳۸۲ با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ و لایه پوششی کشوری کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، این لایه در محیط GIS فراخوانده شده و لایه محدوده مطالعات خاکشناسی نیز به محیط اضافه گردید و shape file آن تهیه شد. سپس با هم‌پوشانی لایه محدوده اراضی کشاورزی آبی و لایه محدوده‌های رقومی‌شده مطالعات خاکشناسی،

[1]Meta data

لایه واحدهای خاک برای ارزیابی تناسب اراضی مشخص شد، لایه فوق حدود ۶ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت را شامل می‌شود. وضعیت اقلیم ایران چه به‌صورت منطقه‌ای و چه به‌صورت ملّی با روش‌های محلّی، بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. در اکثر موارد نیز به‌دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و عدم توزیع مناسب ارتفاعی و مکانی و استفاده از داده‌های محیطی نادقیق و بکارگیری مدل‌های ریاضی ناکارآمد، نقشه‌های ارائه شده در مقیاس ملّی بر توپوگرافی و پیچیدگی‌های اقلیمی- اراضی کشور منطبق نیستند. بنابراین نمی‌توانند زیربنای مناسبی برای مطالعات دیگر باشند. با این وجود پهنه‌بندی اقلیمی یونسکو (ACZ[1]) به‌دلیل برخی مزیت‌ها مانند تبعیت پلی‌گون‌ها از روند تغییرات مکانی توپوگرافی ایران، استفاده از متغیرهای اقلیمی و محیطی بیشتر در مدل‌سازی، لحاظ کردن تغییرات ارتفاعی نقطه‌ای و پیوسته و تطابق بیشتر کلاس‌های تعریف شده با اقلیم مناطق مختلف، مبنای کلاس‌های اقلیمی قرار گرفت. پس از هم‌پوشانی لایه خاک با نقشه ACZ، مشخص شد که برای هر یک از واحدهای خاک و ایستگاه سینوپتیک مربوطه کدام پهنه ACZ باید استفاده شود. همچنین دوره فنولوژیک گیاهان آفتاب‌گردان، کلزا، سویا و کنجد در نقاط مختلف کشور با همکاری کارشناسان مراکز تحقیقات و سازمان‌های جهادکشاورزی با نهایت دقت و حساسیت بر مبنای پهنه‌های ACZ تهیه شد. با انجام فرایندهای ذکر شده، واحدهای خاک در دشت‌های آبی کشور مرزبندی گردید.

محاسبات ارزیابی تناسب اراضی و تهیه نقشه‌ها

در نهایت برای تعیین شاخص تناسب اراضی در واحدهای خاک، مشخصه‌های آب و هوائی شامل درجه حرارت، رطوبت‌نسبی و تابش خورشید، مشخصه‌های خاک و زمین‌نما برای کشت آبی آفتابگردان، سویا، کلزا و کنجد با روش پارامتریک ریشه دوم بر پایه رابطه ۱، با استفاده از نرم‌افزار ارزیابی تناسب اراضی تهیه شده در موسسه تحقیقات خاک و آب و با توجه به جدول‌های نیازمندی‌های اقلیم، خاک و زمین‌نمای محصولات ذکر شده (سیدجلالی و همکاران، ۲۰۱۹) مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس نقشه‌های تناسب اراضی در محیط GIS تهیه شدند.

$$LSI = R_{min}\sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \cdots} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق: LSI؛ شاخص تناسب اراضی، R_{min} درجه حداقل، A،B و ... درجات مربوط به سایر مشخصه‌ها می‌باشد.

ارزیابی دقت محاسبات انجام شده

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی برای محصولات مورد بررسی، مقادیر مشخصه‌های استفاده شده در محاسبه شاخص تناسب اراضی مورد تجزیه آماری قرار گرفت. برای این منظور تجزیه واریانس چندمتغیره بر پایه آزمون لامبدای ویلکس برای بررسی اختلاف کلاس‌های تناسب اراضی انجام شد. آزمون لامبدای ویلکس، معمول‌ترین و رایج‌ترین آزمون برای بررسی اختلاف آماری بین گروهی است. هر چه مقدار ارزش آماره این آزمون به صفر نزدیک باشد نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های مورد بررسی و برعکس هر چه به یک نزدیک‌تر شود دلالت بر عدم تفاوت مشخصه‌ها بین گروه‌ها می‌باشد (مک‌کلاو و سینسیچ، ۲۰۱۲). همچنین برای بررسی اثرات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی، آزمون لِون[2] و مقایسه میانگین بر پایه آزمون LSD[3] انجام شد.

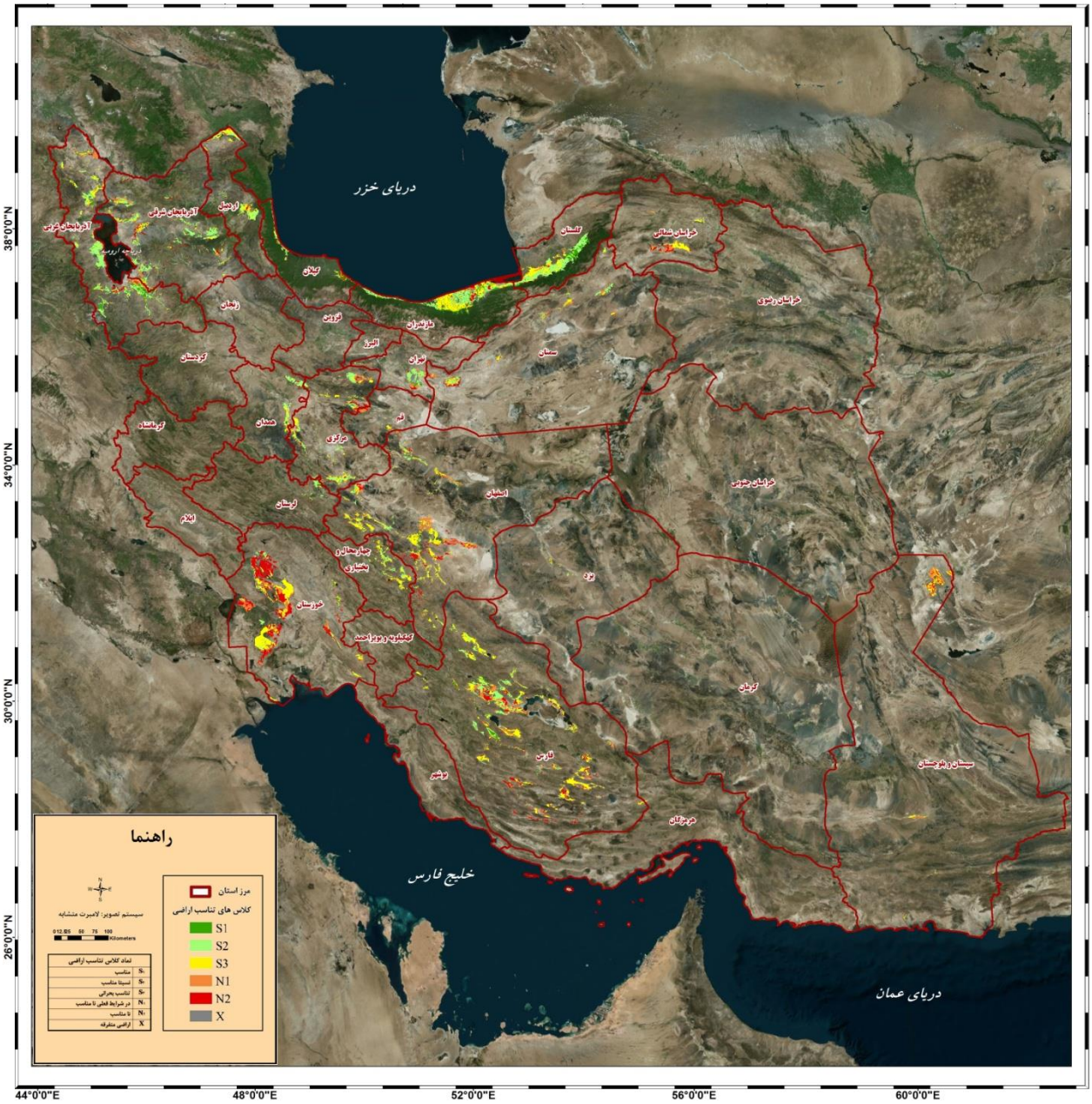
[1] Agro-Climatic Zones
[2] Leven
[3] Least significant difference

نتایج و بحث

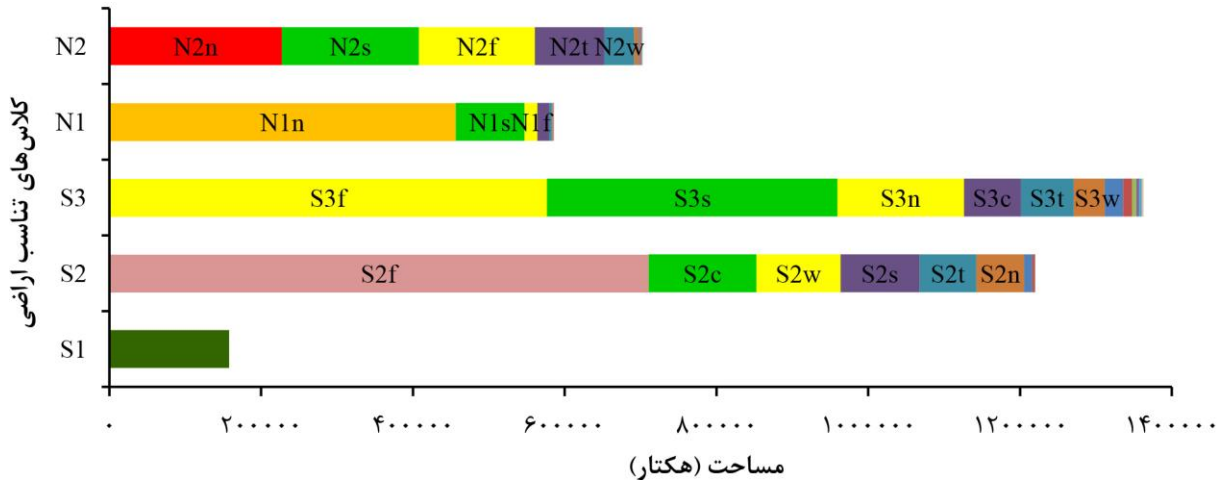
آفتابگردان

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

برای ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت آبی آفتابگردان در اراضی ۷۳۰۱ واحد خاک به مساحت چهار میلیون هکتار از دشت‌های آبی کشور، مشخصه‌های دارای محدودیت، شامل شیب، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، pH، EC، ESP و اقلیم انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های ذکر شده با اعمال ضرایب وزنی عمق استخراج شده و با استفاده از جدول‌های نیازمندی‌ها (اقلیم، خاک و زمین‌نما) به درجه تبدیل شد، سپس شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک مورد بررسی، محاسبه گردید. پس از انجام محاسبات ارزیابی تناسب اراضی، کلاس تناسب اراضی در واحدهای نقشه تعیین شد که توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی آفتابگردان در دشت‌های آبی کشور در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که حدود ۱۵۸ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۱/۲ میلیون هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۱/۳۶ میلیون هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۵۸۵ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۷۰۲ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی آفتابگردان می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۱- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی آفتاب‌گردان در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۲- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای آفتاب‌گردان

با توجه به شکل ۲ و نتایج به‌دست آمده، در کلاس تناسب S2 بیشترین وسعت اراضی دشت‌های آبی کشور برای کشت آفتابگردان با عامل حاصلخیزی pH خاک محدود شده‌اند و عوامل محدودکننده دیگر به ترتیب اقلیم (متوسط دما در سیکل رشد)، زهکشی، مشخصه‌های فیزیکی خاک شامل بافت خاک و آهک، شیب، شوری و قلیائیت می‌باشند. محدودیت‌های کلاس تناسب S3 در دشت‌های آبی کشور برای کشت آفتابگردان به ترتیب مشخصه‌های pH خاک، بافت و آهک بیشترین وسعت و شوری و قلیائیت خاک، اقلیم (متوسط دما و رطوبت نسبی در سیکل رشد)، شیب و سیلگیری در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در کلاس تناسب N1 شوری و قلیائیت بیشترین وسعت اراضی واقع شده در این کلاس را محدود کرده‌اند. پارامترهای شوری و قلیائیت، بافت و در برخی واحدها مقدار آهک و گچ خاک، pH خاک و شیب مهمترین عوامل محدودکننده کلاس N2 بوده که وسعت زیادی از اراضی قرار گرفته در این کلاس برای کشت آبی آفتابگردان توسط شوری و قلیائیت و بافت محدود شده است.

تحلیل آماری نتایج

تجزیه واریانس چندمتغیره[1] بین کلاس‌های تناسب اراضی برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب، با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه انجام شد، آزمون چندمتغیره ذکر شده در تحقیقاتی برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های حاصلخیزی در نقشه حاصلخیزی خاک (دواتگر و همکاران، ۲۰۱۲؛ تریپاتی و همکاران، ۲۰۱۵ و بیهرا و همکاران، ۲۰۱۸)، دقت واحدهای نقشه خاک تفکیک شده (اسفندیارپور بروجنی و همکاران، ۲۰۱۰) و کلاس‌های تناسب اراضی تفکیک شده برای محصولات (سیدمحمدی و همکاران، ۲۰۱۹؛ نویدی و همکاران، ۱۴۰۱، سیدمحمدی و همکاران، ۱۴۰۱) استفاده شده است. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره با توجه به مقدار آزمون لامبدای ویلکس در سطح احتمال ۹۵ درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P value<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشته و تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است (جدول ۱)، مقدار آماره آزمون لامبدای ویلکس هر چقدر به صفر نزدیک باشد نشان دهنده اختلاف بیشتر بین گروه‌های (در این پژوهش کلاس‌های

[1]Multivariate analysis of variance (MANOVA)

تناسب اراضی) مورد بررسی است. همچنین همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون لِوِن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲)، نتایج مشخص کرد که مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند یعنی بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته که نشان‌دهنده دقیق بودن تفکیک کلاس‌ها از نظر آزمون لِوِن می‌باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی آفتاب‌گردان (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۳۶	۲۷۳/۹	۳۶	۲۷۳۱۳	<۰/۰۰۰۱

جدول ۲- نتایج آزمون لِوِن برای بررسی واریانس خطای ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب آفتاب‌گردان

مشخصات	F	df1	df2	P-value
شیب	۵۶۳/۹	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۱۴۷/۲	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
بافت	۶۶۶/۶	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
آهک	۱۷۰	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
گچ	۴۰۲/۳	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۳۴/۴	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
شوری	۳۷۰/۶	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۱۳۳۶/۴	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱
اقلیم	۲۲۱/۷	۴	۷۲۹۶	<۰/۰۰۰۱

بررسی اثرات مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده برای کشت آبی آفتابگردان در سطح کشور نشان می‌دهد که همه مشخصه‌های مورد بررسی دارای اثرات معنی‌دار قاطع با احتمال بیش از ۹۹ درصد بوده‌اند (جدول ۳). برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD[1] در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۴). لازم به ذکر است که برای مقایسه میانگین با توجه به کیفی بودن ویژگی‌های سیلگیری، زهکشی و چند مشخصه بودن بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه) و اقلیم (شامل دما، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی) از مقادیر درجه[2] استخراج شده برای این مشخصه‌ها استفاده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به مشخصه‌های مورد بررسی به‌ویژه آهک و اقلیم می‌باشد. همچنانکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود مقادیر مشخصه‌های محدودکننده (دارای اثر منفی در کشت و توسعه محصول) شامل زهکشی، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، pH، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و درجه‌شان کاهش یافته است.

[1] Least Significant Difference

[2] Rating

جدول ۳- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب آفتاب‌گردان

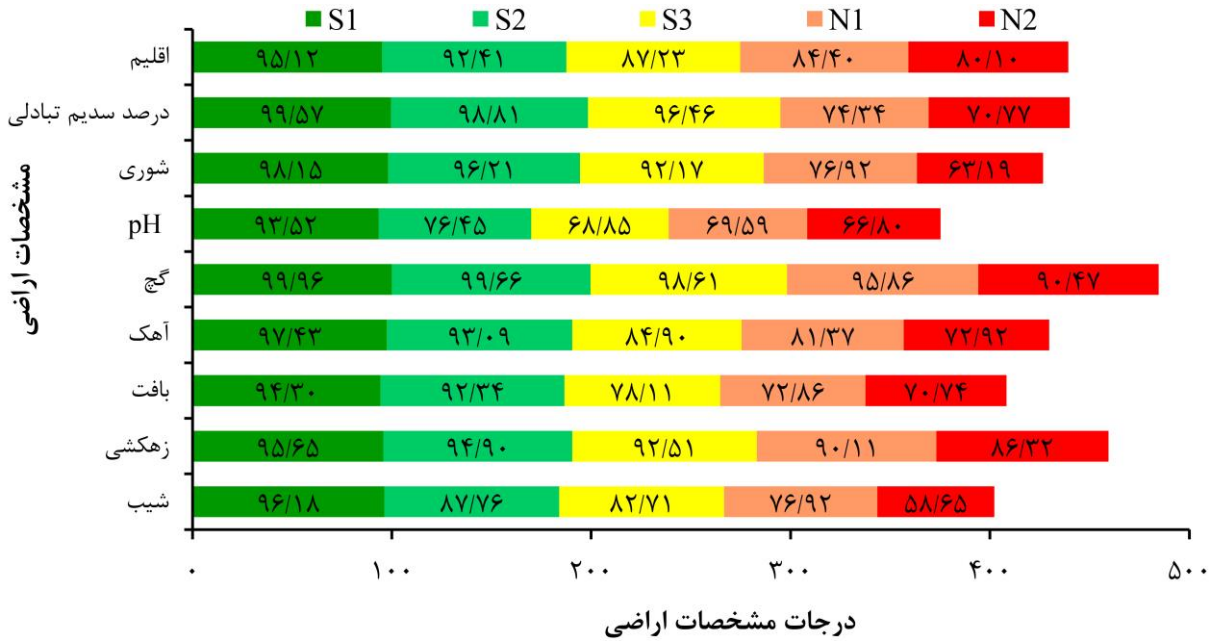
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	شیب	۷۴۷۷/۷	۴	۱۸۶۹/۴	۳۱۴/۸	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۳۳۱۹۴	۴	۸۲۹۸/۵	۴۵/۱	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۴۶۲۴۶۸/۵	۴	۱۱۵۶۱۷/۱	۲۸۰/۷	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۲۶۵۲۶۳	۴	۶۶۳۱۵/۸	۲۱۵/۳	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۱۳۴۰۰/۸	۴	۳۳۵۰/۲	۱۲۰/۵	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۱۵۰/۸	۴	۳۷/۷	۲۵۰/۷	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۲۳۹۵۳۲/۸	۴	۵۹۸۸۳/۲	۱۷۵/۹	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۳۱۲۹۲۳/۹	۴	۷۸۲۳۰/۹	۳۳۴/۹	<۰/۰۰۰۱
	اقلیم	۷۲۱۹۲/۴	۴	۱۸۰۴۸/۱	۱۰۷/۶	<۰/۰۰۰۱

جدول ۴- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای آفتاب‌گردان

کلاس	شیب (٪)	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	واکنش خاک	شوری(dSm^{-1})	سدیم تبادلی(%)	اقلیم
S1	۰/۷^{e}	۹۵/۶^{a}	۹۴/۳^{a}	۸/۸^{e}	۰/۰۱^{c}	۶/۹۷^{d}	۰/۷^{d}	۰/۷^{d}	۹۵/۱^{a}
S2	۱/۶^{d}	۹۴/۹^{a}	۹۲/۳^{a}	۱۹/۱^{d}	۰/۱۱^{c}	۷/۶۱^{c}	۱/۲^{d}	۱/۴^{d}	۹۲/۴^{b}
S3	۲/۱^{c}	۹۲/۵^{b}	۷۸/۱^{b}	۲۹/۱^{c}	۰/۴۳^{c}	۷/۷۹^{b}	۲/۴^{c}	۲/۷^{c}	۸۷/۳^{c}
N1	۲/۷^{b}	۹۰/۱^{c}	۷۲/۹^{c}	۳۱/۲^{b}	۱/۹۳^{b}	۷/۷۹^{b}	۱۱^{b}	۱۲/۸^{b}	۸۴/۴^{d}
N2	۳/۹^{a}	۸۶/۳^{d}	۷۰/۷^{d}	۳۴/۳^{a}	۳/۳۲^{a}	۷/۸۵^{a}	۱۴/۵^{a}	۱۵/۵^{a}	۸۰/۱^{e}

*برای خصوصیات زهکشی، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

مقایسه مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی با توجه به شکل ۳ نشان می‌دهد که در کلاس تناسب S2 شدت محدودکنندگی مشخصه‌های اسیدیته و شیب، در کلاس تناسب S3، اسیدیته و بافت خاک، کلاس تناسب N1 به ترتیب شوری، اسیدیته، بافت و قلیائیت و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای شیب، اسیدیته، بافت خاک، آهک، شوری و قلیائیت از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود اسیدیته خاک در همه کلاس‌های تناسب برای کشت آفتاب‌گردان دارای محدودیت بوده و نشان دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه ذکر شده می‌باشد که مدیریت ویژه‌ای بایستی اعمال گردد.

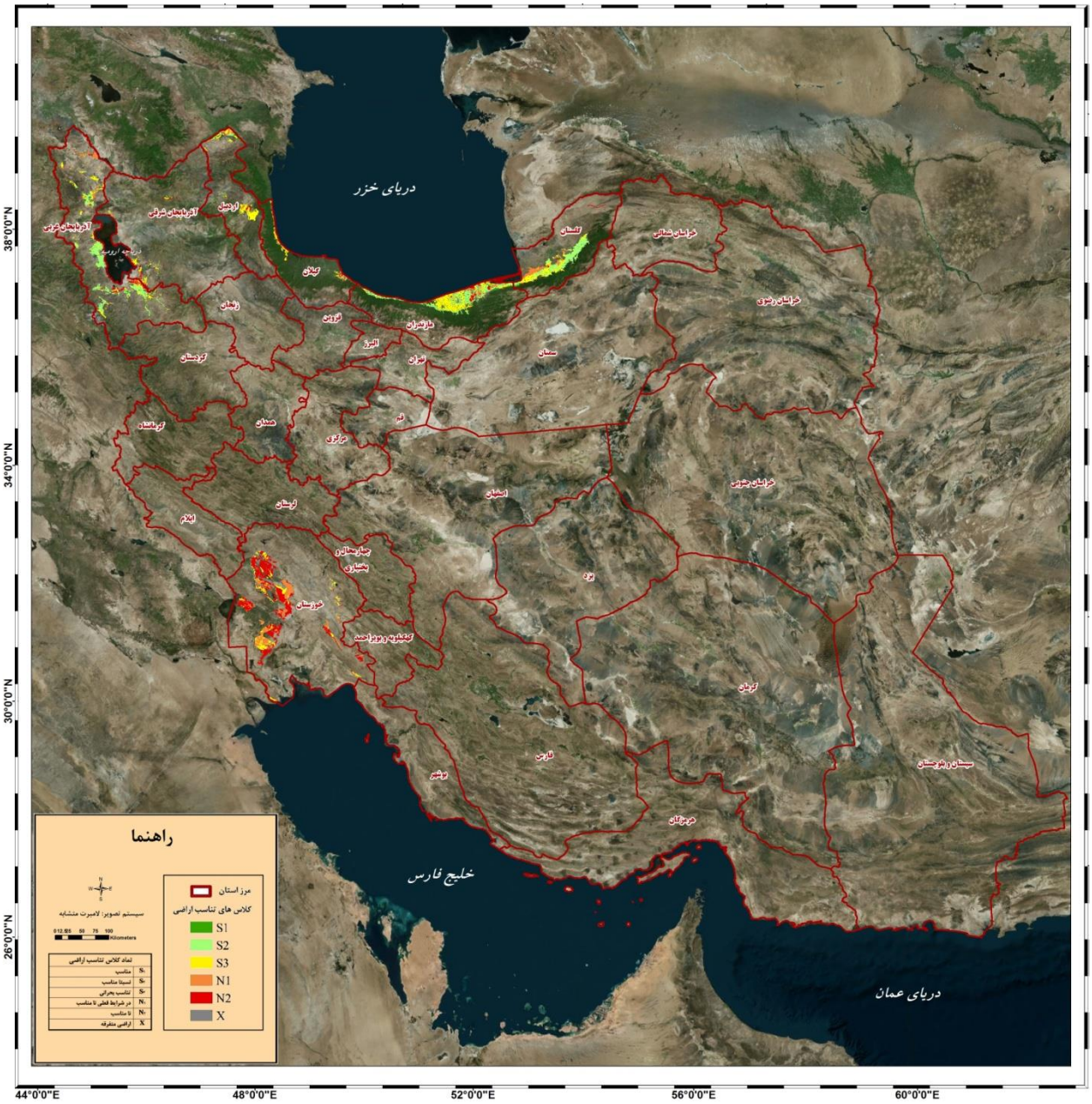


شکل ۳- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای آفتاب‌گردان

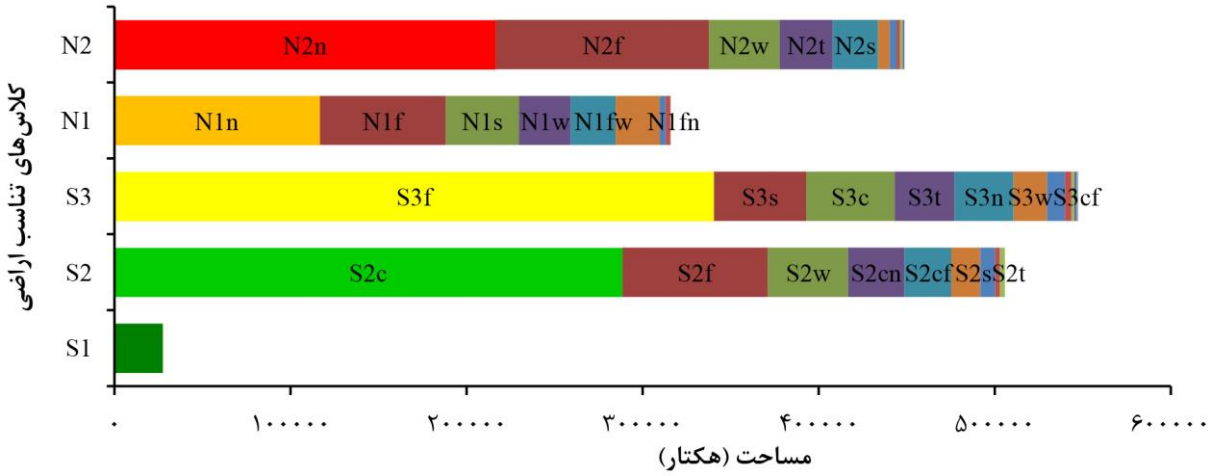
سویا

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

مشخصه‌های دارای محدودیت، شامل شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، pH، CEC، کربن آلی، EC، ESP و اقلیم برای ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت آبی سویا در ۲۶۰۰ واحد خاک از اراضی دشت‌های آبی کشور، انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های خاک در واحدهای خاک به مساحت حدود ۱/۸ میلیون هکتار با اعمال ضرایب وزنی عمق خاک استخراج گردیده سپس با استفاده از جدول‌های نیازمندی‌ها به درجه تبدیل شد، و در نهایت شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک مورد بررسی، محاسبه گردید. پس از انجام محاسبات ارزیابی تناسب اراضی، کلاس تناسب اراضی در واحدهای نقشه تعیین شد که توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی سویا در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که ۲۷ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۵۰۰ هزار هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۵۴۸ هزار هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۳۱۶ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۴۵۰ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی سویا می‌باشند (شکل ۵).



شکل ۴- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی سویا در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۵- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای سویا

همچنانکه در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، بیشترین وسعت اراضی مورد بررسی برای کشت آبی سویا در کلاس تناسب S2 با عوامل اقلیمی محدود شده‌اند که این عوامل شامل رطوبت نسبی و ساعات آفتابی می‌باشند. فاکتورهای محدودکننده دیگر در این کلاس شامل کربن آلی، زهکشی و شوری می‌باشند. در کلاس تناسب S3، محدودکننده‌ترین پارامتر با بیشترین مساحت، کربن‌آلی خاک بوده و مشخصه‌های بافت، رطوبت نسبی، ساعات افتابی، شیب و شوری و قلیائیت خاک در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در کلاس‌های N1 و N2 شوری و قلیائیت وسعت زیادی از اراضی را برای کشت آبی سویا محدود کرده است. عامل محدودکننده دیگر در کلاس N1 کربن آلی خاک و در کلاس N2، pH خاک می‌باشد. مشخصه‌های بافت، زهکشی و شیب در مراتب بعدی قرار دارند.

تحلیل آماری نتایج

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب، با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه، تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره با توجه به آزمون لامبدای ویلکس در سطح احتمال ۹۵ درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P value<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشته (جدول ۵) و تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است. همچنین آزمون لِون برای بررسی همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی استفاده شد (جدول ۶)، که بر اساس نتایج آزمون، مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند این بدان معنی است که بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته و تفکیک کلاس‌ها با دقت انجام شده است.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی سویا (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۲۸	۸۲/۲	۴۸	۹۹۵۵	<۰/۰۰۰۱

جدول ۶- نتایج آزمون لِون برای بررسی واریانس خطای ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب سویا

مشخصات	F	df1	df2	P-value
اقلیم	۳۱/۸	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
شیب	۸۳۲/۰۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
سیلگیری	۹۳/۲	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۱۱۸/۴	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
بافت	۱۰۶	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
آهک	۷۶/۴	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
گچ	۷۲/۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری	۳۱/۷	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۱۱/۴	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
کربن آلی	۴/۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
شوری	۱۶۲/۹	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۴۳۲/۵	۴	۲۵۹۵	<۰/۰۰۰۱

بررسی اثرات مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده برای کشت آبی سویا در اراضی مورد بررسی نشان می‌دهد که همه مشخصه‌های مورد بررسی دارای اثرات معنی‌دار قاطع با احتمال بیش از ۹۹ درصد بوده‌اند (جدول ۷). برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میان مشخصه‌های مورد بررسی کربن‌آلی، شیب، آهک و اقلیم بین همه کلاس‌های تناسب اراضی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. شوری و قلیائیت خاک بین کلاس‌های S1، S2 و S3 اختلافشان معنی‌دار نشده و بیشترین اثرگذاری این دو فاکتور در کلاس‌های نامناسب N1 و N2 بوده است. با توجه به جدول ۸، مقادیر مشخصه‌های دارای اثر منفی در کشت و توسعه محصول شامل سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، اسیدیته، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و درجه‌شان کاهش یافته است.

جدول ۷- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب سویا

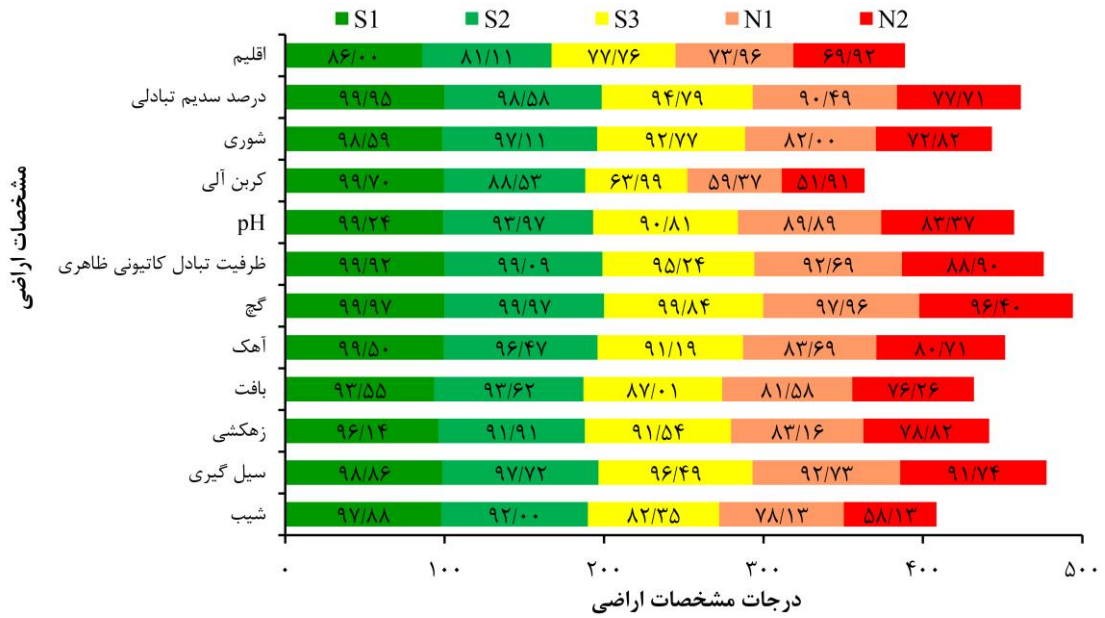
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	اقلیم	۳۳۴۸۶/۴	۴	۸۳۷۱/۶	۶۳/۲	<۰/۰۰۰۱
	شیب	۲۶۰۸/۱	۴	۶۵۲	۱۴۷/۳	<۰/۰۰۰۱
	سیلگیری	۱۵۴۷۱/۲	۴	۳۸۶۷/۸	۲۱/۲	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۴۳۹۲۹/۶	۴	۱۰۹۸۲/۴	۳۳	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۶۹۳۹۹/۹	۴	۱۷۳۴۹/۹	۵۵/۴	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۱۰۵۲۴۹/۳	۴	۲۶۳۱۲/۳	۱۰۰/۲	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۳۰۷۸/۷	۴	۷۶۹/۷	۱۹/۹	<۰/۰۰۰۱
	ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری	۹۶۰۱۱۲	۴	۲۴۰۰۲۸	۸۹/۸	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۳۹/۶	۴	۹/۹	۴۳/۶	<۰/۰۰۰۱
	کربن آلی	۲۶۳/۳	۴	۶۵/۸	۵۸/۹	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۷۸۳۲۴/۲	۴	۱۹۵۸۱	۶۹/۷	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۱۰۸۱۱۶/۲	۴	۲۷۰۲۹	۱۲۳/۷	<۰/۰۰۰۱

جدول ۸- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای سویا

کلاس	شیب (٪)	سیلگیری	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری	واکنش خاک	کربن آلی(٪)	شوری (dSm^{-1})	سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	۰/۴^{e}	۹۸/۸^{a}	۹۶/۱^{a}	۹۳/۵^{a}	۳^{e}	۰/۰۵^{c}	۱۴۲^{a}	۷/۰۷^{d}	۲/۴^{a}	۰/۶^{d}	۰/۰۸^{d}	۸۶^{a}
S2	۱/۲^{d}	۹۷/۷^{a}	۹۱/۹^{b}	۹۳/۶^{a}	۱۲/۳^{d}	۰/۰۶^{c}	۸۷/۸^{b}	۷/۴۳^{c}	۱/۷^{b}	۱/۱^{d}	۰/۷^{d}	۸۱/۱^{b}
S3	۱/۹^{c}	۹۶/۵^{a}	۹۱/۵^{b}	۸۷^{b}	۲۰/۹^{c}	۰/۲۶^{c}	۷۴^{c}	۷/۶۶^{b}	۱^{c}	۲/۹^{c}	۲/۸^{c}	۷۷/۷^{c}
N1	۲/۶^{b}	۹۲/۷^{b}	۸۳/۱^{c}	۸۱/۶^{c}	۲۶/۶^{b}	۱/۸۶^{b}	۶۴^{d}	۷/۶۹^{b}	۰/۷^{d}	۷/۲^{b}	۵/۸^{b}	۷۳/۹^{d}
N2	۳/۸^{a}	۹۱/۷^{b}	۷۸/۸^{d}	۷۶/۳^{d}	۳۱/۱^{a}	۲/۶^{a}	۶۲^{d}	۷/۷۸^{a}	۰/۳^{e}	۱۳/۶^{a}	۱۶/۱^{a}	۶۹/۹^{e}

*برای خصوصیات زهکشی، سیل‌گیری، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

بررسی مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی در شکل ۶ نشان می‌دهد که شدت محدودکنندگی مشخصه‌های اقلیم و کربن‌آلی در کلاس‌های تناسب S2 و S3، در کلاس تناسب N1، کربن‌آلی، اقلیم، شیب، بافت و آهک و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای کربن‌آلی، شیب، شوری، اقلیم و قلیائیت از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود کربن‌آلی خاک و خصوصیات اقلیمی از جمله رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در همه کلاس‌های تناسب برای کشت سویا دارای محدودیت بوده و نشان دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه‌های ذکر شده می‌باشد که در نظر گرفتن این موارد و بهبود آن‌ها به ویژه کربن‌آلی خاک در جهت مدیریت ویژه محصول در کلاس‌های تناسب باعث افزایش عملکرد خواهد شد.

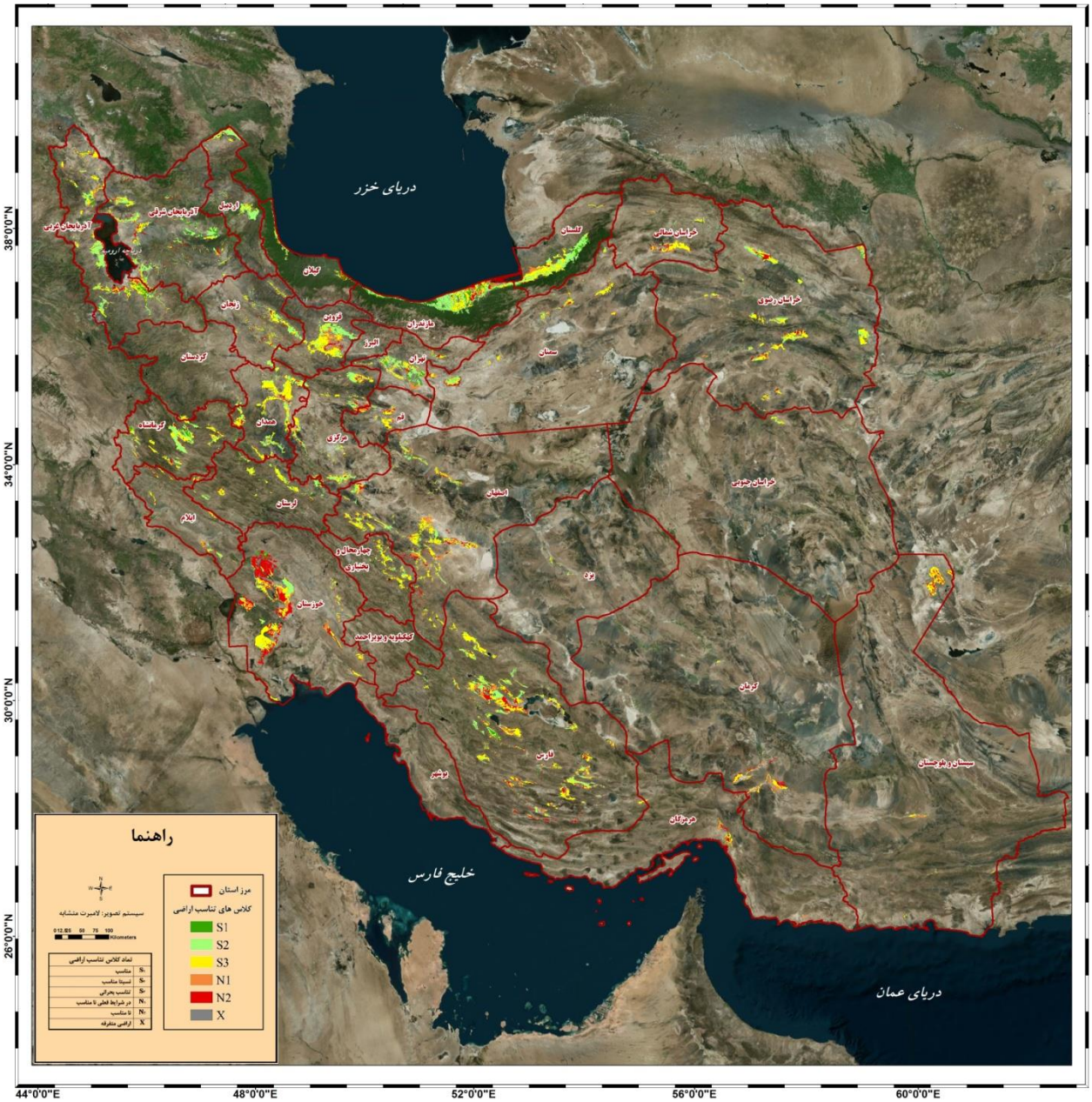


شکل ۶- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای سویا

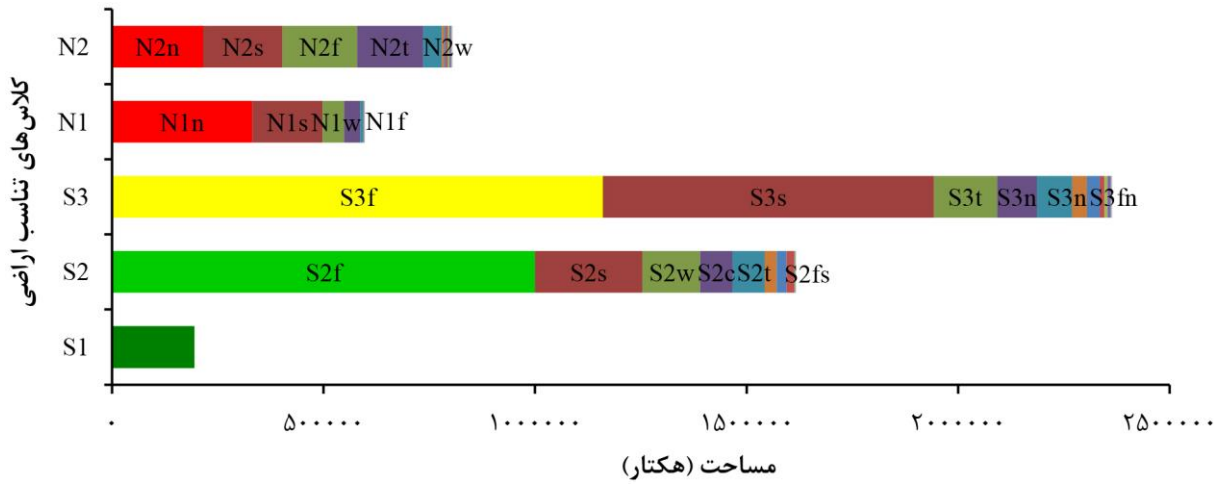
کلزا

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

برای ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت آبی کلزا در اراضی ۱۰۲۱۰ واحد خاک به وسعت ۵/۵ میلیون هکتار در دشت‌های آبی کشور، مشخصه‌های دارای محدودیت، شامل اقلیم، شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، اسیدیته، EC و ESP انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های ذکر شده با اعمال ضرایب وزنی عمق خاک استخراج گردیده، با تعیین درجه بر اساس جدول‌های نیازمندی‌ها، شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک، محاسبه گردید. پس از مشخص شده کلاس تناسب اراضی در واحدهای خاک، نقشه تناسب تهیه شده که در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که ۱۹۵ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۱/۶ میلیون هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۲/۴ میلیون هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۵۹۶ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۸۰۴ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی کلزا می‌باشند (شکل ۸).



شکل ۷- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی کلزا در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۸- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای کلزا

با توجه به شکل ۸ و نتایج به‌دست آمده، در کلاس تناسب S2 بیشترین وسعت اراضی دشت‌های آبی کشور برای کشت کلزا با عامل حاصلخیزی یعنی pH خاک محدود شده‌اند و عوامل محدودکننده دیگر به ترتیب خصوصیات فیزیکی شامل بافت و آهک، زهکشی، اقلیم (متوسط دما در زمان گلدهی) و شیب می‌باشند. بیشترین مساحت محدود شده در کلاس تناسب S3 مربوط به فاکتورهای pH، بافت و آهک بوده و باقی اراضی قرار گرفته در این کلاس توسط پارامترهای شیب، شوری و قلیائیت و زهکشی محدود شده‌اند. شوری و قلیائیت وسعت زیادی از اراضی قرار گرفته در کلاس N1 را محدود کرده و بافت خاک و زهکشی در مراتب بعدی قرار گرفته‌اند. در کلاس تناسب N2 شوری و قلیائیت، بافت، pH و شیب بیشترین وسعت اراضی واقع شده در این کلاس را محدود کرده‌اند.

تحلیل آماری نتایج

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب، با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه، تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی انجام شد. نتایج مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۹) بنابراین با توجه به تجزیه آماری فوق، می‌توان گفت که تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است. بررسی همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون لِوِن نشان داد (جدول ۱۰) که مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند یعنی بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته که نشان‌دهنده دقیق بودن تفکیک کلاس‌ها می‌باشد.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی کلزا (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۳۴	۳۲۱/۴	۴۰	۳۸۶۶۳	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۰- نتایج آزمون لِوِن برای بررسی واریانس خطای ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب کلزا

مشخصات	F	df1	df2	P-value
اقلیم	۷۰	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
شیب	۹۶۸/۳	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
سیلگیری	۱۷۴/۲	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۲۲۷/۹	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
بافت	۱۳۱۵	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
آهک	۱۹۹/۲	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
گچ	۲۵۱/۶	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۵۷/۳	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
شوری	۵۵۴/۶	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۱۱۵۵/۵	۴	۱۰۲۰۵	<۰/۰۰۰۱

با توجه به جدول ۱۱، همه مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم دارای اثرات معنی‌دار قاطع با احتمال بیش از ۹۹ درصد بر روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده بوده‌اند. برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۱۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میان مشخصه‌های مورد بررسی شیب، بافت و آهک بین همه کلاس‌های تناسب اراضی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. همچنانکه در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود مقادیر مشخصه‌های دارای اثر منفی در رشد و توسعه محصول کلزا شامل سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، pH، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و مقدار درجه‌شان کاهش یافته است.

جدول ۱۱- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب اراضی برای کلزا

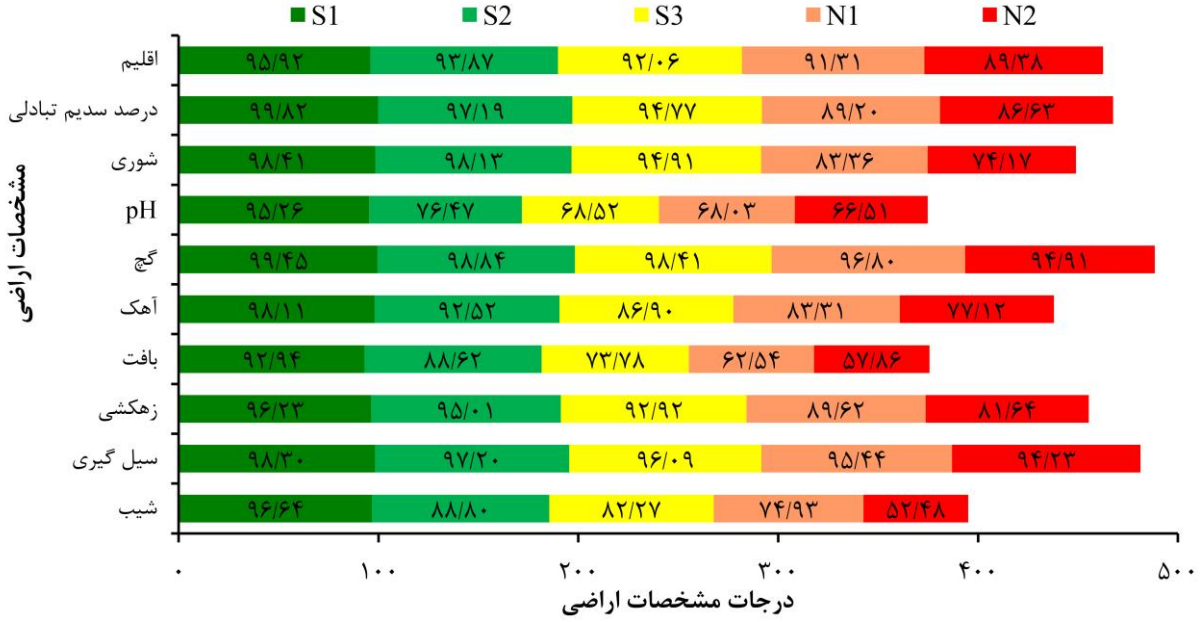
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	اقلیم	۷۹۹۶/۵	۴	۱۹۹۹/۱	۳۱/۳	<۰/۰۰۰۱
	شیب	۱۳۳۴۷/۵	۴	۳۳۳۶/۹	۶۲۸/۸	<۰/۰۰۰۱
	سیلگیری	۱۲۰۴۰/۴	۴	۳۰۱۰	۴۴/۵	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۴۶۰۷۶/۵	۴	۱۱۵۱۹/۱	۷۱/۷	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۱۱۰۰۰۳۸	۴	۲۷۵۰۰۹/۵	۶۴۳/۶	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۱۸۵۵۱۴/۷	۴	۴۶۳۷۸/۷	۱۶۰/۱	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۷۷۷۲/۴	۴	۱۹۴۳/۱	۸۰/۲	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۲۰۱/۵	۴	۵۰/۴	۳۵۸/۴	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۲۶۰۲۷۲/۸	۴	۶۵۰۶۸/۲	۲۲۰/۲	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۲۴۲۲۲۹/۵	۴	۶۰۵۵۷/۴	۲۶۹/۳	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۲- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای کلزا

کلاس	شیب (٪)	سیلگیری	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	واکنش خاک	شوری(dSm^{-1})	سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	۰/۶^{e}	۹۸/۳^{a}	۹۶/۲^{a}	۹۲/۹^{a}	۶/۵^{e}	۰/۱۸^{d}	۶/۸۵^{d}	۱/۱^{d}	۰/۵۴^{e}	۹۵/۹^{a}
S2	۱/۵^{d}	۹۷/۲^{a}	۹۵^{a}	۸۸/۶^{b}	۲۰/۷^{d}	۰/۳۰^{d}	۷/۶۲^{c}	۱/۵^{d}	۲/۱^{d}	۹۳/۸^{b}
S3	۲/۱^{c}	۹۶/۱^{b}	۹۲/۹^{b}	۷۳/۸^{c}	۲۷/۱^{c}	۰/۹۴^{c}	۷/۸۱^{b}	۲/۶^{c}	۳/۸^{c}	۹۲^{c}
N1	۲/۹^{b}	۹۵/۴^{c}	۸۹/۶^{c}	۶۲/۵^{d}	۲۸/۹^{b}	۲/۱^{b}	۷/۸۳^{b}	۱۱/۸^{b}	۱۰/۲^{b}	۹۱/۳^{d}
N2	۴/۴^{a}	۹۴/۲^{d}	۸۱/۲^{d}	۵۷/۹^{e}	۳۰/۸^{a}	۳/۷^{a}	۷/۸۶^{a}	۱۳/۹^{a}	۱۳/۸^{a}	۸۹/۳^{e}

*برای خصوصیات سیل‌گیری، زهکشی، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

بررسی مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی ارائه شده در شکل ۹، نشان می‌دهد که شدت محدودکنندگی مشخصه‌های pH در کلاس تناسب S2، pH، بافت و شیب در کلاس تناسب S3، در کلاس تناسب N1، بافت، pH و شیب و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای شیب، بافت، pH شوری و آهک از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود pH و بافت خاک در همه کلاس‌های تناسب برای کشت کلزا دارای محدودیت بوده و نشان‌دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه‌های ذکر شده می‌باشد که در نظر گرفتن این موارد و بهبود آن‌ها به ویژه pH خاک در کلاس‌های تناسب باعث افزایش عملکرد خواهد شد.

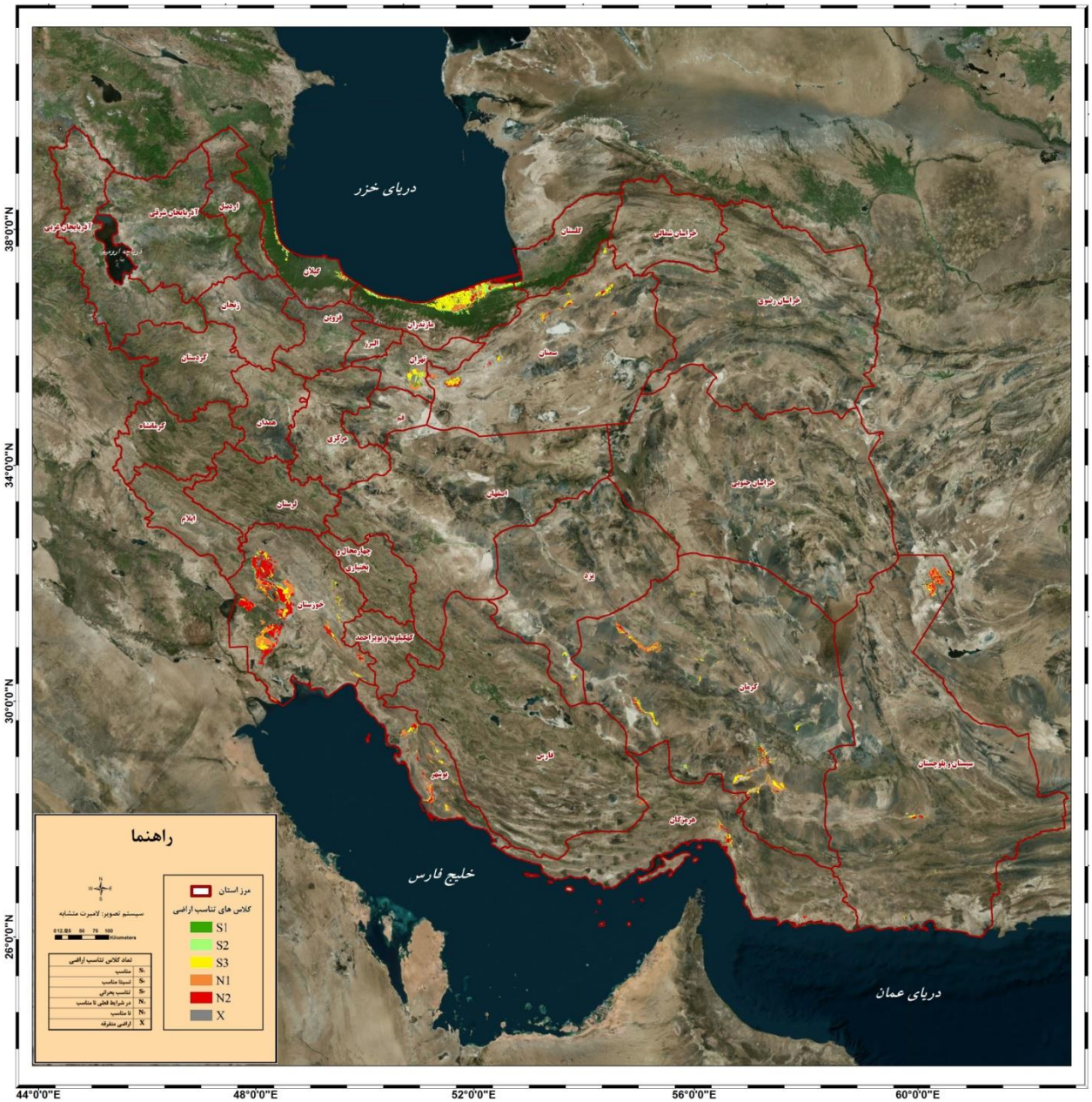


شکل ۹- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای کلزا

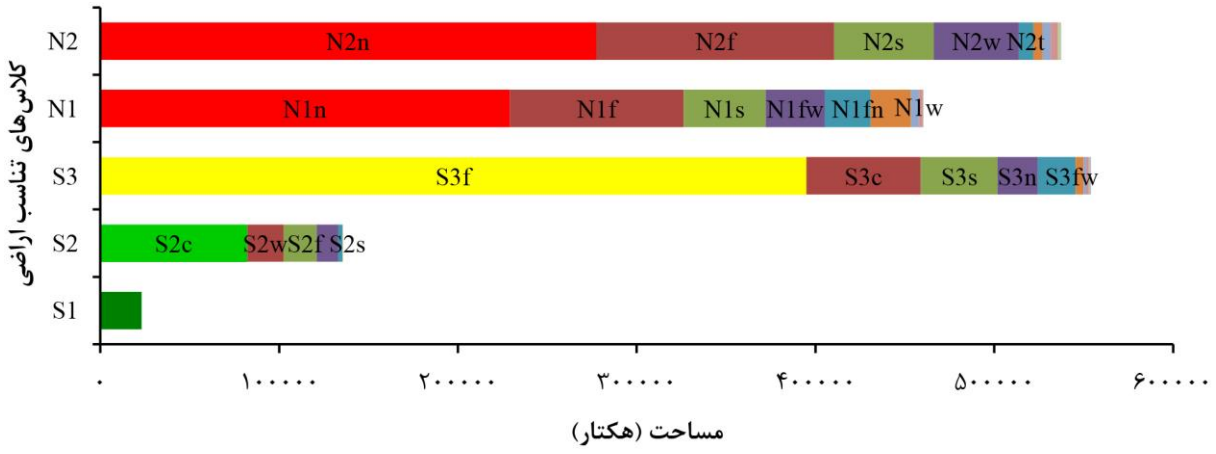
کنجد

تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

مشخصه‌های اقلیم، شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگریزه)، آهک، گچ، pH، کربن‌آلی، EC و ESP جهت کشت آبی کنجد دارای محدودیت بودند که برای ارزیابی تناسب اراضی در ۲۵۶۲ واحد خاک از اراضی دشت‌های آبی کشور، انتخاب شدند. مقادیر مشخصه‌های خاک در واحدهای خاک به مساحت حدود ۱/۷ میلیون هکتار با اعمال ضرایب وزنی عمق خاک استخراج گردیده، سپس با استفاده از جدول‌های نیازمندی‌ها به درجه تبدیل شد و در نهایت شاخص تناسب اراضی در همه واحدهای خاک مورد بررسی، محاسبه و کلاس تناسب تعیین گردید که توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی کنجد در شکل ۱۰ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که ۲۳ هزار هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس تناسب زیاد (S1)، ۱۳۵ هزار هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس تناسب متوسط (S2)، ۵۵۴ هزار هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت ۴۶۰ هزار هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و ۵۳۷ هزار هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی سویا می‌باشند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی کنجد در سطح دشت‌های آبی کشور



شکل ۱۱- مساحت کلاس‌های تناسب اراضی به همراه محدودیت‌های عمده برای کشت کنجد

همچنانکه در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد، در کلاس تناسب S2 بیشترین وسعت اراضی مورد مطالعه در دشت‌های آبی کشور برای کشت کنجد با عامل اقلیمی رطوبت نسبی در سیکل رشد محدود شده‌اند. عوامل محدودکننده زهکشی، pH و بافت در مراتب بعد قرار گرفته‌اند. در اراضی واقع شده در کلاس تناسب S3 برای کشت آبی کنجد، محدودکننده‌ترین عوامل از نظر بیشترین وسعت کربن‌آلی خاک و pH می‌باشند. در این کلاس عوامل محدودکننده دیگر به ترتیب اقلیم، بافت، آهک، شوری و قلیائیت و زهکشی می‌باشند. در کلاس‌های تناسب N1 و N2 بیشترین مساحت اراضی مورد بررسی توسط شوری و قلیائیت خاک محدود شده است. مشخصه‌های محدودکننده مؤثر بعدی در کلاس تناسب N1 به ترتیب pH، کربن‌آلی خاک، بافت، آهک و سیلگیری و در کلاس تناسب N2 به ترتیب pH، بافت، آهک، گچ و سیلگیری می‌باشند.

تحلیل آماری نتایج

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات مشخصه‌ها روی کلاس‌های تناسب جهت کشت آبی کنجد، تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به مقادیر مشخصه‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه انجام شد. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره بر پایه آزمون لامبدای ویلکس در سطح احتمال ۹۵ درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با P value<۰/۰۰۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشته و تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است (جدول ۱۳). همچنین بررسی همگنی مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون لِوِن مشخص کرد که مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند یعنی بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر مشخصه‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته که نشان‌دهنده دقیق بودن تفکیک کلاس‌ها از نظر آزمون لِوِن می‌باشد (جدول ۱۴).

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی کنجد (α=۰/۰۵)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	۰/۴۳	۵۴/۳	۴۴	۹۷۴۶	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۴- نتایج آزمون لِون برای بررسی واریانس خطای مشخصات بین کلاس‌های تناسب کنجد

مشخصات	F	df1	df2	P-value
اقلیم	۷۳/۳	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
شیب	۲۶/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
سیلگیری	۹۸/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
زهکشی	۶۸/۵	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
بافت	۹۲/۵	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
آهک	۳۱/۳	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
گچ	۶۶/۴	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
واکنش خاک	۱۸/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
کربن آلی	۱۱	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
شوری	۱۷۱/۸	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱
درصد سدیم تبادلی	۴۲۸/۹	۴	۲۵۵۷	<۰/۰۰۰۱

همه مشخصه‌های مورد بررسی برای کشت آبی کنجد دارای اثرات معنی‌دار با احتمال بیش از ۹۹ درصد روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده، بوده‌اند (جدول ۱۵). برای تعیین مهمترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۱۴) که نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به مشخصه‌های مورد بررسی به‌ویژه بین کلاس‌های مناسب و نامناسب می‌باشد. همچنانکه در جدول ۱۶ مشاهده می‌شود مقادیر مشخصه‌های محدودکننده رشد و توسعه گیاه شامل زهکشی، سیلگیری، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگریزه)، آهک، گچ، pH، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و درجه متناظرشان کاهش یافته است.

جدول ۱۵- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب کنجد

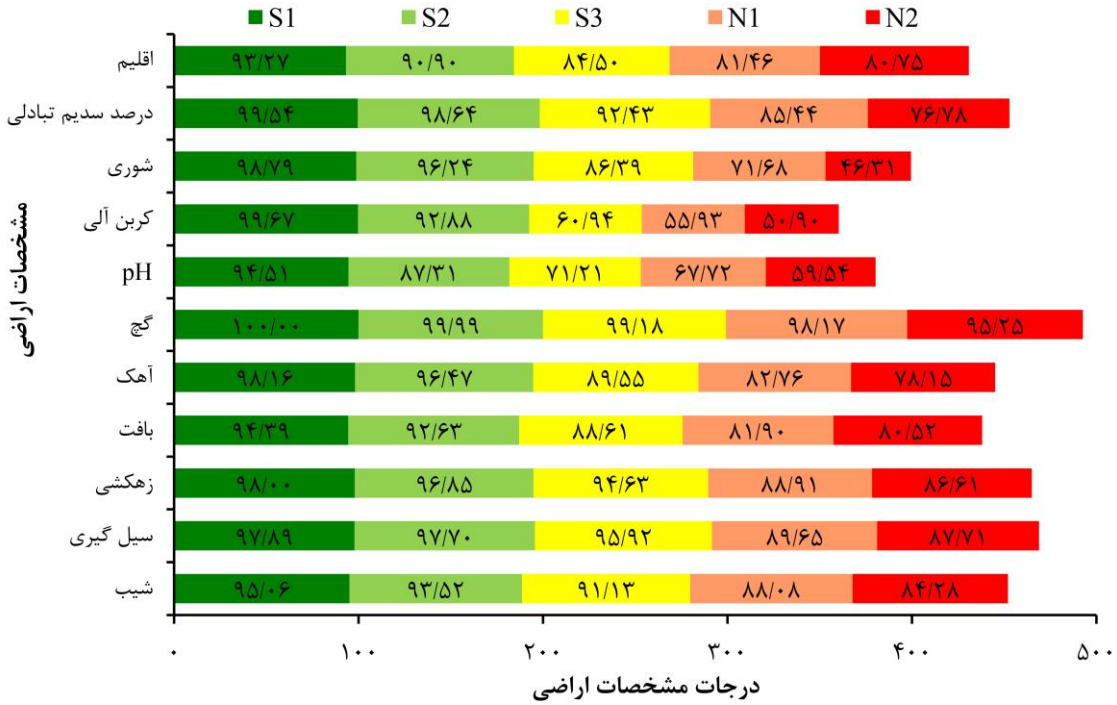
منبع	مشخصه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-Value
کلاس تناسب اراضی	اقلیم	۱۲۴۹۹/۵	۴	۳۱۲۴/۸	۳۱/۵	<۰/۰۰۰۱
	شیب	۴۹/۴	۴	۱۲/۳۵۹	۷/۷	<۰/۰۰۰۱
	سیلگیری	۲۵۲۶۶/۲	۴	۶۳۱۶/۵	۲۱/۲	<۰/۰۰۰۱
	زهکشی	۳۲۳۴۷/۹	۴	۸۰۸۶/۹	۲۳/۸	<۰/۰۰۰۱
	بافت	۳۲۳۷۸/۳	۴	۸۰۹۴/۶	۲۳/۶	<۰/۰۰۰۱
	آهک	۶۰۳۸۹/۳	۴	۱۵۰۹۷/۳	۴۰/۳	<۰/۰۰۰۱
	گچ	۵۱۵۸/۳	۴	۱۲۹۶	۲۰/۹	<۰/۰۰۰۱
	واکنش خاک	۱۴۸/۷	۴	۳۷/۲	۱۲۲	<۰/۰۰۰۱
	کربن آلی	۳۸۲/۹	۴	۹۵/۷	۷۵/۵	<۰/۰۰۰۱
	شوری	۲۸۶۱۲۱/۵	۴	۷۱۵۳۰/۴	۱۲۷/۸	<۰/۰۰۰۱
	درصد سدیم تبادلی	۱۱۳۱۱۶/۲	۴	۲۸۲۷۹/۱	۱۱۲/۷	<۰/۰۰۰۱

جدول ۱۶- مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=۰/۰۵)* برای کنجد

کلاس	شیب (٪)	سیلگیری	زهکشی	بافت	آهک (٪)	گچ (٪)	واکنش خاک	کربن آلی(٪)	شوری (dSm^{-1})	سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	۰/۹^{d}	۹۷/۹^{a}	۹۸^{a}	۹۴/۴^{a}	۵/۵^{e}	۰/۰۰۴^{d}	۶/۹۳^{d}	۲/۴^{a}	۰/۴۸^{d}	۰/۵۸^{d}	۹۳/۳^{a}
S2	۱/۰۳^{d}	۹۷/۷^{a}	۹۶/۸^{a}	۹۲/۶^{a}	۱۰/۴^{d}	۰/۰۲^{d}	۷/۱۲^{d}	۲/۲^{a}	۱/۰۹^{d}	۰/۷۳^{d}	۹۰/۹^{a}
S3	۱/۳^{c}	۹۵/۹^{a}	۹۴/۶^{a}	۸۸/۶^{b}	۲۱/۲^{c}	۰/۹۸^{c}	۷/۶۸^{c}	۰/۸۶^{b}	۳/۲۸^{c}	۲/۶۵^{c}	۸۴/۵^{b}
N1	۱/۵^{b}	۸۹/۶^{b}	۸۸/۹^{b}	۸۱/۹^{c}	۲۶/۷^{b}	۱/۹۶^{b}	۷/۸۲^{b}	۰/۶۱^{c}	۹/۴۸^{b}	۴/۲۵^{b}	۸۱/۴^{c}
N2	۱/۸^{a}	۸۷/۷^{b}	۸۶/۶^{c}	۸۰/۵^{c}	۲۹/۹^{a}	۳/۹۶^{a}	۸/۱^{a}	۰/۴۱^{d}	۲۵/۵۶^{a}	۱۵/۷۹^{a}	۸۰/۷^{c}

*برای خصوصیات زهکشی، سیل‌گیری، بافت و اقلیم از مقادیر درجات استفاده شده است.

با توجه به شکل ۱۲، مقایسه مقادیر متوسط درجات مشخصه‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی نشان می‌دهد که در کلاس تناسب S2 شدت محدودکنندگی مشخصه‌های اقلیم و pH، در کلاس تناسب S3، کربن‌آلی و pH خاک، کلاس تناسب N1 به ترتیب کربن‌آلی، pH، شوری، بافت و آهک و در نهایت در کلاس نامناسب N2 پارامترهای شوری، pH، کربن‌آلی، قلیائیت، بافت خاک و آهک از سایر مشخصه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنانکه ملاحظه می‌شود pH خاک در همه کلاس‌های تناسب غیر از S2 برای کشت کنجد دارای محدودیت بوده و نشان‌دهنده حساسیت این گیاه به مشخصه ذکر شده می‌باشد که مدیریت ویژه‌ای بایستی اعمال گردد.



شکل ۱۲- مقادیر متوسط درجات مشخصات اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت کنجد

تحلیل مشخصه‌های اراضی در ارتباط با عملکرد گیاهان دانه روغنی در استان‌های شاخص

مشخصه‌های خاک در برخی استان‌ها بر اساس سطح زیرکشت و عملکرد آبی محصولات مورد بررسی قرار گرفت. استان گلستان دارای بیشترین سطح زیرکشت آفتابگردان با وسعت حدود ۶۰۰ هکتار و حدود ۸۳۰ تن تولید می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱). عمده‌ترین مشخصه‌های محدودکننده اراضی در کلاس‌های تناسب S2 و S3 شامل مقدار pH، بافت، زهکشی و شوری می‌باشد. همچنین بررسی کلاس‌های تناسب N1 و N2 برای کشت آبی آفتابگردان مشخص کرد که مهمترین عوامل محدودکننده

شوری خاک و شیب می‌باشد بررسی واحدهای خاک با محدودیت اسیدیته نشان داد که خاک این واحدها دارای مقدار آهک قابل ملاحظه و در برخی موارد دارای قلیائیت بیشتر می‌باشد که دلیل افزایش مقدار pH در این خاک‌ها بوده و باعث نامناسب شدن این خاک‌ها برای کشت آبی آفتابگردان شده است، منشاء آهک خاک‌های این مناطق عمدتاً به موادمادری آهکی آن‌ها برمی‌گردد. وجود مقداری آهک در خاک جهت بهبود ساختمان و نفوذپذیری خاک ضروری بوده اما در صورت افزایش مقدار کربنات کلسیم معادل خاک، مشکلات تغذیه‌ای زیادی به طور عمده از نظر عناصر کم مصرف، به ویژه عناصر روی و آهن در این خاک‌ها، بوجود می‌آورد، دلیل اصلی آن اینست که آبکافت یون‌های کربنات باعث ایجاد یون‌های OH در محلول خاک شده و pH خاک را کنترل و افزایش می‌دهد (اسپوزیتو، ۲۰۱۶؛ بلییم، ۲۰۱۷). همچنین این اثر آبکافت از طریق یون‌های سدیم نیز یکی دیگر از دلایل زیاد بودن pH خاک می‌باشد. در خاک‌های خراسان شمالی که دومین تولیدکننده آفتابگردان با وسعت ۳۷۸ هکتار و ۵۰۵ تن می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱) محدودیت‌ها غالباً شوری و قلیائیت، شیب و pH خاک است. در استان آذربایجان غربی که پس از خراسان شمالی بیشترین وسعت و تولید آفتابگردان را دارد، ۲۷۵ هکتار و ۴۱۰ تن، محدودیت‌ها عمدتاً ناشی از pH، شوری، بافت خاک، آهک و شیب می‌باشد. در خاک‌های آذربایجان غربی دلیل افزایش اسیدیته خاک بیشتر به آهکی بودن خاک ارتباط دارد. بررسی مشخصه‌های خاک‌های خراسان شمالی نشان می‌دهد که سدیمی بودن خاک واحدهای دارای pH بیشتر محرز است. محدودیت‌های شوری و قلیائیت در خراسان شمالی بیشتر از آذربایجان غربی و گلستان می‌باشد.

در بسیاری از خاک‌های مورد بررسی این استان‌ها به‌ویژه خراسان شمالی برای کشت آفتابگردان، به دلیل شدت تبخیر و تعرق و سیلابی شدن آب‌های جاری در فصول با بارندگی زیاد که در درازمدت دلیل افزایش مقدار شوری و قلیائیت بوده و باعث افت شدید کیفیت و پتانسیل خاک‌ها غالباً در واحدهای خاک با کلاس تناسب N2 شده است. شوری می‌تواند در جذب مواد مغذی، فعالیت میکروبیولوژیکی، رشد محصول و عملکرد محصولات زراعی مؤثر باشد (ویل و بردی، ۲۰۱۶). طبق مطالعات انجام شده (مونز و تستر، ۲۰۰۸؛ بویر و همکاران، ۲۰۰۸) تنش شوری می‌تواند رشد و عملکرد محصول را با سه مکانیسم کاهش داد: (۱) مهار اسمزی برای بزرگ شدن سلول، (۲) عدم تعادل تغذیه‌ای در کاتیون‌های خاص مورد نیاز برای عملکرد عادی سلول‌ها از طریق یون‌های K^+، Ca^{++} و NO_3^- و (۳) جذب Na^+ و Cl^- در یک مسیر کنترل نشده توسط گیاه. علاوه بر این، سدیم زیاد (قلیائیت خاک) رشد محصول را تحت تأثیر منفی قرار داده، به‌طوری که در این خاک‌ها پس از آبیاری یا بارندگی، رس‌های خاک بیش از حد متورم شده و به این دلیل، حرکت آب و هوا در این خاک‌ها بسیار محدود است (ویل و بردی، ۲۰۱۶).

بررسی مقدار عملکرد متوسط در کشت آبی آفتابگردان در دشت‌های آبی کشور (بی نام، ۱۴۰۱) نشان داد که بیشترین عملکرد در استان مازندران ۳/۵ تن در هکتار و کمترین آن در خراسان شمالی ۱/۳ تن در هکتار می‌باشد. تحلیل مقادیر مشخصه‌های واحدهای خاک تحت کشت آبی دو استان نشان داد که مهمترین محدودیت‌ها در مازندران مربوط به بافت خاک، pH و شیب می‌باشد در صورتیکه در خراسان شمالی محدودیت‌ها غالباً مربوط به شیب و pH خاک و بیشتر از همه مربوط به شوری و قلیائیت خاک است، همچنین در برخی واحدهای خاک که مقدار قلیائیت قابل ملاحظه بوده، pH خاک زیاد شده و جزء عوامل محدودکننده لحاظ شده است. در مجموع با توجه به شدت محدودیت‌های فوق می‌توان اذعان کرد که وسعت کلاس‌های مناسب در خراسان شمالی کمتر از مازندران باشد که نقشه تناسب اراضی (شکل ۱) این واقعیت را نشان می‌دهد و وسعت اراضی مناسب بویژه کلاس‌های تناسب S2 و S3 در استان مازندران بیشتر بوده که مقدار متوسط عملکرد در این استان مؤید این نتیجه می‌باشد.

بررسی اطلاعات و سطح زیرکشت اراضی تحت کشت آبی در کشور نشان می‌دهد که گلستان با سطح زیرکشت ۱۲/۵ هزار هکتار و عملکرد ۲۲/۵ هزار تن در تولید سویا در رتبه اول کشور قرار دارد (بی نام، ۱۴۰۱). کشت سویا در گلستان محدودیت اقلیمی ندارد. غالب محدودیت‌های در کلاس‌های S2 و S3 شامل زهکشی، کربن‌آلی، بافت خاک و محدودیت توپوگرافیکی (شیب) می‌باشد. در کلاس‌های نامناسب به ویژه کلاس N1 عمدتاً اراضی با شوری خاک محدود شده‌اند. در شرایط تنش شوری معمولاً رشد سویا از راه اسمزی و بر اثر پایین رفتن پتانسیل آب در محیط رشد ریشه یا به دلیل تاثیرات ویژه یونها در فرآیندهای متابولیسمی کاهش می‌یابد و از بارزترین اثرات کاهش رشد گیاه کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی بذر، سطح برگ و میزان کلروفیل است. بنابراین حتی در صورتی که میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ تغییر نکند، میزان رشد به دلیل کاهش میزان فتوسنتز در کل گیاه کاهش خواهد یافت. شوری کلرید سدیم بر روند انتقال آب و یونها، رشد رویشی و زایشی در سویا، تاثیر گذاشته، ضمن تغییر تعادل یونی و وضعیت مواد غذایی در گیاه، موجب کاهش وزن خشک و عملکرد گیاه می‌شود (سیکک و کاکیرلار، ۲۰۰۸؛ شو و همکاران، ۲۰۱۷؛ ساداک و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین تنش شوری سبب کاهش وزن صد دانه و قطر دانه در سویا شده و این مورد در اثر مختل شدن فرآیندهای موثر در حصول عملکرد دانه از جمله وزن و قطر دانه در مراحل رشد زایشی و پرشدن دانه‌ها اتفاق می‌افتد (کامروا و همکاران، ۲۰۱۶).

اردبیل با سطح زیرکشت ۹ هزار هکتار و ۲۲ هزار تن از نظر وسعت کشت در رتبه بعدی قرار گرفته است (بی نام، ۱۴۰۱). با وجود وسعت کمتر از گلستان مقدار تولید بیشتری داشته به طوری که متوسط عملکرد آن ۲/۴۳ تن در هکتار بیشتر از متوسط تولید گلستان، ۱/۷۹ تن در هکتار می‌باشد. دقت در نقشه تناسب سویا نشان می‌دهد که در اردبیل، منطقه پارس‌آباد، اراضی با کلاس تناسب S1 وجود داشته (شکل ۴) و بدون محدودیت یا محدودیت خیلی کم هستند از طرف دیگر در گلستان اراضی مناسب در کلاس S1 نیز وجود داشته (شکل ۴) ولی متوسط مقادیر شاخص اراضی در اردبیل بیشتر می‌باشد و این نشان دهنده کیفیت بهتر خاک‌های این منطقه است. کشت سویا در برخی مناطق اردبیل دارای محدودیت اقلیمی متوسط دما در سیکل رشد می‌باشد که یک محدودیت غیرقابل اصلاح می‌باشد. در این استان محدودیت‌ها در کلاس‌های S2 و S3 بیشتر بعلت کربن‌آلی و شیب بوده اما در کلاس‌های نامناسب عمدتاً شوری، شیب و تا حدودی بافت خاک می‌باشد. مازندران با ۱۹۹۰ هکتار و ۳/۹ هزار تن در رتبه سوم قرار گرفته (بی نام، ۱۴۰۱) که متوسط عملکرد آن ۱/۹۵ تن در هکتار بوده که نسبت به گلستان بیشتر می‌باشد. بررسی مقادیر شاخص اراضی در خاک‌های مناسب این استان نشان دهنده کیفیت بالای خاک آن نسبت به گلستان بوده و دلیل زیاد بودن متوسط عملکرد همین موضوع می‌باشد. غالب محدودیت‌ها در کلاس‌های S2 و S3 سیلگیری، زهکشی، کربن‌آلی و رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در مرحله بلوغ می‌باشد. در کلاس‌های نامناسب در این استان محدودکننده‌ترین مشخصه زهکشی و مشخصه‌های اقلیمی رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در مرحله بلوغ می‌باشد. سویا دارای ریشه‌ای عمیق و مستقیم که معمولاً تا ۱/۵ متر در خاک نفوذ می‌نماید بنابراین خاک‌های با سطح ایستابی بالا (زهکشی ضعیف) برای رشد این گیاه محدودیت ایجاد کرده و کاهش عملکرد را به دنبال خواهند داشت (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

بیشترین وسعت اراضی تحت کشت کلزا در کشور در خوزستان با ۵۹ هزار هکتار و تولید ۱۲۰ هزار تن می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱). محدودیت‌های خاک در این استان برای کشت کلزا بیشتر آهک، pH، بافت و در مواردی سیلگیری در کلاس‌های S2 و S3 بوده و در کلاس‌های نامناسب غالباً شوری و قلیائیت، بافت و آهک خاک می‌باشد. اسیدیته نامناسب برای رشد کلزا در کلاس‌های S2 و S3 خاک‌های فارس بیشتر ناشی از آهکی بودن خاک‌ها است. آبکافت یون‌های کلسیم سبب افزایش مقدار OH^- و در نهایت افزایش مقدار pH خاک می‌شود (اسپوزیتو، ۲۰۱۶). تنش

شوری در کلزا باعث کاهش پایداری غشای سلولی، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، کاهش فتوسنتز، کاهش تورژسانس سلول‌ها و متعاقباً کاهش توسعه برگ‌ها، ریزش گل و دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود. همچنین شوری در کلزا، موجب کاهش رشد ریشه، تأخیر در ظهور برگ‌ها و تشکیل اولین میانگره‌ها می‌شود. در صورت تداوم روند شوری در مراحل بعدی رشد، موجب کاهش ارتفاع گیاه، کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف شده و نهایتاً عملکرد کاهش می‌یابد (مرادی و همکاران، ۲۰۱۶). استان گلستان با ۲۷ هزار هکتار سطح زیرکشت و ۵۱ هزار تن عملکرد، بیشترین تولید کلزا آبی را بعد از خوزستان دارد (بی نام، ۱۴۰۱). در این استان محدودیت اقلیمی برای کشت کلزا وجود نداشته و عمدتاً محدودیت‌ها شامل pH، بافت خاک و زهکشی در کلاس‌های S1 و S2 و شوری خاک در کلاس‌های نامناسب است. در خاک‌های تحت کشت کلزا گلستان غالباً محدودیت قلیائیت وجود ندارد. محدودیت pH در خاک‌های مورد بررسی گلستان برای کشت کلزا بیشتر به دلیل آهکی بودن خاک‌ها می‌باشد. استان ایلام با ۱۱/۸ هزار هکتار و ۲۰ هزار تن تولید بعد از گلستان قرار گرفته (بی نام، ۱۴۰۱) و غالب محدودیت‌ها شامل آهک، شیب و شوری و قلیائیت خاک می‌باشد. در مناطق دره‌شهر و ایلام محدودیت اقلیمی متوسط دما در دوره گلدهی نیز باعث کاهش تناسب اراضی برای کشت کلزا شده است. استان فارس با وسعت ۸ هزار هکتار و ۱۱/۳ هزار تن عملکرد کلزا در رتبه بعد از ایلام قرار گرفته و دارای محدودیت متوسط دما در دوره گلدهی در سپیدان و متوسط دما در سیکل رشد در زرقان می‌باشد. اراضی تحت کشت خوزستان در مقایسه با اراضی تحت کشت فارس دارای مقدار تولید بیشتر است به‌طوری که متوسط عملکرد خوزستان ۲/۰۳ تن در هکتار بوده و نسبت به فارس (۱/۴ تن در هکتار) بیشتر است این نشان‌دهنده کیفیت خاک‌های تحت کشت کلزای خوزستان به ویژه در اراضی کلاس‌های مناسب می‌باشد چون دقت در نقشه تناسب کلزا (شکل ۷) مشخص می‌نماید که وسعت اراضی مناسب خوزستان کمتر است پس کیفیت زیاد خاک‌های تحت کشت کلزا در خوزستان و مدیریت مناسب زارعین کلزاکار باعث افزایش متوسط عملکرد شده است. یکی از مهمترین محدودیت‌ها در کلاس‌های نامناسب خوزستان شوری و قلیائیت خاک‌ها بوده که عامل افزایش pH در خاک این کلاس‌ها، به دلیل آبکافت توسط یون‌های سدیم می‌باشد (اسپارکس، ۲۰۰۳؛ اسپوزیتو، ۲۰۱۶). در مناطق مورد مطالعه خوزستان فقط اراضی واقع شده در ایذه دارای محدودیت اقلیمی متوسط دما در مرحله گلدهی برای کشت کلزا هستند. مازندران با وسعت ۶ هزار هکتار و ۱۱ هزار تن در رتبه بعدی (بعد از فارس) واقع شده (بی نام، ۱۴۰۱) و محدودیت اقلیمی ندارد. در خاک‌های این استان محدودیت‌ها در کلاس‌های مناسب S2 و S3 شامل بافت، pH، زهکشی و سیلگیری بوده و در کلاس‌های N1 و N2 عمدتاً زهکشی و بافت می‌باشد. متوسط عملکرد کلزا در خاک‌های مازندران ۱/۷۸ تن در هکتار بوده در حالیکه مقدار آن در خاک‌های فارس ۱/۴ تن در هکتار می‌باشد (بی نام، ۱۴۰۱)، این به دلیل کیفیت مناسب و محدودیت کم خاک‌های تحت کشت کلزا مازندران نسبت به خاک‌های فارس می‌باشد که مقایسه اراضی دو استان در نقشه تناسب (شکل ۷) مشخص می‌نماید که وسعت کلاس‌های مناسب در مازندران بیشتر است، بنابراین متوسط عملکرد واقعی نیز این موضوع را تایید می‌کند.

مقایسه مقدار متوسط عملکرد کلزا در دشت‌های آبی کشور (بی نام، ۱۴۰۱) نشان داد که بیشترین عملکرد در استان آذربایجان غربی ۲/۶۳ تن در هکتار و کمترین آن در سمنان ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بررسی مقادیر مشخصه‌های واحدهای خاک تحت کشت آبی دو استان نشان داد که محدودیت‌ها شامل pH، بافت خاک و زهکشی در کلاس‌های S1 و S2 و شوری و قلیائیت خاک در کلاس‌های نامناسب به ویژه سمنان است. در خاک‌های تحت کشت کلزا آذربایجان غربی غالباً محدودیت قلیائیت وجود نداشته یا خیلی کم است. در صورتیکه در سمنان محدودیت‌ها غالباً مربوط به شوری، pH و بافت خاک

است، به دلیل محدودیت شدید پارامترهای خاک، اراضی با کلاس مناسب S1 در خاک‌های مورد بررسی سمنان برای کشت کلزا وجود ندارد، در مجموع با توجه به شدت محدودیت‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که وسعت کلاس‌های مناسب در سمنان کمتر از آذربایجان غربی باشد که نقشه تناسب اراضی (شکل ۷) این واقعیت را نشان می‌دهد.

خوزستان با وسعت ۱۶/۳ هزار هکتار و ۱۵/۷ هزار تن در رتبه اول تولید کنجد قرار گرفته (بی نام، ۱۴۰۱) که وسعت اراضی مناسب این استان در مقایسه با کرمان کمتر بوده (شکل ۱۰) و غالب اراضی در کلاس‌های نامناسب قرار گرفته‌اند. کنجد در خوزستان در مناطق آبادان و اهواز دارای محدودیت متوسط حداکثر دما در سیکل رشد می‌باشد. در کلاس‌های مناسب دارای محدودیت‌های کربن‌آلی و pH خاک بوده و در کلاس‌های نامناسب عمدتاً شوری و قلیائیت، آهک و گچ، کربن‌آلی و بافت خاک می‌باشد. مناطق جنوب استان کرمان با وسعت ۷ هزار هکتار و تولید ۹ هزار تن بیشترین تولید را بعد از خوستان دارا هستند (بی نام، ۱۴۰۱). در کلاس‌های S2 و S3 این مناطق عمدتاً محدودیت‌های کربن‌آلی و pH که غالباً ناشی از آهکی بودن خاک‌ها هست، می‌باشد. در کلاس‌های نامناسب هم عمدتاً شوری و pH برای رشد و توسعه کنجد محدودیت ایجاد کرده‌اند. به دلیل آهکی بودن و مقدار قابل ملاحظه pH این خاک‌ها، جذب عناصر کم مصرف توسط گیاه کنجد با مشکل مواجه شده و باعث کاهش عملکرد این گیاه در اراضی این کلاس‌ها می‌شود. شوری خاک سبب کاهش جذب آب ناشی از افزایش غلظت نمک‌های محلول در خاک و همچنین جذب یون ها در غلظت های زیاد باعث ایجاد سمیت بر روی رشد کنجد می‌شود. همچنین غلظت بالای یون‌های Na^+ و Cl^- باعث اختلال در فرایندهای تقسیم و تمایز سلولی در گیاه کنجد از طریق بهم ریختن فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (واکال و همکاران، ۲۰۱۹). متوسط عملکرد در جنوب کرمان ۱/۳۷ تن در هکتار بوده در حالیکه متوسط تولید خوزستان ۰/۹۳ تن در هکتار می‌باشد. همانطور که در نقشه تناسب (شکل ۱۰) ملاحظه می‌گردد بیشتر اراضی مورد بررسی خوزستان برای کشت کنجد نامناسب بوده که متوسط عملکرد این استان نیز این موضوع را تایید می‌کند، همچنین مقایسه محدودیت‌های دو استان نشان می‌دهد که شدت محدودیت‌ها در خاک‌های خوزستان برای کشت آبی کنجد بیشتر بوده و این خاک‌ها دارای کیفیت کمتری هستند.

با توجه به اینکه نقشه تناسب، اراضی مستعد و غیرمستعد را برای کشت محصول تفکیک کرده، برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای برای برنامه‌ریزان و کاربران تسهیل می‌نماید. بنابراین می‌توان گفت که رعایت درجه مناسب بودن اراضی با توجه به نقشه تناسب، برای استفاده اصولی از اراضی جهت کشت محصولات یک گام مهم و اساسی در استفاده پایدار از اراضی با حفظ منابع خاک و افزایش پتانسیل اراضی می‌باشد. جهت ارائه راهکارهای مناسب، برنامه پایش و مدیریت کاربردی و اصولی اراضی، یک برآورد صحیح و درست از پتانسیل قابلیت واحدهای خاک در فرآیند ارزیابی تناسب اراضی ضروری می‌باشد، تا نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تناسب اراضی در واحدهای مختلف با اطمینان خاطر مورد استفاده قرار گیرد و ضمن ایجاد تفاهم و کاهش تعارضات در تصمیم‌گیری‌ها، آسیب‌ها و مخاطرات منابع اراضی را در زمان بهره‌برداری تا حد قابل ملاحظه‌ای به حداقل برساند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فرایند ارزیابی اراضی با توجه به قابلیت یا مناسب بودن آن‌ها برای استفاده خاص، اراضی را طبقه‌بندی و گروه‌بندی می‌کند. از این رو تمام برنامه‌ریزی‌های کاربری زمین باید بر اساس یافته‌های ارزیابی اراضی باشد. با این کار از استفاده نادرست از اراضی و تخریب اراضی مرتبط جلوگیری می‌شود. علاوه بر این، با پیشنهاد اقدامات اصلاحی مناسب، به بهبود اراضی برای استفاده بهتر از اراضی کمک می‌کند. برای این منظور تناسب اراضی

دشت‌های آبی کشور برای کشت آبی گیاهان دانه روغنی شامل آفتابگردان، سویا، کلزا و کنجد با روش پارامتریک ریشه‌دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی از تجزیه واریانس چندمتغیره استفاده شد. مقدار P-value و آماره آزمون لامبدای ویلکس نشان داد که تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی دارای دقت بالایی است. همچنین آزمون لِون و مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌های خاک و اراضی در کلاس‌های تناسب تفکیک شده با آزمون LSD مشخص کرد که اختلاف معنی‌دار وجود داشته و نشان‌دهنده دقت زیاد کلاس‌های تفکیک شده می‌باشد. مهمترین مشخصه‌های محدودکننده در اراضی تحت کشت آبی کشور برای کشت آفتابگردان؛ pH، بافت و به‌ویژه در کلاس‌های نامناسب شوری و قلیائیت، آهک و شیب، برای سویا؛ کربن‌آلی، اقلیم، شیب، شوری و قلیائیت، برای کلزا؛ pH، بافت، شوری و قلیائیت و برای کنجد؛ کربن‌آلی، pH، شوری و قلیائیت می‌باشد.

جهت شناسایی قابلیت‌ها و محدودیت‌های اراضی برای محصولات مورد بررسی، نتایج به‌دست آمده از مطالعات ارزیابی تناسب اراضی کاربرد داشته و ضمن کمک به استفاده بهینه و پایدار از منابع اراضی، می‌تواند برای برنامه‌ریزان و کشاورزان به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری باشد. بنابراین به منظور تولید بهینه، بهتر است:

- کشت در واحدهای خاک با کلاس‌های رده مناسب برنامه‌ریزی شود.
- در اراضی که شدت محدودیت پارامترهای محدودکننده نظیر اقلیم، خصوصیات فیزیکی خاک از جمله بافت خاک و سیلگیری زیاد باشند کشت محصول توصیه نمی‌شود.
- با انجام عملیات اصلاحی در مورد عوامل محدودکننده‌ای همانند شوری و قلیائیت، طبق بررسی‌های اقتصادی در صورت وجود منابع آب با کیفیت مناسب، کلاس تناسب واحد مورد نظر ترقی یافته و بهبود عملکرد را بدنبال خواهد داشت.
- در جهت بهبود کیفیت اراضی و افزایش عملکرد، انجام عملیات زهکشی و اصلاح اراضی با محدودیت‌های سیل‌گیری و توپوگرافی در اراضی که از نظر اقتصادی توجیه داشته باشد، توصیه می‌شود.
- در راستای حفاظت از منابع خاک و سرمایه، بهتر است در اراضی نامناسب با محدودیت شدید، کشت انجام نگیرد.
- به دلیل اهمیت خصوصیات حاصلخیزی خاک از نظر محدودکنندگی، ضروری است که حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه به درستی مدیریت شود.
- در صورت به کارگیری نتایج به دست آمده به ویژه نقشه تناسب اراضی برای کاشت، امکان بهره‌برداری درست از اراضی تحت کشت میسر شده و با توجه به متمایز شدن اراضی مناسب از نامناسب، با مدیریت درست، هزینه‌ها کاهش یافته و درآمد زارعین افزایش خواهد یافت.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر از طرح تحقیقاتی ملی به شماره مصوب ۹۴۵۲-۱۰-۱۰-۰۱۴ که با حمایت مالی معاونت امور زراعت وزارت جهادکشاورزی در موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده، استخراج گردیده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

۱. بی‌نام. ۱۴۰۱. آمارنامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت آمار مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۱۰۰ صفحه.

۲. گیوی، ج. و حقیقی، ا. ۱۳۹۴. برآورد پتانسیل تولید و ارزیابی کمی تناسب اراضی شمال شهرکرد برای کشت آبی کلزا. آب و خاک، ۲۹(۶):۱۶۵۱-۱۶۶۱.

۳. حسین پور، ف.، نوری امامزاده ای، م.، خدامباشی امامی، م.، زمانیان، م.و. ۱۳۹۱. تاثیر زهکشی کنترل شده بر عملکرد سویا و ارتقاء کارایی مصرف آب. آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۱): ۱۱-۲۰.

۴. سیدجلالی، س.ع.، نویدی، م.ن.، زین الدینی میمند، ع.، محمداسماعیل، ز. ۱۳۹۸. نیازهای رویشی گیاهان زراعی. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۲۵۰ صفحه.

۵. یزدانی، ف.، اکبری، غ.، مین باشی مبینی، م.، و اله دادی، ا. ۱۳۹۲. استعدادیابی اراضی زراعی استان های تهران و البرز برای کشت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). کشاورزی بوم شناختی، ۱(۳):۲۷-۴۱.

۶. نویدی، م.ن.، سیدمحمدی، ج.، سیدجلالی، س.ع.، زین الدینی، ع.، فرج نیا، ا. و زارعیان، غ. ۱۴۰۱. ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی کشور. پژوهش‌های خاک، ۳۶(۲):۱۰۹-۲۲۴.

۷. سیدمحمدی، ج.، نویدی، م.ن.، سیدجلالی، س.ع.، فرج نیا، ا. و فاتحی، ش. ۱۴۰۱. تحلیل محدودیت‌های اراضی و تعیین درجه تناسب آنها برای کشت غلات در اراضی تحت کشت آبی کشور. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۹):۱۹۵۷-۱۹۷۸.

۸. نویدی، م.ن. و سیدمحمدی، ج. ۱۴۰۲. ارزیابی تناسب اراضی و بررسی محدودیت‌ها برای کشت گیاهان صنعتی در مناطق تحت کشت آبی کشور. پژوهش‌های خاک، ۳۷(۴):۱۰۹-۲۲۴.

9. Akpoti, K., Kabo-bah, A.T., Dossou-Yovo, E.R., Groen, T.A., Zwart, S.J. 2020. Mapping suitability for rice production in inland valley landscapes in Benin and Togo using environmental niche modeling. Science of the Total Environment, 709, 136165, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136165.
10. AL-Taani, A., Al-husban, Y., Farhan I., 2020. Land suitability evaluation for agricultural use using GIS and remote sensing techniques: The case study of Ma'an Governorate, Jordan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, In Press.
11. Behera, S.K., Mathur, R.K., Shukla, A.K., Suresh, K., Prakash, C., 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. Catena 165, 251-259.
12. Bleam, W.F. 2017. Soil and Environmental Chemistry. 2nd edition, Academic Press, 586p.
13. Boyer, J.S., James, R.A., Munns, R., Condon, T.A.G., Passioura, J.B., 2008. Osmotic adjustment leads to anomalously low estimates of relative water content in wheat and barley. Functional Plant Biology, 35(11), 1172-1182.
14. Cicek, N. and Cakirlar, H. 2008. Effect of salt stress on some physiological and photosynthetic parameters at three different temperatures in six soyabean (GlycinemaxL.Merr.) cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science, 194, 34-46.

15. Dadgar, M., Mahmoodi, Sh., Masihabadi, M.H. 2007. Qualitative assessment of land suitability for soybean and sunflower cultivation in Damavand region by Faryab cultivation method. Plant and Ecosystem, 3(10), 102-110. (In Persian)
16. Davatgar, N., Neishabouri, M.R, Sepaskhah, A.R. 2012. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. Geoderma 173-174:111-118.
17. Dedeoglu, M. and Dengiz, O. 2019. Generating of land suitability index for wheat with hybrid system approach using AHP and GIS. Computers and Electronics in Agriculture, 167, 105062.
18. Dharumarajan, S., and Singh, S.K. 2014. GIS based soil site suitability analysis for potato: a case study in lower Indogangetic alluvial plain. Potato Journal, 41(2), 113–121.
19. Fan, J., Sun, W., Zhou, K., Chen, D. 2012. Major function oriented zone: New method of spatial regulation for reshaping regional development pattern in China. Chinese Geographically Science, 22 (2), 196-209.
20. FAO. 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin, No. 32. Rome: Land and Water Development Division, FAO, UN.
21. FAO. 1985. Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture. FAO Soils Bulletin, No. 55, Rome.
22. Gandhi, G., and Savalia, S.G. 2014. Soil-site suitability evaluation for mustard in calcareous soils of Girnar toposequence in Southern Saurashtra region of Gujarat. Journal of Oilseed Brassica, 5(2), 128-133.
23. Hazir, M.H.M., Abdul Kadir, R., Gloor, E., Galbraith, D. 2020. Effect of agroclimatic variability on land suitability for cultivating rubber (Hevea brasiliensis) and growth performance assessment in the tropical rainforest climate of Peninsular Malaysia. Climate Risk Management, 27, 100203
24. Kamkar, B., Dorri, M.A., Teixeira da Silva, J.A. 2014. Assessment of land suitability and the possibility and performance of a canola (Brassica napus L.) - soybean (Glycine max L.) rotation in four basins of Golestan province, Iran. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 17, 95-104.
25. Kamrava, S., Babaeian Jelodar, N. and Bagheri, N. 2016. Evaluation of some soybean genotypes (Glycine max) under salt stress. Journal of Crop Breeding, 8(18), 57-63.
26. Kundu, M., Krishnan, P., Kotnala, R.K., Sumana, G., 2019. Recent developments in biosensors to combat agricultural challenges and their future prospects. Trends in Food Science & Technology, 88, 157-178.
27. Malmir, M., Kheirkhah Zarkesh, M.M., Monavari, S.M., Jozi, S.A., Sharifi, E., 2016. Analysis of land suitability for urban development in Ahwaz County in southwestern Iran using fuzzy logic and analytic network process (ANP). Environmental Monitoring and Assessment, 188, 447.
28. Mandal, S., Choudhury, B.U. and Satpati, L. 2020. Soil site suitability analysis using geo-statistical and visualization techniques for selected winter crops in Sagar Island, India. Applied Geography, 122, 102249.
29. Mazahreh, S., Bsoul, M., and Hamoor, D.A. 2019. GIS approach for assessment of land suitability for different land use alternatives in semi arid environment in Jordan: Case study (Al Gadeer Alabyad-Mafraq). Information Processing In Agriculture, 6, 91-108.
30. McClave, J.T. and Sincich, T. (2012). Statistics. 12th edition, Pearson Press, 840p.
31. Moradi, M., Ebrahimi, A., Ghodrati, Gh. 2016. Evaluation effect of salt stress, growth, physiological characteristic and seed yield of spring canola cultivars (Brassica napus L). Quarterly Journal of Plant Production Science, 6(2), 1-12.

32. Munns, R., and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Biology, 59, 651-681.
33. Navidi, M.N., Chatrenour, M., Seyedmohammadi, J., Delsous Khaki, B., Moradi-Majd, N., & Mirzaei, S. 2023. Ecological potential assessment and land use area estimation of agricultural lands based on multi-time images of Sentinel-2 using ANP-WLC and GIS in Bastam, Iran. Environmental, Monitoring and Assessment, 195, 36.
34. Navidi, M.N., Seyedmohammadi, J. & McDowell, R.W. 2022. A Proposed New Approach to Identify Limiting Factors in Assessing Land Suitability for Sustainable Land Management. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 53(19):2558-2573. doi:10.1080/00103624.2022.2072511.
35. Nguyen, H., Nguyen, T., Hoang, N., Bui, D., Vu, H., and Van, T. 2020. The application of LSE software: A new approach for land suitability evaluation in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 173, 105440.
36. Ostovari, Y., Honarbakhsh, A., Sangoony, H., Zolfaghari, F., Maleki, K., Ingram, B., 2019. GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions. Ecological Indicators, 103, 479-487
37. Pakpour Rabati, A., Jafarzadeh, A.A., Shahbazi, F., Rezapour, S. and Momtaz, H.R. 2012. Qualitative and quantitative land-suitability evaluation for sunflower and maize in the north-west of Iran. Archives of Agronomy and Soil Science, 58(11), 1229-1242.
38. Purnamasari, R.A., Noguchi, R., and Ahamed, T. 2019. Land suitability assessments for yield prediction of cassava using geospatial fuzzy expert systems and remote sensing. Computers and Electronics in Agriculture, 166, 105018.
39. Sadak, M.S., Abd El-Hameid, A.R., Zaki, F.S.A., Dawood, M.G. and El-Awadi, M.E. 2020. Physiological and biochemical responses of soybean (Glycine max L.) to cysteine application under sea salt stress. Bulletin of the National Research Centre, 44, 1, doi: 10.1186/s42269-019-0259-7.
40. Safwan, M., Alsafadi, K., Ali, H., Mousavi, S.M.N., Kiwan, S., Hennawi, S., Harsanyie, E., Pham, Q.B., Thi Thuy Linh, N., Ali, R., Anh, D.T., and Thai, V.N. 2020. Assessment of land suitability potentials for winter wheat cultivation by using a multi criteria decision Support- Geographic information system (MCDS-GIS) approach in Al-Yarmouk Basin (Syria). Geocarto International, doi:10.1080/10106049.2020.1790674
41. Seyedmohammadi, J. & Navidi, M.N. 2022. Applying fuzzy inference system and analytic network process based on GIS to determine land suitability potential for agricultural. Environ. Monit. Assess. 194, 712.
42. Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A. Ghorbani, M.A., Shahbazi, F. 2018. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. Geoderma, 310, 178-190.
43. Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A.A., McDowel, R.W., 2019. Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. Geoderma 352, 80-95.
44. Shu, K., Qi, Y., Chen, F., Meng, Y., Luo, X., Shuai, H., Zhou, W., Ding, J., Du, J., Liu, J., Yang, F., Wang, Q., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Feng, Y. and Yang, W. 2017. Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. Frontiers in Plant Science, 8, 1372. doi: 10.3389/fpls.2017.01372
45. Singha, C., Swain, K.C., 2016. Land suitability evaluation criteria for agricultural crop selection: A review. Agricultural Reviews, 37 (2), 125-132.
46. Sparks, D.L. 2003. Environmental Soil Chemistry. 2nd edition, Academic Press, 352p.

47. Sposito, C. 2016. The Chemistry of Soils. 3rd edition, Oxford University Press, 272p.
48. Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Akbari, M., Eftekhari, M. 2020. Land suitability assessment for maize farming using a GIS-AHP method for a semi arid region, Iran. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19, 332-338
49. Tercan, E., and Dereli M.A. 2020. Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment techniques in Antalya province of Turkey. Ecological Indicators, 117, 106549
50. Tripathi, R., Nayak, A.K., Shahid, M., Lal, B., Gautam, P., Raja, R., Mohanty, S., Kumar, A., Panda, B.B., and Sahoo, R.N., 2015. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. Catena 133, 128-136.
51. Ustaoglu, E. and Aydınoglu, A.C. 2020. Suitability evaluation of urban construction land in Pendik district of Istanbul, Turkey. Land Use Policy, 99, 104783.
52. Wacal, C., Ogata, N., Basalirwa, D., Handa, T., Sasagawa, D., Acidri, R., Ishigaki, T., Kato, M., Masunaga, T., Yamamoto, S. and Nishihara, E. 2019. Growth, Seed Yield, Mineral Nutrients and Soil Properties of Sesame (Sesamum indicum L.) as Influenced by Biochar Addition on Upland Field Converted from Paddy. Agronomy, 9(2), 55; doi:10.3390/agronomy9020055
53. Wanyama, D., Mighty, M., Sim, S., and Koti, F. 2019. A spatial assessment of land suitability for maize farming in Kenya. Geocarto International, doi:10.1080/10106049.2019.1648564
54. Weil, R.R., and Brady, N.C., 2016. The nature and properties of soils. 15th edition, Pearson Education Limited, 1104p.

نشریه پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۹ / شماره۱ / ۱۴۰۴/۷۳-۵۳
DOI: 10.22092/IJSR.2025.369218.774

حد آستانه تحمل شوری و شیب کاهش عملکرد شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در مراحل مختلف رشد

محمدحسین بناکار[۱*]، حمزه امیری[۲]، غلامحسن رنجبر[۳] و محمدجواد بابایی زارچ[۴]

۱ – عضو هیئت علمی (استادیار) مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. mh_banakar@yahoo.com

۲ – عضو هیئت علمی (استاد) گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. amiri_h_lu@yahoo.com

۳ – عضو هیئت علمی (دانشیار) مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ranjbar71@gmail.com

۴ – عضو هیئت علمی (استادیار) مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، javadbabaei67@gmail.com

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۴/۲/۸ و پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲۳

چکیده

روند رو به افزایش شوری منابع آب و خاک، شناخت گیاهان دارویی متحمل به شوری را برای بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور حائز اهمیت ساخته است. این تحقیق، به منظور ارزیابی تحمل به شوری گیاه دارویی شنبلیله و تغییرات حد آستانه تحمل به شوری آن در مراحل مختلف رشد (جوانه‌زنی، سبز شدن، رشد رویشی، رشد زایشی) در قالب ۴ آزمایش جداگانه انجام شد. در آزمایشگاه، تحمل به شوری شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی با ۱۰ سطح شوری (دسی زیمنس بر متر ۲۷، ۲۴، ۲۱، ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹، ۶، ۳، شاهد) بررسی گردید. در گلخانه، تحمل به شوری شنبلیله در مرحله سبز شدن با هفت سطح شوری (دسی زیمنس بر متر ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹، ۶، ۳، ۰/۵) و در مراحل رشد رویشی و زایشی نیز با ۷ سطح شوری (دسی زیمنس بر متر ۱۲، ۱۰، ۸، ۶، ۴، ۲، ۰/۵) بررسی شد. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. در این تحقیق، از مدل‌های تجربی (خطی، سیگموئیدی، نمایی و چند جزئی) استفاده شد. نتایج نشان داد که تحمل به شوری شنبلیله در مراحل مختلف رشد متفاوت است بطوری‌که شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی بیشترین میزان تحمل به شوری را داشت. در مرحله جوانه‌زنی حد آستانه تحمل به شوری برابر ۲۰/۳ دسی زیمنس بر متر و شیب کاهش جوانه‌زنی ۱۰/۳۷٪ برای توده اصفهانی بدست آمد. لیکن، این تحمل در مراحل بعدی رشد و نمو به تدریج کمتر شد. به‌طوری که شنبلیله در مرحله سبزشدن نسبت به جوانه‌زنی تحمل به شوری پایین‌تری از خود نشان داد (حد آستانه ۴/۹ دسی زیمنس بر متر با شیب کاهش ۷/۲۵٪). در مرحله رشد رویشی، تحمل به شوری شنبلیله کمتر شد به‌طوری که آستانه تحمل به شوری آن ۱/۳ دسی زیمنس بر متر همراه با شیب کاهش عملکرد ۴/۹٪ بود. شنبلیله در مرحله رسیدگی دانه کمترین تحمل را به شوری نشان داد و حد آستانه تحمل به شوری آن ۱/۳ دسی زیمنس بر متر با شیب کاهش عملکرد ۸/۶۴٪ بود. مطابق مدل‌های غیرخطی، مقادیر متناظر شوری که در آن عملکرد ۵۰٪ کاهش می‌یابد (EC_{50}) برای توده اصفهانی شنبلیله در مراحل جوانه‌زنی، سبزشدن، رشد رویشی و رسیدگی دانه به‌ترتیب ۲۵/۸، ۱۱/۵، ۱۱/۷ و ۶/۵ دسی زیمنس بر متر به‌دست آمد. بنابراین، در مناطقی که دسترسی به منابع آب با کیفیت متفاوت وجود دارد می‌توان از آنها برای آبیاری شنبلیله در مراحل اولیه رشد از آب شور و به تدریج در مراحل بعدی رشد از آب‌های با کیفیت بهتر استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های تجربی تحمل به شوری، شاخص تحمل به شوری، آب شور، خاک شور، گیاهان دارویی

* – آدرس ایمیل نویسنده مسئول: mh_banakar@yahoo.com

استناد: بناکار، م.ح.، امیری، ح.، رنجبر، غ.، بابایی زارچ، م.ج.، ۱۴۰۴. حد آستانه تحمل شوری و شیب کاهش عملکرد شنبلیله (Trigonella foenum-graecum L.) در مراحل مختلف رشد. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش های خاک، (۱) ۳۹، ۷۳-۵۳.

CC BY

مقدمه

کشت و تولید گیاهان دارویی به‌عنوان یکی از گزینه‌ها در بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور مطرح بوده است. شنبلیله (*Trigonella Foenum-graecum* L.) یکی از گیاهان دارویی است که در طب سنتی ایران و جهان سابقه مصرف طولانی داشته و خواص درمانی فراوانی برای آن ذکر شده است (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). این گیاه دارای آلکالوئیدی بنام تریگونلین است (زرگری، ۱۳۷۱؛ حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ پتروپولوس، ۲۰۰۲). تریگونلین، خواص دارویی مهمی نظیر ضد سرطان، ضد میگرن، ضدعفونی کنندگی، پایین آورنده چربی خون و ضد دیابت را دارا می‌باشد. پزشکان ایرانی و عرب از زمان‌های قدیم از دانه شنبلیله برای مداوای بیماری قند استفاده می‌کردند (ولکمار و همکاران، ۱۹۹۷؛ مهرآفرین و همکاران، ۱۳۹۰).

بررسی منابع نشان می‌دهد که شنبلیله از نظر تحمل به شوری مورد توجه بوده و پژوهش‌های متعدد و پراکنده‌ای بر روی آن انجام شده است. اغلب پژوهش‌های انجام شده در زمینه اثرات تنش شوری روی شنبلیله، اغلب در مرحله جوانه‌زنی و یا مراحل اولیه رشد رویشی بوده و تعداد اندکی از آنها رشد زایشی و عملکرد گیاه را در بر گرفته‌اند. این در حالی است که مرحله سبز شدن که به دنبال مرحله جوانه‌زنی رخ داده و به خروج گیاهچه از خاک منجر می‌گردد، در مطالعات تنش شوری در شنبلیله کمتر مورد توجه واقع شده است. از نظر تحمل یا حساسیت به شوری، سه مرحلهٔ نموی در گیاهان قابل تشخیص است که شامل جوانه‌زنی، رشد رویشی و رشد زایشی می‌باشد. گفته می‌شود تحمل به شوری ممکن است به‌طور قابل ملاحظه‌ای در طی رشد و نمو گیاه تغییر کند. بسیاری از شواهد بیانگر این هستند که در اغلب گیاهان زراعی مرحله جوانه‌زنی متحمل به نمک است، لیکن، مرحله رشد رویشی به نمک حساس می‌باشد (هاجمیر، ۱۹۹۷؛ بناکار و همکاران، ۲۰۲۲).

گزارش شده است که شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی می‌تواند تنش شوری تا ۱/۲MPa- را تحمل کند (رومانی و احتشامی، ۱۳۹۳). دادخواه (۱۳۸۹)، در آزمایشی تاثیر تنش شوری (۰/۸۱ MPa-، ۰/۵۹-، ۰/۳۷-) و نوع نمک را بر جوانه زنی و رشد گیاهچه چند گیاه دارویی از جمله شنبلیله مطالعه کرده و نشان داد که کاهش پتانسیل آب تا ۰/۵۹ MPa- تاثیر زیادی بر درصد جوانه‌زنی بذر شنبلیله نداشت، اما کاهش بیشتر، جوانه‌زنی را به‌شدت کاهش داد. زهیر و حسین (۲۰۱۱)، کاهش ۶۲ درصدی جوانه زنی شنبلیله را در شوری ۱۵ $dS.m^{-1}$ گزارش کردند. همچنین، در آزمایشی، جوانه‌زنی شنبلیله در سطوح مختلف شوری و خشکی (۹-، ۶-، ۳- بار) مطالعه و نشان داده شد که اعمال خشکی ۶- بار و شوری ۳- بار موجب کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی گردید (قربان‌پور و همکاران، ۲۰۱۱). شرما و ویمالا (۲۰۱۶)، جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست‌ها را در شنبلیله تحت تنش شوری مطالعه کرده و نشان دادند که تمام بذرها تا شوری ۱۰۰mM کلرید سدیم جوانه زده، اما در شوری ۲۰۰mM میزان جوانه‌زنی۶۰ درصد کاهش پیدا کرد. بناکار و همکاران (۱۴۰۰الف) اثرات تنش شوری را در مرحله جوانه‌زنی روی چندین توده شنبلیله مطالعه کرده و نشان دادند که توده‌های مختلف شنبلیله از نظر تحمل به شوری متفاوت بودند. همچنین، افزایش شوری تا سطح ۶ $dS.m^{-1}$ بر درصد جوانه‌زنی بذور تاثیری نداشت، لیکن با اعمال سطوح شوری بالاتر، درصد جوانه‌زنی به‌تدریج شروع به کاهش یافتن کرد، بطوری که اعمال شوری ۲۴ و ۲۷ $dS.m^{-1}$، درصد جوانه‌زنی بذور را به‌ترتیب به‌میزان ۲۹/۸ و ۸۰/۸۱ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰الف). عبدالمومن و مصباح الادریسی (۲۰۰۹)، گزارش کردند که جوانه‌زنی بذرهای شنبلیله تا شوری ۱۴۰mM کلرید سدیم تحت تاثیر قرار نگرفته لیکن سطوح بالاتر شوری موجب کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی گردید.

مطالعات سطوح مختلف شوری (۱۵ $dS.m^{-1}$، ۱۲/۵، ۱۰، ۷/۵، ۵، ۰/۲۱) روی پارامترهای رشد شنبلیله نشان

داد که تمام گیاهچه‌های شنبلیله تا شوری $dS.m^{-1}$ ۷/۵ زنده بودند؛ لیکن در شوری‌های بالاتر، زنده‌مانی گیاهچه‌ها به تدریج کاهش یافت (زهیر و حسین، ۲۰۱۰). تنش شوری رشد توده‌های مختلف شنبلیله را تحت تاثیر قرار داد و موجب کاهش وزن ریشه و اندام هوایی گردید (ارچنگی و همکاران، ۱۳۹۱؛ فرهادی و عزیزی، ۱۳۹۵؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۵؛ برهویی و صباغ، ۲۰۱۷؛ سیندهو و همکاران، ۲۰۱۷؛ نوح‌پیشه و همکاران، ۱۳۹۹). چودهاری و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در مرحله جوانه‌زنی هنگامی که شوری خاک از $dS.m^{-1}$ ۴ بالاتر رفت میزان تلفات دانه‌رست‌های شنبلیله به مقدار زیادی تحت تاثیر قرار گرفت. لیکن، در مراحل بعدی رشد تا زمان رسیدگی توانست شوری بالاتر ($dS.m^{-1}$ ۴-۱۲) را تحمل کند. در زمان رسیدگی اعمال تنش شوری $dS.m^{-1}$ ۱۲ نتوانست تاثیر قابل توجهی بر بقا گیاهان داشته باشد. این آزمایش نشان داد که اعمال شوری بالاتر از $dS.m^{-1}$ ۸ طی جوانه‌زنی و مرحله رشد رویشی ممکن است عملکرد محصول را ۴۰-۳۰ درصد کاهش دهد (چودهاری و همکاران، ۲۰۱۴). اخیراً در یک آزمایش نشان داده شد که در شنبلیله مرحله سبز شدن گیاهچه نسبت به مرحله جوانه‌زنی به شوری حساس‌تر است؛ بطوری‌که در بررسی واکنش توده‌های مختلف شنبلیله به شوری، توده هندی بیشترین مقدار درصد و سرعت سبز شدن و شاخص بنیه گیاهچه را دارا بود (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰ب).

نشان داده شده است که شوری بسیاری از فرایندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی را در شنبلیله تحت تاثیر قرار داده و باعث کاهش رشد و عملکرد می‌گردد (بناکار و هکاران، ۲۰۲۲). بناکار و همکاران (۱۴۰۰ج) در آزمایشی نشان دادند که اعمال تنش شوری در مرحله رشد رویشی برخی صفات مورفولوژیک شنبلیله را تحت تأثیر قرار داده و در مجموع موجب ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول میانگره و سطح برگ را به‌ترتیب به میزان ۲۷/۶۶، ۱۸/۰۳، ۵۴/۲۱ و ۴۶/۹۱ درصد گردید. تنش شوری، همچنین، نسبت ریشه به اندام هوایی، محتوی آبی و کارایی مصرف آب به ترتیب به میزان ۱۶/۹۷، ۱۴/۶۲ و ۱۴/۷۰ درصد کاهش داد (بناکار و همکاران،۱۴۰۰ج). به‌علاوه، معلوم شد که ادامه تنش شوری تا مرحله رشد زایشی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه شنبلیله داشت. تنش شوری، طول نیام، وزن نیام، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه پر در بوته، نسبت دانه پر به پوک، وزن خشک اندام هوایی، وزن کاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب را کاهش و درمقابل، درصد دانه پوک، میزان تریگونلین و آلکالوئید کل دانه را افزایش داد. (بناکار و همکاران، ۱۳۹۹).

در مطالعات تحمل به شوری، مدل‌های تجربی مختلفی برای بررسی واکنش گیاهان به شوری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برخی از این مدل‌ها واکنش به شوری را به‌صورت خطی توصیف کرده و برای آن پارامترهای حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد را در نظر گرفته‌اند. برخی دیگر از مدل‌ها واکنش به شوری را به‌صورت غیر خطی پیش‌بینی کرده و شکل سیگموئیدی یا نمایی را برای آن در نظر گرفته‌اند (بناکار و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به اینکه تحمل به شوری در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه متفاوت است، هدف از انجام این تحقیق ارزیابی واکنش به شوری توده اصفهانی شنبلیله در مراحل مختلف رشد بود. در این تحقیق، در هر یک از مراحل رشدی، حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد دانه به ازای هر واحد افزایش شوری با استفاده از مدل خطی (ماس و هافمن، ۱۹۷۷). برآورد گردید و در هر مرحله شاخص تحمل به شوری شنبلیله محاسبه شد و واکنش آن به شوری برای مراحل رشدی مختلف با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی تجربی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روشها

به منظور بررسی واکنش شنبلیله به شوری در مراحل مختلف رشد (جوانه‌زنی، سبز شدن، رشد رویشی، رشد

زایشی)، پژوهشی در آزمایشگاه و گلخانه مرکز ملی تحقیقات شوری انجام گرفت. توده شنبلیله مورد بررسی در این پژوهش، توده اصفهانی بود که بذرهای آن از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد.

الف) ارزیابی تحمل به شوری در مرحله جوانه زنی: این مرحله، در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تعداد ۳۰ عدد بذر یک‌اندازه، سالم و یکنواخت پس از شستشو با محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵٪ و آب مقطر، در داخل پتری دیش‌های نه سانتیمتری حاوی کاغذ صافی واتمن شماره یک قرار گرفته و به هر پتری دیش مقدار ۵ml آب با هدایت‌های الکتریکی مورد نظر افزوده و درب آنها بسته شد. تیمار شوری شامل ده سطح ($dS.m^{-1}$ ۲۷، ۲۴، ۲۱، ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹، ۶، ۳، شاهد) بود که از طریق مخلوط کردن آب مقطر و آب شور چاه زیرزمینی مزرعه تحقیقات شوری صدوق با هدایت الکتریکی $14\ dS.m^{-1}$ حاصل گردید. بعد از افزودن آب، پتری دیش‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۰/۲۵°C، رطوبت نسبی ۶۰٪ و دوره نوری ۱۶/۸h قرار گرفتند. طرح آماری مورد استفاده به صورت کاملا تصادفی با سه تکرار بود. در هر روز، تعداد بذرهای جوانه‌زده به مدت دو هفته در ساعت معین شمارش شد. در پایان، حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش جوانه‌زنی به ازای هر واحد افزایش شوری با استفاده از مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷) برآورد گردید. همچنین، شاخص تحمل به تنش شوری و روند واکنش تحمل به شوری شنبلیله در مدل خطی با سایر مدل‌های غیر خطی تجربی (استفن و همکاران، ۲۰۰۵الف؛ استفن و همکاران، ۲۰۰۵ب؛ وانگنوختن و هافمن، ۱۹۸۴) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

ب) ارزیابی تحمل به شوری در مرحله سبز شدن: به منظور بررسی واکنش شنبلیله به شوری در مرحله سبز شدن، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری انجام گرفت. بذرهای شنبلیله پس از ضدعفونی داخل گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد ۱۵*۱۲ سانتی‌متر در عمق ۱/۵ سانتی‌متری در محیط شن قرار گرفتند. تیمار شوری شامل هفت سطح ($dS.m^{-1}$ ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹، ۶، ۳، ۰/۵) بود که از طریق مخلوط کردن آب شرب و آب بسیار شور (با هدایت الکتریکی حدود $500 dS.m^{-1}$) حاصل گردید. برای تخمین کسر آبشویی از روش ارائه شده توسط آیرز و وسکات (۱۹۸۹) استفاده شد. با معلوم بودن هدایت الکتریکی آب آبیاری و آب زهکش شده و همچنین حجم آب آبیاری و آب زهکش شده، با استفاده از معادله پیشنهادی آیرز و وسکات (۱۹۸۹) کسر آبشویی تخمین زده شده و از آن برای محاسبه حجم آب مورد نیاز برای آبیاری و شستشوی املاح اضافی و جلوگیری از تجمع آن‌ها در منطقه توسعه ریشه استفاده شد. در هر کسر آبشویی، مقداری تحت عنوان عامل غلظت (X) را می‌توان محاسبه کرد که با متوسط شوری خاک منطقه ریشه (ECe) و شوری آب آبیاری (ECiw) به‌صورت $ECe = ECiw * X$ در ارتباط است. کسر آبشوئی، در واقع درصدی از حجم آب آبیاری است که آبشویی شده و عملاً از زیر منطقه ریشه خارج شده است. در طول یک دوره سه هفته‌ای، تعداد بذور سبز شده بطور روزانه در ساعت معین شمارش شدند. طرح آماری مورد استفاده به صورت کاملا تصادفی با سه تکرار بود. در این تحقیق، حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش سبز شدن به ازای هر واحد افزایش شوری برآورد گردید و شاخص تحمل به تنش شوری شنبلیله در مرحله سبز شدن مشخص گردید.

ج) ارزیابی تحمل به شوری در مرحله رشد رویشی و زایشی: بذرهای شنبلیله پس از ضدعفونی در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۰ cm و قطر دهانه ۲۵ cm پرشده با ۸ کیلوگرم خاک دارای بافت لوم شنی (جدول ۱) در عمق ۲ سانتیمتری کشت شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک مورد استفاده قبل از آبشویی

ویژگی	واحد	نماد	مقدار	ویژگی	واحد	نماد	مقدار
هدایت الکتریکی	$dS.m^{-1}$	EC	11.91	نسبت جذب سدیم	-	SAR	7.37
واکنش خاک	-	pH	7.48	مواد آلی	%	O.M.	0.02
کربنات	Meq/lit	CO_3^{-2}	0.00	نیتروژن کل	%	T.N.	0.001
بی‌کربنات	Meq/lit	HCO_3^-	1.21	فسفر قابل‌جذب	mg/kg	P_{av}	6.64
کلر	Meq/lit	Cl^-	61.8	پتاسیم قابل‌جذب	mg/kg	K_{av}	155
سولفات	Meq/lit	SO_4^{2-}	66.54	شن	%	Sand	80.36
کلسیم محلول	Meq/lit	Ca^{2+}	61.1	سیلت	%	Silt	8.64
منیزیم محلول	Meq/lit	Mg^{2+}	21.18	رس	%	Clay	11
سدیم	Meq/lit	Na^+	47.3	بافت خاک	-	بافت	شنی لوم
پتاسیم محلول	Meq/lit	K^+	اندک	نسبت جذب سدیم	-	SAR	7.38

گلدان‌ها پس از پر شدن با خاک به درون گلخانه تحقیقاتی با دمای حداکثر ۲۵°C و حداقل ۲۰°C منتقل شدند. قبل از کاشت، با توجه به شوری زیاد خاک (۱۱/۹۱ $dS.m^{-1}$)، عملیات آبشویی با آب غیر شور انجام شد، به‌طوری‌که شوری عصاره اشباع خاک پس از آبشویی به ۳/۸۱ $dS.m^{-1}$ کاهش یافت. پس از کاشت و سبز شدن بذور، تا مرحله پنج‌برگی آبیاری گلدان‌ها با آب غیر شور انجام گرفت و تیمارهای شوری آب (۱۲، ۱۰، ۹، ۶، ۴، ۲، ۰/۵ $dS.m^{-1}$) اعمال شدند. برای جلوگیری از آسیب شوک به گیاهان، تیمارهای شوری به‌تدریج تا رسیدن به سطح شوری مورد نظر اعمال گردید. طرح آماری به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. این تیمارها از طریق اختلاط آب‌شور زیرزمینی (با هدایت الکتریکی ۱۴ $dS.m^{-1}$) و آب شرب حاصل شد. اعمال تیمار شوری و آبیاری گلدان‌ها با توجه به تغییرات وزن آن‌ها و نیاز آبشویی تا رسیدن به ظرفیت زراعی بود. برای این منظور، رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم توسط دستگاه صفحات فشاری (Pressure Plate Apparatus، مدل ۱۵۰۰، ساخت شرکت Soil Moisture، آمریکا)، اندازه‌گیری شد. برای کنترل شوری خاک و جلوگیری از تجمع نمک در ناحیه توسعه ریشه، میزان شوری عصاره توسط دستگاه سنجش شوری خاک (Soil Salinity Bridge، مدل ۵۵۰۰، ساخت شرکت Soil Moisture، آمریکا)، تعیین شد.

حجم و قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری و نیز حجم و قابلیت هدایت الکتریکی آب زهکش شده در تمام عملیات آبیاری برای هر یک از تیمارها، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه ECمتر پرتابل (مدل LF318، ساخت شرکت WTW، آلمان) استفاده شد. در این پژوهش مجموع دفعات آبیاری و کل حجم آب مصرفی در طول آزمایش برای تمام سطوح شوری یکسان نبود، به‌طوری‌که در سطوح پایین شوری گیاهان آب بیشتر و با فاصله کمتری دریافت می‌کردند، لیکن به‌تدریج با افزایش شوری آب آبیاری، میزان حجم آب مصرفی و دفعات آن کاهش می‌یافت. در پایان آزمایش، به‌منظور تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، از مته مخصوص نمونه‌برداری خاک هر یک از تیمارها استفاده شد. در جدول ۲، حجم آب مصرفی و متوسط شوری عصاره اشباع خاک در عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد درج شده است.

جدول ۲- هدایت الکتریکی آب آبیاری، حجم آب مصرفی و متوسط شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد

هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کل حجم آب مصرفی (lit)	متوسط قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک($dS.m^{-1}$)			
		تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳	میانگین
0.5	75.01	1.46	1.37	1.37	1.40
2	62.99	3.52	3.48	3.57	3.52
4	54.01	5.40	5.45	5.43	5.43
6	47.88	7.15	6.97	7.30	7.14
8	37.38	9.36	8.82	9.36	9.18
10	32.34	10.69	10.70	10.41	10.60
12	30.24	11.51	11.56	11.62	11.56

سه ماه پس از کاشت در انتهای مرحله رشد رویشی میزان عملکرد ماده خشک بخش هوایی در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی واکنش شنبلیله شوری از نظر عملکرد دانه، شش ماه پس از کاشت گیاهان در خرداد ماه در انتهای مرحله رشد زایشی برداشت شدند و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. طرح آماری مورد استفاده به صورت کاملا تصادفی با سه تکرار بود. در این مرحله، حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش سبز شدن به ازای هر واحد افزایش شوری برآورد گردید و شاخص تحمل به تنش شوری شنبلیله در مراحل رشد رویشی و زایشی تعیین گردید.

نتایج و بحث

در این پژوهش، تحمل به شوری شنبلیله در مراحل مختلف رشد با استفاده از مدل‌های تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مدل سه‌قسمتی پیشنهادی توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷) حد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد (جوانه‌زنی، سبز شدن، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد دانه) به ازای افزایش هر واحد شوری تعیین شد. در این مدل پیشنهادی، هنگامی‌که شوری (EC) بین صفر و حد آستانه (a_0) باشد، عملکرد نسبی (Y) برابر ۱۰۰ درصد است. لیکن، در شوری‌های بالاتر از حد آستانه عملکرد نسبی با شیب ثابتی (l) به‌صورت خطی شروع به کاهش می‌کند (معادله ۱):

$$Y=100 - l\,(EC-a_0) \qquad (۱)$$

در این پژوهش برخی مدل‌های غیرخطی نیز آزمون شدند. بر اساس مدل وانگنوختن و هافمن (۱۹۸۴) عملکرد نسبی از همان ابتدا به‌صورت غیرخطی شروع به کاهش کرده و در نقطه EC_{50} مقدار آن به ۵۰٪ کاهش می‌یابد (معادله ۲). در این رابطه، Y_m عملکرد حداکثر در شرایط غیر شور بوده و p یک ضریب تجربی است که همیشه زیادتر از یک است.

$$Y=Y_m / [(1+ (EC / EC_{50})^p] \qquad (۲)$$

علاوه بر مدل غیرخطی فوق، با استفاده از معادله چند جزئی نزولی تغییریافته (استفن و همکاران ۲۰۰۵الف) مدل دیگری آزمون شد که در آن کاهش عملکرد در اثر افزایش شوری به‌صورت غیرخطی است (معادله ۳). پارامتر s در این رابطه شیب منحنی است که از قدر مطلق مشتق تغییرات عملکرد نسبی به تغییرات شوری محیط ($|dY/dEC|$) به دست می‌آید. همچنین، عبارت نمایی ($s. EC_{50}$) میزان برآمدگی و یا فرورفتگی دو طرف منحنی را نسبت به EC_{50} نشان می‌دهد.

$$Y=Y_m / [(1+ (EC / EC_{50})^{(s.\,EC50)}] \qquad (۳)$$

همچنین، با معلوم بودن مقادیر EC_{50} و s، شاخص تحمل به شوری شنبلیله در مرحله رشد رویشی مطابق معادله ۴ محاسبه شد (استفن و همکاران ۲۰۰۵ب). با محاسبه شاخص تحمل به شوری، روند واکنش تحمل به

شوری در مدل خطی با سایر مدل‌های غیرخطی تجربی مطالعه و ارزیابی شد.

$$ST\text{-}index = EC_{50} + s.\ EC_{50} \quad (۴)$$

الف) تحمل به شوری شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی

در این تحقیق مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی واکنش شنبلیله به شوری در مرحله جوانه‌زنی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷)، حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله ۲۰/۳ $dS.m^{-1}$ و شیب کاهش جوانه‌زنی آن ۱۰/۳۷ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). این بدان معنی است که با افزایش هر واحد شوری بالاتر از حد آستانه، جوانه‌زنی بذر به میزان ۱۰/۳۷ درصد کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود کاهش ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد جوانه‌نی به‌ترتیب در سطوح شوری ۲۲/۷، ۲۵/۱ و ۲۷/۶ $dS.m^{-1}$ رخ داده و در سطح شوری ۳۰ $dS.m^{-1}$ جوانه‌زنی بذر کاملاً متوقف گردد (جدول ۳). همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی بالا و شیب کاهش میزان جوانه‌زنی نیز بالاست. این امر موجب می‌شود در شوری‌های بالاتر از حد آستانه کاهش ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد جوانه‌نی در سطوح شوری نزدیک به هم مشاهده شود و با شیب نسبتاً شدیدی دنبال شود.

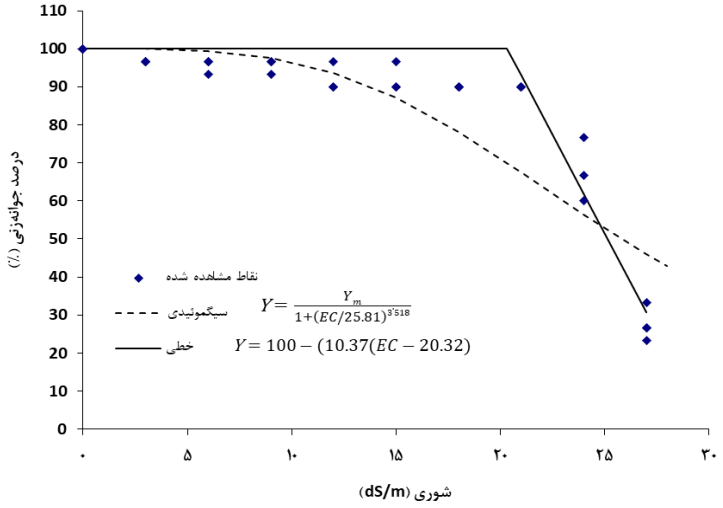
جدول ۳- معادلات برازش داده شده مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی واکنش توده اصفهانی شنبلیله به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی

نوع مدل	معادله برازش داده شده	معادله مرجع	r	مرجع
مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-10.37*(EC-20.32)$	$Y=100-l*(EC-a_0)$	0.581	Maas and Hoffman, 1977
مدل سیگموئیدی	$Y=Y_m/[(1+(EC/25.81)^{3.52}]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^p]$	0.997	Van Genuchten and Hoffman, 1984
مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=Y_m/[(1+(EC/25.63)^{\exp 0.256}]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^{\exp s*EC_{50}}]$	0.997	Steppuhn, Van Genuchten and Grieve, 2005a
مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[-0.015(EC)-0.0015(EC)^2]$	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	0.882	Wang *et al*., 2002

در این معادلات Y_m، Y، EC، EC_{50} به ترتیب عملکرد حداکثر، عملکرد نسبی (٪)، متوسط شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد ($dS.m^{-1}$)، شوری عصاره اشباع خاک به ازای ۵۰٪ کاهش عملکرد ($dS.m^{-1}$) می‌باشند. همچنین، a_0، l، p و s به ترتیب حد آستانه تحمل به شوری، شیب خط، ثابت تجربی و شیب منحنی بوده و مقادیر a و b ضرایب ثابت هر معادله می‌باشند.

سایر مدل‌های ارائه شده در جدول ۳، واکنش به شوری شنبلیله را در مرحله جوانه‌زنی به صورت غیر خطی پیش‌بینی می‌کنند. در مدل‌های غیر خطی، با افزایش هر سطح شوری میزان جوانه‌زنی بذر بطور تدریجی از همان ابتدا شروع به کاهش یافتن می‌کند (شکل ۱). بر اساس مدل سیگموئیدی، حدی از شوری که در آن بذور شنبلیله به مقدار ۵۰درصد جوانه می‌زنند (EC_{50})، برابر ۲۵/۸ $dS.m^{-1}$) بود (جدول ۳).

بر اساس مدل سیگموئیدی تغییر یافته (استفن و همکاران، ۲۰۰۵الف؛ استفن و همکاران، ۲۰۰۵ب)، مقدار شوری که در آن بذور شنبلیله به مقدار ۵۰درصد جوانه می‌زنند (EC_{50}) نزدیک به مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی معمولی (وانگنوختن و هافمن، ۱۹۸۴) بود. مقایسه مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی با مدل خطی سه قسمتی، نشان داد که مقدار شوری که در آن درصد جوانه‌زنی بمیزان ۵۰٪ کاهش می‌یابد برای توده اصفهانی شنبلیله مشابه مدل سیگوئیدی (۲۵/۸ $dS.m^{-1}$) و معادل ۲۵/۱ $dS.m^{-1}$ بود (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار واکنش توده اصفهانی شنبلیله به شوری در مرحله جوانه‌زنی بر اساس مدل‌های خطی و سیگموئیدی

جوانه‌زنی مهمترین مرحله رشدی گیاه است و تنش شوری می‌تواند مقدار و سرعت آن را محدود سازد. عقیده بر این است که اثرات مضر نمک روی جوانه‌زنی بذر ناشی از اثرات سمی تجمع برخی یون‌ها باشد که در غلظت‌های بالا موجب کاهش پتانسیل آب در محیط، کاهش جذب آب توسط بذرهای در حال جوانه‌زنی و نهایتا کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود. برخی محققین معتقدند که اثر محدودکننده شوری روی جوانه‌زنی ناشی از جزء اسمزی املاح محلول است، در حالی که برخی دیگر بر این باورند که اثرات سمیت نمک نقش اصلی را در کاهش جوانه‌زنی بذرها بر عهده دارد (شرما و ویمالا، ۲۰۱۶). معلوم شده است که غلظت‌های بالای نمک هموئستازی اسمزی و یونی را برهم زده و موجب کاهش قابلیت دسترسی به آب برای بذر و کاهش جوانه‌زنی و به تاخیر انداختن آن می‌گردند (تستر و داونپورت، ۲۰۰۳). نتایج برازش مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی تحمل به شوری توده‌های مختلف شنبلیله نشان داد که تحمل به شوری شنبلیه بین توده‌های مختلف متفاوت بود. بر اساس مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۴)، بیشترین حد آستانه تحمل به شوری از توده هندی (۲۴/۲ $dS.m^{-1}$) و کمترین آن از توده مشهدی (۲۰/۲ $dS.m^{-1}$) حاصل گردید، بیشترین مقدار شیب کاهش درصد جوانه‌زنی نیز از توده هندی (۲۹/۱۷ درصد) بدست آمد (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰ الف). بر اساس نتایج این تحقیق، حد آستانه تحمل به شوری توده اصفهانی شنبلیله ۲۰/۳ $dS.m^{-1}$ با شیب کاهش ۱۰/۳۷ درصد بدست آمد. کمترین مقدار را از آن خود کرد. پایین بودن شیب کاهش مزیت مهمی است و سبب می‌شود در مواجهه با شوری‌های بالاتر از حد آستانه، کاهش رشد با آهنگ به مراتب خفیف‌تری دنبال گردد. این امر موجب می‌شود کاهش ۵۰ درصد عملکرد برای توده‌هایی که شیب کاهشی ملایم‌تری دارند در سطوح شوری‌های بالاتر اتفاق افتد. در تایید این موضوع، برازش نتایج مدل‌های غیر خطی نیز نشان داد که در توده اصفهانی شنبلیله بیشترین شوری که در آن بذور به مقدار ۵۰ درصد جوانه می‌زنند (EC_{50}) در شوری ۲۵/۸ $dS.m^{-1}$ حاصل گردید.

نتایج محاسبه شاخص تحمل به شوری برای شنبلیله نشان داد که مقدار این شاخص برای توده اصفهانی ۲۹/۱۵ حاصل گردید. شاخص تحمل به شوری شنبلیله بسته به نوع توده و رقم متفاوت است. شاخص تحمل به شوری برای توده‌های مشهدی، هندی و اردستانی به‌ترتیب ۲۵/۹۵، ۲۹/۲۴ و ۲۶/۵ بدست آمد. بنابراین، توده اصفهانی شنبلیله از نظر شاخص تحمل به شوری بسیار

نزدیک به توده هندی می‌باشد (بناکار و همکاران ۱۴۰۰ الف).

نتایج این تحقیق نشان داد که شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی به تنش شوری متحمل است بطوری که بذرهای شنبلیله می‌توانند تا شوری ۲۱/۸ $dS.m^{-1}$ بدون هیچگونه کاهش قابل توجهی در درصدجوانه‌زنی، جوانه بزنند. اگرچه نتایج آزمایشات قبل نشان داد که بیشترین حد آستانه تحمل به شوری (۲۴/۲ $dS.m^{-1}$) از توده هندی شنبلیله حاصل گردید (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰ الف)، لیکن، بر اساس نتایج این تحقیق و با در نظر گرفتن سایر صفات به ویژه شاخص بنیه بذر، طول دانه‌رست و شاخص تحمل به شوری (ST-index) می‌توان در مرحله جوانه‌زنی توده اصفهانی شنبلیله را به‌عنوان یک توده متحمل به شوری در نظر داشت.

جدول ۴- ضرایب معادله سیگموئیدی و شاخص تحمل به شوری (ST-index) توده اصفهانی شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی

EC_{50} ($dS.m^{-1}$)	ضریب S	$Exp(s*EC_{50})$	شاخص تحمل به شوری ST-index
25.6	0.0490	3.52	29.15

ب) تحمل به شوری شنبلیله در مرحله سبز شدن

مطابق با مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷)، حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله در مرحله سبز شدن (ظهور گیاهچه بر روی سطح خاک)، $dS.m^{-1}$ ۴/۹ و شیب کاهش سبز شدن آن ۷/۲۵ درصد بدست آمد (جدول ۵). به‌عبارت دیگر، بر اساس مدل خطی، با افزایش هر واحد شوری بالاتر از حد آستانه، میزان سبز شدن ۷/۲۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. پیش‌بینی می‌شود کاهش ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد سبز شدن بذر، به‌ترتیب در سطوح شوری ۸/۳، ۱۱/۸ و ۱۵/۲ $dS.m^{-1}$ رخ داده و در سطح شوری ۱۸/۷ $dS.m^{-1}$ سبز شدن بذر کاملاً متوقف گردد (جدول ۵). گزارش شده است که بر اساس مدل خطی بالاترین مقدار حد آستانه تحمل به شوری در مرحله سبز شدن متعلق به توده هندی (۷/۸ $dS.m^{-1}$) بود. این در حالی است که پایین‌ترین مقدار حد آستانه تحمل به شوری از توده‌های مشهدی و نی‌ریزی شنبلیله (به ترتیب ۱/۷ و ۱/۶ $dS.m^{-1}$) گزارش گردید (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰ب).

بسیاری از شواهد بیانگر این هستند که در گیاهان زراعی مرحله رشد رویشی حساس به نمک است. با این وجود، برخی از گیاهان دیگر ممکن است در مرحله جوانه‌زنی حساس و در مرحله بعدی متحمل به شوری باشند. سازوکار این امر ناشناخته است و تصور بر این است که این امر می‌تواند به تغییر در توازن هورمون‌های گیاهی نسبت داده شود (هاجمیر، ۱۹۹۷). در شرایط شور، مرحله سبز شدن گیاه مرحله‌ای بحرانی محسوب می‌گردد. به دلیل اینکه آب توسط نیروی اسمزی در محلول خاک قرار دارد، غلظت بالای نمک می‌تواند در جذب آب توسط بذر و فرآیند جوانه‌زنی اختلال ایجاد کرده و در نتیجه درصد سبزشدن را کاهش دهد (رنجبر و قدیری، ۱۳۹۵). گزارش شده است که برخی گیاهان در زمان جوانه‌زنی نسبت به زمان سبز شدن و استقرار بوته، به شوری متحمل‌تر می‌باشند (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۲). با این حال تنش شوری سرعت جوانه‌زنی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌تواند ظهور کلئوپتیل در سطح خاک را به تأخیر بیاندازد. تأخیر در سبز شدن گیاهچه به ویژه زمانی که با سله شدید خاک همراه باشد؛ می‌تواند به کاهش تعداد گیاهچه‌های سبز شده منجر گردد. از طرف دیگر به دلیل اینکه تبخیر معمولاً از سطح خاک و لایه هایی از خاک که بذر در آن قرار دارد بیشتر از عمق‌های پایین خاک می‌باشد، گیاهچه‌های جوان در معرض تنش شوری بالاتری قرار گرفته، در نتیجه مرگ و میر بوته‌ها افزایش می‌یابد (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج مشابهی از تأثیر منفی شوری بر درصد سبز شدن بذور کوشیا گزارش شد که در آن اعمال شوری ۱۰ و

۲۰ $dS.m^{-1}$ درصد سبز شدن بذور کوشیا را به ترتیب به میزان ۳۵ و ۶۷ درصد کاهش داد (نظامی و همکاران، ۱۳۸۷). این نتایج با نتایج تحقیق حاضر که نشان داد افزایش شوری موجب کاهش تدریجی میزان درصد سبز شدن گیاهچه‌های شنبلیله داشت، همخوانی دارد.

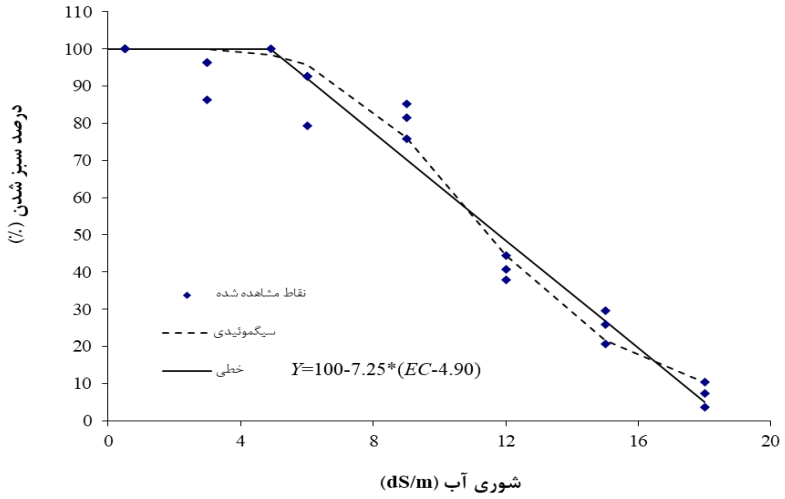
برخی مدل‌های ارائه شده در جدول ۵، واکنش به شوری شنبلیله را به شوری به صورت غیرخطی پیش‌بینی می‌کنند. در مدل‌های غیرخطی با افزایش هر سطح شوری میزان سبز شدن به طور تدریجی از همان ابتدا شروع به کاهش یافتن می‌کند و با توجه به شکل منحنی سیگموئیدی ممکن است میزان سبز شدن هیچگاه به صفر نرسد (شکل ۲). در مدل سیگموئیدی، بیشترین شوری که در آن بذور شنبلیله به مقدار ۵۰درصد جوانه می‌زنند (EC_{50}) معادل ۱۱/۵ $dS.m^{-1}$ بود.

بر اساس مدل سیگموئیدی تغییر یافته (استفن و همکاران، ۲۰۰۵الف؛ استفان و همکاران، ۲۰۰۵ب)، مقدار EC_{50} توده‌های شنبلیله برابر مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی معمولی (وانگنوختن و هافمن، ۱۹۸۴) بود. مقایسه مقادیر EC_{50} پیش‌بینی شده به وسیله مدل سیگموئیدی با مدل خطی سه قسمتی، نشان داد که مقدار شوری که در آن درصد سبز شدن بذور به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (EC_{50}) در مدل سیگموئیدی (۱۱/۵ $dS.m^{-1}$) اندکی کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل خطی (۱۱/۸ $dS.m^{-1}$) بود (شکل ۲).

جدول ۵- معادلات برازش داده شده مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی واکنش توده اصفهانی شنبلیله به تنش شوری در مرحله سبز شدن

نوع مدل	معادله برازش داده شده	معادله مرجع	r	مرجع
مدل سه قسمتی خطی	Y=100-7.25*(EC-4.90)	Y=100-l*(EC-a_0)	0.945	Maas and Hoffman, 1977
مدل سیگموئیدی	$Y=Y_m/[(1+(EC/11.47)^{4.78}]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^p]$	0.998	Van Genuchten and Hoffman, 1984
مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=Y_m/[(1+(EC/11.47)^{\exp 1.56}]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^{\exp s*EC_{50}}]$	0.998	Steppuhn, Van Genuchten and Grieve, 2005a
مدل عامل نمایی دوگانه	Y=100*exp[-0.0304(EC)-0.00803(EC)^2]	Y=100*exp[a(EC)-b(EC)^2]	0.714	Wang *et al*., 2002

در این معادلات Y_m، Y، EC، EC_{50} به ترتیب عملکرد حداکثر، عملکرد نسبی (٪)، متوسط شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد ($dS.m^{-1}$)، شوری عصاره اشباع خاک به ازای ۵۰٪ کاهش عملکرد ($dS.m^{-1}$) می‌باشند. همچنین، a_0، l، p و s به ترتیب حد آستانه تحمل به شوری، شیب خط، ثابت تجربی و شیب منحنی بوده و مقادیر a و b ضرایب ثابت هر معادله می‌باشند.



شکل ۲- نمودار واکنش توده اصفهانی شنبلیله به شوری در مرحله سبز شدن بر اساس مدل‌های خطی و سیگموئیدی

نتایج محاسبه شاخص تحمل به شوری برای توده اصفهانی شنبلیله نشان داد که مقدار این شاخص ۱۳/۰۴ بدست آمد (جدول ۶). شاخص تحمل به شوری شنبلیله بسته به نوع توده و رقم متفاوت است. بر اساس گزارشات ارائه شده، شاخص تحمل به شوری برای توده‌های مشهدی، هندی و اردستانی شنبلیله به‌ترتیب ۱۲/۰۱، ۱۵/۹۱ و ۱۳/۰۳ بود. بنابراین، در مرحله سبز شدن توده اصفهانی شنبلیله از نظر شاخص تحمل به شوری بسیار نزدیک به توده اردستانی می‌باشد. توده اصفهانی شنبلیله نسبت به توده مشهدی به شوره متحمل‌تر است ولی نسبت به توده هندی تحمل کمتری به شوری دارد (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰ب). در این تحقیق از شاخص تحمل به شوری برای ارزیابی واکنش شنبلیله به شوری استفاده شد. استفن و همکاران، (۲۰۰۵ب) کاربردهای عملی این شاخص را برای بیش از صد گونه و رقم از گیاهان زراعی محاسبه و جمع‌آوری نمودند. آن‌ها شاخص تحمل به شوری را برای یونجه، ذرت، نیشکر، گندم، برنج، سویا، آفتابگردان و سورگوم به‌ترتیب ۹/۴۳، ۶/۵۶، ۱۰/۶۸، ۱۴، ۸/۰۸، ۹/۳۴، ۱۵/۴۶ و ۱۱/۸۹ گزارش کردند. همچنین، مقادیر متناظر EC_{50} برای گونه‌های فوق به ترتیب ۸/۵، ۵/۵، ۹/۸، ۱۲/۶، ۶/۸، ۷/۲، ۱۴/۴ و ۹/۶ $dS.m^{-1}$ بود.

جدول ۶- ضرایب معادله سیگموئیدی و شاخص تحمل به شوری (ST-index) توده اصفهانی شنبلیله در مرحله سبز شدن

EC_{50} ($dS.m^{-1}$)	ضریب S	$Exp(s*EC_{50})$	شاخص تحمل به شوری ST-index
11.5	0.1364	4.78	13.04

ج) تحمل به شوری شنبلیله در مرحله رشد رویشی

در این پژوهش از مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی تحمل به شوری شنبلیله استفاده شد. برای این منظور، از ماده خشک تولیدشده در اندام هوایی (وزن خشک اندام هوایی) برای بررسی واکنش تحمل به شوری استفاده شد. بر اساس مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷) که در آن واکنش شنبلیله به شوری به‌صورت خطی پیشنهاد شده است، هنگامی‌که شوری خاک (EC) بین صفر و حد آستانه (a_0) باشد، عملکرد نسبی (Y) برابر ۱۰۰ درصد بوده و هیچ‌گونه کاهش عملکردی دیده نمی‌شود. لیکن، در شوری‌های زیادتر از حد آستانه عملکرد نسبی با شیب ثابتی (l) به‌صورت خطی شروع به کاهش می‌کند. بر اساس روابط مندرج در جدول ۵، مقدار حد آستانه (a_0) و شیب کاهش عملکرد (l) بر اساس مدل خطی به ترتیب برابر ۱/۳ $dS.m^{-1}$ و ۴/۹۱ درصد برآورد شد. این بدان معنی است که مطابق با مدل خطی میزان عملکرد نسبی شنبلیله تا ۱/۳ $dS.m^{-1}$ برابر ۱۰۰ درصد بوده، لیکن در شوری‌های زیادتر از آن به‌تدریج عملکرد آن شروع به کاهش پیدا می‌کند، به‌طوری‌که کاهش عملکرد ماده خشک معادل ۴/۹۱ درصد به ازای هر واحد افزایش شوری خاک است. بر این اساس، مطابق با مدل خطی، کاهش عملکرد نسبی به میزان ۱۰ درصد در شوری عصاره اشباع خاک ۳/۲ $dS.m^{-1}$ و کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی عملکرد نسبی به ترتیب در شوری خاک ۶/۴ و ۱۱/۵ $dS.m^{-1}$ اتفاق می‌افتد (شکل ۳). همچنین، بر اساس مدل خطی عملکرد نسبی ماده خشک در شوری خاک ۲۱/۷ $dS.m^{-1}$ به صفر خواهد رسید.

سایر مدل‌های ارائه شده در جدول ۷، واکنش شنبلیله به شوری را به‌صورت غیرخطی پیش‌بینی می‌کنند. بر این اساس، در مدل‌های غیرخطی همراه با افزایش هر سطح شوری، میزان عملکرد نسبی ماده خشک به‌طور تدریجی از همان ابتدا به‌طور سیگموئیدی و یا نمایی شروع به کاهش پیدا می‌کند (شکل ۴). بر اساس مدل غیرخطی ارائه شده توسط وانگنوختن و هافمن (۱۹۸۴)، کاهش ۱۰ و ۲۵ درصدی در عملکرد ماده خشک به ترتیب در شوری عصاره اشباع خاک ۳/۴ و ۶/۳ $dS.m^{-1}$ رخ می‌دهد. همچنین، مقدار شوری که در آن عملکرد نسبی ماده خشک به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (EC_{50})، در

شوری $dS.m^{-1}$ ۱۱/۷ پیش‌بینی می‌شود (جدول ۷ و شکل ۴).

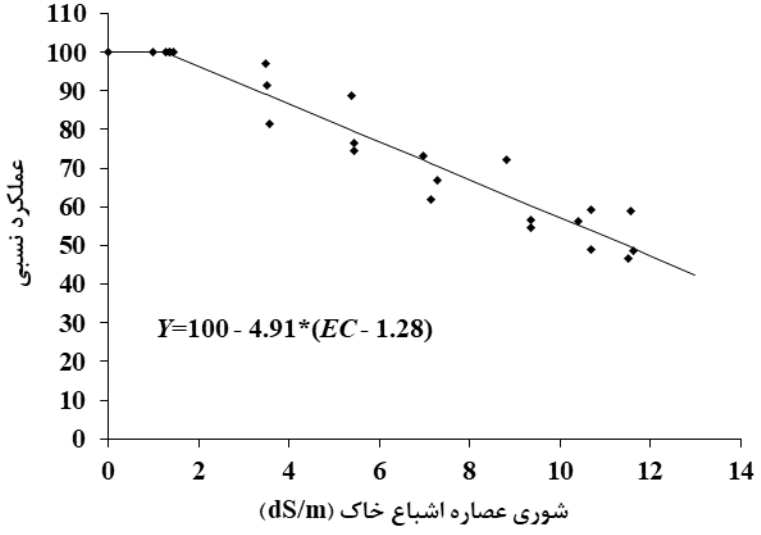
بر اساس نتایج حاصله، در شکل دیگری از مدل سیگوئیدی که در آن منحنی واکنش به شوری را به‌صورت نمایی پیش‌بینی شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۲) افزایش شوری خاک در $dS.m^{-1}$ ۳/۲۳ موجب کاهش عملکرد نسبی به میزان ۱۰ درصد می‌شود. همچنین، شوری خاک در ۷/۴۲ و $dS.m^{-1}$ ۱۴/۲۴ منجر به کاهش عملکرد نسبی ماده خشک به ترتیب به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد خواهد شد (جدول ۷ و شکل ۴).

بر اساس رابطه چند جزئی نزولی تغییریافته که شکل دیگری از مدل سیگموئیدی است، کاهش عملکرد در اثر افزایش شوری را به‌صورت غیرخطی نشان می‌دهد. در این رابطه، پارامتر s شیب منحنی است که از قدر مطلق مشتق تغییرات عملکرد نسبی به تغییرات شوری محیط (|dY/dEC|) به دست می‌آید. در این رابطه، عبارت نمایی ($s.\ EC_{50}$) میزان برآمدگی و یا فرورفتگی دو طرف منحنی را نسبت به EC_{50} نشان می‌دهد. بر اساس پارامتر غیرخطی EC_{50} و s، شاخص تحمل به شوری (ST-index) به‌عنوان معیاری برای مقایسه تحمل به شوری پیشنهاد شده است. در این پژوهش، مقدار EC_{50} و ضریب s به ترتیب $dS.m^{-1}$ ۱۱/۷ و ۰/۰۴۹ به دست آمد. با قرار دادن این اعداد در معادله مرجع، شاخص تحمل به شوری (ST-index) برای شنبلیله ۱۲/۲۴ محاسبه شد.

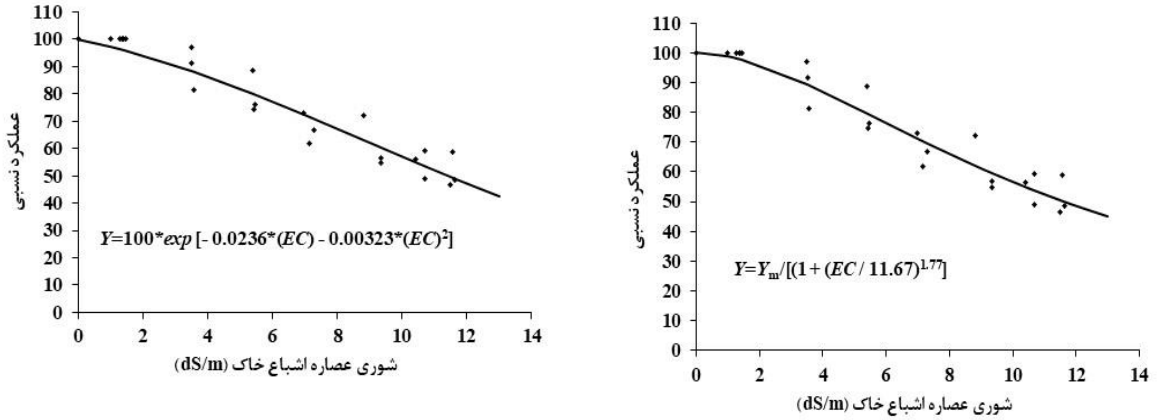
جدول ۷- معادلات برازش داده شده مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی واکنش توده اصفهانی شنبلیله به تنش شوری در مرحله رشد رویشی

نوع مدل	معادله برازش داده شده	معادله مرجع	r	مرجع
مدل سه قسمتی خطی	$Y=100-4.91*(EC-1.28)$	$Y=100-l*(EC-a_0)$	0.996	Maas and Hoffman, 1977
مدل سیگموئیدی	$Y=Y_m/[(1+(EC/11.67)^{1.77}]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^p]$	0.999	Van Genuchten and Hoffman, 1984
مدل سیگموئیدی تغییر یافته	$Y=Y_m/[(1+(EC/11.67)^{\exp 0.572}]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^{\exp s*EC_{50}}]$	0.999	Steppuhn, Van Genuchten and Grieve, 2005a
مدل عامل نمایی دوگانه	$Y=100*\exp[-0.0236(EC)-0.00323(EC)^2]$	$Y=100*\exp[a(EC)-b(EC)^2]$	0.974	Wang *et al*., 2002

در این معادلات Y_m، Y، EC، EC_{50} به ترتیب عملکرد حداکثر، عملکرد نسبی (٪)، متوسط شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد ($dS.m^{-1}$)، شوری عصاره اشباع خاک به ازای ۵۰٪ کاهش عملکرد ($dS.m^{-1}$) می‌باشند. همچنین، a_0، l، p و s به ترتیب حد آستانه تحمل به شوری، شیب خط، ثابت تجربی و شیب منحنی بوده و مقادیر a و b ضرایب ثابت هر معادله می‌باشند.



شکل ۳- نمودار واکنش توده اصفهانی شنبلیله به شوری در مرحله رشد رویشی بر اساس مدل‌خطی



شکل ۴- پیش‌بینی تغییرات عملکرد نسبی ماده خشک توده اصفهانی شنبلیله به شوری عصاره اشباع خاک مطابق با مدل‌های غیرخطی. سیگموئیدی (راست)، نمایی (چپ)

مقایسه پارامترهای محاسبه شده شاخص تحمل به شوری و EC_{50} شنبلیله (به ترتیب ۱۲/۲۴، ۱۱/۷ $dS.m^{-1}$) با مقادیر ارائه شده برای گونه‌های زراعی رایج می‌تواند برآوردی از تحمل به شوری شنبلیله به دست دهد. بر این اساس، اعداد شاخص تحمل به شوری و EC_{50} شنبلیله خیلی نزدیک به سورگوم بوده و بنابراین احتمالا اندکی متحمل‌تر از آن می‌باشد (جدول ۸). معذلک، مطابق با مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷) که در آن گروه‌بندی گیاهان از نظر تحمل به شوری بر اساس اعداد آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش عملکرد می‌باشد، می‌توان شنبلیله را در یکی از این گروه‌ها طبقه‌بندی کرد. با توجه به نتایج این تحقیق، بر اساس مدل خطی ماس و هافمن (۱۹۷۷) حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله بر اساس عملکرد خشک معادل ۱/۳ $dS.m^{-1}$ با شیب کاهش عملکرد ۴/۹ درصد بود. با مکان یابی این اعداد در نمودار واکنش تغییرات عملکرد گیاهان به شوری (آیرز و وسکات، ۱۹۸۹)، شنبلیله را می‌توان از نظر عملکرد ماده خشک در مرحله رشد رویشی در گروه گیاهان نسبتاً حساس به شوری گروه‌بندی نمود (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰ج).

جدول ۸- ضرایب معادله سیگموئیدی و شاخص تحمل به شوری (ST-index) توده اصفهانی شنبلیله در مرحله رشد رویشی

EC_{50} ($dS.m^{-1}$)	ضریب S	$Exp(s*EC_{50})$	شاخص تحمل به شوری ST-index
11.7	0.0490	1.77	12.24

اغلب تولید ماده خشک برای مشخص ساختن واکنش گیاه به شوری بکار می‌رود. از آنجا که محتوای آبی گیاه در شرایط تنش متفاوت است، تولید ماده خشک به عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی اثرات شوری در گیاه بکار می‌رود (هاجمیر، ۱۹۷۷). کاهش عملکرد بیولوژیک یا ماده خشک در اثر تنش شوری ناشی از کاهش جذب آب، کاهش تعرق، کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و فراورده‌های فتوسنتزی می‌باشد که هریک از آنها معلول عوامل دیگری است. همچنین، بنا به اعتقاد تستر و داونپورت (۲۰۰۳)، ساخت پروتئین و آنزیم مستلزم وجود غلظت‌های بالایی از پتاسیم است، لیکن، در تنش شوری حضور مقادیر بالای یون‌های سدیم بجای پتاسیم موجب اختلال در الگوی پروتئین‌سازی و رشد شده که یکی از آسیب‌های مهم تنش شوری در گیاهان است (تستر و داونپورت، ۲۰۰۳؛ بناکار و همکاران، ۲۰۲۲).

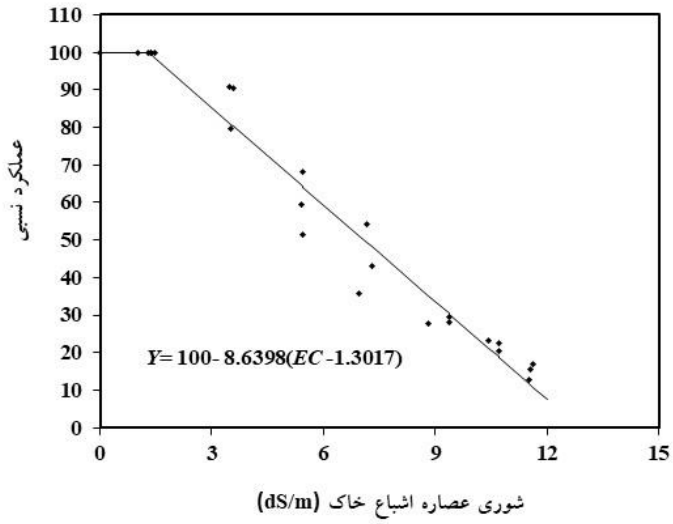
د) تحمل به شوری شنبلیله در مرحله رشد زایشی

در این تحقیق از مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی تحمل به شوری شنبلیله در مرحله رشد زایشی استفاده شد. برای این منظور صفت عملکرد دانه برای بررسی واکنش تحمل به شوری مورد استفاده قرار گرفت. مطابق با مدل خطی ارائه شده توسط ماس و هافمن (۱۹۷۷) و روابط مندرج در جدول ۵، مقدار حد آستانه (a_0) و شیب کاهش عملکرد (l) بر اساس مدل خطی به ترتیب برابر ۱/۳ $dS.m^{-1}$ و ۸/۶۴ درصد برآورد گردید. این بدان معنی است که مطابق با مدل خطی میزان عملکرد نسبی دانه شنبلیله تا ۱/۳ $dS.m^{-1}$ برابر ۱۰۰ درصد بوده، اما در شوری‌های بالاتر از آن به تدریج عملکرد دانه شروع به کاهش پیدا می‌کند، به طوری که مقدار کاهش عملکرد دانه معادل ۸/۶۴ درصد به ازای هر واحد افزایش شوری خاک می‌باشد (شکل ۵). بر این اساس، مطابق با مدل خطی، کاهش عملکرد نسبی دانه به میزان ۱۰ درصد در شوری عصاره اشباع خاک ۲/۵ $dS.m^{-1}$ و کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در شوری خاک ۴/۲ و ۷/۱ $dS.m^{-1}$ اتفاق می‌افتد. همچنین، عملکرد نسبی دانه در شوری خاک ۱۲/۹ $dS.m^{-1}$ به صفر خواهد رسید (جدول ۸).

جدول ۹- معادلات برازش داده شده مدل‌های مختلف تجربی برای ارزیابی واکنش توده اصفهانی شنبلیله به تنش شوری در مرحله رشد زایشی و تشکیل دانه

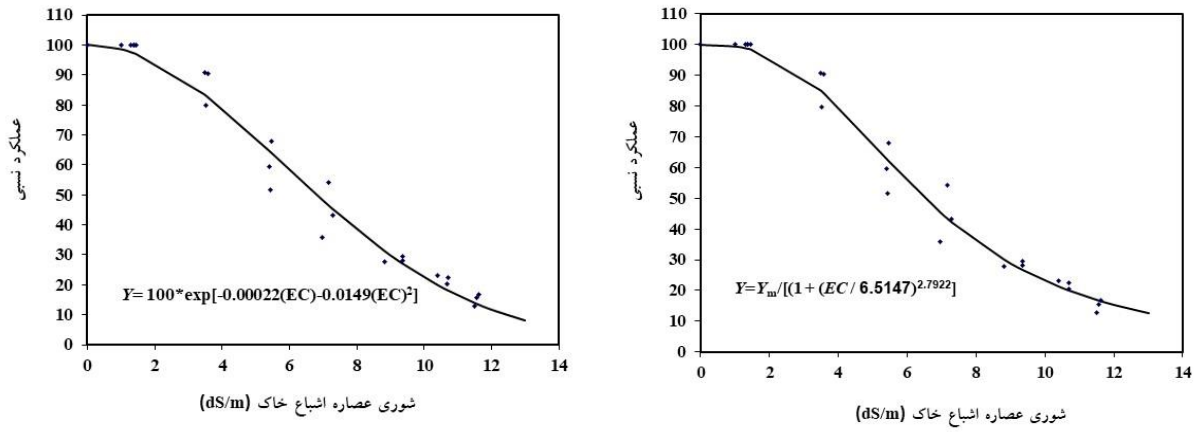
مرجع	r	معادله مرجع	معادله برازش داده شده	نوع مدل
Maas and Hoffman, 1977	0.996	Y=100-l*(EC-a_0)	Y=100-8.64*(EC-1.30)	مدل سه قسمتی خطی
Van Genuchten and Hoffman, 1984	0.999	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^p]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/6.51)^{2.79}]$	مدل سیگموئیدی
Steppuhn, Van Genuchten and Grieve, 2005a	0.999	$Y=Y_m/[(1+(EC/EC_{50})^{\exp s*EC_{50}}]$	$Y=Y_m/[(1+(EC/6.51)^{\exp 1.027}]$	مدل سیگموئیدی تغییر یافته
Wang *et al.*, 2002	0.913	Y=100*exp[a(EC)-b(EC)^2]	Y=100*exp[-0.00022(EC)-0.0149(EC)^2]	مدل عامل نمایی دوگانه

در این معادلات Y_m، Y، EC، EC_{50} به ترتیب عملکرد حداکثر، عملکرد نسبی (٪)، متوسط شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد ($dS.m^{-1}$)، شوری عصاره اشباع خاک به ازای ۵۰٪ کاهش عملکرد ($dS.m^{-1}$) می‌باشند. همچنین، a_0، l، p و s به ترتیب حد آستانه تحمل به شوری، شیب خط، ثابت تجربی و شیب منحنی بوده و مقادیر a و b ضرایب ثابت هر معادله می‌باشند.



شکل ۵- نمودار واکنش توده اصفهانی شنبلیله به شوری در مرحله رشد زایشی بر اساس مدل‌خطی

سایر مدل‌های ارائه شده در جدول ۹، واکنش شنبلیله به شوری را به صورت غیر خطی پیش‌بینی می‌کنند. بر این اساس در مدل‌های غیر خطی همراه با افزایش هر سطح شوری، میزان عملکرد دانه به صورت تدریجی از همان ابتدا به طور سیگموئیدی و یا نمایی شروع به کاهش یافتن می‌کند (شکل ۶). بر اساس مدل غیر خطی ارائه شده توسط وانگنوختن و هافمن (۱۹۸۴)، کاهش ۱۰ و ۲۵ درصدی در عملکرد نسبی دانه به ترتیب در شوری عصاره اشباع خاک ۳/۰ و ۴/۴ $dS.m^{-1}$رخ می‌دهد. همچنین، مقدار شوری که در آن عملکرد نسبی دانه به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (EC_{50}) معادل $dS.m^{-1}$ ۶/۵ می‌باشد (جدول ۹ و شکل ۶).



شکل ۶- پیش‌بینی تغییرات عملکرد دانه توده اصفهانی شنبلیله به شوری عصاره اشباع خاک مطابق با مدل‌های غیرخطی. سیگموئیدی (راست)، نمایی (چپ)

بر اساس نتایج حاصله، در شکل دیگری از مدل سیگوئیدی که در آن منحنی واکنش به شوری را به صورت نمایی پیش‌بینی شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۲)، افزایش شوری خاک در ۲/۷ $dS.m^{-1}$ موجب کاهش عملکرد نسبی دانه به میزان ۱۰درصد می‌گردد. همچنین، شوری خاک در ۴/۴ و ۶/۸ $dS.m^{-1}$ منجر به کاهش عملکرد نسبی دانه به ترتیب به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد خواهد گردید (جدول ۹ و شکل ۶).

بر اساس رابطه چند جزئی نزولی تغییر یافته که شکل دیگری از مدل سیگموئیدی می‌باشد، کاهش عملکرد در اثر افزایش شوری را به صورت غیر خطی نشان می‌دهد. در این رابطه، پارامتر s شیب منحنی می‌باشد که از قدر مطلق مشتق تغییرات عملکرد نسبی به تغییرات شوری محیط (|dY/dEC|) به دست می‌آید. در این رابطه، عبارت نمایی ($s \cdot EC_{50}$) میزان برآمدگی و یا فرورفتگی دو طرف منحنی را نسبت به EC_{50} نشان می‌دهد (بناکار و همکاران، ۱۴۰۰ج). بر اساس پارامتر غیر خطی EC_{50} و s، شاخص تحمل به شوری (ST-index) به عنوان معیاری برای مقایسه تحمل به شوری پیشنهاد شده است. در این تحقیق، مقدار EC_{50} و ضریب s به ترتیب $dS.m^{-1}$ ۶/۵ و ۰/۱۵۷۶ به دست آمد. با قرار دادن این اعداد در رابطه (۴)، شاخص تحمل به شوری (ST-index) برای شنبلیله ۷/۵۴ محاسبه گردید (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- ضرایب معادله سیگموئیدی و شاخص تحمل به شوری (ST-index) توده اصفهانی شنبلیله در مرحله رشد زایشی

شاخص تحمل به شوری ST-index	$Exp(s*EC_{50})$	ضریب S	EC_{50} ($dS.m^{-1}$)
7.54	2.79	0.1576	6.5

شوری می‌تواند بسیاری از فرایندهای مربوط به رشد زایشی که مرتبط با عملکرد دانه است را مختل نموده و به نمو گیاه صدمه وارد سازد. تنش شوری از طریق کاهش قدرت زنده ماندن دانه گرده و کاهش قدرت جوانه‌زنی آن، باروری و پر شدن دانه را تحت تاثیر قرار داده و به کاهش عملکرد دانه منجر می‌شود (میرمحمدی میبدی و قره یاضی، ۱۳۸۱). در گندم یکی از علل کاهش عملکرد دانه، عقیم شدن قسمت انتهایی سنبله گزارش شده است. علاوه بر این، عامل دیگری که باعث کاهش عملکرد می‌گردد، تاثیری است که شوری بر اجزای عملکرد گذاشته و منجر به کاهش تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌شود (رنجبر و بناکار، ۱۳۹۲). در جو، اثرات منفی شوری بر عملکرد دانه، وزن دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله‌های عقیم و وزن هزار دانه گزارش

شده است (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۹). گزارش شده است که در کلزا کاهش تعداد غلاف در بوته ممکن است ناشی از هورمون اسید آبسزیک باشد، زیرا بالا بودن این هورمون می‌تواند موجب مرگ دانه‌های گرده شده و بنابراین تعداد گل‌های لقاح یافته و نهایتا تعداد غلاف را کاهش دهد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۵). نشان داده شده است که تنش شوری در بادام زمینی موجب کاهش وزن خشک نیام شده است. همچنین، در برنج آبیاری با آب شور، کاهش تعداد دانه‌های گرده زنده را به دنبال داشته که به کاهش تعداد سنبله‌های بارور و کاهش عملکرد دانه منجر شده است (هاجمیر، ۱۹۷۷). نشان داده شده است که در شنبلیله تنش شوری موجب کاهش تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه تعداد دانه‌های پر، عملکرد دانه و افزایش درصد دانه‌های پوک گردید (بناکار و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج این تحقیق نشان داد که تحمل به شوری شنبلیله در مراحل مختلف رشد متفاوت بود. در جدول ۱۱ خلاصه‌ای از تغییرات حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش، شاخص تحمل به شوری، حداکثر شوری که در آن عملکرد به‌میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد درج شده است.

جدول ۱۱- تغییرات حدآستانه تحمل به شوری، شیب کاهش، شاخص تحمل به شوری (ST-index) و حداکثر شوری که در آن عملکرد به‌میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (EC50) برای توده اصفهانی شنبلیله در مراحل مختلف رشد

مرحله رشد	حد آستانه تحمل به شوری ($dS.m^{-1}$)	شیب کاهش (٪)	شاخص تحمل به شوری ST-index	EC_{50} ($dS.m^{-1}$)
جوانه‌زنی	20.3	10.37	25.6	29.15
سبزشدن	4.9	7.25	13.04	11.5
رشد رویشی	1.3	4.9	12.24	11.7
رشد زایشی	1.3	8.64	7.54	6.5

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از مدل‌های مختلف تجربی برای بررسی تغیرات حد آستانه تحمل به شوری، شیب کاهش عملکرد و شاخص تحمل به شوری در هر یک از مراحل مختلف رشد استفاده شد. نتایج نشان داد که تحمل به شوری شنبلیله در مراحل مختلف رشد متفاوت بود بطوری‌که این گیاه در مرحله جوانه‌زنی بیشترین میزان تحمل را به شوری نشان داد. در مرحله جوانه‌زنی حد آستانه تحمل به شوری ۲۰/۳ $dS.m^{-1}$ و شیب کاهش جوانه‌زنی ۱۰/۳۷ درصد بود. لیکن، این تحمل در مراحل بعدی رشد و نمو به تدریج کمتر شد. به‌طوری که شنبلیله در مرحله سبزشدن نسبت به جوانه‌زنی تحمل به شوری پایین‌تری از خود نشان داد (حد آستانه ۴/۹ $dS.m^{-1}$ با شیب کاهش ۷/۲۵ درصد). در مرحله رشد رویشی تحمل به شوری شنبلیله کمتر شده به‌طوری که حد آستانه تحمل به شوری آن در این مرحله ۱/۳ $dS.m^{-1}$ همراه با شیب کاهش عملکرد ۴/۹ درصد بود. شنبلیله در مرحله رسیدگی دانه کمترین تحمل را به شوری نشان داد. در مرحله رسیدگی دانه حد آستانه تحمل به شوری شنبلیله ۱/۳ $dS.m^{-1}$ با شیب کاهش عملکرد ۸/۶۴ درصد همراه بود. مطابق مدل‌های غیرخطی مقادیر متناظر شوری که در آن عملکرد به‌اندازه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (EC_{50}) برای توده اصفهانی شنبلیله در مراحل جوانه‌زنی، سبزشدن، رشد رویشی و رسیدگی دانه به‌ترتیب ۲۵/۸، ۱۱/۵، ۱۱/۷، ۶/۵ $dS.m^{-1}$ به‌دست آمد. بنابراین، در مناطقی که دسترسی به منابع آب با کیفیت متفاوت وجود دارد می‌توان از آنها برای آبیاری شنبلیله در مراحل اولیه رشد از آب شور و به تدریج در مراحل بعدی رشد از آب‌های با کیفیت بالاتر اسفاده کرد.

فهرست منابع

۱. بناکار، م.ح.، امیری، ح.، رنجبر، غ.ح. و سرافراز اردکانی، م.ر.۱۴۰۰الف. تعیین آستانه تحمل به شوری توده‌های مختلف شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های تجربی. مجله پژوهش‌های گیاهی. جلد ۳۴. شماره ۴. ۲۲-۱.

۲. بناکار، م.ح.، امیری، ح.، رنجبر، غ.ح. و سرافراز اردکانی، م.ر. ۱۴۰۰ب. ارزیابی و تعیین حد آستانه تحمل به شوری برخی توده‌های شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) در مرحله سبز شدن گیاهچه. مجله پژوهش‌های بذر ایران. سال هشتم. شماره ۲. ۶۷-۵۱.

۳. بناکار، م.ح.، امیری، ح.، رنجبر، غ.ح. و سرافراز اردکانی، م.ر. ۱۴۰۰ج. اثر شوری بر برخی صفات مورفولوژیک شنبلیله و تعیین حد آستانه تحمل به شوری در مرحله رویشی با استفاده از برخی مدل‌های تجربی. مجله تنش های محیطی در علوم زراعی. جلد چهاردهم. شماره ۴. ۱۱۰۳-۱۰۸۱.

۴. بناکار، م.ح.، امیری، ح.، رنجبر، غ.ح. و سرافراز اردکانی، م.ر. ۱۳۹۹. تعیین حد آستانه تحمل به شوری و اثرات استفاده از آب شور بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum*). مجله فرایند و کارکرد گیاهی. جلد ۹. شماره ۳۹. ۳۰۹-۲۸۹.

۵. حسن زاده، ا.، رضازاده، ش.، ع.، شمسا، س.، ف.، دولت آبادی، ر. و زرین قلم، ر.، ۱۳۸۹. مروری بر خواص درمانی و فیتوشیمیایی شنبلیله (Fenugreek). فصلنامه گیاهان دارویی. سال نهم. دوره دوم. شماره ۳۴. ۱۳-۱.

۶. دادخواه، ع.، ر.، ۱۳۸۹. مطالعه اثر تنش شوری و نوع نمک بر جوانه زنی و رشد گیاهچه چهار گیاه دارویی شنبلیله، کنجد، شاهدانه و زنیان. فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۲۶. شماره ۳. ۳۶۹-۳۵۸.

۷. میرمحمدی میبدی، س.ع.م. و قره یاضی، ب. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و بهنژادی تنش شوری گیاهان، *انتشارات دانشگاه صنعتی*، اصفهان، ۲۸۸ صفحه.

۸. رنجبر، غ.ح. و غدیری، ح. ۱۳۹۵. کمی‌سازی سبزشدن بذر کوشیا (*Kochia indica*) تحت تاثیر دما، شوری و عمق کاشت، *مجله پژوهش‌های بذر ایران*، سال ۳، شماره ۲، ۵۵-۴۱.

۹. رنجبر، غ.ح.؛ پیراسته انوشه، ه.؛ امام، ی و حسین‌زاده، س.ح. ۱۳۹۲. تاثیر تنش شوری بر مراحل مختلف رشد گندم رقم روشن، *فصلنامه تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی*، سال ۵، شماره ۱، ۳۱-۲۳.

۱۰. رومانی، ا. و احتشامی، س. م. ر.، ۱۳۹۳. اثر سطوح مختلف تنش شوری بر جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*). پژوهش های بذر ایران. سال اول. شماره ۱. ۴۵-۳۳.

۱۱. زرگری، ع.، ۱۳۷۱. گیاهان دارویی. جلد اول. چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران. ۹۴۶ صفحه.

۱۲. شهیدی، ر.؛ کامکار، ب.؛ لطیفی، ن. و گالشی، س. ۱۳۸۹. اثر سطوح مختلف شوری و زمان تیمار روی عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو بدون پوشه (*Hordeum vulgare* L.)، *مجله تولید گیاهان زراعی*، دوره ۳، شماره ۲، ۶۳-۴۹.

۱۳. نوح‌پیشه، ز.، امیری، ح.، محمدی غلامی، ع. و فرهادی، س. ۱۳۹۹. تأثیر نانوذره اکسید روی (ZnO)بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم از شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در شرایط تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۹ (۳۵) :۴۲۳-۴۳۸.

۱۴. فرهادی،ح. و عزیزی، م ، ۱۳۹۵. اثر پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی چهار توده بومی شنبلیله در شرایط تنش شوری (*Trigonella foenum-graecum* L.). پژوهش های تولید گیاهی. جلد بیست و سوم، شماره ۳. ۱۹-۱.

۱۵. مهرآفرین، ع.، قوامی، ن.، نقدی بادی، ح. ع. و قادری، ا.، ۱۳۹۰. آلکالوئید تریگونلین، یک متابولیت دارویی ارزشمند گیاهی. فصلنامه گیاهان دارویی. سال ۱۱. دوره اول. شماره ۸. ۲۹-۱۲.

۱۶. ناصری، م.؛ آرویی، ح.؛ کافی، م. و نعمتی، ح. ۱۳۹۵. تأثیر آب شور بر ویژگی‌های فیزیولوژیک شنبلیله در کشت هیدروپونیک"، *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، دوره ۳۰، شماره ۱. ۷۱-۶۵، ۱۳۹۵.

۱۷. ارچنگی، آ؛ خدامباشی، م. و محمدخانی، ع. ۱۳۹۱. تأثیر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک و میزان عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum gracum*) تحت شرایط کشت هیدروپونیک، *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، سال ۳، شماره ۱۰، ۴۰-۳۳.

۱۸. نظامی، ا.؛ نباتی، ج.؛ کافی، م. و محسنی، م. ۱۳۸۷. ارزیابی تحمل به شوری کوشیا (*Kochia scoparia* (L.) Schrad) در مرحله سبزشدن و گیاهچه‌ای تحت شرایط کنترل شده، *مجله تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی*، دوره ۱، شماره ۱، ۷۷-۶۹.

19. Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1989. Water quality for agriculture, FAO, Irrigation and drainage paper 29, *Food and agriculture Organization of the United Nations*, Rome, 174PP.

20. Abdelmoumen, H. and Missbah El Idrissi, M., 2009. Germination, growth and nodulation of *Trigonella foenum graecum* (Fenu Greek) under salt stress. African Journal of Biotechnology. 8 (11): 2489-2496.

21. Banakar, M.H.; Amiri, H. Sarafraz Ardakani, M.R.; Ranjbar, G.H. 2022. Susceptibility and tolerance of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) to salt stress: Physiological and biochemical inspections. Journal of Environmental and Experimental Botany. 194. 104748. 1-10.

22. Chowdhury, M.M.U., Bhowal, S.K., Farhad, I.S.M., Choudhury, A.K. and Khan, A.S.M.M.R., 2014. Productivity of Fenugreek Varieties (*Trigonella foenum-graecum* L.) in the Coastal Saline Areas of Noakhali. The Agriculturists Journal. 12(2): 18-23.

23. Ghorbanpour, A., Mami, Y., Ashournezhad, M., Abri, F. and Amani, M., 2011. Effect of salinity and drought stress on germination of fenugreek. African Journal of Agricultural Research. 6(24): 5529-5532.

24. Hagemeyer, J.,1997. Salt. In: Prasad, M. N. V. Plant Ecophysiology. Wiley and Sons, Inc. New York. 173-206.

25. Maas, E.V. and Hoffman G.L., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of Irrigation and Drainage. Div. ASCE. 103: 115-134.

26. Barahouee, M. and Sabbagh, E. 2017. Influence of vermicompost and salt stress on some characteristics of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.), *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 6(1): 60-63.

27. Petropoulos, G.A. 2002. Fenugreek, the genus Trigonella. London and New York. 214 pages.

28. Sharma, Sh. And Vimala, Y. 2016. Effect of Salt Stress on Germination and Growth of *T. foenum graecum* Seedlings. International Journal of Advanced Research. 4 (3): 40-45.

29. Sindhu, S.N., Prathika G., Sindhuja U., Akshaya, S. and Abhilasha, V.G. 2017. Evaluation of abiotic stress induced physiological and biochemical changes in *Trigonella Foenum-Graecum*. IOSR Journal of Biotechnology and Biochemistry. 3 (1): 89-97.

30. Steppuhn, H., Van Genuchten, M.Th. and Grieve, C.M., 2005a. Root-zone salinity: I: selecting and product-yield index and response functions for crop tolerance. Crop Science, 45: 209-220.

31. Steppuhn, H., Van Genuchten, M.Th. and Grieve, C.M., 2005b. Root-zone salinity: II: Indices for tolerance in agricultural crops. Crop Science, 45: 221-232.

32. Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annual Journal of Botany, 91: 503–550.

33. Van Genuchten, M.Th. and Hoffman, G.J., 1984. Analyzing crop salt tolerance data. P: 285-271, In: Shainberg, I. and Shalhevet, J. (eds.), Soil salinity under irrigation- process and management, Springer-Verlag, NewYork, NY.

34. Volkmar, K. M., Hu, Y. & Steppuhn, H., 1997. Physiological responses of plants to salinity: A review. Canadian Journal of Plant Science, 78: 19-27.

35. Maas, E.V. and Hoffman G.L. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Irrigation and Drainage Division, ASCE 103:115-134.

36. Zahir, M. and Hussain, F. 2010. Vegetative growth performance of five medicinal plants under NaCl salt stress, *Pakistan Journal of Botany*, 42(1): 303-316.

37. Zahir, M. and Hussain, F. 2011. Effect of NaCl salinity on the germination and seedling growth of some medicinal plants. Pakistan Journal of Botany. 42(2): 889-897.

38. Wang, D., Poss, J.A., Donovan, T.J., Shannon, M.C. and Lesch, S.M. 2002. Biophysical properties and biomass production of elephant grass under saline conditions, *Journal of Arid Environments*, 52 (4): 447-456.

نشریه پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۹ / شماره۱ / ۱۰۱/۱۴۰۴-۷۵
DOI: 10.22092/IJSR.2025.368579.769

بررسی وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌ها و درختان باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد

صفیه خلیلی[۱]، حمیدرضا اولیایی[۲*]، محمدرضا چاکرالحسینی[۳] و ابراهیم ادهمی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویر احمد، یاسوج، ایران. safiyekhalili@yahoo.com

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویر احمد، یاسوج، ایران. owliaie@gmail.com

۳- استادیار پژوهش بخش تحقیقات آب و خاک، مرکز تحقیقات کشاورزی کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران. reza.rns2007@gmail.com

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویر احمد، یاسوج، ایران. eadhami@gmail.com

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰و پذیرش:۱۴۰۴/۴/۲۵

چکیده

پتاسیم نقش اساسی در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی دارد. با این حال، بخش عمده پتاسیم موجود در خاک به‌صورت غیرتبادلی و ساختمانی است که به‌راحتی برای گیاه قابل جذب نیست. این پژوهش با هدف بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های سطحی و زیرسطحی باغ‌های پرتقال در استان‌های فارس (۱۰ باغ) و کهگیلویه و بویراحمد (۸ باغ) و همچنین معرفی عصاره‌گیر مناسب برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل استفاده در این خاک‌ها انجام شد. پژوهش بر روی ۳۶ نمونه خاک از ۱۸ باغ (در دو عمق) انجام گرفت. شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل اندازه‌گیری شد. همچنین، برگ‌های شاخه‌های یک‌ساله جمع‌آوری و غلظت پتاسیم آن‌ها بررسی شد. با استفاده از ۱۱ عصاره‌گیر شامل کلرید سدیم ۱ و ۲ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مورگان، بیکربنات آمونیم-DTPA، استات آمونیم یک مولار، استات سدیم یک مولار، اسید نیتریک ۰/۱ مولار، اسید کلریدریک ۲ مولار، اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار و استات منیزیم یک مولار، پتاسیم خاک استخراج شد و همبستگی آن‌ها با پتاسیم جذب شده توسط درخت پرتقال تعیین شد. نتایج نشان داد که عصاره‌گیر اسید کلریدریک ۲ مولار، بیشترین همبستگی را با پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه دارد. همچنین، بر اساس حد استاندارد پتاسیم خاک، تنها سه باغ در استان فارس و ۳ باغ در استان کهگیلویه و بویراحمد دارای مقادیر پتاسیم بالاتر از حد بحرانی بودند. تجزیه برگ درختان مزبور نیز نشان داد که ۶۰٪ از نمونه‌های برگ باغ‌های استان فارس و ۲۵٪ از نمونه‌های برگ باغ‌های استان کهگیلویه و بویراحمد کمتر از حد کفایت پتاسیم داشته‌اند. بنابراین، در بیشتر باغ‌ها، استفاده از کودهای پتاسیمی برای دستیابی به حداکثر عملکرد محصول ضروری به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم قابل استفاده، خاک آهکی، عصاره‌گیر، مرکبات

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

استناد: خلیلی، ص.، اولیایی، ح.، چاکرالحسینی، م.، ادهمی. الف.، ۱۴۰۴. بررسی وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌ها و درختان باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد . مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش های خاک، (۱) ۳۹، ۷۵-۱۰۱.

مقدمه

پتاسیم، کاتیونی تک‌ظرفیتی بوده، که با وجود معدنی‌بودن، تأثیر قابل‌توجهی بر ترکیبات آلی خاک دارد. اگرچه این عنصر حیاتی را می‌توان به سادگی چنین توصیف کرد، اما نقش آن در خاک، گیاه و فرآیندهای مرتبط، پیچیده و چندبعدی است. آگاهی از وضعیت پتاسیم تأثیر بسزایی در ارزیابی حاصلخیزی خاک دارد. در خاک‌های آهکی، رفتار پتاسیم نامشخص است که این امر به عواملی نظیر وجود کانی‌های پتاسیم‌دار با درجه هوادیدگی پایین، کمبود مواد آلی و برهم‌کنش کلسیم با پتاسیم در فرآیندهای مختلف وابسته است (نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳). از سوی دیگر، عواملی همچون آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار و تثبیت پتاسیم افزوده‌شده به خاک، نقش مهمی در مدیریت این عنصر و ارائه توصیه‌های کودی دارند. بنابراین، در مدیریت حاصلخیزی پتاسیم خاک، لازم است تعادل بین شکل‌های مختلف پتاسیم و پویایی آن در فازهای گوناگون خاک با دقت بررسی شود (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۲۲؛ نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۹b).

مقدار پتاسیم کل در خاک‌ها معمولاً بین ۰/۰۴ تا ۳ درصد متغیر است. با وجود اینکه میزان پتاسیم کل در خاک بسیار بیشتر از نیاز گیاه است، تنها بخش اندکی از آن برای گیاه قابل استفاده است. بسته به نوع خاک، حدود ۹۰ تا ۹۸ درصد از پتاسیم کل به‌صورت ساختمانی بوده و در ساختار کانی‌ها تثبیت شده است. یک تا ۱۰ درصد دیگر به شکل غیرتبادلی است که در میان لایه‌های کانی‌های رسی قرار دارد. در نهایت، تنها ۱ تا ۲ درصد از پتاسیم خاک به شکل محلول و تبادلی در دسترس است که این مقدار نسبتاً محدود می‌باشد (ویتوش و همکاران، ۱۹۹۶). پتاسیم در خاک به چهار شکل اصلی یافت می‌شود: ساختمانی، تثبیت‌شده، تبادلی و محلول. میان این اشکال، رابطه تعادلی وجود دارد و این روابط در تغذیه گیاه از اهمیت بالایی برخوردار هستند (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۲۴؛ صدری و همکاران، ۱۳۹۵).

مناطق جنوبی تا مرکزی استان فارس و بخش‌های غربی استان کهگیلویه و بویراحمد، به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و کیفیت مطلوب خاک، از مناطق مستعد کشت مرکبات محسوب می‌شوند. استان فارس با دارا بودن ۶۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید سالانه ۱/۵ میلیون تن انواع مرکبات، رتبه دوم تولید مرکبات در کشور را به خود اختصاص داده است. در استان کهگیلویه و بویراحمد نیز سطح زیر کشت مرکبات به ۱۱ هزار هکتار (معادل ۴ درصد از کل سطح زیر کشت کشور) می‌رسد و سالانه ۸۰ هزار تن مرکبات تولید می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۷).

پتاسیم به میزان قابل‌توجهی در برگ‌ها و بافت میوه‌های مرکبات تجمع می‌یابد. یکی از نقش‌های اصلی این عنصر، فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها است. پتاسیم عمدتاً به شکل یونی و محلول عمل کرده و در سلول‌های جوان، وظیفه حفظ تورژسانس سلولی را بر عهده دارد (اوبرزا و مورگان، ۲۰۱۱). این عنصر در درختان مرکبات بسیار متحرک بوده و به‌راحتی میان اندام‌های مختلف گیاه جابه‌جا می‌شود. به‌طور مثال، حدود ۳۰ درصد از پتاسیم موجود در برگ‌ها هنگام پیری و ریزش، به پوست و تنه درخت بازمی‌گردد. از این‌رو، پتاسیم چندان در فصل زمستان در اندام‌های درخت ذخیره نمی‌شود (اسدی و اخلاقی، ۱۳۹۳).

کمبود پتاسیم پیامدهای قابل‌توجهی برای درختان مرکبات به همراه دارد؛ از جمله کاهش نرخ فتوسنتز برگ‌ها، افزایش حساسیت درختان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، کاهش تولید کربوهیدرات‌ها، کاهش تشکیل میوه، افزایش ریزش میوه، تشدید چین‌خوردگی و ترک‌خوردگی پوست میوه (اسدی و اخلاقی، ۱۳۹۰). عدم تأمین پتاسیم کافی برای درختان مرکبات با عملکرد بالا می‌تواند منجر به ظهور علائم کمبود در اواخر تابستان و اوایل پاییز شود. در این شرایط، علائم کمبود پتاسیم ابتدا به‌صورت زرد شدن نوک

و حاشیه برگ‌های مسن ظاهر شده و به‌تدریج گسترش می‌یابد (اسدی و اخلاقی، ۱۳۹۳).

کمبود پتاسیم در گیاهان به دو عامل اصلی مرتبط است: (۱) مقدار کم پتاسیم در خاک و مواد مادری که این عامل می‌تواند ناشی از ماهیت خاک، کمبود کانی‌های پتاسیم‌دار در مواد مادری، کشاورزی فشرده، یا استفاده از ارقام پرمحصول، بدون کاربرد کودهای حاوی پتاسیم و مواد آلی باشد و (۲) عوامل مؤثر بر جذب و انتقال پتاسیم در گیاه که به وضعیت یون‌های پتاسیم در محلول خاک مربوط می‌شوند. در خاک‌های آهکی، غلظت پتاسیم معمولاً کمتر از کلسیم و منیزیم است. حتی اگر غلظت پتاسیم محلول در حد مطلوب باشد، رقابت یون کلسیم برای جذب، توسط ریشه می‌تواند باعث کاهش جذب پتاسیم یا انباشت آن در ریشه و جلوگیری از انتقال به اندام‌های هوایی شود (نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳).

با وجود قابلیت بالای استفاده از پتاسیم در برخی خاک‌های جنوب ایران (با میانگین ۲۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کمبود این عنصر (غلظت کمتر از یک درصد در برگ) در بیش از ۸۵ درصد از باغ‌های پرتقال مشاهده می‌شود (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۷). باید توجه داشت که جذب و انتقال کاتیون‌های مختلف توسط ریشه گیاه به نوع رقم گیاه وابسته است. به‌عنوان مثال، در یک پژوهش انجام شده در خاکی با آهک بسیار زیاد، مشخص شد که افزودن پتاسیم می‌تواند نسبت کلسیم به پتاسیم در برگ‌های مرکبات را از ۱/۲۴ به ۱/۱۳ کاهش دهد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۲۱).

تعیین پتاسیم قابل جذب در خاک، یکی از گام‌های ضروری در مدیریت تغذیه گیاهی است. برای استخراج و اندازه‌گیری اشکال مختلف پتاسیم، از عصاره‌گیرهای گوناگونی استفاده می‌شود. این عصاره‌گیرها بسته به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک، توانایی‌های متفاوتی در آزادسازی شکل‌های مختلف پتاسیم دارند. با اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب، می‌توان وضعیت موجود پتاسیم خاک را ارزیابی و در نتیجه، نیاز به مصرف یا عدم مصرف کود را در مزارع و باغ‌ها به‌طور دقیق تشخیص داد. در این راستا، عصاره‌گیری از خاک و بررسی کمبود عناصر، می‌تواند مبنای ارائه توصیه‌های کودی صحیح و موثر قرار گیرد (سیمارد و زیزکا، ۱۹۹۴).

برای انتخاب عصاره‌گیر مناسب، باید به دو معیار اصلی توجه کرد: نخست، عصاره‌گیر باید توانایی استخراج پتاسیم از منابع قابل دسترس گیاه را داشته باشد. دوم، روش عصاره‌گیری باید سریع، اقتصادی و قابل تکرار باشد (حسین‌پور و زارع‌نیا، ۲۰۱۲). از جمله عصاره‌گیرهای مورد استفاده برای استخراج شکل‌های مختلف پتاسیم می‌توان به استات آمونیوم ۱ مولار، مهلیچ ۱ و ۲ و ۳ ، آمونیوم بی-کربنات- DTPA، سدیم تترا فنیل بران، باریوم کلرید ۰/۱ مولار، کلسیم کلرید ۰/۱ مولار، هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار و اسید نیتریک جوشان ۱ مولار اشاره نمود (احراری و همکاران، ۱۳۹۵). استات آمونیوم یکی از رایج‌ترین عصاره‌گیرهای مورد استفاده در جهان است که هر دو شکل پتاسیم محلول و تبادلی را اندازه‌گیری می‌کند. با این حال، این روش در خاک‌هایی که حاوی مقادیر قابل توجهی پتاسیم غیرتبادلی هستند، کارایی کافی ندارد؛ زیرا استات آمونیوم تنها قادر به استخراج پتاسیم محلول و تبادلی است (جلالی و جلالی، ۲۰۲۲؛ ضرابی و جلالی، ۲۰۰۸). بازرگان و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی، بهینه‌سازی روش استفاده از استات آمونیوم برای تعیین پتاسیم قابل جذب در خاک‌های آهکی ایران را بررسی و اظهار نمودند که می‌توان غلظت استات آمونیم را از ۱ مولار به ۰/۱ مولار کاهش و در مقابل بجای ۳۰ دقیقه هم‌زدن با شیکر، ۱۲ ساعت مخلوط را بدون بهم‌زدن نگهداری و نتایج با همبستگی خوبی را مشاهده نمود. دراین روش مصرف استات آمونیم و هزینه تجزیه کاهش می‌یابد.

در سال‌های اخیر، کاهش عملکرد گیاهان به دلیل کمبود پتاسیم مشاهده شده است. عوامل متعددی در این امر تأثیرگذار هستند که مهم‌ترین آنها عبارتند از: کاهش سطح پتاسیم خاک‌ها به دلیل کشاورزی فشرده و استفاده از ارقام پرمحصول، رقابت پتاسیم با کاتیون‌های فراوان در

خاک‌های آهکی نظیر کلسیم و منیزیم، و کاهش استفاده از ترکیبات آلی حاوی پتاسیم (نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳). با وجود مقدار کافی پتاسیم قابل استفاده در خاک باغ‌های مرکبات جنوب فارس، گزارش‌هایی از کمبود این عنصر در اندام‌های گیاهی درختان این مناطق به ثبت رسیده است (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهشگران دلیل این مسئله در خاک‌های آهکی را رقابت کلسیم و منیزیم با پتاسیم برای جذب توسط ریشه یا انتقال آن به اندام‌های هوایی گیاه می‌دانند (هین و همکاران، ۲۰۱۷؛ مارشنر ، ۲۰۱۱). بنابراین ترکیب شیمیائی محلول خاک می‌تواند در جذب عناصر کاتیونی مانند پتاسیم تاثیر بسزایی داشته‌باشد. مناطق غربی استان کهگیلویه و بویراحمد و بخش‌های غربی، مرکزی و جنوبی استان فارس، به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و کیفیت مطلوب خاک، ظرفیت بالایی برای کشت و توسعه مرکبات دارند. با این حال، تولید در بسیاری از باغ‌ها به طور متوسط پایین است و یکی از عوامل اصلی این عملکرد ضعیف، عدم تعادل عناصر غذایی در خاک است. از میان این عناصر، پتاسیم به‌عنوان یکی از عوامل حیاتی در افزایش بازدهی و بهبود کیفیت و کمیت محصولات پرتقال، اهمیت ویژه‌ای دارد. با این وجود، پیچیدگی‌های مرتبط با رفتار پتاسیم در خاک و ابهاماتی در خصوص میزان پتاسیم قابل جذب و استفاده از کودهای پتاسیمی در خاک‌های ایران، ضرورت پژوهش‌های دقیق در این زمینه را بیشتر کرده است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت پتاسیم در خاک‌های مناطق مذکور، شامل اندازه‌گیری اشکال مختلف پتاسیم و معرفی عصاره‌گیرهای مناسب برای استخراج این عنصر، در برخی از باغ‌های پرتقال استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد انجام شد.

مواد و روش‌ها

بخش‌های غربی، مرکزی و جنوبی استان فارس و همچنین مناطق غربی استان کهگیلویه و بویراحمد، برای دهه‌ها است که به‌دلیل برخورداری از شرایط اقلیمی مناسب و خاک با کیفیت مطلوب، از ظرفیت بالایی برای کشت و گسترش باغ‌های مرکبات برخوردارند. در حال حاضر سطح زیر کشت در این مناطق نزدیک به ۸۰ هزار هکتار می‌باشد. با توجه به اهداف این پژوهش در خصوص تعیین شکل-های مختلف پتاسیم و معرفی بهترین عصاره‌گیرهای مناسب برای استخراج پتاسیم، مناطق اصلی زیرکشت پرتقال در دو استان فارس و کهگیلویه و بویراحمد شناسایی گردیدند. در این راستا، از مناطق مورد نظر نمونه‌برداری از زیر سایه‌انداز درختان انجام شد. نمونه‌ها از فاصله ۸۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری از تنه هر درخت و در دو عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر برداشت گردید. نمونه‌برداری سه‌بار تکرار شد و در نهایت نمونه‌های ترکیبی از اختلاط آنها تهیه شد. پس از خشک‌کردن در هوا، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، آزمایش‌های مرتبط به شرح زیر بر روی نمونه‌های آماده شده انجام گرفت: بافت خاک به روش هیدرومتر (بویوکوس، ۱۹۶۲)، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، پ‌هاش گِل اشباع توسط دستگاه پ‌هاش سنج، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استات سدیم یک نرمال پ‌هاش۸/۲ (چاپمن، ۱۹۶۵)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی اسید کلریدریک (ریچاردز، ۱۹۵۴)، کربن آلی به روش سوزاندن‌تر و تیتراسیون با بیکرومات پتاسیم آمونیوم فروس اندازه‌گیری گردید (جکسون، ۱۹۷۵).

پتاسیم محلول در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد. پتاسیم تبادلی توسط استات آمونیوم ۱ نرمال با پ‌هاش ۷ و تکان دادن به مدت ۱۰ دقیقه و تکرار آن در سه نوبت اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری پتاسیم قابل عصاره-گیری با اسید نیتریک جوشان، ۲/۵ گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ مولار به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده شد و سپس محلول را از کاغذ صافی عبور داده و در والیومتریک ۱۰۰ میلی‌لیتری جمع آوری گردید. و در نهایت با استفاده از اسید نیتریک ۰/۱ مولار به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود (پرات، ۱۹۶۵). اندازه‌گیری پتاسیم کل خاک به

روش هلمک و اسپارکز (۱۹۹۶)، صورت گرفت. در این روش به ۰/۵ گرم خاک ۱ میلی لیتر از محلول تیزاب سلطانی (مخلوط یک قسمت اسید نیتریک غلیظ و سه قسمت اسید کلریدریک غلیظ) و ۱۰ میلی‌لیتر از اسید فلوریدریک افزوده شد و در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد. سپس مخلوط به والیومتریک پلاستیکی حاوی ۲/۸ گرم اسید بوریک انتقال داده شده و تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رقیق گردید. عصاره‌های به دست آمده با روش شعله سنجی با دستگاه شعله‌سنج اندازه‌گیری گردید.

عصاره‌گیرهای مورد استفاده برای استخراج پتاسیم از خاک به شرح زیر می‌باشند: کلریدسدیم ۱ و ۲ مولار (مارتین و اسپارکس، ۱۹۸۳)، اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ مولار (حسین‌پور و بیابانکی، ۱۳۸۳)، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (هابی و همکاران، ۱۹۹۰)، مورگان–ولف (جونز، ۱۹۹۰)، بی‌کربنات آمونیم–DTPA (جونز، ۱۹۹۰)، آمونیوم استات ۱ نرمال، سدیم استات ۱ نرمال، منیزیم استات ۱مولار، اسیدکلریدریک ۲مولار و اسید نیتریک ۰/۱ نرمال (نادسون و همکاران، ۱۹۸۲). جدول ۱ مشخصات روش-های عصاره‌گیری شامل غلظت، نسبت خاک به عصاره‌گیر و زمان به تعادل رسیدن را نشان می‌دهد. همچنین برای جزئیات بیشتر درمورد عصاره‌گیرهای مورداستفاده در این پژوهش می‌توان از منابع جدید استفاده نمود (شهبازی و همکاران، ۱۴۰۳). در نهایت عصاره‌گیری که بیشترین همبستگی با پتاسیم گیاه داشت، معرفی گردید. نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات روش‌های عصاره‌گیری مورد استفاده

شماره عصاره‌گیر	نام عصاره‌گیر	غلظت (مولار)	نسبت خاک به عصاره‌گیر	زمان به تعادل رسیدن
۱	استات سدیم	۱	۱:۱۰	۱۰ دقیقه
۲	استات منیزیم	۱	۱:۲۰	۱۰ دقیقه
۳	سدیم کلرید	۱	۱:۱۰	۱۵ دقیقه
۴	اسید کلریدریک	۲	۱:۱۰	۱۵ دقیقه
۵	سدیم کلرید	۲	۱:۱۰	۱۵ دقیقه
۶	کلرید کلسیم	۰/۰۱	۱:۱۰	۱ دقیقه
۷	DTPA [1]	–	۱:۱۰	۱۰ دقیقه
۸	مورگان–ولف [2]	–	۱:۱۰	۱۰ دقیقه
۹	اسید نیتریک	۰/۱	۱:۱۰	۱۰ دقیقه
۱۰	اسید سولفوریک	۰/۰۲۵	۱:۱۰	۵ دقیقه
۱۱	استات آمونیم	۱	۱:۱۰	۱۵ دقیقه

[1] شامل بی‌کربنات آمونیوم یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار [2] شامل استات سدیم ۰/۷۳ مولار، اسید استیک ۰/۵۲ مولار و DTPA ۰/۰۰۱ مولار

نتایج و بحث

جدول ۲ موقعیت و رده‌بندی خاک‌های مناطق مطالعه‌شده در دو استان را نشان می‌دهد. خاک‌های کلیه مناطق نمونه‌برداری شده در دو رده انتی‌سول و اینسپتی‌سول بوده‌اند (آزادی و شاکری، ۲۰۲۱؛ شاکری، ۱۳۹۵، نجفی قیری، ۱۳۸۹). از ۱۸ منطقه مورد مطالعه ۱۰ نمونه اول مربوط به استان فارس و ۸ نمونه بعدی مربوط به استان کهگیلویه و بویراحمد بوده‌است. جدول ۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، بافت بیشتر خاک‌ها در دامنه لومی، سیلتی لومی و رسی لومی بوده‌است. مقدار رس در دامنه ۱۴ تا ۳۴ درصد، مقدار پ‌هاش در دامنه ۷/۱ تا ۷/۹ بوده است که بیانگر شرایط خنثی تا کمی قلیایی در خاک‌های مطالعه‌شده است. کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مورد بررسی در دامنه ۲۶ (منطقه فسا) تا ۶۱ (منطقه لارستان) درصد وکربن

آلی خاک در دامنه ۰/۲ تا ۲/۶ درصد بوده است. قابلیت هدایت الکتریکی نیز در دامنه ۰/۲ (منطقه تیون) تا ۷/۸ (منطقه قطب‌آباد) دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱/۷ دسی-زیمنس بر متر بوده است. همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها در بازه ۵/۳ (منطقه گچساران) تا ۲۶/۲ (منطقه قائمیه) سانتی‌مول بر کیلوگرم بوده‌است.

جدول ۲- اطلاعات عمومی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	منطقه	طول جغرافیایی (مترشمالی)	عرض جغرافیایی (مترشرقی)	رده‌بندی خاک (تاکسونومی، ۲۰۲۲)
		استان فارس		
۱	فیروزآباد	۶۵۲۵۶۶	۳۱۹۱۲۱۰	Typic Xerofluvents
۲	قائمیه	۵۵۸۹۴۳	۳۳۰۱۱۲۹	Typic Calciustepts
۳	تیون	۶۶۱۶۶۹	۳۲۵۵۱۴۵	Typic Calcixerepts
۴	داراب	۲۶۱۰۰۲	۳۱۸۲۸۷۰	Gypsic Haplustepts
۵	خفر	۷۱۶۰۶۲	۳۲۰۷۳۱۰	Typic Xerofluvents
۶	قطب‌آباد	۷۹۴۹۵۴	۳۱۷۳۹۶۶	Typic Calcixerepts
۷	داراب	۲۶۰۱۴۶	۳۱۸۳۷۳۳	Typic Haplustepts
۸	عباس‌آباد	۶۷۸۱۲۲	۳۲۳۰۲۴۱	Typic Xerorthents
۹	فسا	۷۵۶۶۴۸	۳۲۰۳۷۸۰	Typic Calcixerepts
۱۰	لار	۷۹۲۲۳۳	۳۱۲۹۶۳۵	Typic Torriorthents
		استان کهگیلویه و بویراحمد		
۱۱	گچساران	۵۰۰۷۵۰	۳۳۴۸۹۲۶	Typic Ustifluvents
۱۲	تلخاب شیرین	۴۹۱۳۲۴	۳۳۵۴۷۶۱	Aridic Calciustepts
۱۳	چهاربیشه	۴۷۴۲۵۵	۳۳۶۴۹۵۷	Ustic Torriorthents
۱۴	امامزاده جعفر	۴۹۶۹۴۱	۳۳۵۳۳۹۹	Ustic Torriorthents
۱۵	باشت	۵۱۸۴۲۷	۳۳۵۴۴۰۷۶	Typic Calciustepts
۱۶	مُله‌برفی	۵۲۴۷۶۱	۳۳۵۱۵۹۵	Typic Calciustepts
۱۷	پل‌بریم	۵۲۳۷۲۱	۳۳۵۳۵۹۳	Ustic Torriorthents
۱۸	امام‌ضامن	۵۲۳۷۲۱	۳۳۵۰۷۹۲	Typic Calciustepts

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در دو استان

خاک	عمق	شن	سیلت	رس	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رطوبت اشباع	پ هاش	ظرفیت تبادل کاتیونی	قابلیت هدایت الکتریکی
	سانتی‌متر	----------	----------	----------	----------	----------	----------		$cmolkg^{-1}$	dSm^{-1}
					استان فارس					
۱	۳۰-۰	۲۶	۵۴	۲۰	۱/۹۱	۵۶/۲	۲۲/۵	۷/۴۴	۱۸/۶	۲/۴۵
۲		۱۶	۵۹	۲۵	۱/۱۶	۴۷/۲	۴۸/۳	۷/۴۶	۲۶/۲	۰/۸۱
۳		۲۰	۵۷	۲۳	۱/۶۸	۵۵	۱۲/۰	۷/۶۲	۱۳/۶	۰/۲۰
۴		۶۶	۱۹	۱۵	۰/۹۸	۴۸	۳۳/۲	۷/۸۲	۶/۷۰	۰/۹۴
۵		۴۶	۳۷	۱۷	۲/۴	۴۱/۲	۵۲/۴	۷/۵۲	۱۶/۰	۱/۲۱
۶		۴۹	۳۲	۱۹	۰/۷۲	۴۷/۲	۳۷/۸	۷/۵۱	۹/۲۷	۷/۸
۷		۴۹	۳۲/۲	۱۸	۰/۵۷	۴۴/۲	۳۷/۴	۷/۷۱	۱۰/۴۰	۱/۰۲
۸		۵۲	۲۹	۱۹	۰/۵۳	۵۸/۲	۲۴/۳	۷/۷۹	۸	۱/۱۲
۹		۴۶	۳۵	۱۹	۰/۲۰	۳۸/۷	۴۶	۷/۸۱	۸/۶۲	۰/۸۱
۱۰		۳۸	۴۲	۲۰	۰/۸۳	۶۱/۰	۴۴/۸	۷/۶۶	۸/۸۶	۱/۲۳
۱	۶۰-۳۰	۴۰	۳۸	۲۲	۰/۵۳	۶۱/۰	۴۱/۷	۷/۲۰	۸/۴۱	۲/۶۵
۲		۱۶	۵۷	۲۷	۰/۶۱	۵۱/۲	۴۷	۷/۵۴	۲۰/۸	۰/۷۲
۳		۲۲	۵۶	۲۲	۱/۷۲	۵۵/۷	۵۷/۰	۷/۷۰	۲۳/۰	۱/۱۶
۴		۶۸	۱۸	۱۴	۰/۷۹	۳۷/۵	۳۱/۲	۷/۷۷	۹/۹۴	۱/۰۲
۵		۳۵	۴۲	۲۳	۰/۶۸	۴۰	۴۳/۴	۷/۸۲	۱۰/۸	۱/۲۳
۶		۵۲	۳۱	۱۷	۱/۵۰	۵۸/۲	۴۳/۱	۷/۸۶	۱۰/۴۰	۲/۷۲
۷		۴۶	۳۵	۱۹	۰/۶۱	۴۷/۰	۳۴/۶	۷/۸۵	۷/۱۲	۱/۰۵
۸		۳۶	۴۴	۲۰	۰/۲۴	۵۴/۵	۳۱	۷/۴۶	۸/۸۴	۳/۰۷
۹		۴۹	۳۲/۵	۱۸/۵	۱/۴۲	۲۶/۰	۲۵/۶	۷/۶۳	۱۵/۴	۱/۶۷
۱۰		۳۲	۴۷	۲۱	۰/۶۱	۵۰	۴۴/۸	۷/۶۰	۹/۳۳	۱/۹۵
بازه		۱۶-۶۸	۱۸-۵۹	۱۴-۲۷	۲/۴ -۰/۲	۶۱ -۲۶	۱۲-۵۷	۷/۸۵ -۷/۲	۲۶/۲ -۶/۷	۳/۱ -۰/۲
میانگین		۴۰/۴	۳۹/۶	۲۰/۱	۱/۵	۴۸/۵	۳۷/۳	۷/۶	۱۲/۹	۱/۳۰
					استان کهگیلویه و بویراحمد					
۱۱	۳۰-۰	۳۶	۳۸	۲۶	۰/۶۶	۵۰	۳۶/۹	۷/۲۰	۸/۸	۰/۶۰
۱۲		۴۸	۵۲	۲۰	۰/۸۶	۴۹/۷	۳۰/۵	۷/۳۰	۸/۰	۰/۵۵
۱۳		۳۶	۴۴	۲۰	۱/۰۷	۴۷/۷	۴۲/۶	۷/۴۰	۸/۷	۱/۱۰
۱۴		۵۰	۳۰	۲۰	۰/۶۶	۵۱/۲	۳۸	۷/۳۰	۷/۳	۲/۳۱
۱۵		۳۶	۴۶	۱۸	۰/۸۸	۴۷/۵	۳۸	۷/۵۰	۷/۵	۰/۶۰
۱۶		۳۲	۳۸	۳۰	۱/۴۶	۲۷/۰	۴۴	۷/۶۰	۱۲/۵	۰/۶۱
۱۷		۲۸	۴۰	۳۲	۰/۷۸	۴۱/۲	۴۸	۷/۵۰	۱۰/۷	۰/۹۹
۱۸		۲۶	۶۰	۱۴	۲/۵۵	۴۰	۴۸	۷/۳۰	۱۲/۳	۱/۱۰
۱۱	۶۰-۳۰	۳۲	۳۸	۳۰	۰/۳۷	۵۲/۵	۴۰/۱	۷/۱۰	۸/۸	۰/۶۸
۱۲		۶۰	۲۰	۲۰	۰/۳۷	۵۷/۵	۲۸/۰	۷/۲۰	۶/۳	۰/۹۲
۱۳		۴۶	۳۴	۲۰	۰/۸۸	۵۶/۲	۳۶/۴	۷/۴۰	۸/۰	۰/۷۳
۱۴		۶۲	۲۲	۱۶	۰/۳۷	۶۰	۳۱	۷/۵۰	۵/۳	۲/۶
۱۵		۲۴	۵۲	۲۴	۰/۴۹	۴۸/۷	۴۳	۷/۶۰	۷/۷	۰/۵۳
۱۶		۴۶	۳۲	۲۲	۱/۱۵	۴۷	۴۱	۷/۵۰	۹/۵	۱/۰۴
۱۷		۲۲	۴۴	۳۴	۰/۵۸	۳۷/۵	۴۸	۷/۵۰	۱۰/۵	۰/۸۰
۱۸		۲۶	۴۰	۳۴	۱/۶۰	۴۰	۴۷	۷/۷۰	۱۴/۰	۱
بازه		۶۲ -۲۲	۶۰ -۲۰	۳۴ -۱۴	۲/۶ -۰/۳۷	۶۰-۲۷	۴۸ -۲۸	۷/۷ ۷/۱	۱۴ -۵/۳	۲/۶ – ۰/۵۳
میانگین		۳۹	۳۹	۲۲	۱/۰	۴۶/۸	۳۹/۸	۷/۴	۹/۲	۱/۰۴

جدول ۴ مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل و همچنین درصد نسبی هرکدام از شکل‌ها را نشان می‌دهد. میزان پتاسیم محلول در خاک‌های مورد مطالعه از ۵/۲ تا ۵۹/۵ با میانگین ۱۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد که ۰/۲ تا ۱/۵ درصد کل پتاسیم را شامل شد که به طور میانگین ۰/۵ درصد می‌باشد. کمترین مقدار پتاسیم محلول در خاک منطقه گچساران (شماره ۱۱) و بیشترین مقدار در نمونه خاک منطقه فسا (شماره ۹) مشاهده شده است. نجفی قیری (۱۳۸۹) بیان نمود که مهم‌ترین عوامل در تعیین مقدار پتاسیم محلول در خاک‌ها، میزان آبشویی و کاربرد کود پتاسیم می‌باشد. هر چه مقدار آبشویی در خاک‌ها کمتر باشد، غلظت پتاسیم محلول افزایش می‌یابد. آبشویی کم را در مناطق خشک‌تر و یا در خاک‌های دارای زهکشی ضعیف به علت شرایط نامساعد فیزیکی خاک و یا وجود سفره آب بالا می‌توان انتظار داشت.

پتاسیم محلول در خاک‌های سطحی مطالعه‌شده در استان فارس در دامنه ۱۰/۴ (منطقه قائمیه) تا ۵۹/۵ (منطقه فسا) و در خاک زیرسطحی در دامنه ۶/۳ (منطقه تیون) تا ۳۳/۸ (منطقه عباس‌آباد) میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب در دامنه ۵/۲ تا ۱۱/۹ (منطقه گچساران) و ۵/۳ (پل بریم) تا ۶/۶ (منطقه باشت) میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است که بیانگر دامنه گسترده‌تر این شکل از پتاسیم در خاک‌های استان فارس بوده‌است. اولیایی و همکاران (۱۳۹۳)، با بررسی خاک‌های آهکی مناطق مختلف اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد بیان کردند که میزان پتاسیم محلول در دامنه ۲/۳ تا ۳۶/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر می‌باشد و تغییرات و مقدار میانگین در خاک‌های سطحی نسبت به خاک‌های زیرسطحی بیشتر است.

جدول‌های ۵ و ۶ مقادیر کمینه و بیشینه و میانگین شکل‌های پتاسیم در نمونه خاک‌های دو استان در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر را به تفکیک نشان می‌دهند. مطالعات شاکری و همکاران (۱۳۹۴) مرتبط با وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد که مقدار پتاسیم محلول در خاکرخ‌های مطالعاتی استان متفاوت بوده، ولی مقدار آن در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های پایینی بوده‌است. همچنین این شکل پتاسیم (محلول) ارتباط معنی‌داری با کربن آلی، پتاسیم تبادلی و پتاسیم غیرتبادلی داشته‌است. پتاسیم محلول به سرعت برای گیاه و ریزموجودات خاک قابل استفاده است. سطح پتاسیم محلول خاک پایین است و وابسته به تخلیه (جذب توسط گیاه یا آبشویی) و همچنین جایگزینی شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی خاک است. همچنین مقدار پتاسیم محلول بستگی به قدرت بافری کانی‌های رسی دارد (کرکمن و همکاران، ۱۹۹۴).

جدول ۴- مقادیر نسبی (درصد) شکل‌های پتاسیم موجود در خاک‌های مورد مطالعه در دو استان

شماره	عمق (cm)	شکل‌های مختلف پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)						توزیع نسبی شکل‌های مختلف پتاسیم (٪)			
		محلول	تبادلی	غیرتبادلی	ساختمانی	کل	محلول	تبادلی	غیرتبادلی	ساختمانی
						استان فارس				
۱	۳۰-۰	۱۰/۹	۹۲/۰	۴۷۷/۶	۲۵۰۶	۲۹۸۳	۰/۴	۲/۷	۱۲/۹	۸۴/۰
۲		۱۰/۴	۱۸۳/۱	۶۶۵/۱	۳۶۸۱	۴۳۴۶	۰/۲	۴/۰	۱۱/۱	۸۴/۷
۳		۳۲/۴	۲۷۹/۰	۹۲۷/۴	۲۸۶۴	۳۷۹۲	۰/۹	۶/۵	۱۷/۱	۷۵/۵
۴		۲۴/۴	۱۵۱/۳	۵۳۳/۴	۱۹۷۸	۲۵۱۱	۱/۰	۵/۱	۱۵/۲	۷۸/۸
۵		۱۱/۹	۱۱۵/۹	۵۵۶/۰	۲۳۰۴	۲۸۶۰	۰/۴	۳/۶	۱۵/۴	۸۰/۶
۶		۲۹/۷	۳۱۴/۰	۶۴۸/۰	۰۳۴۷	۲۹۹۴	۱/۰	۹/۵	۱۱/۲	۷۸/۴
۷		۳۲/۴	۲۳۱/۵	۷۵۹/۴	۲۵۸۱	۳۳۴۰	۱/۰	۶/۰	۱۵/۸	۷۷/۳
۸		۲۸/۴	۱۹۸/۶	۶۶۳/۳	۳۸۳۷	۲۵۰۰	۱/۱	۶/۸	۱۸/۶	۷۳/۵
۹		۵۹/۰	۶۴۵/۰	۱۶۲۶/۸	۲۴۶۸	۴۰۹۵	۱/۵	۱۴/۳	۲۴/۰	۶۰/۳
۱۰		۱۴/۰	۶۳/۸	۴۲۶/۸	۲۷۸۵	۴۲۱۲	۰/۴	۱/۶	۱۱/۳	۸۶/۷
۱	۶۰-۳۰	۱۴/۷	۸۴/۶	۳۸۱/۹	۲۳۱۵	۲۶۹۷	۰/۵	۲/۶	۱۱/۰	۸۵/۸
۲		۷/۲	۱۳۵/۳	۵۸۲/۲	۳۴۷۸	۴۰۶۱	۰/۲	۳/۲	۱۱/۰	۸۵/۷
۳		۶/۳	۱۰۱/۷	۷۳۴/۹	۲۸۷۳	۴۶۰۸	۰/۲	۲/۶	۱۷/۵	۷۹/۶
۴		۲۷/۷	۱۷۰/۵	۵۵۸/۸	۲۰۱۱	۲۵۶۹	۱/۱	۵/۶	۱۵/۱	۷۸/۳
۵		۶/۹	۸۸/۲	۵۸۲/۷	۲۶۴۶	۳۲۲۹	۰/۲	۲/۵	۱۵/۳	۸۲/۰
۶		۱۷/۸	۱۶۸/۱	۵۸۷/۹	۲۳۰۰	۲۸۸۸	۰/۶	۵/۲	۱۴/۵	۷۹/۶
۷		۳۳/۱	۲۳۱/۵	۸۰۵/۹	۱۵۳۸	۲۳۴۴	۱/۴	۸/۵	۲۴/۵	۶۵/۶
۸		۳۳/۸	۱۷۰/۵	۶۵۱/۴	۲۲۱۱	۲۸۶۲	۱/۲	۴/۸	۱۶/۸	۷۷/۲
۹		۱۳/۵	۱۴۴/۳	۵۹۱/۴	۳۳۰۴	۳۸۹۵	۰/۳	۳/۴	۱۱/۵	۸۴/۸
۱۰		۱۱/۰	۵۹/۰	۴۰۹/۶	۲۷۱۲	۳۱۲۱	۰/۳	۱/۶	۱۱/۲	۸۶/۹
دامنه		۵۹-۶/۹	۵۹-۶۴۵	۱۶۲۷-۳۸۲	۱۵۳۸-۳۶۸۱	۲۳۴۴-۴۳۴۶	۰/۲-۱/۵	۱/۶-۱۴/۳	۲۴/۵-۱۱/۰	۶۰-۸۷
میانگین		**۲۱/۱**	**۱۶۰/۲**	**۶۳۷**	**۲۵۳۷**	**۳۱۹۶**	**۰/۷**	**۵/۰**	**۱۵/۱**	**۷۹/۲**
						استان کهگیلویه و بویراحمد				
۱۱	۳۰-۰	۵/۲	۸۰/۹	۳۳۴/۳	۵۴۲۰	۸۷۵۴	۰/۲	۲/۷	۹/۲	۸۷/۹
۱۲		۵/۴	۱۱۸/۰	۴۷۱/۶	۲۰۵۳	۵۵۲۵	۰/۲	۴/۵	۱۴/۰	۸۱/۳
۱۳		۵/۴	۱۱۱/۷	۵۱۶/۰	۲۲۹۶	۲۸۱۲	۰/۲	۳/۸	۱۴/۴	۸۱/۶
۱۴		۱۲/۰	۵۹۹/۷	۱۲۶۳	۱۷۳۶	۳۰۰۰	۰/۴	۱۹/۶	۲۲/۱	۵۷/۹
۱۵		۷/۰	۲۲۰/۳	۵۰۱/۲	۱۱۰۷	۱۶۰۸	۰/۴	۱۳/۳	۱۷/۵	۶۸/۸
۱۶		۷/۲	۳۵۷/۸	۹۷۸/۴	۵۱۱۵	۴۰۹۳	۰/۲	۸/۶	۱۵/۲	۷۶/۱
۱۷		۵/۶	۱۹۰/۸	۶۲۴/۳	۲۹۹۹	۳۶۲۳	۰/۲	۵/۱	۱۲/۰	۸۲/۸
۱۸		۸/۴	۵۰۵/۶	۱۰۶۸/۷	۲۸۶۲	۲۹۳۱	۰/۲	۱۲/۶	۱۴/۳	۷۲/۸
۱۱	۶۰-۳۰	۵/۷	۶۰/۹	۳۴۴/۴	۴۸۹۷	۲۲۴۱	۰/۲	۲/۴	۱۲/۷	۸۴/۶
۱۲		۵/۳	۵۶/۰	۳۲۴/۱	۱۴۳۲	۱۷۵۶	۰/۳	۲/۹	۱۵/۳	۸۱/۶
۱۳		۵/۳	۹۵/۸	۳۹۵/۵	۱۹۶۷	۲۳۶۲	۰/۲	۳/۸	۱۲/۷	۸۳/۳
۱۴		۶/۶	۱۲۲/۲	۳۵۲/۶	۵۲۱	۸۷۴	۰/۸	۱۳/۲	۲۶/۴	۵۹/۷
۱۵		۶/۶	۱۶۳/۲	۴۲۳/۵	۶۹۰	۱۱۱۴	۰/۶	۱۴/۱	۲۳/۴	۶۲/۰
۱۶		۶/۱	۲۰۴/۰	۵۲۰/۷	۱۶۶۸	۲۱۸۹	۰/۳	۹/۰	۱۴/۵	۷۶/۲
۱۷		۵/۳	۱۵۳/۶	۵۹۱/۵	۲۶۰۴	۳۱۹۵	۰/۲	۴/۶	۱۳/۷	۸۱/۵
۱۸		۶/۶	۲۲۳/۱	۶۲۱/۵	۲۳۱۰	۲۹۳۲	۰/۲	۷/۴	۱۳/۶	۷۸/۸
دامنه		۵/۲-۱۲	۵۶-۶۰۰	۳۲۴-۱۲۶۳	۵۲۱-۵۴۲۰	۸۷۴-۸۷۵۴	۰/۲-۰/۸	۲/۴-۱۹/۶	۹/۲-۲۶/۴	۵۸-۸۸
میانگین		**۶/۴**	**۱۹۷/۴**	**۵۷۶/۲**	**۳۹۸۰**	**۲۵۶۳**	**۰/۳**	**۸/۰**	**۱۵/۷**	**۷۶/۱**

میکاها و ورمی‌کولیت دارای ظرفیت بافری بالایی بوده و سطح پتاسیم محلول را ثابت نگه می دارند. نجفی-قیری (۱۳۸۹)، در بررسی خاک‌های استان فارس بیان کرد که، مقادیر این شکل در خاک‌های سطحی از ۰/۸ تا ۲۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تغییر می‌کند که البته مقادیر بالای آن یا مربوط به مناطق خشک و شور یا خاک‌های مناطق پست و محیط‌های مرطوب‌تر که دارای سفره آب بالا هستند

و همچنین خاک‌هایی که کود پتاسیم دریافت کرده‌اند می‌باشد. پتاسیم محلول به طور عمده تحت تأثیر آبشویی قرار دارد. آبشویی پتاسیم در خاک‌های با مقدار زیاد رس مسأله قابل توجهی نیست، ولی هدررفت پتاسیم در خاک‌های شنی به علت ظرفیت تبادل کاتیونی پایین آن‌ها قابل توجه است (کلاه‌چی و جلالی، ۱۳۸۴).

غلظت پتاسیم محلول خاک در درجه اول به سطح پتاسیم تبادلی مربوط نیست، بلکه با مقدار و نوع کانی‌های رسی در ارتباط است. در خاک‌های رسی، غلظت پتاسیم محلول با افزایش مقدار پتاسیم تبادلی، به کندی افزایش می‌یابد، در حالی‌که در خاک‌های شنی، افزایش مزبور با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (جونز، ۱۹۷۸). حداکثر پتاسیم محلول مربوط به خاک منطقه فسا می‌باشد که بالاتر بودن پتاسیم محلول در این خاک می‌تواند علاوه بر استفاده از کودهای پتاسه، به بالاتر بودن میزان نسبی سیلت نسبت به رس در این منطقه هم نسبت داد که مطابق با نظریه منگل و همکاران (۱۹۹۸) با افزایش درصد سیلت غلظت پتاسیم محلول افزایش می‌یابد، زیرا ذرات سیلت دارای مکان‌های ویژه برای جذب و نگه‌داری پتاسیم نمی‌باشد.

جدول ۵- میانگین شکل‌های مختلف پتاسیم در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر استان فارس

		پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیر تبادلی	پتاسیم ساختمانی	پتاسیم کل
میانگین	۳۰-۰	۲۴/۵	۲۲۲/۰	۷۱۵/۶	۲۵۱۴/۱	۳۲۲۹/۷
حداقل	۳۰-۰	۱۰/۴	۶۳/۸	۴۲۶/۸	۱۸۳۷/۰	۲۵۰۰/۳
حداکثر	۳۰-۰	۵۹/۵	۶۴۵/۰	۱۶۲۶	۳۶۸۱/۱	۴۳۴۶/۲
میانگین	۶۰-۳۰	۱۷/۰	۱۳۱/۷	۵۸۸/۷	۲۵۶۵/۷	۳۱۵۴/۴
حداقل	۶۰-۳۰	۶/۳	۵۸/۹	۳۸۱/۹	۱۵۳۸/۳	۲۳۴۴/۲
حداکثر	۶۰-۳۰	۳۳/۸	۲۳۱/۵	۸۰۵/۹	۳۴۷۸/۹	۴۰۶۱/۱

جدول ۶- میانگین شکل‌های مختلف پتاسیم در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی متر استان کهگیلویه و بویراحمد

		پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیر تبادلی	پتاسیم ساختمانی	پتاسیم کل
میانگین	۳۰-۰	۷/۰	۲۷۳/۱	۶۴۶/۷	۲۳۲۴/۰	۳۰۴۳/۷
حداقل	۳۰-۰	۵/۲	۸۰/۹	۳۳۴/۳	۱۱۰۷/۷	۱۶۰۸/۹
حداکثر	۳۰-۰	۱۱/۹	۵۹۹/۷	۱۲۶۳	۳۱۱۵/۵	۴۰۹۳/۹
میانگین	۶۰-۳۰	۵/۹	۱۳۴/۶	۴۲۲/۲	۱۶۳۶/۶	۲۰۸۳/۳
حداقل	۶۰-۳۰	۵/۲	۶۰/۹	۳۲۴/۱	۵۲۱/۴	۸۷۴/۰
حداکثر	۶۰-۳۰	۶/۶	۲۲۳/۱	۶۲۱/۵	۲۶۰۴/۰	۳۱۹۵/۵

جدول‌های ۷ و ۸ همبستگی ویژگی‌های خاک با شکل‌های مختلف پتاسیم در نمونه‌های خاک‌های دو استان را نشان می‌دهند. بر این اساس مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های استان فارس با مقادیر رطوبت اشباع، کربن آلی، شن، پتاسیم‌های تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر هدایت‌الکتریکی، شن و پتاسیم‌های تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته‌اند.

خلیلی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه وضعیت پتاسیم خاک باغ‌های مرکبات استان فارس اظهار داشتند که پتاسیم محلول با مقدار شن، قابلیت هدایت الکتریکی، شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی پتاسیم ارتباط مثبت و معنی‌دار داشته اما با مقدار کربن آلی و پتاسیم ساختمانی همبستگی منفی معنی‌دار نشان داده‌است. نجفی قیری (۱۳۸۹)، مشاهده نمود که مقادیر پتاسیم محلول در خاک‌های اریدی‌سولز استان فارس بسیار بالا بوده و مهم‌ترین دلیل آن قرار گرفتن این خاک‌ها در محیط‌های خشک و بدون آبشویی کافی در

پروفیل خاکرخ می‌باشد که سبب تجمع یون‌های حاصل از تجزیه کانی‌ها در خاکرخ این خاک‌ها شده است. ضرابی و جلالی (۱۳۸۸) اظهار نمودند که مقدار پتاسیم محلول به اندازه کافی بالا نبوده و نمی‌تواند نیاز گیاه را در طول فصل رشد برطرف نماید، بنابراین باید به وسیله شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی یا با اضافه کردن کود مجدداً احیا شود.

پتاسیم تبادلی

مقدار پتاسیم تبادلی در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۵۸/۹ (لارستان) تا ۶۴۵/۰ (فسا)، با میانگین ۱۶۰ و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۶۸/۹ (گچساران) تا ۵۹۹/۷ (امامزاده جعفر)، با میانگین ۱۹۷/۴ میلی‌گرم برکیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴). شاکری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه وضعیت پتاسیم خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد میانگین پتاسیم تبادلی در افق های سطحی را ۲۰۱ و در افق‌های زیرسطحی ۱۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نمود. است. بیشتر بودن پتاسیم تبادلی در سطح نسبت به عمق، به بیشتر بودن کانی اسمکتیت و مواد آلی در سطح خاک نسبت داده شده‌است.

بر اساس نتایج جدول‌های ۷ و ۸، مقدار پتاسیم تبادلی در خاک‌های استان فارس با مقادیر کربنات کلسیم معادل، رس، پتاسیم‌های محلول و غیرتبادلی و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر کربن آلی، رس و پتاسیم‌های محلول و غیرتبادلی و کل همبستگی معنی‌داری داشته‌اند. رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقادیر کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، ایلیت، اسمکتیت و ورمی-کولیت و رابطه منفی و معنی‌داری بین کربنات کلسیم معادل و مقدار شن با پتاسیم تبادلی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد توسط شاکری و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شد. زارعیان و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های دشت قره‌باغ در استان فارس اظهار داشتند که بجز پتاسیم محلول، سایر شکل‌های پتاسیم با مقادیر کربنات‌کلسیم معادل و شن همبستگی منفی و با مقادیر رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت معنی-دار داشتند. جعفری (۱۳۹۸) در مطالعه ارتباط بین اشکال پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تنوع کانی‌های رسی برخی از خاک‌های خوزستان همبستگی معنی‌دار بین مقدار پتاسیم تبادلی با مقادیر رس، قابلیت هدایت الکتریکی و پتاسیم‌های غیرتبادلی و محلول گزارش نمود.

ایرندگانی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی جنوب شرقی ایران را بررسی کردند. نامبردگان بین پتاسیم تبادلی با مقادیر کربن آلی، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت معنی‌دار به‌دست آوردند. اولیایی و همکاران (۱۳۹۳)، با بررسی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد بیان کرد که شکل تبادلی پتاسیم در خاک‌های سطحی مطالعه شده دارای مقادیر بیشتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی می‌باشد (۴۵/۳ تا ۱۸۳/۱میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های سطحی و ۴۳/۶ تا ۱۰۶/۸میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های زیرسطحی). پتاسیم تبادلی در افق‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد به‌ترتیب ۳/۴ و ۲/۴ درصد از پتاسیم کل خاک را به خود اختصاص داد. در خاک‌های سطحی به دلیل هوادیدگی بیشتر، مقدار بیشتری از پتاسیم موجود در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار آزاد شده و در بخش تبادلی قرار می‌گیرد. از طرف دیگر مقدار بیشتر ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های سطحی (به‌دلیل وجود مقدار بیشتر کربن آلی و رس‌های اسمکتیت) سبب تمرکز بیشتر پتاسیم آزاد شده در فاز تبادلی می‌گردد (نجفی قیری و همکاران، ۱۳۹۸). پتاسیم تبادلی به‌عنوان بخشی از پتاسیم که می‌تواند پتاسیم محلول خاک را بافر کند، مطرح می‌باشد. در صورت کاهش غلظت پتاسیم محلول در نتیجه جذب گیاه و یا آبشویی، پتاسیم تبادلی می‌تواند آن را جایگزین کند. هر چه نسبت پتاسیم تبادلی به پتاسیم محلول بیشتر باشد، نشان‌دهنده توانایی بیشتر خاک جهت بافر-نمودن تغییرات غلظت پتاسیم محلول و همچنین پتانسیل

آبشویی کمتر خاک می‌باشد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۱).

در ارتباط با همبستگی شکل‌های مختلف پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک به ویژه اجزای بافت خاک (شن، سیلت و رس)، مطالعات زیادی در خاک‌های ایران صورت گرفته است که بعضاً نتایج غیرمشابهی گزارش شده که بیانگر دخالت عوامل متعدد در میزان شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک می‌باشد. در مطالعه حاضر، نتایج نشان داد که میزان رس در خاک‌های استان فارس با پتاسیم تبادلی، ساختمانی و کل و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با پتاسیم تبادلی و ساختمانی همبستگی معنادار داشته‌است. این در حالی است که میزان پتاسیم محلول با میزان شن در خاک‌های هر دو استان همبستگی معنادار داشته‌است. مواد آلی خاک به دلیل اثرگذاری بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و استفاده از کودهای پتاسه، از جمله مواردی هستند که می‌توانند بر ارتباط بین شکل‌های پتاسیم و اجزای بافتی خاک اثر داشته‌باشند. مطالعات صورت‌گرفته در خاک‌های جنوب ایران نتایج یکسانی از همبستگی بین شکل‌های مختلف پتاسیم و اجزای بافت خاک ارائه نمی‌دهد. از جمله حیدرماه (۱۳۹۰) در مطالعه سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در برخی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد، بین مقدار رس و شکل‌های مختلف پتاسیم، رابطه معناداری مشاهده ننمود. آزادی (۱۳۹۴) نیز در مطالعه خصوصیات مورفولوژی، کانی شناسی و وضعیت پتاسیم در سه ردیف پستی و بلندی در خاک‌های استان فارس بین مقدار رس و شکل‌های مختلف پتاسیم رابطه معناداری گزارش نکرد.

انجوی‌نژاد (۱۴۰۲) نیز در بررسی وضعیت شکل‌های پتاسیم خاک‌های سه منطقه در استان فارس، اظهار نمود که در منطقه سپیدان، رابطه مثبت و معناداری بین مقدار رس و شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی وجود داشته است، در حالی‌که در منطقه دشت‌ارژن رابطه منفی بین مقدار رس و شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی پتاسیم و در منطقه داراب هیچ رابطه‌ای بین مقدار رس و شکل‌های پتاسیم گزارش نگردید. نامبرده تفاوت در کانی‌شناسی رس خاک‌های این سه منطقه را به دلیل تفاوت در مواد مادری و شرایط اقلیمی، دلیل این امرگزارش نمود. شاکری (۱۳۹۵) در بررسی وضعیت پتاسیم خاک‌های سطحی استان کهگیلویه و بویراحمد، رابطه‌ای میان میزان رس و پتاسیم تبادلی گزارش نکرد؛ اما بیان داشت که بین میزان رس و پتاسیم‌های غیرتبادلی و ساختمانی، ارتباط معناداری وجود دارد.

پتاسیم غیرتبادلی

پتاسیم غیرتبادلی که در بین لایه‌های کانی‌های رسی سیلیکاتی لایه‌ای نگهداری می‌شود، می‌تواند منبع مهم پتاسیم قابل جذب برای گیاهان باشد. مقادیر پتاسیم غیرتبادلی در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۳۸۱/۹ (فیروزآباد) تا ۱۶۲۶/۰ (فسا)، با میانگین ۶۳۷ میلی‌گرم برکیلوگرم و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۳۲۴ (تلخاب) تا ۱۲۶۴ (امامزاده جعفر)، با میانگین ۵۷۶/۲ میلی‌گرم برکیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴).

پتاسیم غیر تبادلی متفاوت از پتاسیم ساختمانی است. این شکل پتاسیم بر خلاف پتاسیم ساختمانی با ساختمان بلورین کانی‌های رسی پیوندی ندارد. در عوض پتاسیم غیر-تبادلی در بین لایه‌های چهاروجهی‌های نزدیک به هم میکاها، ورمی‌کولیت‌های دی‌اکتاهدرال و تری‌اکتاهدرال و دیگر کانی‌هایی که پتاسیم را تثبیت می‌کنند محبوس است. پتاسیم هنگامی تثبیت می‌شود که قدرت پیوند بین پتاسیم و سطح رس بیشتر از پیوند بین کاتیون‌های منفرد پتاسیم باشد (حسینی‌فرد و همکارن، ۱۳۸۸؛ کلاسن و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج نشان داد که همچون پتاسیم تبادلی، این شکل از پتاسیم نیز در خاک سطحی نمونه‌های خاک استان‌های فارس وکهگیلویه و بویراحمد (۷۱۵ و ۶۴۶ میلی‌گرم برکیلوگرم) بیشتر از خاک غیر سطحی (۵۸۸ و ۴۲۲ میلی-گرم برکیلوگرم) بوده‌است (جدوهای ۵ و ۶). نجفی‌قیری (۱۳۸۹) با مطالعه وضعیت پتاسیم خاک‌های استان فارس بیان داشت که پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک جوشان

در دامنه ۳۱۰ تا ۱۹۴۲ میلی‌گرم بر گیلوگرم خاک بوده‌است. اولیایی و همکاران (۱۳۹۳) نیز، با مطالعه خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد بیان کرد که مقادیر میانگین پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۵۱۱ و ۳۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده‌اند که با نتایج این پژوهش با میانگین ۴۴۶/۷ در عمق ۳۰-۰ سانتی متر و ۳۱۲/۲ در عمق ۶۰-۳۰ سانتی متر همخوانی دارد. هم چنین میانگین میزان پتاسیم غیر تبادلی در خاک‌های استان فارس در عمق ۳۰-۰، ۴۹۳/۶ و در عمق ۶۰-۳۰، به میزان ۴۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (جداول ۵ و ۶). مقدار پتاسیم غیرتبادلی در هر دو استان در خاک‌های سطحی به مقدار بیشتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی افزایش می‌یابد. درحقیقت میکاها در خاک‌های سطحی دارای هوادیدگی بیشتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی بوده و مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده بر اثر تیمار اسیدنیتریک در میکاهای هوادیده که دارای لبه‌های بازشده هستند، بیشتر است.

میزان پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، پتاسیم محلول، تبادلی، ساختمانی و کل رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته است. این در حالی است که در خاک‌های استان فارس این شکل از پتاسیم با پتاسیم محلول، تبادلی و کل رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته است (جدول ۷ و ۸). شاکری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه وضعیت پتاسیم خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد بیان نمود که پتاسیم غیرتبادلی نمونه‌ها ارتباط مثبت و معنی‌داری با کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، و رابطه منفی ومعنی‌داری با کربنات کلسیم معادل و شن داشته‌اند. همچنین این شکل از پتاسیم با مقادیر کانی‌های رسی اسمکتیت، ایلیت و ورمی‌کولیت دارد. نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۱) اظهار کردند که خاک‌های حاوی اسمکتیت به عنوان کانی غالب نسبت به خاک‌هایی که پالیگورسکیت و کلریت کانی غالب آنهاست، پتاسیم غیر تبادلی بیشتری دارند.

نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۸) اظهار نمودند که مقدار پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و ارتباط منفی و معنی‌داری با مقدار کربنات کلسیم دارند. شکل‌های مختلف پتاسیم (به‌جز شکل محلول) نیز با یکدیگر ارتباط مثبت و معنی‌داری (ضریب همبستگی از ۰/۴۸ تا ۰/۹۹) داشتند که این امر نشان از تعادل بین شکل‌های مختلف پتاسیم دارد. مطالعات کانی‌شناسی همچنین نشان داد که مقدار پتاسیم تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه با اسمکتیت و مقدار پتاسیم غیرتبادلی با ایلیت ارتباط دارند، در حالی که مقدار پتاسیم ساختمانی و کل در خاک‌های دارای اسمکتیت و ایلیت بالاتر، به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر خاک‌ها بود.

جدول ۴ توزیع نسبی شکل‌های پتاسیم، مقادیر پتاسیم غیرتبادلی را در خاک‌های استان فارس در دامنه ۱۱ تا ۲۴/۵ درصد (میانگین ۱۵/۱ درصد) و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۹/۲ تا ۲۶/۴ (میانگین ۱۵/۷ درصد) را نشان می‌دهد.

مطالعات صورت گرفته در خاک استان‌های مورد مطالعه نشان داده است که بخش رس در خاک‌های سطحی و زیرسطحی دارای مقدار بالای ایلیت، کلریت، اسمکتیت، پالیگورسکیت و مقدار کمتری کائولینیت، ورمیکولیت و کانی‌های مخلوط می‌باشد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۹a؛ اولیایی و همکاران، ۲۰۱۸). کانی‌های رسی مهم‌ترین کانی‌های ثانویه خاک‌ها در ارتباط با پتاسیم هستند. ورمیکولیت به‌عنوان آزادکننده و تثبیت‌کننده، میکا و اسمکتیت به‌عنوان تثبیت‌کننده پتاسیم، کلریت، سپیولیت، پالیگورسکیت وکائولینیت جاذب پتاسیم به‌صورت تبادلی و کربنات‌ها، سولفات‌ها و کلریدها عامل رقت پتاسیم در خاک هستند (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۹c؛ نجفی قیری و بوستانی، ۱۴۰۳).

پتاسیم ساختمانی

میزان پتاسیم ساختمانی، از تفاوت میان پتاسیم کل و پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک جوشان به دست می‌آید. مقادیر پتاسیم ساختمانی در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۱۵۳۸ (داراب) تا ۳۶۸۱ (قائمیه)، با میانگین ۲۵۳۷ میلی‌گرم برکیلوگرم و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۵۲۱ (امامزاده جعفر) تا ۳۱۱۵ (ملەبرفی باشت)، با میانگین ۱۹۸۰ میلی‌گرم برکیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴). این شکل از پتاسیم نیز در خاک سطحی نمونه-های خاک استان‌های فارس وکهگیلویه و بویراحمد (۲۵۱۴ و ۲۳۲۴ میلی‌گرم برکیلوگرم) بیشتر از خاک غیر سطحی (۲۵۶۵ و ۱۶۳۶ میلی‌گرم برکیلوگرم) بوده‌است (جدول‌های ۵ و ۶).

بیشتر پتاسیم خاک (۹۸-۹۰ درصد) در ساختمان کانی‌ها وجود دارد. بنابراین برای برداشت مستقیم توسط گیاه قابل استفاده نمی‌باشد. این بخش از پتاسیم خاک به صورت ساختمانی در فلدسپات‌ها و پتاسیم بین لایه‌ای در کانی‌های میکایی می‌باشد (هابی، ۱۹۹۰). کانی‌های میکایی در خاک و سنگ‌ها شامل میکاهای اولیه (موسکویت، بیوتیت و فلیگوپیت)، میکای آبدار یا میکای تخریب شده و ایلیت هستند. قابلیت استفاده پتاسیم ساختمانی به عواملی چند از قبیل مقدار پتاسیم در سایر شکل‌ها و نیز درجه هوادیدگی و پایداری میکاها و فلدسپات‌ها بستگی دارد. شدت هوادیدگی کانی‌های رسی اولیه و ثانویه، مقدار پتاسیم ساختمانی و غیرتبادلی را کنترل می‌کند (اسپارکز، ۱۹۸۷).

میزان پتاسیم ساختمانی در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی و پتاسیم کل و غیرتبادلی رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل و شن رابطه منفی و معنی‌دار داشته است. این در حالی است که در خاک‌های استان فارس این شکل از پتاسیم با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، سیلت و پتاسیم کل رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان شن و کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته است (جدول ۷ و ۸).

جدول ۴ توزیع نسبی شکل‌های پتاسیم، مقادیر پتاسیم ساختمانی را در خاک‌های استان فارس در دامنه ۶۰/۳ تا ۸۶/۹ درصد (میانگین ۷۹/۳ درصد) و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۵۷/۹ تا ۸۷/۹ درصد (میانگین ۷۶/۱ درصد) را نشان می‌دهد، که تفاوت چندان زیادی بین خاک‌های دو استان مورد مطالعه نشان نمی‌دهد. شاکری و همکاران (۱۳۹۴) گزارش نمود که مقدار پتاسیم ساختمانی در افق‌های سطحی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد کمتر از افق‌های پایینی است. شرایط محیطی سطح خاک (اختلاف درجه حرارت فصلی و شب و روز، رطوبت بیشتر در سطح به دلیل بارندگی و آبیاری و همچنین فعالیت ریزموجودات) موجب ناپایداری و هوادیدگی بیشتر کانی‌ها در سطح خاک شده در نتیجه پتاسیم بیشتری از کانی‌های اولیه و ثانویه خارج می‌شود. پتاسیم ساختمانی خاک‌های مورد مطالعه ارتباط مثبت و معنی داری با پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رس و ارتباط منفی و معنی داری با کربنات کلسیم و شن داشته‌است.

پتاسیم کل

مقادیر پتاسیم کل در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۲۳۴۴ (داراب) تا ۴۳۴۶ (قائمیه)، با میانگین ۳۱۹۶ میلی‌گرم برکیلوگرم و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۸۷۴ (امامزاده جعفر) تا ۴۰۹۴ (ملەبرفی باشت)، با میانگین ۲۵۶۴ میلی‌گرم برکیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۴). پتاسیم کل نیز در خاک سطحی نمونه‌های خاک استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد (۳۲۲۹ و ۳۰۴۳ میلی‌گرم برکیلوگرم) بیشتر از خاک غیر سطحی (۳۱۵۴ و ۴۰۹۳ میلی‌گرم برکیلوگرم) بوده‌است (جدول‌های ۵ و ۶). نجفی‌قیری و بوستانی (۱۴۰۳) مقادیر پتاسیم کل برای

خاک‌های استان فارس را در دامنه ۰/۱ تا ۱/۱ و برای خاک-های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۰/۴ تا ۱/۲ درصد گزارش نمودند.

میزان پتاسیم کل در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان کربنات کلسیم معادل رابطه منفی و معنی‌دار داشته است. این در حالی است که در خاک‌های استان فارس پتاسیم کل با مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، سیلت و پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان شن، رابطه منفی و معنی‌دار داشته است (جدول ۷ و ۸). مهمترین منبع تامین پتاسیم برای گیاه، هوادیدگی کانی-های حاوی این عنصر در خاک می باشد که مهمترین آنها کانی‌های میکا و فلدسپات می‌باشند. معمولا میکاها در بخش رس خاک وجود داشته و راحت‌تر از فلدسپات‌ها که اغلب در بخش سیلت و شن خاک وجود دارند هوادیده شده و پتاسیم مورد نیاز گیاه را آزاد می‌کنند. در میان میکاها نیز کانی بیوتیت راحت‌تر از کانی مسکوویت هوادیده می-شود. بنابراین در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک اصلی‌ترین منبع تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه، هوادیدگی کانی بیوتیت می‌باشد.

جدول ۷- همبستگی ویژگی‌های خاک با شکل‌های مختلف پتاسیم در نمونه‌های خاک استان فارس

	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	پتاسیم ساختمانی	پتاسیم کل	شن	سیلت	رس	pH	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رطوبت اشباع	ظرفیت تبادلی کاتیون	هدایت الکتریکی
هدایت الکتریکی	۰/۱۵۲	۰/۲۱۹	−۰/۲۶۰	−۰/۱۴۴	−۰/۱۵۰	۰/۱۴۷	−۰/۱۵۳	−۰/۱۰۶	−۰/۲۶۳	−۰/۱۴۱	۰/۰۲۰	−۰/۰۰۸	−۰/۱۶۹	۱
ظرفیت تبادلی کاتیونی	−۰/۳۲	۰/۰۶۸	۰/۲۷	۰/۶۵۵**	۰/۶۸**	−۰/۷۰**	۰/۷۱۴**	۰/۵۸**	−۰/۴۰۱	۰/۴۱۱	−۰/۰۳۹	۰/۲۹۹	۱	
رطوبت اشباع	−۰/۶۵**	−۰/۴۳	−۰/۲۵	۰/۴۰۵	۰/۱۹۶	−۰/۱۹۰	۰/۱۷۱	۰/۲۴۵	۰/۰۰۰	۰/۱۸۷	۰/۰۰۹	۱		
کربنات کلسیم معادل	−۰/۴۲	−۰/۵۷**	−۰/۵۲*	−۰/۰۲۷	−۰/۲۸	−۰/۳۳	۰/۳۴۸	۰/۲۶۶	−۰/۱۹۵	۰/۱۳۱	۱			
کربن آلی	۰/۴۶۰*	۰/۳۰	−۰/۱۱۰	۰/۲۱۰	۰/۰۹۲	−۰/۲۱	۰/۲۷۴	−۰/۰۴۷	−۰/۰۴۸	۱				
پ‌هاش	۰/۱۳	۰/۰۱۵	۰/۱۴۷	−۰/۳۱۷	−۰/۲۴۴	۰/۴۹۲*	−۰/۴۹*	−۰/۴۳۶	۱					
رس	−۰/۴۳	۰/۴۵*	۰/۰۸۳	۰/۶۹**	۰/۶۵**	−۰/۹۱**	۰/۸۶**	۱						
سیلت	−۰/۴۲	−۰/۱۹	۰/۱۲۷	۰/۶۸**	۰/۶۰**	−۰/۹۹**	۱							
شن	۰/۴۵۰*	۰/۱۸	−۰/۱۲۰	−۰/۷**	−۰/۶۵**	۱								
پتاسیم کل	−۰/۰۷	۰/۳۳	۰/۴۵*	۰/۸۹**	۱									
پتاسیم ساختمانی	−۰/۴۶*	−۰/۰۹۱	۰/۰۵۵	۱										
پتاسیم غیرتبادلی	۰/۶۲**	۰/۷۳**	۱											
پتاسیم تبادلی	۰/۸۵**	۱												
پتاسیم محلول	۱													

جدول ۸- همبستگی ویژگی‌های خاک با شکل‌های مختلف پتاسیم در نمونه خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد

	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	پتاسیم ساختمانی	پتاسیم کل	شن	سیلت	رس	pH	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رطوبت اشباع	ظرفیت تبادلی کاتیون	هدایت الکتریکی
هدایت الکتریکی	۰/۵۶*	۰/۳۸۲	۰/۲۲۰	-۰/۳۲۳	-۰/۱۷۱	۰/۵۳*	-۰/۴۹۷	-۰/۳۵۹	۰/۰۰۶	-/۱۲۰	۰/۳۵۵	-۰/۲۱۵	-۰/۳۳۹	۱
ظرفیت تبادلی کاتیون	۰/۰۲۹	۰/۳۴۰	۰/۵۲*	۰/۷۴**	۰/۷۷**	-۰/۷۲**	۰/۴۵۰	۰/۵۷۰*	۰/۳۹۸	۰/۷۴**	-۰/۸۵**	۰/۸۰**	۱	
رطوبت اشباع	۰/۱۱۸	۰/۳۷۱	۰/۴۸	۰/۵۸۵*	۰/۶۱۸*	-۰/۸۸**	۰/۵۳*	۰/۵۳*	۰/۴۶	۰/۵۲*	-۰/۷۷۲**	۱		
کربنات کلسیم معادل	-۰/۱۱۵	-۰/۴۲	-۰/۶۴**	-۰/۷۲**	-۰/۷۶**	۰/۷۱**	-۰/۴۸۱	-۰/۵۴*	-۰/۴۹۱	-۰/۵۹*	۱			
کربن آلی	۰/۲۷۶	۰/۵۶*	۰/۵۳۱*	۰/۵۴۲*	۰/۶۲۱*	-۰/۳۹۲	۰/۵۳*	-۰/۱۲۸	۰/۲۴۳	۱				
pH	۰/۰۶۵	۰/۱۳۳	۰/۱۲۳	-/۰۲۹	۰/۰۱۶	-۰/۳۳۲	۰/۱۲۵	۰/۳۰۱	۱					
رس	-۰/۲۹	۰/۴۸*	۰/۱۱۸	۰/۴۷۳*	۰/۳۷۷	-۰/۵۸*	۰/۰۱۳	۱						
سیلت	۰/۰۰۶	۰/۲۱۸	۰/۲۱۷	۰/۳۳۳	۰/۳۴۴	۰/۷۲**	۱							
شن	۰/۴۸*	-۰/۱۴۵	-۰/۲۶۵	-۰/۵۱*	-۰/۴۸	۱								
پتاسیم کل	۰/۲۰۲	۰/۵۱۰*	۰/۷۹**	۰/۹۶**	۱									
پتاسیم ساختمانی	-۰/۰۶۴	۰/۲۶	۰/۶۱*	۱										
پتاسیم غیرتبادلی	۰/۶۸**	۰/۸۵**	۱											
پتاسیم تبادلی	۰/۹۲**	۱												
پتاسیم محلول	۱													

جدول ۹- مقدار پتاسیم استخراج شده ($mg\ kg^{-1}$) توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه استان فارس و مقدار درصد پتاسیم جذب شده در درختان پرتقال (میانگین دو عمق)

نمونه	استات سدیم (۱ مولار)	استات منیزیم (۱مولار)	سدیم کلرید (۱ مولار)	سدیم کلرید (۲ مولار)	اسید کلریدریک ۲ مولار	کلرید کلسیم (۰/۰۱ مولار)	DTPA+ بی‌کربنات سدیم	مورگان	اسیدنیتریک (۰/۰۰۱ مولار)	اسید سولفوریک (۰/۰۲۵ مولار)	استات آمونیم (۱ نرمال)	پتاسیم (برگ پرتقال) (٪)
۱	۶۳/۲	۵۵/۱	۶۴/۸	۳۱/۳	۲۶/۸	۳۹/۱	۱۱۵/۳	۱۱۸/۲	۶۰/۴	۴۶/۸	۸۸/۳	۱/۲
۲	۸۵/۷	۶۹/۱	۷۶/۱	۴۵/۱	۳۹/۹	۴۷/۶	۱۸۶/۳	۱۹۵/۳	۸۵/۰	۶۷/۲	۱۵۹/۲	۱/۱
۳	۱۰۳/۰	۷۰/۹	۸۵/۴	۴۹/۵	۵۲/۳	۵۹/۹	۲۲۹/۱	۲۴۳/۵	۱۱۰/۱	۹۰/۷	۱۹۰/۳	۰/۸
۴	۱۲۷/۹	۹۲/۲	۸۳/۳	۴۶/۶	۴۶/۰	۸۰/۹	۱۸۹/۳	۲۳۳/۸	۱۵۴/۶	۱۱۴/۹	۱۶۰/۹	۱/۰
۵	۶۰/۰	۴۷/۴	۵۸/۵	۲۲/۰	۳۲/۷	۳۳/۱	۱۲۹/۸	۱۴۹/۶	۶۴/۰	۵۱/۰	۱۰۲/۱	۱/۰
۶	۱۹۸/۷	۱۳۷/۷	۱۳۰/۲	۶۶/۴	۶۱/۱	۱۷/۳	۳۱۰/۷	۳۱۸/۴	۲۴۹/۷	۲۰۰/۸	۲۴۱/۰	۱/۲
۷	۱۹۱/۲	۱۵۰/۷	۱۳۳/۲	۸۱/۴	۶۹/۲	۱۴۸/۰	۲۸۴/۸	۳۰۰/۹	۲۲۸/۲	۱۶۴/۱	۲۳۱/۵	۰/۸
۸	۱۴۲/۸	۹۷/۳	۱۰۰/۴	۵۳/۰	۴۸/۷	۹۲/۱	۲۳۶/۳	۲۵۲/۵	۱۵۰/۷	۱۰۵/۸	۱۸۴/۶	۱/۶
۹	۲۸۱/۵	۲۰۳/۱	۱۵۷/۹	۱۰۵/۰	۱۱۷/۹	۱۷۸/۷	۴۱۸/۲	۴۷۲/۲	۳۰۶/۰	۲۲۶/۸	۳۹۹/۲	۲/۳
۱۰	۵۵/۸	۴۳/۳	۵۸/۲	۲۰/۰	۲۴/۰	۳۲/۰	۸۲/۴	۱۰۰/۴	۶۴/۰	۴۴/۳	۶۱/۳	۱/۰
میانگین	۱۲۳/۴	۹۲/۱	۹۰/۹	۵۰/۴	۵۰/۸	۷۹/۱	۲۰۷/۹	۲۲۹/۶	۱۳۵/۹	۱۰۱/۳	۱۷۵/۳	۱/۲
همبستگی با جذب گیاهی (r)	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۷۰	

جدول ۱۰- مقدار پتاسیم استخراج شده ($mg\ kg^{-1}$) توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه استان کهگیلویه و مقدار درصد پتاسیم جذب شده در درختان پرتقال (میانگین دو عمق)

نمونه	استات سدیم ۱) مولار)	استات منیزیم (۱مولار)	سدیم کلرید (۱ مولار)	سدیم کلرید (۲ مولار)	اسید کلریدریک ۲ مولار	کلرید کلسیم (۰/۰۱ مولار)	DTPA+ بی‌کربنات سدیم	مورگان	اسیدنیتریک (۰/۰۰۱ مولار)	اسید سولفوریک (۰/۰۲۵ مولار)	استات آمونیم ۱) نرمال)	پتاسیم (برگ پرتقال) (٪)
۱۱	۴۶/۴	۳۶/۱	۵۰/۰	۱۴/۸	۱۷/۷	۱۵/۷	۸۵/۸	۸۲/۶	۴۶/۵	۲۱/۷	۶۹/۹	۰/۹
۱۲	۵۰/۹	۴۷/۵	۵۷/۸	۲۳/۴	۲۴/۱	۲۵/۱	۹۶/۲	۱۰۵/۸	۵۷/۸	۳۴/۹	۸۶/۹	۱/۰
۱۳	۶۹/۴	۵۰/۰	۶۰/۲	۲۹/۱	۳۰/۸	۳۵/۵	۱۲۷/۲	۱۳۵/۷	۷۰/۵	۴۶/۳	۱۰۳/۸	۱/۹
۱۴	۳۳۹/۴	۲۳۳/۵	۲۰۸/۲	۱۳۲/۵	۹۶/۹	۲۴۱/۷	۴۴۹/۸	۴۳۶/۴	۳۶۲/۱	۲۶۴/۲	۳۶۰/۹	۲/۰
۱۵	۱۸۰/۴	۱۱۳/۷	۱۱۶/۸	۷۲/۰	۵۳/۶	۱۲۰/۲	۲۴۰/۵	۲۲۰/۰	۱۹۸/۸	۱۴۴/۴	۱۹۱/۷	۱/۸
۱۶	۱۷۸/۱	۱۰۹/۴	۱۲۱/۹	۷۴/۸	۷۵/۹	۱۰۵/۷	۲۹۷/۰	۲۹۱/۶	۱۸۳/۸	۱۲۹/۰	۲۸۰/۹	۲/۱
۱۷	۹۲/۹	۶۳/۷	۷۸/۷	۴۵/۰	۴۲/۳	۵۰/۵	۱۹۰/۹	۱۷۱/۵	۹۱/۱	۶۳/۲	۱۷۲/۲	۱/۰
۱۸	۲۱۸/۱	۱۴۲/۷	۱۵۲/۵	۱۰۳/۷	۸۷/۸	۱۴۱/۹	۳۶۹/۰	۳۵۰/۸	۲۴۰/۲	۱۸۵/۷	۳۶۴/۳	۱/۷
میانگین	۱۴۷/۰	۹۹/۶	۱۰۵/۸	۶۱/۹	۵۳/۶	۹۲/۰	۲۳۲/۰	۲۲۴/۳	۱۵۶/۳	۱۱۱/۲	۲۰۳/۸	۱/۵
همبستگی با جذب گیاهی (r)	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۹	

همبستگی بین مقادیر پتاسیم استخراج شده با پتاسیم جذب گیاه و انتخاب بهترین عصاره‌گیر

جدول‌های ۹ و ۱۰ مقادیر پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله عصاره‌گیرهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که غلظت‌های متفاوتی از پتاسیم به وسیله عصاره-گیرهای مختلف استخراج شده است که به دلیل ویژگی‌های خاص شیمیایی و قدرت متفاوت هر عصاره‌گیر در استخراج شکل‌های متفاوت از پتاسیم می‌باشد. بیش‌ترین میزان پتاسیم استخراج شده در خاک‌های استان فارس به ترتیب مربوط به روش مورگان، DTPA و استات آمونیم (به ترتیب مقادیر ۲۲۹/۶، ۲۰۷/۹ و ۱۷۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب مربوط به روش DTPA، مورگان و استات آمونیم (به ترتیب مقادیر۲۳۲، ۲۲۴/۳ و ۲۰۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده‌اند.

شهبازی و همکاران (۱۴۰۱) مقدار پتاسیم قابل جذب خاک را در ۶۲ نمونه خاک مزارع کشاورزی ایران توسط سه عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار، آمونیوم بیکربنات- DTPA و مهلیچ-۳، اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده، توسط عصاره‌گیرهای استات آمونیوم و مهلیچ-۳ فاقد اختلاف معنی-دار بود، اما این دو عصاره‌گیر با آمونیوم بیکربنات- DTPA اختلاف معنی‌دار داشتند. با افزایش نسبت خاک به عصاره‌گیر، میزان برآورد پتاسیم قابل جذب خاک توسط هر سه عصاره-گیر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

در مطالعه‌ای بر روی پنج نوع خاک مختلف در هند، اثربخشی دوازده عصاره‌گیر در آزادسازی پتاسیم بررسی شد. نتایج نشان داد که کلرید باریم ۰/۱ نرمال بیشترین همبستگی را با جذب تجمعی پتاسیم توسط گیاه سورگوم داشت. ویژگی‌های خاک مانند پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی نقش مهمی در تعیین ضرایب آزادسازی اولیه و کلی پتاسیم ایفا کردند (پاول و همکاران، ۲۰۲۴).

در صورتی که پتاسیم عصاره‌گیری‌شده با استات‌آمونیم ۱ نرمال را به عنوان روش استاندارد در نظر بگیریم، با در نظر گرفتن مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به عنوان حد کفایت پتاسیم (هاولین و همکاران، ۲۰۱۳؛ سریواستاوا و سینگ،۲۰۰۴)، مقدار پتاسیم در سه نمونه از خاک‌های استان فارس (مناطق فسا، داراب و قطب‌آباد) و سه نمونه از خاک-های استان کهگیلویه و بویراحمد (امامزاده جعفر، مله‌برفی و امام‌ضامن) در حد کفایت بوده‌است که معادل ۳۳ درصد از نمونه‌ها می‌باشند. شهبازی و بشارتی (۱۳۹۲) در بررسی اجمالی وضعیت حاصخیزی خاک‌های کشاورزی ایران اظهار نمودند که میزان پتاسیم در ۲۱ درصد خاک‌های ایران، کمتر از حد بحرانی (۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بوده‌است. کمتر بودن میزان پتاسیم در خاک‌های مطالعه نسبت به میانگین کشوری را تا حدودی می‌توان به سبک بودن نسبی بافت خاک‌های مورد مطالعه (مقدار میانگین مجموع شن و سیلت ۷۹ درصد) و یا نوع کانی‌های رسی مرتبط دانست.

مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده در بافت برگ درختان پرتقال در نمونه‌های استان فارس در دامنه ۰/۸ تا ۲/۳ درصد (میانگین ۱/۲ درصد) و در نمونه‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در دامنه ۰/۹ تا ۲/۱ درصد (میانگین ۱/۵ درصد) بوده‌است. اسدی و همکاران (۱۳۹۶) مقدار حد کفایت پتاسیم در برگ مرکبات را ۱/۱ درصد و اوبرزا (۲۰۰۳) حد کفایت این عنصر را ۰/۹ تا۱/۲ درصد (میانگین ۱/۰۵ درصد) اعلام نموده‌اند. سریواستاوا و سینگ (۲۰۰۳) دامنه بهینه پتاسیم در برگ مرکبات را ۱/۰ تا ۱/۷ درصد اعلام نمودند. براین اساس ۶۰ درصد از نمونه‌های برگ باغ‌های استان فارس و ۲۵ درصد از نمونه‌های برگ باغ‌های استان کهگیلویه و بویراحمد کمتر از حد کفایت پتاسیم داشته‌اند (جدول‌های ۹ و ۱۰). امین و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه باغ‌های مرکبات منطقه داراب در استان فارس اظهار نمودند که ۷۵ درصد نمونه‌های برگ کمتر از حد بهینه پتاسیم داشته‌اند. به رغم همبستگی بالای میان پتاسیم عصاره گیری شده با پتاسیم جذب شده گیاهی، در

برخی نمونه‌ها این همبستگی مشاهده نمی‌شود، به این شکل که با وجود مقدار بالای پتاسیم در خاک مقدار پتاسیم برگ کمتر از حد کفایت می‌باشد. نجفی قیری و بوستانی (۱۴۰۳) دلیل این امر در خاک‌های آهکی را به بالا بودن نسبت مقادیر کلسیم و منیزیم به پتاسیم می‌دانند که با وجود غلظت مطلوب پتاسیم محلول، به دلیل رقابت یون‌های کلسیم و منیزیم برای جذب توسط ریشه می‌تواند باعث کاهش جذب پتاسیم یا انباشت آن در ریشه و جلوگیری از انتقال به اندام‌های هوایی شود. ایجاد رابطه بین یک عنصر غذایی که به وسیله عصاره-گیری از خاک استخراج شده با مقدار جذب شده آن عنصر در گیاه، یکی از مراحل مهم و اساسی در آزمون خاک به شمار می‌رود. با ایجاد همبستگی، مقدار غلظت عنصر غذایی استخراج شده از خاک با مقدار جذب شده توسط گیاه با یکدیگر مرتبط می‌شوند. در این تحقیق نیز ارتباط بین میزان پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیرهای مختلف با میزان پتاسیم جذب شده توسط برگ پرتقال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این ارتباط در جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده‌اند.

در نمونه خاک‌های استان فارس، بیشترین همبستگی با جذب گیاهی در استات آمونیوم ۱ نرمال و اسید کلریدریک به یک میزان (r=۰/۷۰*)، مورگان (r=۰/۶۹*) و استات سدیم (r=۰/۶۷*) بوده و کمترین میزان همبستگی مربوط به کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (r=۰/۶۰) است (جدول ۹). در نمونه خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در بین عصاره‌گیرها، بیشترین همبستگی با جذب گیاهی مربوط به اسید کلریدریک ۲ مولار (r=۰/۷۰)، مورگان (r=۰/۶۹)، استات آمونیم (r=۰/۶۹) بوده است و کمترین همبستگی مربوط به استات منیزیم (r=۰/۶۳) می‌باشد (جدول ۱۰). البته باید توجه داشت ممکن است در برخی از آزمایش‌ها به طور کلی هیچ عصاره‌گیری مناسب تشخیص داده نمی‌شود و دلیل این که یک عصاره‌گیر برای خاکی مناسب و برای خاک دیگر نامناسب است احتمالاً به علت تفاوت در نوع و مقدار شکل‌های پتاسیم در خاک‌های مختلف است که می‌تواند توسط گیاه جذب شوند. از آنجایی که ترکیب کانی‌های هر خاک، نوع گیاه و شرایط اقلیمی در میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه تاثیرگذار می‌باشد به نظر می‌رسد که بررسی و تعیین عصاره‌گیر مناسب در هر منطقه و با توجه به نوع گیاه لازم باشد (احراری و همکاران، ۱۳۹۵).

حسین پور و سماواتی، (۲۰۰۸) عصاره‌گیرهای اسید نیتریک ۰/۱ مولار، مهلیچ، کلرید کلسیم ۰/۰۱مولار و آب مقطر را برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل استفاده گیاه ذرت پیشنهاد نمودند. همچنین عصاره‌گیرهای کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و اسید نیتریک ۰/۱مولار به عنوان عصاره‌گیرهای مناسب برای تعیین پتاسیم قابل جذب برنج پیشنهاد شده‌اند (شیواپراکاش و همکاران، ۲۰۰۸). توجه به این نکته نیز ضروری است که به دلیل تفاوت در نوع و مقدار شکل‌های پتاسیم موجود در خاک‌های مختلف، ممکن است یک عصاره‌گیر در خاکی مناسب و در خاک دیگر نامناسب باشد، بنابراین تشخیص نامناسب بودن عصاره‌گیرهای مختلف در آزمایش‌های متفاوت قابل انتظار است.

احراری و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه وضعیت پتاسیم در برخی خاک‌های زیتون‌کاری استان فارس، اظهار نمودند که عصاره‌گیرهای کلرید سدیم ۲ مولار، استات آمونیم ۰/۲۵ مولار، استات سدیم ۱ مولار و DTPA، بیشترین همبستگی را با میزان پتاسیم برگ زیتون داشتند. جلالی (۲۰۰۶)، در مطالعات خود در خاک‌های همدان، بین اسید نیتریک ۰/۰۱ مولار، کلرید سدیم ۲مولار، و استات سدیم ۱ مولار با جذب گیاه گندم، همبستگی به ترتیب r=۰/۸۸ و r= ۰/۷۹ و r=۰/۷۶ بدست آورد. بارونی و همکاران (۱۳۹۵) پژوهشی با هدف مقایسه ۱۱ عصاره‌گیر به منظور تعیین عصاره‌گیرهای مناسب جهت برآورد پتاسیم قابل جذب برنج انجام دادند. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی با جذب گیاهی مربوط به عصاره‌گیرهای استات سدیم و استات آمونیوم بوده (ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷۳) و پس از آن‌ها عصاره‌گیرهای مورگان و سدیم کلرید ۲ مولار

قرار دارند. کمترین مقدار همبستگی مربوط به عصاره‌گیر کلرید کلسیم بوده است.

همانگونه که قبلا ذکر شد، کمبود پتاسیم در گیاهان به دو دسته عوامل شامل مقدار کم پتاسیم در مواد مادری خاک و عوامـــل مؤثر بر جذب و انتقال پتاسیم در گیاه مرتبط می‌باشند. با توجه به میانگین بالای کربنات کلسیم در خاک‌های مورد مطالعه (۴۷ درصد) و مقدار قابل قبول رس (۲۱ درصد) و حضور کانی‌های میکایی به عنوان کانی غالب در خاک بر اساس مطالعات صورت‌گرفته، به نظر می‌رسد که عامل اصل کمبود پتاسیم در بیش از ۶۰ درصد از نمونه‌های مطالعه شده، عمدتاً به رقابت بالای کلسیم و منیزیم با پتاسیم در جذب توسط ریشه و انتقال به برگ‌ها از طریق آوندها مرتبط باشد. برگپاشی درختان مرکبات با کودهای حاوی پتاسیم و افزایش مصرف کودهای پتاسیمی، راه مناسبی برای غلبه بر اثر برهمکنشی کلسیم و منیزیم در خاک می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کمبود پتاسیم به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک عامل محدودکننده در عملکرد کمی و کیفی گیاهان شناخته می‌شود. استفاده از کودهای پتاسیمی در ایران از اهمیت بالایی برخوردار است. پیش‌تر تصور می‌شد که به دلیل جوان بودن اکثر خاک‌های کشور، میزان کم شست‌وشوی خاک و فراوانی کانی‌های غنی از پتاسیم، نیازی به مصرف پتاسیم وجود ندارد. نتایج این مطالعه نشان داد که وضعیت پتاسیم در باغ‌های مرکبات جنوب کشور نیازمند توجه ویژه است. عوامل محدودکننده مرتبط با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک این باغ‌ها عمدتاً شامل میزان بالای کربنات کلسیم معادل (میانگین ۴۷ درصد)، pH نسبتاً بالا (میانگین ۷/۵) و مقدار کم کربن آلی (حدود ۱ درصد) است. بافت خاک‌ها عمدتاً لومی بوده و میانگین درصد شن، سیلت و رس به‌ترتیب ۴۰، ۳۹ و ۲۱ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی آنها نسبتاً کم (۱۰/۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم در اشکال مختلف در خاک‌های استان فارس به‌ترتیب شامل ۰/۷ درصد محلول، ۵/۰ درصد تبادلی، ۱۵/۱ درصد غیرتبادلی و ۷۹/۲ درصد ساختمانی از کل پتاسیم موجود بود. در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد نیز این مقادیر به‌ترتیب ۰/۳، ۸/۰، ۱۵/۷ و ۷۶/۰ درصد اندازه‌گیری شد. بر این اساس خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، پتاسیم قابل جذب بیشتری نسبت به خاک‌های استان فارس داشته‌اند. شکل‌های مختلف پتاسیم بیشترین همبستگی معنی‌دار را با مقادیر رس، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (همبستگی مثبت) و کربنات کلسیم معادل و شن (همبستگی منفی) داشته‌اند. بیشترین میزان استخراج پتاسیم توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه به ترتیب توسط روش‌های مورگان، DTPA، استات آمونیم، اسید نیتریک و استات سدیم و کمترین میزان مربوط به عصاره‌گیرهای سدیم کلرید و اسید کلریدریک ۲ مولار صورت گرفت. در بین عصاره‌گیرهای معرفی شده، عصاره‌گیر اسید کلریدریک ۲ مولار به دلیل همبستگی بالاتر با پتاسیم برگ، همچنین سادگی و سهولت اندازه‌گیری می‌تواند به عنوان بهترین عصاره‌گیر معرفی شود. پس از این عصاره‌گیر، عصاره‌گیرهای استات آمونیم و مورگان به دلیل داشتن بیشترین همبستگی با پتاسیم گیاهی برای استخراج پتاسیم معرفی می‌شوند. در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد تا به منظور انتخاب عصاره‌گیر مناسب، عملکرد گیاه نیز در نظر گرفته‌شود. با توجه به اهمیت بالای پتاسیم در تغذیه مرکبات و میزان آن در خاک و برگ درختان باغ‌های مورد ارزیابی، و همچنین با در نظر گرفتن دامنه نسبتاً گسترده پتاسیم، امکان ارائه یک توصیه کودی یکسان وجود ندارد. بنابراین، توصیه کودی باید بر اساس نتایج آزمون خاک انجام شود.

فهرست منابع

۱. آزادی، ا. ۱۳۹۴. مطالعه خصوصیات مورفولوژی، کانی شناسی و وضعیت فسفر و پتاسیم در سه ردیف پستی و بلندی در خاک‌های استان فارس. رساله دکتری بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز.

۲. آمارنامه کشاورزی (جلد سوم، محصولات باغبانی). ۱۳۹۷. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۳. احراری، م.، ح.ر. اولیایی، ا. ادهمی و م. نجفی‌قیری. ۱۳۹۵. مطالعه وضعیت پتاسیم و ارزیابی عصاره گیرهای شیمیایی برای استخراج پتاسیم قابل جذب در خاک باغ های زیتون استان فارس. نشریه آب و خاک، ۳۰(۳) ۸۴۵-۸۳۵.

۴. اسدی کنگرشاهی، ا.، م. بصیرت، و ن. اخلاقی امیری، ۱۳۹۶. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در درختان مرکبات شمال و جنوب کشور. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج، ایران.

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

۶. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۰. شناخت برخی آسیب‌های محیطی و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مرکبات. نشریه فنی ۵۰۱، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۷. امین، ح.، ع. میرسلیمانی و م. نجفی قیری. ۱۳۹۶ ویژگی‌های کمی و کیفی پرتقال واشنگتن ناول در دو باغ با ویژگی‌های خاکی متفاوت در داراب، استان فارس. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، ۱۸: ۳۶۴-۳۵۳.

۸. انجوی‌نژاد، س.م. ۱۴۰۲. بررسی وضعیت شکل‌های پتاسیم در برخی خاک‌های استان فارس با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک. رساله دکتری بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز.

۹. اولیایی، ح.ر. حیدرماه، ص. ادهمی، ا. و نجفی‌قیری، م. ۱۳۹۳. سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در ارتباط با کانی‌شناسی رس برخی از خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. علوم آب و خاک، ۶۸ (۲): ۱۰۹-۹۹.

۱۰. ایرندگانی، ا.، م. رحمانیان و ح. ر. اولیایی. ۱۳۹۸. ارتباط شکل های مختلف پتاسیم با ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های آهکی جنوب شرقی ایران. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۶(۵): ۱۴۷-۱۳۱.

۱۱. بارونی، ف.، ح.ر. اولیایی، ا. ادهمی و م. نجفی قیری. ۱۳۹۵. مقایسه چند عصاره‌گیر برای استخراج پتاسیم قابل جذب برنج در برخی از خاک‌های استان کهگیلویه و بویر احمد. تحقیقات کاربردی خاک، ۵(۱) ۲۴-۱۳.

۱۲. جعفری، س. ۱۳۹۸. ارتباط بین اشکال پتاسیم با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تنوع کانی‌های رسی برخی از خاک‌های خوزستان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰: ۱۷۳۳-۱۷۲۱.

۱۳. حسین پور، ع. ر. و ف. بیابانکی. ۱۳۸۳. رابطه شدت-کمیت پتاسیم با عصاره‌گیرهای متفاوت و پاسخ گیاه سیر در برخی از خاک‌های همدان. مجله علوم آب و خاک، ۱۸ (۱): ۹-۱.

۱۴. حسینی فرد، س. ج.، ح. خادمی، و م. کلباسی. ۱۳۸۸. اثر نوع عصاره‌گیر و دفعات عصاره‌گیری بر آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از میکاها. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک.. : ۱۱۷-۱۰۵.

۱۵. حیدرماه، ص. (۱۳۹۰). سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج.

۱۶. خلیلی،ص.؛ ح.ر. اولیایی؛ ا. ادهمی و م.ر. چاکرحسینی. ۱۳۹۴ . بررسی وضعیت پتاسیم و ارتباط آن با برخی ویژگی‌های خاک باغ‌های پرتقال استان فارس. مجموعه مقالات چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان.

۱۷. زارعیان،غ.، م.ه. فرپور، م. حجازی و ا. جعفری. ۱۳۹۶. ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکو شیمیایی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های دشت قره‌باغ در استان فارس. نشریه پژوهش‌های خاک، ۳۱: ۳۲۷-۳۱۵.

۱۸. شاکری، س. ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات ژنتیکی، مورفولوژیکی، کانی‌شناسی و وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد. رساله دکتری. بخش علوم خاک، دانشگاه شیراز. ۲۶۲ صفحه.

۱۹. شاکری، س.، ع. ابطحی، م. باقرنژاد، ن. کریمیان و ح.ر. اولیایی. ۱۳۹۴. سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در افق‌های سطحی و زیرسطحی سری‌های غالب خاک های استان کهگیلویه و بویراحمد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۷۳: ۳۱۸-۳۰۱.

۲۰. شهبازی، ک.، م. مارزی، م.ح. محمدی و همکاران. ۱۴۰۳. روش های تجزیه خاک نمونه برداری، روش های شیمیایی و فیزیکی. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۰۷۴ ص.

۲۱. شهبازی، ک.، م. چراغی، م. مارزی و ک. هاشمی نسب زواره. ۱۴۰۱. تأثیر نوع عصاره‌گیر و نسبت خاک به عصاره‌گیر بر استخراج میزان پتاسیم قابل جذب خاک. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳: ۱۴۹۷-۱۴۸۱.

۲۲. شهبازی، ک. و ح. بشارتی. ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاکهای کشاورزی ایران. مدیریت اراضی، ۱ (۱): ۱۵-۱.

۲۳. صدری، ن.، ح.ر. اولیایی، ا. ادهمی و م. نجفی قیری. ۱۳۹۵. ارتباط شکل های مختلف پتاسیم با کانی های رسی و تکامل خاک در برخی خاک های استان فارس. نشریه آب و خاک،۳۰: ۱۸۵-۱۷۲.

۲۴. ضرابی، م. و م. جلالی. ۱۳۸۸. مقایسه چند عصاره‌گیر برای استخراج پتاسیم قابل جذب گندم در برخی از خاک‌های استان همدان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران،۴۰ (۲): ۱۵۵-۱۴۹.

۲۵. کلاه‌چی، ز. و م. جلالی. ۱۳۸۴. تأثیر بافت خاک، پتاسیم اولیه و ضریب جذب در آبشویی پتاسیم از خاک. پژوهش کشاورزی آب، خاک .و گیاه/ جلد۵. شماره۱. ص ۶۶-۵۴.

۲۶. نجفی قیری، م. ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کانی شناسی و وضعیت پتاسیم در خاکهای استان فارس .رساله دکتری بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲۷. نجفی قیری، م. و ح.ر. بوستانی. ۱۴۰۳. پتاسیم عنصری فراموش شده در تولیدات گیاهی. مجموعه مقالات یازدهمین همایش ملی مطالعات و تحقیقات نوین درحوزه زیست شناسی و علوم طبیعی ایران، تهران. ایران.

۲۸. نجفی قیری، م.؛ ح.ر. اولیایی،. و ح.ر. بوستانی. ۱۳۹۸. عوامل مؤثر بر توزیع شکل‌های پتاسیم در برخی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. تحقیقات کاربردی خاک. ۷ (۲): ۲۰۷-۱۹۶.

۲۹. نجفی قیری، م.؛ ح.ر. بوستانی، و ا. بیژن زاده . ۱۴۰۳. ویژگی‌های یک خاک آهکی و جذب کلسیم، پتاسیم و سدیم به‌وسیله ذرت با کاربرد بیوچارهای کود گوسفند و سبوس برنج. مجله تحقیقات خاک و آب ایران. ۵۵ (۱۱): ۲۲۲۳-۲۲۰۹.

30. Azadi, A., and S. Shakeri. 2021. Potassium pools distribution in some calcareous soils as affected by climatic conditions, physiographic units, and some physicochemical properties in Fars Province, southern Iran. Eurasian Soil Science, 54(5): 702-715.
31. Bazargan, K., M. Marzi, K. S. Hasheminasab, K. Shahbazi and A.A. Zare. 2022. Optimizing ammonium acetate procedure for determining available potassium in Iranian calcareous soils, testing the concentration and contact time. Dryland Soil Research, 1: 125-136. doi: 10.47176/jsssi.01.01.1024
32. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal, 54: 464–465.
33. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (ed.) Methods of Soil Analysis, part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 891-901.
34. Claassen, N., H. E. L., Dessougi, and S. P. Trehan. 2001. Crop growth and potassium uptake as related to plant and soil properties. International Symposium on importance of potassium in nutrient management on sustainable crop production in India.
35. Haby, V.A., M.P. Russelle and E.O. Skogley. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. pp. 181-227. In: Westerman, R.L. (Ed.). Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. ASA-SSSA, Madison, WI. Indian Soil Science, 43: 351- 356.
36. Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 2013. Soil Fertility and Fertilizers. New Jersey: Pretince Hall. P. 516.
37. Helmke, P.A. and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. p. 551–573. In D.L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
38. Hien, H. N., S. Maneepong, and P. Suraninpong. 2017. Effects of potassium, calcium, and magnesium ratios in soil on their uptake and fruit quality of pummelo. Journal of Agricultural Science, 9(12): 110-121.
39. Hosseinpur, A.R., and M. Samavati. 2008. Evaluation of chemical extractants for the determination of available potassium. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39: 1559–1570.
40. Hosseinpur, A.R., and Zarenia, M. 2012. Evaluating chemical extractants to estimate available potassium for pinto beans (Phaseolus vulgaris) in some calcareous soils. Plant, Soil and Environment, 58(1): 42-48.
41. Jackson, M.L. 1975. Soil Chemical Analysis: Advanced Course. Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison, WI.
42. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. Geoderma, 135: 63-71.
43. Jalali, M. and M. Jalali. 2022. Investigation of potassium leaching risk with relation to different extractants in calcareous soils. Journal Soil Science Plant Nutrition, 22: 1290-1304. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00731-6.
44. Jones, U. S. 1978. Fertilizers and soil fertility. Printice-Hall of India.
45. Jones, J. B. 1990. Universal soil extractants: their composition and use. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 21: 1091-1101.
46. Kirkman, J. H., Basker, A., Surapaneni, A., and MacGregor, A. N. 1994. Potassium in the soils of New Zealand—a review. New Zealand Journal of Agricultural Research, 37(2): 207-227.

47. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological potassium. American Society of Agronomy, Madison, WI.
48. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.
49. Martin, H.W. and D.L. Sparks. 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. Soil Science. Society American Journal. 47: 883-887.
50. Mengel, K. and A. Rahmtullah, and H. Dou. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-derived soils. Soil Science, 163: 805-813.
51. Najafi-Ghiri, M., H.R. Boostani, E. Farrokhnejad, and A. Cheraghleh. 2024. Soil potassium fractionations, release and fixation in a cadmium contaminated soil treated with plant residue and biochar. Eurasian Soil Science, 57: 220–232. https://doi.org/10.1134/S1064229323601336
52. Najafi-Ghiri, M., A. Mirsoleimani, H. R. Boostani, and H. Amin. 2022. Influence of wood vinegar and potassium application on soil properties and Ca/K ratio in citrus rootstocks. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22(1): 334-344.
53. Najafi-Ghiri, M., H.R. Boostani, and A.G. Hardie. 2021. Release of potassium from some heated calcareous soils to different solutions. Archives of Agronomy and Soil Science, 69(1): 90-103.
54. Najafi-Ghiri, M., M. Mokarram and H.R. Owliaie. 2019a. Prediction of soil clay minerals from some soil properties with use of feature selection algorithm and ANFIS methods. Soil Research, 57(7): 788-796. doi.org/10.1071/SR18352
55. Najafi-Ghiri, M., M. Niazi, M. Khodabakhshi, H.R. Boostani, and H.R. Owliaie. 2019b. Mechanisms of potassium release from calcareous soils to different salt, organic acid and inorganic acid solutions. Soil Research, 57(3), 301-309.
56. Najafi-Ghiri, M., S. Rezabigi, S. Hosseini, H.R. Boostani, and H.R. Owliaie. 2019c. Potassium fixation of some calcareous soils after short term extraction with different solutions. Archives of Agronomy and Soil Science, 65(7): 897-910.
57. Najafi-Ghiri, M., A. Mirsoleimani, and H. Amin. 2017. Nutritional status of Washington Navel orange orchards in arid lands of southern Iran. Arid Land Research and Management, 31(4): 431-445.
58. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, H. R. Owliaie, S.S. Hashemi, and H. Koohkan. 2011. Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of Southern Iran. Arid Land Research and Management, 25(4), 313-327.
59. Obreza, T. 2003. Importance of potassium in a Florida citrus nutrition program. Better Crops, 87: 19-22.
60. Owliaie, H.R., M. Najafi Ghiri, E. Adhami and S. Shakeri. 2018. Pedological investigation of a Litho-Toposequencen a semi-arid region of southwestern Iran. Eurasian Soil Sci. 51(12): 1447–1461.
61. Paul, S., D. Das, M. Barman., et al. 20.24. Selection of a suitable extractant for sequential leaching of soil to evaluate medium-term Potassium availability to plants. J. Soil Sci. Plant Nutrition, 24: 1489–1506. https://doi.org/10.1007/s42729-024-01654-8
62. Pratt, P. F. 1965. Potassium. 1022–1030. In: C. A. Black. Methods of Soil Analysis, 215 part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
63. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U. S. Salinity Laboratory Staff. USDA. Hand book No. 60. Washington, D C, USA. 160 pp.
64. Shivaprakash B.L., K.T. Gurumurthy and H.M. Chidanandappa. 2008. Evaluation of suitable extractant for available potassium in rice soils of Tunga command area in Karnataka. Mysore Journal of Agricultural Sciences, 42: 264–267.
65. Simard R.R., and Zizka J. 1994. Evaluating plant available potassium with strontium citrate. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 25(9-10): 1779-1789.

66. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. In: Advances in Soil Science (pp. 1-63). Springer New York.
67. Srivastava, A.K. and S. Singh. 2003. Citrus Nutrition. Lucknow, India: International Book Distributing Co. P. 968
68. Srivastava, A.K. and S. Singh. 2004. Leaf and soil nutrient guide in citrus-A review. Agric. Rev. 25(4): 235-251.
69. Vitosh, M.L., G.W. Hergeret and D.L., Wright. Potassium for corn production. 1996. National corn handb. Purdue university. Cooperative extension service. West Lafaytee, In 47907.
70. Zarrabi, M., and M. Jalali. 2008. Evaluation of extractants and quantity–intensity relationship for estimation of available potassium in some calcareous soils of western Iran. Communications in soil science and plant analysis, 39(17-18): 2663-2677.

نشریه پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۹ / شماره۱ / ۱۴۰۴/۱۲۶-۱۰۳
DOI: 10.22092/IJSR.2025.368115.766

ارزیابی کاربرد سه نوع کود آلی بر عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris*) در منطقه هیدج، استان زنجان

ادریس گویلی کیلانه[۱*]، محمد بابا اکبری ساری[۲]، اکبر حسنی[۳]، میلاد پرو[۴]، ستاره امانی‌فر[۵] و اسماء احمدوند[۶]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان ایران. Edris_Gavili@Yahoo.com
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان ایران. Babaakbari@znu.ac.ir
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان ایران. AKBAR.HASSANI@znu.ac.ir
۴- دکتری مهندسی صنایع غذایی گروه صنعتی پژوهشی فرهیختگان زرنام، استان البرز، شهر هشتگرد، ایران. M.Pero@zarholding.com
۵- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان ایران. Amanifar@znu.ac.ir
۶- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان ایران. Asma.a9344@gmail.com

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲ و پذیرش:۱۴۰۴/۴/۳۱

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر سه نوع کود آلی بر خصوصیات زراعی و عملکرد لوبیا سفید در منطقه هیدج استان زنجان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در تابستان ۱۴۰۳ انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل نسبت‌های مختلفی از کودهای آلی مایع حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس (به ترتیب به نسبت‌های ۱۰۰-۰-۰ (ذ۱)، ۷۵-۲۵-۰ (ذ۲)، ۷۵-۰-۲۵ (ذ۳)، ۵۰-۲۵-۲۵ (ذ۴)، ۰-۱۰۰-۰ (م۵)، ۲۵-۷۵-۰ (م۶)، ۰-۷۵-۲۵ (م۷)، ۲۵-۵۰-۲۵ (م۸)، ۰-۰-۱۰۰ (و۹)، ۲۵-۰-۷۵ (و۱۰)، ۰-۲۵-۷۵ (و۱۱) ، ۲۵-۲۵-۵۰ (و۱۲) و ۰-۰-۰ (ش۱۳) (بعنوان تیمار شاهد)) بود که به میزان ۹۰ لیتر در هکتار مصرف شد. در بین تیمارهای اعمال شده تیمار (ذ۱) به ترتیب سبب افزایش ۱۸/۱%، ۱۷/۳%، ۲۱/۳% و ۲۵/۸% ارتفاع گیاه، وزن خشک، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید. همچنین تیمار (ذ۲) به ترتیب سبب افزایش۱۶/۷%، ۲۱/۶%، ۱۹/۵% و ۲۶/۱% و تیمار (م۶) به ترتیب سبب افزایش ۱۵/۸%، ۱۸/۲%، ۱۸/۹% و ۲۱/۷% ارتفاع گیاه، وزن خشک، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. با توجه به قیمت تمام شده این سه نوع کود آلی، تحلیل اقتصادی تیمارهای مورد بررسی نشان داد که تیمار (ذ۲) موجب افزایش ۲۶/۱% عملکرد نسبت به تیمار شاهد و در نهایت منجر به افزایش سود خالصی معادل ۰/۸۰۱ میلیارد ریال در هکتار شد.

واژه های کلیدی: اسید آمینه، حبوبات، عملکرد بیولوژیک، نیتروژن، هزینه- سود.

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول:Edris_Gavili@Yahoo.com

استناد: گویلی کیلانه، ا.، باباکبری ساری، م.، حسنی، ا.، پرو، م.، امانی فر، س.، احمدوند، ا.، ۱۴۰۴. ارزیابی کاربرد سه نوع کود آلی بر عملکرد و اجزاءعملکرد لوبیا سفید (Phaseolus vulgaris) در منطقه هیدج، استان زنجان. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش های خاک، (۱) ۳۹، ۱۲۶-۱۰۳.

مقدمه

حبوبات با داشتن ۱۸ الی ۳۲ درصد پروتئین یکی از مهم‌ترین منابع تأمین پروتئین در رژیم غذایی انسان می‌باشند. لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) در بین سایر حبوبات با داشتن میزان پروتئین بالا (۲۰-۲۵ درصد) و موارد مصرف متعدد از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (فتحی و همکاران، ۲۰۲۳). ارزش غذایی این محصول به علت دارا بودن پروتئین و کربوهیدرات (حدود ۶۰ درصد) ، فیبر فراوان و برخی ویتامین‌ها، مواد معدنی (نظیر مس، کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز و روی)، آنتی اکسیدانت‌ها و پلی‌فنل‌ها است (وانی و همکاران، ۲۰۱۳ ، راسیلز و همکاران، ۲۰۱۲). در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱، سطح زیر کشت محصولات زراعی ایران حدود ۱۲/۵۷ میلیون هکتار بوده که سطح مربوط به حبوبات ۴/۸۸ درصد و معادل ۶۱۳/۱۰۹ هکتار بوده است (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰-۱۴۰۱). لوبیا در بین حبوبات از نظر سطح زیر کشت در جهان مقام اول و در ایران پس از نخود (۶۷/۲۷ درصد) و با ۱۶/۵۰ درصد معادل ۱۰۱۱۸۷ هکتار مقام دوم را دارا است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). استان زنجان با سطح زیر کشت ۱۰۳۶۱ هکتار لوبیا بعد از استان‌های فارس، مرکزی و لرستان در رتبه چهارم کشور قرار دارد. گیاهان برای رشد و تولید محصول علاوه بر آب، به عناصر غذایی نیز وابسته هستند. نیتروژن و فسفر عناصر کلیدی در تغذیه گیاهان به حساب می‌آیند و به‌عنوان یک جزء اصلی در ساختمان تعدادی مولکول زنده از قبیل پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و رنگیزه‌ها نقش اساسی در گیاهان ایفا می‌کنند (امیر یوسفی و همکاران، ۱۴۰۰). در سال ۲۰۲۰ میزان مصرف کودهای شیمیایی بالغ بر ۲۰۶ میلیون تن برآورد شده که ۶۳ درصد آن را کودهای ازته به خود اختصاص داده است. در ایران نیز مصرف کودهای شیمیایی از اواخر دهه ۵۰ شمسی در حال گسترش بوده به‌گونه‌ای که در حال حاضر در هر سال بیش از ۴/۴ میلیون تن کود شیمیایی در کشور مصرف می‌شود (کوچکی و همکاران، ۲۰۱۷). مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی منجر به افزایش شوری خاک و افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. از طرف دیگر مصرف کودهای شیمیایی در اول فصل زراعی، منجر به تبدیل شدن قسمتی از فرم قابل استفاده عناصر به فرم‌های دیگر و همچنین از دسترس خارج شدن بخشی از کود از طریق آبشویی شده که افزایش شوری زمین‌های کشاورزی و آلودگی منابع آبی را بدنبال دارد (نصیرخان و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از کودهای آلی بعنوان یک روش مؤثر در کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی بر محصولات کشاورزی در مطالعات مختلف گزارش شده است. مواد آلی نظیر کودهای حیوانی، ضایعات جانبی محصولات کشاورزی و صنعتی، کمپوست و بقایای گیاهی به‌عنوان کودهای زیستی غنی از عناصر غذایی می‌توانند جهت بازسازی پایدار زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند (جابین و احمد، ۲۰۱۶؛ دیاکانو و مونتمورو، ۲۰۱۰). این نوع از کودها به‌دلیل دارا بودن مواد آلی زیاد توانایی اصلاح خاک را داشته و قادر به افزایش حاصلخیزی می‌باشند. مطالعات متعددی توانایی کودهای آلی در بهبود خصوصیات خاک و افزایش فعالیت بیولوژیکی آن را نشان داده‌اند (وانگ و همکاران ۲۰۱۴؛ تجادا و همکاران ۲۰۰۶). به دلیل غلظت بالای مواد آلی در کودهای آلی، می‌توان از آن‌ها برای اصلاح خاک‌های متأثر از نمک از طریق افزایش حاصلخیزی خاک استفاده کرد. مواد آلی اثرات مفید متعددی بر مزارع کشاورزی دارند. هنگامی که به عنوان اصلاح کننده خاک استفاده می‌شوند، مواد مغذی را به آرامی آزاد، ثبات ساختاری خاک را حفظ و از خاک در برابر فرسایش محافظت کرده و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را برای افزایش حاصلخیزی کلی خاک بهبود می‌بخشند (دیاکانو و مونتمورو، ۲۰۱۰).

تولید محصولات جانبی در طی فرآیند تولید در صنعت و کشاورزی امری اجتناب ناپذیر است. در گذشته این محصولات جانبی منجر به ایجاد برخی مشکلات زیست‌محیطی می‌شدند، اما امروزه استفاده از آن‌ها در زمینه‌های مختلف با اهداف مناسب و کاربردی، تأثیرات این

محصولات را در محیط‌زیست کاملاً تغییر داده است (یانگ و همکاران، ۲۰۱۳) و استفاده صحیح و کاربردی از پسماندهای مختلف و استفاده از آن‌ها با کم‌ترین تهدیدات زیست‌محیطی در سطح ایران و جهان مطرح شده است. براساس نیاز جامعه به تولید محصولات کشاورزی سلامت-محور با هدف صیانت و حفاظت از محیط‌زیست، مواد آلی تولیدی ارزان قیمت و با درجه ریسک پایین برای محیط-زیست در صنایع مختلف شامل پالایشگاه غلات (آسیاب مرطوب ذرت)، کارخانه‌ی تولید قند و کارخانه تولید الکل مورد بررسی قرار گرفت. کود آلی حاصل از فرآوری ذرت به عنوان پروتئین گیاهی هیدرولیز شده که بر پایه دانه ذرت و سازگار با محیط‌زیست می‌باشد در طی فرآیند فرآوری ذرت و تولید انواع مختلف شیرین‌کننده‌ها، نشاسته‌ها و خوراک دام و طیور در پالایشگاه غلات حاصل از فرآیندهای آنزیمی و تخمیری می‌باشد که حاوی ترکیبات مفید مورد نیاز جهت رشد گیاهان می‌باشد. همچنین طی فرآیند تولید قند، مقدار زیادی ملاس چغندرقند تولید می-شود و ملاس نیز به عنوان ترکیبی آلی با درصد بالای کربوهیدرات‌ها است که علاوه بر قند، حاوی مواد دیگری چون اسیدهای‌آمینه، پروتئین‌ها، اسیدهای آلی و عناصر معدنی است (لی و همکاران، ۲۰۲۰). در کارخانه‌های الکل‌سازی پس از تخمیر ملاس چغندرقند توسط مخمرها، قند تبدیل به الکل می‌شود و پسماند حاصل که حاوی اسیدهای‌آمینه متنوع است تحت عنوان ویناس به فاضلاب تصفیه‌خانه هدایت می‌گردد. به طور متوسط برای تولید هر لیتر الکل ۱۲ لیتر ویناس نیز تولید می‌شود. ویناس ماده‌ای با رنگ قهوه‌ای تیره و بوی شکر سوخته می‌باشد که غنی از پتاسیم، کلسیم، منیزیم، مقادیری نیتروژن و فسفر است (گلچین و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین با توجه به مطالب بیان شده در رابطه با اهمیت لوبیا در استان زنجان و بالاخص شهر هیدج و نقش مثبت کودهای آلی بر گیاهان زراعی این تحقیق با هدف بررسی کودهای آلی مایع حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس بصورت جداگانه و مخلوط (با توجه به اینکه هرکدام از این مواد دارای نقاط قوت و ضعف هستند و ترکیب آن‌ها می‌تواند سبب بهبود وضعیت آن کود نهایی گردد) بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا سفید صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در تابستان ۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی شرکت دانش بنیان رویان بذر دانش واقع در شهر هیدج از توابع شهرستان ابهر واقع در استان زنجان با عرض ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه و طول ۴۹ درجه و ۱۳ دقیقه اجرا شد. به منظور ارزیابی ویژگی‌های خاک پیش از اجرای آزمایش، نمونه‌گیری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفت. نمونه خاک تهیه شده از الک دو میلی‌متری عبور داده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های معمول استاندارد به شرح زیر اندازه-گیری شدند. بافت خاک (فراوانی نسبی ذرات شن، رس و سیلت) به روش هیدرومتری (جی و بادر، ۱۹۸۶)، pH در خمیر اشباع با دستگاه پ‌هاش‌متر (توماس، ۱۹۹۶)، ماده آلی به روش اکسایش با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیتر کردن با آمونیوم فروسولفات معروف به روش ترسوزانی (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن و با عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (اولسن و همکاران، ۱۹۵۴)، پتاسیم محلول از عصاره‌گیری گل اشباع و قرائت با دستگاه شعله سنج (هلمکه و اسپارکس، ۱۹۹۶) و نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر، ۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). میانگین بارندگی و دمای سالیانه در این منطقه به ترتیب ۵۲۷ میلی‌متر و ۱۰/۳ درجه سانتی‌گراد بود. آماده سازی زمین شامل شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار و سپس تسطیح زمین توسط دیسک بود. بعد از انجام عملیات شخم و آماده سازی زمین بذرهای لوبیا سفید رقم هیدج در تاریخ ۲۰ تیرماه ۱۴۰۳ کشت و آبیاری آغاز شد. آبیاری به صورت قطره‌ای و با استفاده از نوار تیپ انجام شد. هر واحد (کرت) آزمایشی با مساحت ۵ مترمربع شامل ۳ ردیف ۲/۵ متری و پشته‌های ۶۰ سانتی‌متری بود. جهت جلوگیری از اختلاط کودی، واحدهای آزمایشی نیز با یک فاصله ۵۰

سانتی‌متری از یکدیگر جدا شدند. بذور لوبیا در عمق ۵ سانتی‌متری بر روی خطوط کاشت و با فاصله‌ی ۵ سانتی‌متری از یکدیگر به صورت کپه‌ای (سه تا چهار بذر) کشت گردید و در مرحله دو برگچه‌ای جهت رسیدن به تراکم مورد نظر تنک شدند. تراکم توصیه شده ۴۰۰ هزار بوته در هکتار در شرایط عاری از علف‌های هرز در نظر گرفته شد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۶). ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده که با استفاده از روش‌های رایج (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۷) آنالیز گردیده در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به ماهیت متفاوت کودهای آلی استفاده شده و احتمال تأثیر بیشتر با مخلوط کردن این مواد، آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۳ تیمار از کودهای آلی حاصل از فرآوری ذرت (ذ)، ملاس (م) و ویناس (و) و هم‌چنین مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف به همراه شاهد (ش) (جدول ۳) انجام شد. کودهای مورد ارزیابی با فاصله زمانی ۲۱ روزه و در دو مرحله (۲۹ مرداد ماه و ۱۸ شهریورماه) و به میزان ۹۰ لیتر در هکتار در زمین اعمال گردید.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه مورد استفاده

شن	سیلت	رس	بافت	pH	ماده آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم	پتاسیم محلول
درصد			–		درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم خاک	
۱۸	۴۰	۴۲	رسی سیلتی	۷/۲۵	۰/۹۲	۰/۱۷	۳۰/۵۷	۱۱۶/۶۷

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های کودهای آلی مورد استفاده

	pH*	ماده آلی (OM)	نیتروژن کل (N)	فسفرقابل استفاده (P_2O_5)	پتاسیم محلول (K_2O)	اسید آمینه آزاد (FAA)
	–	درصد				
حاصل از فرآوری ذرت	۳/۵-۴/۵	۳۰	۳	۲/۵	۲	۶
ملاس	۶/۵-۷	۵۲/۶۷	۰/۷۵	۰/۱۵	۱/۵۴	۰/۲۴
ویناس	۶-۶/۵	۱۴/۰۳	۱/۱۷	۱/۷۹	۳/۰۳	۰/۱۶

* pH در محلول ۱ به ۱۰ قرائت گردید

جدول ۳- تیمارهای اعمال شده با نسبت‌های مختلف کود آلی حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس

تیمار	ذ٪	م٪	و٪	تیمار	ذ٪	م٪	و٪	تیمار	ذ٪	م٪	و٪	تیمار	ذ٪	م٪	و٪
ذ ۱	۱۰۰	۰	۰	م ۵	۰	۱۰۰	۰	و ۹	۰	۰	۱۰۰	ش۱۳	۰	۰	۰
ذ۲	۷۵	۲۵	۰	م ۶	۲۵	۷۵	۰	و ۱۰	۲۵	۰	۷۵				
ذ۳	۷۵	۰	۲۵	م ۷	۰	۷۵	۲۵	و ۱۱	۰	۲۵	۷۵				
ذ۴	۵۰	۲۵	۲۵	م ۸	۲۵	۵۰	۲۵	و ۱۲	۲۵	۲۵	۵۰				

در انتهای فصل رشد و در تاریخ ۱۳ مهر ۱۴۰۳، همزمان با زرد شدن بوته‌ها و خشک شدن غلاف‌ها ابتدا صفات ارتفاع بوته و قطر ساقه با استفاده از ۵ بوته انتخابی در مرحله رسیدگی کامل به‌ترتیب به‌وسیله متر و کولیس

اندازه‌گیری شد (شکل ۱). وزن خشک ساقه و برگ و ریشه پس از شستشوی با آب معمولی و سپس آب مقطر با قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین با ترازوی دیجیتال به‌دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. به‌صورت تصادفی از هر بلوک بعد از حذف اثر حاشیه‌ای تعداد ۵ بوته نمونه‌برداری و عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه تعیین شد. در نمونه‌برداری، دو ردیف کناری حذف و نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف نیز به عنوان اثرات حاشیه‌ای حذف شدند و نمونه‌برداری از ردیف‌های میانی صورت گرفت. پس از برداشت ابتدا کل بوته‌ها توزین شدند (عملکرد بیولوژیک)، سپس دانه‌ها جدا شده و توسط ترازو دقیق توزین گردید (عملکرد دانه) و در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده، شاخص برداشت کل با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

(۱)

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیک}} * 100$$

نمونه‌های ساقه و برگ، ریشه و دانه آسیاب و با استفاده از دستگاه کجلدال درصد نیتروژن (Helrich, 1990) اندازه-گیری و سپس مطابق با رابطه زیر فاکتور انتقال نیتروژن محاسبه گردید:

(۲)

$$\text{فاکتور انتقال نیتروژن} = \frac{\text{درصد نیتروژن اندام‌های هوایی}}{\text{درصد نیتروژن ریشه}} * 100$$

شکل ۱- نمونه‌هایی از تصاویر مراحل مختلف آزمایش

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها براساس طرح آزمایشی (طرح بلوک کامل تصادفی) با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین تیمارها بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. نمودارها و شکل‌ها توسط برنامه Origin Pro ترسیم شد.

یافته‌های پژوهش

ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش (جدول ۴) نشان داد ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر تیمار کودهای آلی قرار گرفت. مقایسه میانگین مربوط به استفاده از کودهای آلی نشان داد که بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته لوبیا سفید متعلق به تیمار (ذ۱) به میزان ۶۶/۸۷ سانتی‌متر و کم‌ترین ارتفاع مربوط به تیمار (و۹) به میزان ۵۵/۸۹ بود. هم‌چنین، نتایج نشان داد اگرچه استفاده

از کودهای آلی منجر به افزایش ارتفاع گیاه شده است اما تنها تیمارهای (ذ۱)، (ذ۲) و (م۶) اختلاف معنی‌دار با شاهد داشتند (شکل ۲). افزایش ارتفاع گیاه را می‌توان به افزایش در تعداد و طول میان‌گره‌ها نسبت داد که منتج به افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. دسترسی گیاه به عناصر غذایی کافی از طریق تأثیر بر روی تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در افزایش ارتفاع بوته بسیار مؤثر می‌باشد (راثی‌پور و اصغرزاده، ۱۳۸۶)، که در این بین کودهای آلی با افزایش فراهمی و قابلیت جذب عناصر غذایی به این امر کمک می‌کنند. کود آلی حاصل از فرآوری ذرت بیش‌ترین تأثیر را در افزایش طول ساقه داشته که احتمالاً مرتبط با ویژگی‌هایی مانند pH اسیدی، محتوای بالای نیتروژن و منبع غنی از اسیدهای آمینه آزاد مانند پرولین و گلوتامات می باشد. این ترکیبات نقش کلیدی در طویل‌شدن سلول‌های ساقه داشته و می‌توانند مستقیماً سنتز پروتئین‌های ساختاری و هورمون‌های رشد گیاهی را تحریک کنند. از طرفی ملاس با تأمین کربوهیدرات‌هایی مانند ساکارز و گلوکز، هم به عنوان منبع انرژی برای متابولیسم گیاه عمل می‌کند و هم با افزایش فعالیت میکروبی ریزوسفر، معدنی‌شدن نیتروژن و فسفر موجود در کود آلی حاصل از فرآوری ذرت را تسریع می‌نماید. این اثرات به صورت هم‌افزایی به ویژه در تیمار (ذ۲) یعنی نسبت ۷۵ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و ۲۵ درصد ملاس مشهود است. دهمرده و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود به افزایش طول میان‌گره و ارتفاع بوته لوبیا تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی اشاره نمودند و بیان داشتند که کود زیستی فسفات به دلیل اینکه موجب حلالیت فسفر معدنی و آلی موجود در خاک می‌شود، احتمالاً وجود فسفر موجب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه شده و در نتیجه افزایش رشد و تقسیم سلولی در اندام‌های هوایی را در پی داشته که منجر به افزایش طول میان‌گره و ارتفاع گیاه شده است. به‌طورکلی، فراهمی عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه که از طریق افزودن کودهای آلی تأمین می‌گردد می‌تواند با افزایش تعداد گره‌ها و طول میان‌گره‌های ساقه، ارتفاع گیاه را تحت تأثیر قرار بدهد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کودهای آلی مایع حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس بر خصوصیات مورفولوژیکی لوبیا سفید

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	وزن خشک ساقه و برگ	وزن خشک ریشه
تکرار	۲	۱۸/۹۹ ns	۰/۰۰۱ ns	۲۰/۶۸ **	۰/۰۳ *
کودهای آلی	۱۲	۴۱/۲۱*	۰/۰۰۳ ns	۷/۸۴*	۰/۰۲ **
خطا	۲۴	۱۸/۸۶	۰/۰۰۲	۳/۱۵	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۰۶	۹/۲۴	۸/۸۶	۱۰/۷۴

* و ** معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

قطر ساقه

مطابق با تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش، کاربرد کـودهای آلی اثر معنی‌داری بر قطر ساقه نداشتند(جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد استفاده از کودهای آلی تنها در تیمارهای (ذ۱) و (م۶) موجب افزایش معنی‌دار قطر ساقه نسبت شاهد به ترتیب به میزان ۱۴/۸۹ و ۱۲/۷۷ درصد شدند (شکل ۲). تیمار (ذ۱) یعنی ۱۰۰ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت با افزایش ۱۴/۸۹ درصدی قطر ساقه نسبت به شاهد، مؤثرترین ترکیب بود. این اثر را می‌توان به ترکیب غنی کود آلی حاصل از فرآوری ذرت از نظر نیتروژن آلی و اسیدهای آمینه نسبت داد که موجب تحریک تقسیم سلولی و توسعه بافت‌های گیاهی می‌شود. همچنین تیمار (م ۶) یعنی ۷۵ درصد ملاس و ۲۵ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت نیز سبب افزایش قطر ساقه نسبت به شاهد شد، که احتمالاً ناشی از افزایش فعالیت میکروبی خاک بخاطر حضور قندهای محلول، بهبود جذب عناصر غذایی، و تأمین انرژی برای ریشه و اندام‌های رویشی بوده است. کودهای آلی کارکردهای مختلفی در بخش کشاورزی داشته و علاوه بر

کمک به جذب عنصری خاص، باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، افزایش رشد گیاه، افزایش کمی و کیفی گیاه زراعی و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شوند (استامنکوویچ و همکاران، ۲۰۱۸). پوریوسف و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که کاربرد کودهای آلی و زیستی با ترشح ترکیبات تحریک-کننده رشد و تولید هورمون‌های رشدی و افزایش پویایی و فراهمی بیشتر عناصر غذایی در خاک، موجب افزایش میزان جذب عناصر غذایی و آب توسط ریشه‌ها شدند، که به نوبه خود، سبب گسترش شاخساره و افزایش سطح فتوسنتزکننده و همچنین رشد بیشتر اندام‌های هوایی گیاه، از جمله افزایش قطر ساقه می‌گردد.

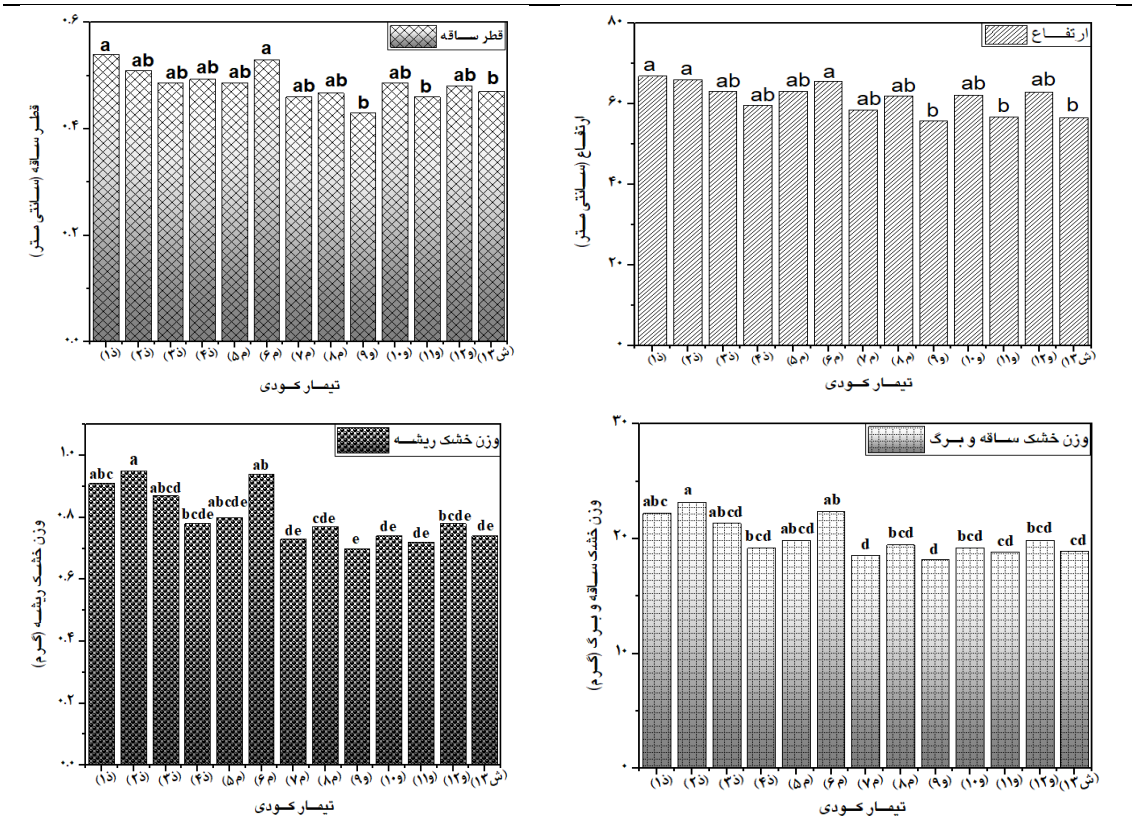
وزن خشک ساقه و برگ

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌های وزن خشک ساقه و برگ نشان دهنده وجود اختلاف معنی-دار بین تیمارهای کودهای آلی در سطح پنج درصد بود (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار وزن خشک ساقه و برگ مربوط به تیمار (ذ۲) به میزان ۲۳/۰۲ گرم و کم‌ترین میزان ۱۸/۱۹ گرم مربوط به تیمار (و ۹) بود (شکل ۲). برگ‌ها اندام‌های بسیار مهمی در گیاهان هستند که نقش فعالی در فتوسنتز دارند. برای دستیابی به عملکرد بالا، به حداکثر رساندن سطح برگ یک عامل مهم به شمار می‌رود. افزایش وزن خشک در تیمار (ذ۲) یعنی ۷۵ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و ۲۵ درصد ملاس به دلیل فراهم‌سازی همزمان منابع غنی از نیتروژن آلی، اسیدهای آمینه و کربوهیدرات‌های محلول است که ضمن تأمین مواد غذایی لازم، موجب تحریک فعالیت میکروبی خاک و بهبود جذب عناصر غذایی می‌شوند. این شرایط باعث افزایش سنتز پروتئین و ساختار سلولی در اندام‌های رویشی مانند ساقه و برگ شده و نهایتاً منجر به افزایش وزن خشک گردیده است. از طرفی، تیمار (و۹) یعنی ویناس ۱۰۰ درصدی حاوی مقادیر بالایی از نمک‌ها (به‌ویژه پتاسیم) و ترکیبات فنولی بازدارنده است که می‌توانند موجب افزایش شوری خاک شوند. افزایش شوری باعث کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها، اختلال در فرآیندهای متابولیکی و در نهایت کاهش رشد گیاهان می‌شود. یافته‌های مشابهی نیز توسط میرزا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شده است. افزایش وزن خشک برگ را می‌توان با بهبود در رشد ریشه‌ها و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال کربوهیدرات‌ها توضیح داد (سیاوشی و همکاران، ۲۰۱۷). برخی پژوهشگران نیز بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، ایجاد فضای مناسب برای فعالیت ریزجانداران خاک‌زی و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از کودهای آلی را سبب تأمین به موقع و به اندازه عناصر غذایی در مراحل رشد گیاه گزارش نموده‌اند که در نهایت سبب افزایش عملکرد می‌گردد (شهیدی کومله و همکاران، ۱۴۰۰).

وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس حاصل از کاربرد کودهای آلی بر وزن خشک ریشه بیانگر وجود یک اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای کاربردی نیز نشان داد که تیمارهای (ذ۱)، (ذ۲) و (م۶) توانسته‌اند که وزن خشک ریشه را به ترتیب به مقدارهای ۲۲/۹۷، ۲۸/۳۸ و ۲۷/۰۲ درصد نسبت به شاهد افزایش دهند (شکل ۲). این افزایش را می‌توان به دسترسی به نیتروژن آلی، اسیدهای آمینه و کربوهیدرات‌های محلول موجود در کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و ملاس نسبت داد که با تقویت فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی مانند فتوسنتز، جذب آب و مواد معدنی و سنتز پروتئین‌ها موجب رشد بهتر سیستم ریشه‌ای شده‌اند. ریشه قوی‌تر نه‌تنها خود بخشی از زیست‌توده را تشکیل می‌دهد، بلکه با افزایش سطح تماس با خاک و توان بیشتر در جذب مواد غذایی، رشد اندام‌های هوایی (ساقه و برگ) را نیز بهبود می‌بخشد. یافته‌های وانگ و همکاران، (۲۰۲۳) نشان داد کاربرد کود آمینواسید محلول در آب در مقایسه با کودهای شیمیایی محلول در آب، از طریق اثر بر ترشحات ریشه‌ای و همچنین اثر بر ترکیب، فراوانی و تنوع جامعه میکروبی خاک ریشه، رشد گیاه و کیفیت میوه گوجه فرنگی را به طور معنی‌داری افزایش داد. برخی دیگر از پژوهشگران

نیز ایجاد محیط مطلوب برای رشد و فعالیت ریزجانداران خاکزی و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از کودهای آلی و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه را سبب تأمین به هنگام و به اندازه عناصر غذایی در مراحل رشد گیاه گزارش کردند (شهیدی کومله و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۲- مقایسه میانگین خصوصیات مورفولوژیکی لوبیا سفید تحت تاثیر کودهای آلی حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

تعداد غلاف در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای آزمایشی بر تعداد غلاف در بوته بود (جدول ۵). همانطورکه مشاهده می‌شود (شکل ۳) مصرف کودهای آلی اگرچه در برخی موارد موجب افزایش تعداد غلاف نسبت به شاهد شده‌اند اما این اثر از نظر آماری معنی‌دار نیست و تأثیر چندانی بر افزایش تعداد غلاف نداشته‌اند. بیش‌ترین مقدار غلاف مربوط به تیمار (م۶) به میزان ۱۹/۵۲ و کم ترین مقدار مربوط به تیمار (و۹) به میزان ۱۵/۵۳ می‌باشد که با توجه به ماهیت کودهای حاصل از فرآوری ذرت و ملاس که حاوی درصد بالاتری از عناصر شامل نیتروژن، فسفر، منیزیم و همچنین حضور کربوهیدرات‌هایی مانند اسید لاکتیک و اسیدهای آمینه در سیستم خود هستند، سبب افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته شده‌اند، درحالی‌که ویناس باتوجه به درصد کم‌تر عناصر و همچنین میزان شوری بالاتر، موجب اختلال در جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و فسفر گردیده که نهایتاً سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های کلیدی متابولیسم کربن و توقف تقسیم سلولی در مریستم‌های زایشی و کاهش غلاف در بوته شده است. افزودن کودهای آلی از طریق بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه باعث افزایش قدرت رشد گیاه، افزایش تعداد گل و به دنبال

آن افزایش تعداد غلاف بارور در بوته می‌شود. برخلاف نتایج بدست آمده در این مطالعه، احمد و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردندکه تعداد کل غلاف در بوته به طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کود آلی قرار گرفتند.

تعداد دانه در غلاف

تجزیه واریانس نتایج تیمارهای کودهای آلی بر تعداد دانه در غلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). اگرچه اکثر تیمارها سبب افزایش تعداد دانه در غلاف نسبت به شاهد شدند اما فقط تیمار (ذ۲) نسبت به شاهد سبب افزایش ۳۰ درصدی تعداد دانه در غلاف به صورت معنی‌دار گردید که می‌توان این افزایش را به حضور عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین درصد بالاتر اسیدهای آمینه در این تیمار کودی مخلوط و میزان پایین‌تر شوری آن نسبت داد (شکل ۳). از آنجا که کود آلی حاصل از فرآوری ذرت نتیجه هیدرولیزهای آنزیمی و تخمیری می‌باشد، منجر به ایجاد محیطی غنی از اسیدهای آمینه می‌شود که تقسیم سلولی در مریستم‌های زایشی و رشد غلاف‌ها را تحریک می‌کنند. همچنین حضور ترکیبات کربوهیدراتی موجود در ملاس (مانند قندهای محلول) با تأمین پیش‌سازهای لازم، نرخ فتوسنتز را افزایش می‌دهند که این مواد به‌عنوان منبع انرژی برای تشکیل غلاف‌ها و پر شدن دانه‌ها استفاده می‌شوند. افزایش تعداد دانه در غلاف با کاربرد کودهای آلی می‌تواند به دلیل افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه باشد. محققان در پژوهشی روی گیاه لوبیا سبز و ذرت دریافتند که تیمار کود زیستی و آلی موجب فتوسنتز بیشتر، بهبود رشد گیاه و در نتیجه باعث افزایش زیست‌توده گیاه و تعداد دانه می‌شود. همچنین کود آلی به دلیل در دسترس قرار دادن عنصر فسفر و سایر عناصر غذایی برای گیاه، سبب افزایش عملکرد در واحد زایشی و پر شدن دانه می‌شود (جدیدالاسلام و همکاران، ۱۳۹۶). احمد و همکاران (۲۰۲۳) نیز با بررسی اثرات کودهای آلی بر رشد و عملکرد لوبیا بیان کردند که در تمامی تیمارها، با افزایش سطوح کود آلی تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت.

تعداد دانه در بوته

همان‌طور که در جدول ۵ آورده شده است، آنالیز واریانس نشان داد که پارامتر تعداد دانه در بوته متأثر از کاربرد تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد قرار می‌گیرد. هم‌چنین، مطابق با مقایسه میانگین ارائه شده در شکل ۳، بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در بوته به ترتیب در تیمارهای (ذ۱) و (م۷) به مقدار ۶۶/۳۳ و ۴۹/۶۷ مشاهده شد. کود آلی حاصل از فرآوری ذرت با دارا بودن درصد بالاتری از اسیدهای آمینه و همچنین منیزیم، سبب بهبود جذب نیتروژن و فسفر می‌شود که این عناصر برای تشکیل گل، توسعه غلاف و پر شدن دانه ضروری هستند از طرفی ملاس به‌عنوان ترکیبی غنی از کربن آلی و قندهای محلول، سبب افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش فتوسنتز می‌گردد که انرژی لازم برای انتقال مواد غذایی و پر شدن دانه‌ها را تأمین می‌کند. کودهای آلی به کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی کمک می‌کنند و کمبود ریز مغذی‌ها در خاک را برطرف می‌کنند و در نتیجه عملکرد دانه را بهبود می‌بخشند (جینگ و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین مهدی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند، عملکرد دانه در بوته نیز به طور قابل توجهی تحت تأثیر کاربرد کود آلی قرار گرفت. افزایش مقادیر زیست‌فراهمی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به دنبال کاربرد کودهای آلی عملکرد محصول را بهبود خواهد داد که در پژوهش گندو و همکاران (۲۰۲۰) به خوبی به آن اشاره شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر انواع کودهای آلی مایع حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا سفید

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	۲	۵/۴۸ ns	۰/۰۰۴ ns	۱۱۷/۴ **	۶/۴ ns	۸۲۸۱۴۷ *	۲۲۷۳۷۰۱ **	۴/۱۸ ns
کودهای آلی	۱۲	۳/۴۴ ns	۰/۲۳ *	۹۲/۵ **	۱۱/۸ ns	۴۵۵۹۲۰ *	۹۱۷۳۵۱*	۳/۹۲ ns
خطا	۲۴	۴/۲۳	۰/۰۸	۱۷/۷	۶/۷	۲۱۲۱۰۸	۳۵۱۷۴۰	۹/۳۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۱/۵۲	۸/۹۰	۷/۳۴	۴/۹۰	۱۱/۴۰	۸/۸۱	۵/۱۰

* و ** معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

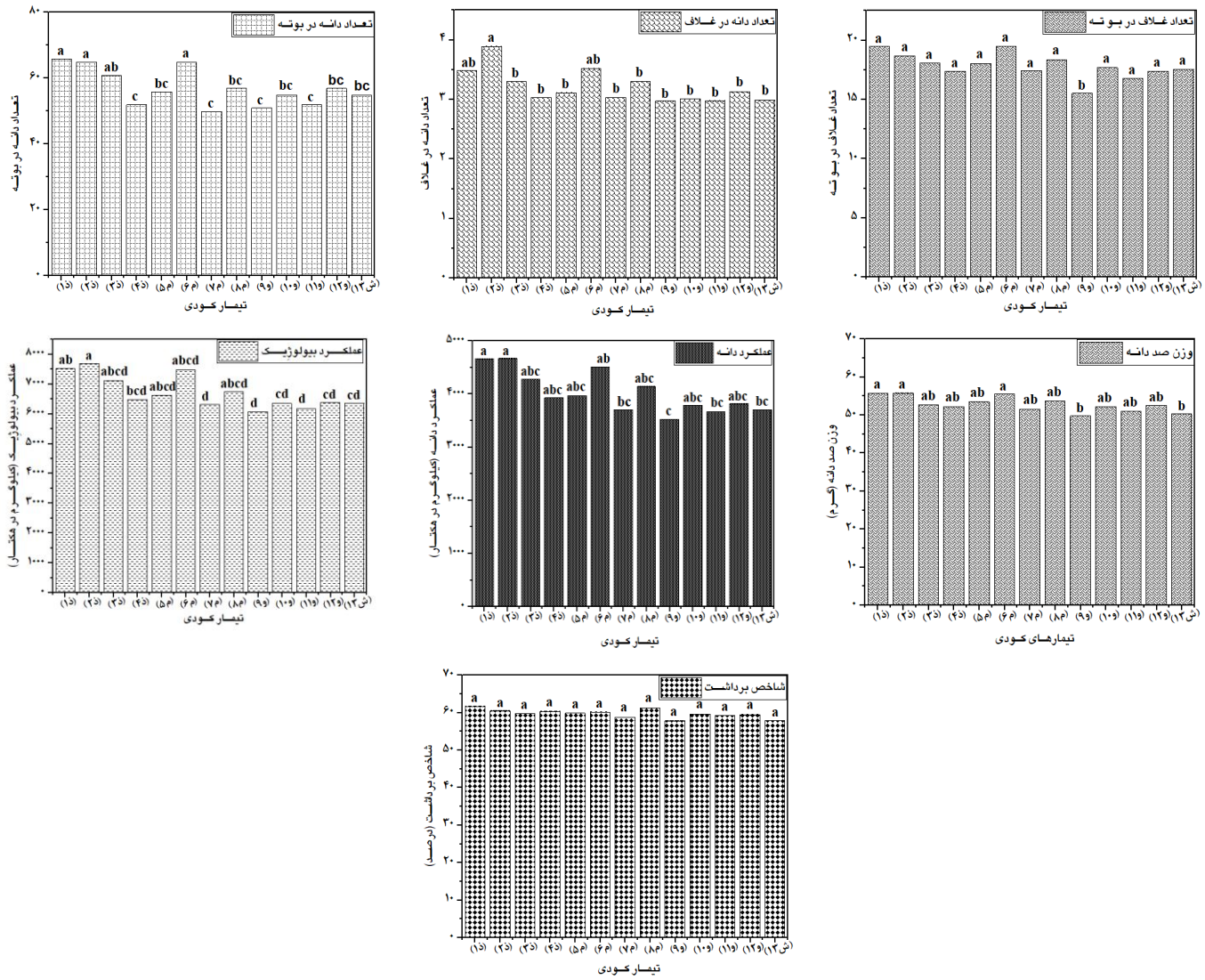
وزن صد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس وزن صد دانه لوبیا سفید نشان داد که اثر کاربرد کودهای آلی بر این ویژگی معنی-دار نبود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اکثر تیمارهای کودهای آلی، سبب افزایش وزن صد دانه نسبت به شاهد شدند. اگرچه این افزایش تنها در تیمارهای (ذ۱)، (ذ۲) و (م۶) به ترتیب به میزان‌های ۱۰/۸۱، ۱۰/۹۷ و ۱۰/۳۸ درصد، نسبت به شاهد معنی‌دار شدند (شکل ۳). تأمین عناصر مورد نیاز گیاه باعث افزایش فتوسنتز، سنتز پروتئین و هورمون‌های محرک رشد گیاه شده و انتقال مواد فتوسنتزی و تولید گیاه را افزایش می‌دهد که در نهایت به عنوان یک مبدأ قوی، به تجمع ماده خشک در بذر کمک نموده و انتقال مواد فتوسنتزی را از مبدأ (برگ‌ها و اندام‌های فتوسنتزی) به مقصد (دانه‌ها و اندام-های زایشی) افزایش داده و دانه‌های درشت‌تر با وزن بیشتر را تولید می‌کند. وزن صد دانه مستقیماً تحت تأثیر جریان مواد فتوسنتزی بعد از گرده‌افشانی است. این مواد می‌توانند از فتوسنتز جاری گیاه و یا انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه‌ها، برگ‌ها و یا غلاف‌ها تأمین شوند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۹). روزتی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که با کاربرد کود بیولوژیک شامل دو باکتری تثبیت کننده نیتروژن به بذر گندم، توان تثبیت زیستی نیتروژن، سطح ریشه، جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید برخی ویتامین‌ها افزایش یافته که در نتیجه رشد کمی و کیفی گیاه تقویت شده و نتیجه آن به‌صورت افزایش وزن صد دانه نمایان گردید. زاهدی‌فر و همکاران (۱۴۰۲) نشان دادند کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود آلی محتوی آمینواسید، عملکرد دانه، شاخص سبزینگی و کارآیی مصرف آب در گندم را افزایش داد. حسنی و امیری (۱۳۹۵) نیز گزارش نمودند محلول‌پاشی ترکیبات آلی دارای اسیدهای آمینه به‌طور معنی‌داری تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و عملکرد گیاه جو را در مقایسه با شاهد افزایش داد.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای کودهای آلی بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). بیشترین مقدار عملکرد در این آزمایش مربوط به تیمار (ذ۲) به میزان ۴۶۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شاهد افزایش ۲۶/۱۸ درصدی را نشان داد. علیرغم افزایش در اکثر تیمارهای کودی نسبت به شاهد اما در تیمار (و۹) کاهش عملکرد ۴/۸ درصدی مشاهده شد (شکل ۳). حضور ترکیبات دارای گروه‌های کربن مانند اسیدهای آمینه و قندهای محلول در تیمارهای کودی مانند ملاس و کود آلی حاصل از فرآوری ذرت به عنوان کلات کننده‌های طبیعی عمل کرده و جذب عناصر ریزمغذی (مانند آهن و روی) را افزایش می‌دهند، همچنین ترکیبات دیگری مانند نیتروژن موجب افزایش سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه شده و رشد رویشی و زایشی را تقویت می‌کند درحالی‌که پتاسیم به تنظیم فشار اسمزی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها کمک می‌کند که در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه در گیاه خواهد شد، در حالی‌که ویناس به‌تنهایی با توجه به شوری بالا سبب مختل شدن جذب عناصر به‌ویژه پتاسیم و کلسیم می‌شود که برای پر شدن دانه‌ها حیاتی هستند. این امر می‌تواند سبب کاهش عملکرد دانه شود. یادانا و همکاران (۲۰۰۹) و کاکار و همکاران (۲۰۲۰) نیز نتایج مشابهی در افزایش عملکرد گیاه برنج طی کاربرد کودهای آلی به دست آوردند. افزایش عملکرد دانه در پژوهش حاضر عمدتاً به دنبال کاربرد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت اتفاق افتاد. بهبود زیست‌فراهمی عناصر مغذی همراه با افزایش وزن خشک ریشه و سطح برگ منجر به بهبود فرآیند آسیمیلاسیون می‌شود، به نظر می‌رسد که بهبود فرآیند آسیمیلاسیون به دنبال کاربرد کودهای آلی، عملکرد را بهبود داده است (سیاوش و همکاران، ۲۰۱۱). هم‌چنین، مقادیر پایین ماده آلی در خاک‌های زراعی مناطق خشک و نیمه خشک، با کاهش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، کاهش زیست‌فراهمی عناصر

غذایی، افزایش تثبیت عناصر معدنی در خاک و کاهش تهویه در محیط ریشه‌ها می‌تواند در روند رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه اختلال ایجاد کند. بنابراین، گیاه نمی‌تواند اجزای عملکرد مطلوبی ایجاد نماید و عملکرد دانه آن کاهش خواهد یافت. بهبود کیفیت خاک پس از کاربرد کودهای آلی شامل بهبود ویژگی‌های مرتبط با نگهداشت آب در خاک، فراهمی عناصر غذایی، فلور میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (لیو وهمکاران، ۲۰۲۱; سیهی و همکاران، ۲۰۱۷ و قسوار و همکاران، ۲۰۲).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا سفید تحت تاثیر کودهای آلی حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

عملکرد بیولوژیک

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از عملکرد بیولوژیک نشان داد که کاربرد کودهای آلی در سطح احتمال ۵ درصد سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری شده‌اند (جدول ۵). علیرغم اینکه بعضی از تیمارهای کودی سبب کاهش غیرمعنی‌دار عملکرد نسبت به شاهد شدند اما بیشترین میزان مربوط به تیمار (ذ۲) به میزان ۷۷۰۵ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شاهد سبب افزایش ۲۱/۰۵ درصدی عملکرد بیولوژیک شد (شکل ۳). افزایش عملکرد بیولوژیک را می‌توان ناشی از تأثیر مثبت کودهای آلی حاصل از فرآوری ذرت و ملاس بر بهبود کیفیت و ساختار محیط ریشه دانست که با توجه به حضور عوامل کلات کننده طبیعی یعنی اسیدهای آمینه و کربوهیدرات‌های محلول، باعث افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی توسط گیاه می‌شوند. بهبود جذب مواد مغذی موجب ارتقاء فرآیندهای رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه، از جمله فتوسنتز و سنتز ترکیبات آلی گردیده که در نهایت موجب افزایش ماده خشک گیاه می‌شود و مستقیماً عملکرد بیولوژیک گیاه را افزایش می‌دهد. بنابراین، استفاده بهینه از ترکیبات کودهای آلی مانند کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و ملاس می‌تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد لوبیا سفید داشته باشد. اسدی پور وهمکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند که استفاده از کود آلی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ماش شد. آن‌ها بیان داشتند که افزایش فراهمی عناصر غذایی، توسعه بهینه سطح فتوسنتز کننده گیاهی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، که در اثر کاربرد کود آلی ایجاد شده است نهایتاً سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه خواهد شد. همچنین نتایج سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد افزایش ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، عملکرد و وزن هزاردانه گندم در اثر افزودن کودهای آلی و کمپوست به دلیل افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی بوده است و این عناصر در افزایش سطح برگ و در نتیجه فتوسنتز و تولید بیشتر وزن خشک موثر بوده‌اند (ابراهیم و همکاران، ۲۰۰۸).

شاخص برداشت

تجزیه واریانس نتایج مربوط به شاخص برداشت نشان داد (جدول ۵) که تیمارهای کودهای آلی اختلاف معنی-داری ایجاد نکردند. همچنین نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف علیرغم افزایش نسبت به شاهد نتوانستند بصورت معنی‌داری اختلاف ایجاد کنند. بیشترین و کم‌ترین شاخص برداشت به ترتیب ۶۱/۸۴ و ۵۷/۹۷ درصد مربوط به تیمارهای (ذ۱) و (م۹) بودند (شکل ۳). با توجه به اینکه کودهای آلی مانند کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و ملاس باعث افزایش وزن خشک کل گیاه (شامل ساقه، برگ و ریشه) شدند، همچنین افزایش در اندام‌های رویشی و دانه نیز مشاهده شد. معمولاً زمانی‌که افزایش ماده خشک در اندام‌های رویشی و دانه متعادل باشد، شاخص برداشت تغییر زیادی نمی‌کند. موسوی و شکوه‌فر (۲۰۱۶) بیان داشتند که استفاده از کود حاوی نیتروژن، به دلیل بالا بردن میزان جذب این عنصر باعث تغییر دادن شاخص برداشت در لوبیا شد. این پژوهشگران اظهار داشتند رابطه مثبتی بین وزن خشک کل اندام‌های هوایی گیاه و عملکرد دانه وجود دارد. نتایج به دست آمده حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که شاخص برداشت به احتمال زیاد، تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی اجرای آزمایش قرار گرفته و مناسب بودن شرایط محیطی و مدیریت مزرعه در بالاتر بودن شاخص برداشت مؤثر بوده و این افزایش با بهبود وضعیت تغذیه گیاه، چشم‌گیرتر بوده است. همچنین نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که با افزایش کاربرد کود دامی از صفر تا ۳۰ تن در هکتار شاخص برداشت لوبیا نیز از ۳۶/۸۹ به ۴۰/۵۲ افزایش یافت (احمدزاده قویدل و همکاران، ۲۰۱۸).

درصد نیتروژن ساقه و برگ

نتایج مربوط به تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای کودی در سطح احتمال ۵ درصد سبب اختلاف

معنی‌دار در درصد نیتروژن ساقه و برگ شدند (جدول ۶). همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن مربوط به تیمار (م۶) به میزان ۰/۹۱ درصد و کمترین مربوط به تیمار (م۸) به میزان ۰/۶۳ درصد بود (جدول ۷). ملاس منبع غنی از کربن آلی و پتاسیم است که به رشد میکروارگانیسم‌های تثبیت کننده نیتروژن کمک می‌کند. کود آلی حاصل از فرآوری ذرت هم حاوی اسیدهای آمینه و ترکیبات آلی است که جذب نیتروژن را برای گیاه تسهیل می‌کند. این نشان می‌دهد ملاس و کود آلی حاصل از فرآوری ذرت اثر سینرژیستی داشته‌اند و احتمالاً ملاس با تأمین انرژی، معدنی شدن نیتروژن آلی موجود در کود آلی حاصل از فرآوری ذرت را تسریع کرده است. نتایج ثابت می‌کند انتخاب منابع آلی مناسب (نه صرفاً هر ماده آلی) در تغذیه نیتروژنی گیاه تعیین کننده است. همچنین به نظر می‌رسد این افزایش نیتروژن مستقیماً با افزایش عملکرد دانه که در نتایج قبلی اشاره شد مرتبط است، چون نیتروژن نقش کلیدی در سنتز پروتئین دانه‌ها دارد. حمزه‌یی و سرمدی نایبی (۱۳۸۹) گزارش کردند که تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنه، می‌تواند علاوه بر تولید محصول کافی در ذرت و بهبود کارایی جذب نیتروژن، مصرف کود شیمیایی نیتروژنه را کاهش دهد که این امر کمک قابل توجهی به سالم‌سازی محیط‌زیست می‌کند و راهبرد مهمی در جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد. نتایج مشابه‌ی در مطالعه‌ی کولا و همکاران، (۲۰۱۴) نیز گزارش شد، آن‌ها تأثیر پروتئین گیاهی هیدرولیزشده حاوی اسیدهای آمینه و پپتیدهای کوتاه‌زنجیر را بر فعالیت شبه‌هورمونی، جذب نیتروژن و تحریک رشد گیاهان ذرت، گوجه‌فرنگی و نخود بررسی کردند. نتایج نشان داد که این ترکیب دارای فعالیتی مشابه هورمون‌های گیاهی (شبه‌اکسینی و جیبرلینی) است، جذب نیتروژن را از طریق گسترش سیستم ریشه و افزایش کارایی جذب بهبود می‌بخشد و در نهایت باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر کودهای آلی حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس بر درصد نیتروژن اجزاء لوبیا سفید

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن ساقه و برگ	نیتروژن دانه	نیتروژن ریشه	فاکتور انتقال نیتروژن	پروتین دانه
تکرار	۲	۰/۰۹ **	۰/۱۳ *	۰/۰۲ ns	۰/۱۲ ns	۴/۱۰ *
کودهای آلی	۱۲	۰/۰۲ *	۰/۰۹ *	۰/۰۱ ns	۰/۳۰ **	۳/۷۵ **
خطا	۲۴	۰/۰۰۷	۰/۰۳۶	۰/۰۰۹	۰/۱۰۲	۱/۱۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۰/۷۸	۶/۲۶	۷/۹۲	۹/۵۹	۵/۵۲

* و ** معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

درصد نیتروژن دانه

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از درصد نیتروژن دانه نشان دادند (جدول ۶) تیمارهای کودهای آلی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ایجاد کرده‌اند. بیشترین مقدار درصد نیتروژن در این آزمایش مربوط به تیمار (ذ۲) به میزان ۳/۲۵ بود که نسبت به شاهد افزایش ۱۶/۴۹ درصدی را نشان داد (جدول ۷). برتری تیمار (ذ۲) در افزایش درصد نیتروژن دانه احتمالاً ناشی از اثر هم‌افزایی این دو کود است. کود آلی حاصل از فرآوری ذرت به‌عنوان محرک رشد گیاهی و منبع نیتروژن آلی که سریع تجزیه می‌شود، همراه با ملاس که تأمین‌کننده پتاسیم و انرژی برای میکروارگانیسم‌های خاک بخاطر حضور کربوهیدرات‌های محلول است، احتمالاً فرآیند معدنی‌سازی نیتروژن و جذب آن توسط گیاه را بهبود بخشیده‌اند. به گزارش قلی‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) میزان و نوع کود نیتروژن مصرفی، بر مقدار نیتروژن اندام‌های گیاهی یونجه اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد ایجاد نموده است. در گیاه گلرنگ نیز با مصرف کود دامی، درصد نیتروژن

جذب شده نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که نشان می-دهد با افزایش عرضه نیتروژن مقدار جذب نیز افزایش خواهد یافت (میرزاخانی و همکاران، ۱۳۹۵).

درصد نیتروژن ریشه

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از درصد نیتروژن ریشه نشان دادند تیمارهای کودهای آلی نتوانستند اختلاف معنی‌داری ایجاد کنند (جدول ۶). بیشترین مقدار درصد نیتروژن در این آزمایش مربوط به تیمار (و۹) به میزان ۱/۲۴ درصد و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار (ذ۲) به میزان ۱/۰۵ درصد بود (جدول ۷). در تیمار کودی (و۹) یعنی ۱۰۰ درصد ویناس، باتوجه به اینکه در سایر اندام‌ها مانند برگ و دانه، میزان نیتروژن به نسبت پایین‌تر بود، به‌نظر می‌رسد با وجود جذب بالای نیتروژن در ریشه، ممکن است حاوی ترکیباتی (مثل پلی‌ساکاریدهای سنگین) باشد که انتقال به بخش‌های هوایی را محدود می‌کند یا اینکه فاقد ترکیبات کلیدی برای انتقال کارآمد نیتروژن به بخش‌های هوایی باشد. همچنین با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای کود ویناس، همانند شوری بالا و درصد پایین‌تر عناصر غذایی، به نظر می‌رسد رشد ضعیف‌تر گیاه و در نتیجه عملکرد کم‌تر گیاه سبب تجمع نیتروژن در ریشه گردیده است. کودهای آلی با کاهش واکنش خاک، افزایش مواد آلی خاک و در نهایت افزایش جذب عناصر موجود در خاک رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشند (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴).

فاکتور انتقال نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس حاصل از اثر تیمارهای کود آلی بر فاکتور انتقال نیتروژن نشان از ایجاد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد (جدول ۶). از بین مقایسات میانگین موجود بیشترین میزان فاکتور انتقال مربوط به تیمارهای (ذ۱) و (ذ۲) به میزان ۳/۷۹ و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار (و۹) به میزان ۲/۸۶ درصد می‌باشد (جدول ۷). غلظت بالاتر نیتروژن در اندام هوایی و فاکتور انتقال بالا از نظر زراعی مطلوب است زیرا اگر غلظت نیتروژن اندام هوایی بیشتر باشد، با افزایش تقاضای گیاه برای این عنصر در طی فصل رشد نیتروژن به دانه انتقال می‌یابد و بدین وسیله عملکرد بهبود می‌یابد. در این رابطه می‌توان احتمال داد که تیمارهای (ذ۱) و (ذ۲) نسبت C/N بهینه داشته‌اند که انتقال نیتروژن به برگ و دانه را تسهیل می‌کند. همچنین وجود کربوهیدرات در این تیمارها انرژی مورد نیاز برای انتقال نیتروژن را فراهم می‌کند.

درصد پروتئین دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های پروتئین دانه نشان داد که اثر تیمارهای کودی در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بودند (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین مقدار مربوط به تیمار (ذ۱) به میزان ۲۰/۸۱ درصد که نسبت به شاهد افزایش ۱۲/۳۷ درصدی را نشان داد (جدول ۷). در تیمارهای کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و مخلوط کود آلی حاصل از فرآوری ذرت با ملاس، افزایش پروتئین دانه نسبت به شاهد مشاهده شد. احتمالاً این مواد با تأمین نیتروژن آلی و کربوهیدرات‌های قابل تجزیه، فعالیت میکروبی خاک را تحریک کرده و معدنی‌سازی نیتروژن را تسریع می‌کنند. ترکیبات موجود در ملاس (مانند اسیدهای آمینه، کربوهیدرات‌های محلول، پتاسیم و ...) و کود آلی حاصل از فرآوری ذرت (شامل اسیدهای آمینه و مواد محرک رشد) مستقیماً جذب گیاه شده یا پس از تجزیه به فرم‌های قابل جذب (نیترات و آمونیوم) درمی‌آیند که برای سنتز پروتئین ضروری هستند. همچنین، این کودها با توجه به درصد بالای مواد آلی سبب بهبود ساختار خاک، افزایش جذب نیتروژن و کاهش تنش‌های اکسیداتیو، انرژی گیاه را به سمت تولید پروتئین سوق می‌دهند. علاوه بر این، تحریک ترشح هورمون‌های رشد توسط میکروارگانیسم‌های خاک، توسعه ریشه و انتقال کارآمدتر نیتروژن به دانه‌ها را افزایش

می‌دهند. در نتیجه، این مکانیسم‌های هم‌افزا باعث افزایش غلظت پروتئین دانه شده و نشان‌دهنده پتانسیل بالای این کودهای آلی در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی هستند. محتوای پروتئینی دانه به عوامل ژنتیکی و محیطی مؤثر در رشد و نمو مانند دما، میزان نیتروژن خاک، طول مدت روز و مدت زمان رسیدگی دانه بستگی دارد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، کودهای آلی و زیستی می‌توانند نقش زیادی، در افزایش دسترسی به نیتروژن و بنابراین افزایش پروتئین دانه گیاه لوبیا یام مکزیکی داشته باشند (حسنی و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین در پژوهشی دیگر نشان دادند که بیشترین تأثیرگذاری کود دامی در بهبود میزان پروتئین دانه لوبیا در سطح میانی آن (۱۵ تن بر هکتار) حاصل شد، به‌طوری‌که میزان پروتئین دانه در این سطح به‌ترتیب ۲۳ و ۸ درصد نسبت به سطح صفر و ۳۰ تن در هکتار کود دامی بیشتر بود (جهان و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۷- مقایسه میانگین درصد نیتروژن اجزاء لوبیا سفید تحت تاثیر کودهای آلی مایع حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

تیمار			نیتروژن ساقه و برگ	نیتروژن دانه	نیتروژن ریشه	فاکتور انتقال نیتروژن	پروتئین دانه
کود آلی حاصل از فرآوری ذرت	ملاس	ویناس			درصد		
۱۰۰	۰	۰	۰/۸۱ ab *	۳/۲۲ a	۱/۰۷ ab	۳/۷۹ a	۲۰/۸۱ a
۷۵	۲۵	۰	۰/۷۵ abc	۳/۲۵ a	۱/۰۵ b	۳/۷۹ a	۲۰/۶۳ a
۷۵	۰	۲۵	۰/۸۹ a	۳/۱۳ ab	۱/۱۸ ab	۳/۴۲ abc	۱۹/۵۹ ab
۵۰	۲۵	۲۵	۰/۸۰ ab	۳/۱۱ ab	۱/۲۱ ab	۳/۲۳ abc	۱۹/۴۴ ab
۰	۱۰۰	۰	۰/۷۶ abc	۳/۱۳ ab	۱/۱۱ ab	۳/۵۴ ab	۱۹/۵۲ ab
۲۵	۷۵	۰	۰/۹۱ a	۳/۱۷ a	۱/۱۲ ab	۳/۶۷ a	۲۰/۱۵ ab
۰	۷۵	۲۵	۰/۸۶ a	۲/۹۴ abc	۱/۱۸ a	۳/۲۴ abc	۱۸/۳۶ bcd
۲۵	۵۰	۲۵	۰/۶۳ c	۳/۱۰ ab	۱/۱۱ ab	۳/۴۰ abc	۱۹/۳۸ ab
۰	۰	۱۰۰	۰/۷۵ abc	۲/۷۸ bc	۱/۲۴ a	۲/۸۶ c	۱۷/۳۶ cd
۲۵	۰	۷۵	۰/۸۲ a	۲/۹۱ abc	۱/۱۵ ab	۳/۲۷ abc	۱۸/۸۶ abcd
۰	۲۵	۷۵	۰/۸۲ a	۲/۷۳ c	۱/۲۱ ab	۲/۹۵ bc	۱۷/۰۸ d
۲۵	۲۵	۵۰	۰/۸۲ ab	۳/۰۵ abc	۱/۲۲ ab	۳/۱۸ abc	۱۹/۰۸ abc
۰	۰	۰	۰/۶۵ bc	۲/۷۹ bc	۱/۲۲ ab	۲/۸۷ c	۱۸/۵۲ bcd

محاسبات اقتصادی (نسبت سود به هزینه)

در تحلیل اقتصادی نظام‌های زراعی، انتخاب نوع و میزان مصرف کود یکی از عوامل کلیدی در بهینه‌سازی سود کشاورزان به شمار می‌رود. مقدار بهینه کود، آن مقداری است که با کم‌ترین هزینه ممکن، بیشترین بازده اقتصادی را ایجاد کند. این مقدار نه تنها باید موجب افزایش عملکرد محصول شود، بلکه باید نسبت سود به هزینه قابل قبولی نیز داشته باشد تا از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه تلقی گردد. در واقع، تصمیم‌گیری درباره مصرف کود باید بر پایه‌ی ارزیابی همزمان عملکرد، قیمت محصول، هزینه تأمین و کاربرد کود و شرایط خاص هر مزرعه انجام گیرد. بنابراین، تحلیل اقتصادی مصرف کود به کشاورز این امکان را می‌دهد تا در کنار افزایش تولید، بهره‌وری اقتصادی را نیز به حداکثر رسانده و پایداری سیستم تولید را تضمین کند. تحلیل اقتصادی استفاده از کودهای آلی در کشت لوبیا سفید، با در نظر گرفتن عملکرد پایه شاهد ۳۷۰۹ کیلوگرم در هکتار و قیمت هر کیلوگرم برابر با ۸۵۰/۰۰۰ ریال، نشان‌دهنده‌ی توجیه‌پذیری بسیار بالای این

روش است. در میان تیمارهای مورد بررسی، تیمار (ذ۲) یعنی ترکیب ۷۵ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و ۲۵ درصد ملاس با افزایش ۲۶/۱۷ درصدی عملکرد (به ترتیب ۴۶۸۰ و ۳۷۰۹ کیلوگرم در هکتار برای تیمار (ذ۲) و شاهد)، موجب افزایش سودی معادل ۰/۸۰۱ میلیارد ریال نسبت به شاهد گردید (سود خالص حاصل از تیمار (ذ۲) برابر ۳/۹۵ میلیارد ریال بود، در حالی که در تیمار شاهد این مقدار ۳/۱۵ میلیارد ریال محاسبه شد). بنابراین، تیمار (ذ۲) به عنوان بهینه‌ترین گزینه از نظر اقتصادی و زراعی معرفی گردید (جدول ۸). در ارزیابی اقتصادی نظام‌های کشاورزی، تعیین مقدار بهینه مصرف کود نقش مهمی در افزایش بهره‌وری و پایداری تولید ایفا می‌کند. مقدار بهینه کود به میزانی اطلاق می‌شود که بیشترین بازده اقتصادی را در ازای کم‌ترین هزینه ممکن فراهم کند، به‌طوری که نسبت سود به هزینه (BCR[1]) در بالاترین سطح ممکن قرار گیرد. نسبت سود به هزینه در این تیمار برابر ۳۳/۴۰ بود که نشان‌دهنده‌ی بازده اقتصادی قابل توجه آن است. علاوه بر این، تیمارهای (ذ۱) و (م۶) نیز به ترتیب با عملکردهای ۴۶۶۷ و ۴۵۱۶ کیلوگرم در هکتار، افزایش عملکردی برابر با ۲۵/۸۳ و ۲۱/۷۶ درصد نسبت به شاهد را نشان دادند. این افزایش عملکرد، با در نظر گرفتن هزینه‌های تهیه و کاربرد کودهای مربوطه، منجر به افزایش سود خالص به میزان ۰/۷۸۸ و ۰/۶۶۶ میلیارد ریال در مقایسه با تیمار شاهد شد. از منظر اقتصادی، هدف اصلی مدیریت تغذیه گیاه، به حداکثر رساندن سود خالص است. مطالعات متعدد نیز نشان داده‌اند که بازده اقتصادی کودها تحت تأثیر عواملی مانند نوع خاک، سطح حاصلخیزی اولیه، قیمت نهاده‌ها و محصولات و شرایط اقلیمی متغیر است (هایفیل و همکاران، ۲۰۱۰). بر این اساس، استفاده از مدل‌های اقتصادی و تجزیه و تحلیل حساسیت می‌توانند به عنوان ابزاری کاربردی برای تدوین توصیه‌های کودی متناسب با شرایط خاص هر منطقه مورد استفاده قرار گیرند. در نتیجه، تعیین مقدار بهینه مصرف کود نه تنها از نظر زیست‌محیطی و کشاورزی، بلکه از نظر اقتصادی نیز اهمیت بسزایی در توسعه پایدار بخش کشاورزی دارد. پوپ و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تحلیل اقتصادی پاسخ عملکرد برنج به مصرف کود پتاسیم گزارش کردند که بیشترین مقدار بهره (۲۸/۱۹ دلار در هکتار) در غلظت پتاسیم قابل دسترس ۱۰۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک بدست آمد و بیان کردند برای افزایش بهره تولید در خاک‌های با غلظت‌های متفاوت پتاسیم قابل استفاده بایستی توصیه‌های کودی متفاوتی پیشنهاد شود.

بررسی سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که مزایای اقتصادی این روش در شرایط مختلف بازار پایدار می‌ماند. در صورت کاهش ۳۰ درصدی قیمت لوبیا، BCR تیمار بهینه به ۲۳/۱ کاهش می‌یابد که همچنان بازدهی بسیار بالایی محسوب می‌شود. از طرف دیگر، افزایش ۵۰ درصدی هزینه کودها نیز تأثیر محدودی بر توجیه‌پذیری طرح دارد و BCR را به ۱۶/۵۰ می‌رساند. این انعطاف‌پذیری اقتصادی نشان‌دهنده مقاومت بالای مدل پیشنهادی در برابر نوسانات بازار است و ریسک سرمایه‌گذاری را به حداقل می‌رساند. این انعطاف‌پذیری بالا در برابر ریسک‌های بازار، همراه با افزایش عملکرد محصول و کیفیت دانه (به‌ویژه محتوای پروتئین)، این روش را به گزینه‌ای ایده‌آل برای کشاورزان تبدیل می‌کند. بنابراین، با اطمینان می‌توان توصیه کرد که جایگزینی بخشی از کودهای شیمیایی با این ترکیب آلی، نه‌تنها پایداری سیستم کشاورزی را بهبود می‌بخشد، بلکه حتی در شرایط نامساعد اقتصادی نیز سودآوری قابل‌اطمینانی دارد. اجرای گسترده این روش می‌تواند به کاهش وابستگی به نهاده‌های وارداتی، افزایش درآمد کشاورزان و توسعه الگوهای کشاورزی پایدار منجر شود.

[1] Benefit cost ratio

جدول ۸- ارزیابی اقتصادی تیمارهای منتخب کودهای آلی و تأثیر آن‌ها بر سود خالص در کشت لوبیا سفید

شاخص/تیمار	شاهد (بدون کود) (ش۱۳)	کود آلی حاصل از فرآوری ذرت ۱۰۰٪ (ذ۱)	کود آلی حاصل از فرآوری ذرت ۷۵٪ + ملاس ۲۵٪ (ذ۲)	ملاس ۷۵٪ + کود آلی حاصل از فرآوری ذرت ۲۵٪ (م۶)
هزینه کود (ریال)	۰	۲۰،۲۵۰،۰۰۰	۱۸،۰۰۰،۰۰۰	۱۳،۵۰۰،۰۰۰
هزینه کاربرد کود (ریال)	۰	۶،۰۰۰،۰۰۰	۶،۰۰۰،۰۰۰	۶،۰۰۰،۰۰۰
هزینه کل (ریال)	۰	۲۶،۲۵۰،۰۰۰	۲۴،۰۰۰،۰۰۰	۱۹،۵۰۰،۰۰۰
عملکرد (kg/ha)	۳،۷۰۹	۴،۶۶۷	۴،۶۸۰	۴،۵۱۶
درآمد (ریال)	۳،۱۵۲،۶۵۰،۰۰۰	۳،۹۶۶،۹۵۰،۰۰۰	۳،۹۷۸،۰۰۰،۰۰۰	۳،۸۳۸،۶۰۰،۰۰۰
درآمد اضافی (ریال)	۰	۸۱۴،۳۰۰،۰۰۰	۸۲۵،۳۵۰،۰۰۰	۶۸۵،۹۵۰،۰۰۰
سود اضافی (ریال)	۰	۷۸۸،۰۵۰،۰۰۰	۸۰۱،۳۵۰،۰۰۰	۶۶۶،۴۵۰،۰۰۰
نسبت سود به هزینه (BCR)	-	۳۰،۰۲	۳۳،۳۹	۳۴،۱۷

با فرض قیمت ۲۰ لیتری کود آلی حاصل از فرآوری ذرت چهار میلیون و پانصد هزار ریال، ۲۰ لیتری ملاس دو میلیون و پانصد هزار ریال

بحث و نتیجه‌گیری

رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضا برای مواد غذایی در سده گذشته، سبب تحولی شگرف در کشاورزی سنتی شد. در این راستا، استفاده از انواع کودها و سموم شیمیایی و کاشت ارقام پر محصول گونه‌های زراعی و باغی، به افزایش تولیدات کشاورزی انجامید. ولی این افزایش تولید با مشکلات زیست‌محیطی پرشماری مانند آلودگی منابع آب و خاک و بروز سوءتغذیه و بیماری‌های ناشی از کاهش کیفیت مواد غذایی همراه بوده است. در نتیجه، تغییر به سمت رویکردهای پایدار برای تضمین امنیت غذایی و حفظ محیط-زیست ضروری است. استفاده از اصلاح کننده‌های ارگانیک در تولید محصولات زراعی راه حلی امیدوارکننده برای چالش‌های مرتبط با استفاده بیش از حد از مواد شیمیایی کشاورزی ارائه می‌دهد. کود آلی حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس محصولات جانبی مایع آلی که به ترتیب حاصل از صنایع آسیاب مرطوب ذرت، فرآوری شکر و تقطیر هستند، که با وجود پتانسیل آن‌ها، اثربخشی آن‌ها به عنوان محرک‌های رشدی و اصلاح کننده‌های ارگانیک در سطح کشور نسبتاً ناشناخته باقی مانده‌اند. این ترکیبات شامل مواد مغذی ضروری گیاه به عنوان عناصر معدنی و مواد آلی هستند که به بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک کمک می‌کنند. قابل ذکر است، استفاده از این ترکیبات در تولید محصولات زراعی برتری را نسبت به کودهای شیمیایی نشان داده است، به ویژه هنگامی که با سایر مواد معدنی ترکیب شود (استفان و همکاران، ۲۰۲۴). بر اساس نتایج بدست آمده، تیمار (ذ۲) یعنی مخلوط ۷۵ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت و ۲۵ درصد ملاس به عنوان برترین تیمار کودی معرفی می‌شود که بیشترین عملکرد دانه (۴۶۸۰ کیلوگرم در هکتار)، بالاترین عملکرد بیولوژیک (۷۷۰۵ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین نیتروژن دانه (۳/۲۵ درصد) و بالاترین نسبت هزینه به سود را نشان می‌دهد. این تیمار همچنین موجب افزایش ۳۰ درصدی تعداد دانه در غلاف و افزایش ۱۰/۹۷ درصدی وزن صد دانه نسبت به شاهد شده است. تیمار (ذ ۱) یعنی ۱۰۰ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت نیز با دارا بودن بیشترین ارتفاع بوته (۶۶/۸۷ سانتی‌متر)، بیشترین تعداد دانه در بوته (۶۶/۳۳ عدد)، بالاترین پروتئین دانه (۲۰/۸۱ درصد) و بیشترین فاکتور انتقال نیتروژن (۳/۷۹ درصد)، تیمار برتر دوم محسوب می‌شود. تیمار (م ۶) یعنی مخلوط ۷۵ درصد ملاس و ۲۵ درصد کود آلی حاصل از فرآوری ذرت نیز با افزایش معنی‌دار قطر ساقه (۱۲/۷۷ درصدی)، افزایش وزن خشک ریشه (۲۷/۰۲درصدی) و بیشترین تعداد غلاف در بوته (۱۹/۵۲ عدد) عملکرد قابل‌توجهی داشته است. pH اسیدی کود آلی حاصل از فرآوری ذرت که بخاطر حضور اسید لاکتیک می‌باشد درکنار ماده آلی، اسیدهای آمینه ضروری و مواد معدنی شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و در نتیجه تحریک رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌گردد. نارو-موریلو و همکاران، (۲۰۲۳) با بررسی اثرات کود آبیاری و محلول پاشی کود مایع حاصل از فرآوری ذرت بر روی فلفل بیان کردند که در هر دو روش میزان ماده خشک و سطح برگ نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین در پژوهشی دیگر دیده شده است که کود مایع حاصل از فرآوری ذرت می‌تواند به عنوان محرک زیستی در شرایط رشد مختلف و برای انواع متفاوت گیاهان عمل کند (فرناندز-سالوادور و همکاران، ۲۰۱۵). در رابطه با ملاس و ویناس نیز گزارشات متعددی در رابطه با اثرات مثبت آن‌ها در افزایش عملکرد و کیفیت محصولاتی نظیر نیشکر (دوتانیا و همکاران، ۲۰۱۶)، برنج (ناوود و همکاران، ۲۰۱۸) و سویا (پینتو و همکاران، ۲۰۲۲) ارائه شده است. از آنجا که کودهای آلی این آزمایش و خصوصاً کود آلی حاصل از فرآوری ذرت دارای عناصر غذایی متعدد از جمله نیتروژن است، شرکت این عنصر در ساختار ماکرو مولکول‌هایی مانند پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه و اسیدهای نوکلئیک را می‌توان از جمله عوامل مؤثر بر افزایش تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه،

عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه درنتیجه مصرف کودهای آلی محسوب کرد.

مطابق یافته‌های پژوهش حاضر مخلوط کود آلی حاصل از فرآوری ذرت، ملاس و ویناس می‌توانند غلظت و دسترسی عناصر غذایی مفید خاک را افزایش داده و سبب بهبود شرایط رشدی گیاه لوبیا و افزایش عملکرد گردند. از این‌رو با توجه به حجم بالای تولیدی این محصولات در صنایع و قیمت ارزان و سهولت در استفاده، این مواد می‌توانند به عنوان کودهای اصلاح کننده خاک و منبع کود آلی با مدیریت و دقت کافی برای محصولات کشاورزی به کار روند. همچنین باید توجه نمود که به دلیل غلظت برخی ترکیبات و عناصر در ویناس و به طبع آن ایجاد شوری بالا در این ماده، حتما باید دقت لازم در مصرف آن صورت پذیرد.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله حاصل همکاری دانشگاه زنجان، گروه صنعتی پژوهشی فرهیختگان زرنام و شرکت دانش بنیان رویان بذر دانش می‌باشد. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی صمیمانه خود را از تمامی زحمات و همکاری‌های ارزشمند همکاران این مراکز ابراز نمایند.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، قلیزاده، ح. ا.، عبادزاده، ح. ر.، حسین‌پور، ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ.، و رفیعی، م. (۱۳۹۶). آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۲. امیر یوسفی، م.، تدین، م. ر. و ابراهیمی، ر. ۱۴۰۰. اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی صفات فیزیولوژی و عملکردی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) تحت تنش خشکی در خاک شور. نشریه بوم شناسی، ۱۳ (۲): ۲۵۱-۲۷۰.

۳. جدیدالاسلام، ن.، شاهسونی، ش.، و قرنجیک، ش. ۱۳۹۶. تأثیر قارچ مایکوریز، باکتری سودوموناس و اسید هیومیک بر شاخص‌های رشدی لوبیا(Phaseolus vulgaris L.). پژوهش‌های حبوبات ایران، ۸ (۱): ۹۷-۱۱۲.

۴. جهان، م.، امیری، م. ب.، و نوربخش، ف. ۱۳۹۶. بررسی و مقایسه سناریوهای مختلف اقتصادی و زیست محیطی از طریق بهینه سازی مصرف سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی در زراعت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله پژوهش های حبوبات ایران، ۸ (۲): ۳۰-۱۰.

۵. حسنی، اکبر، و امیری، م. ۱۳۹۵. تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر کارایی زراعی نیتروژن، عملکرد و کیفیت دانه جو. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)، ۱۱۲: ۷۶-۸۶.

۶. حسنی، م.، تدین، م. ر. و اولیاء، م. ۱۴۰۲. اثر کودهای آلی و ز یستی بر و یژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد دانه گیاه لوبیا یام مکزیکی. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۳ (۴): ۱-۱۵.

۷. حمزه یی، ج. و سرمدی نایبی، ح. ۱۳۸۹. تاثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد، اجزای عملکرد، کارایی زراعی و جذب نیتروژن در ذرت. فناوری تولیدات گیاهی، ۱۰ (۲): ۵۳-۶۳.

۸. دهمرده، م.، میربهالدین، م. و خمری، ع. ۱۳۹۷. اثر کاربرد کودهای زیستی بر ویژگی‌های کمی و کیفی لوبیای چشم بلبلی در شرایط تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱ (۱): ۲۳-۳۳.

۹. راثی پور، ل.، و علی اصغرزاده، ن. ۱۳۸۶. اثرات متقابل باکتری های حل کننده فسفات و (Bradyhizobium japanicum) بر شاخص های رشد، غده بندی و جذب برخی عناصر غذایی در سویا. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۱ (۴۰): ۵۳-۶۳.

۱۰. زاهدی‌فر، م.، موسوی، ع. ا.، ارشادی، آ. و جعفری اصل، م. ۱۴۰۲. بررسی کارایی مصرف آب و ویژگی‌های رشد گندم تحت تأثیر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود آلی زرگرین در شرایط خشکی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۱): ۱۳۵-۱۵۳.

۱۱. شهبازی، ک.، داودی، م. ح. و فیض اله زاده اردبیلی، م. ۱۳۹۷. روش‌های تجزیه کود. کرج، موسسه تحقیقات خاک و آب، ۳۹۰صفحه.

۱۲. شهیدی‌کومله، ع.، سیدی، س. ر.، حقیقی حسنعلیده، ع.، و کرمنیا، س. ۱۴۰۰. اثر منبع و میزان مصرف کودهای آلی بر عملکرد دانه و کیفیت ارقام بومی و اصالح شده برنج (*Oryza sativa* L.). نشریه علوم زراعی ایران. ۲۳ (۳): ۲۷۸-۲۸۹.

۱۳. طباطبایی، س. س.، جهان، م.، و حاج محمدنیا قالی باف، ک. ۱۳۹۹. اثر کاربرد کودهای زیستی و کود شیمیایی نیتروژنه بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط تنش‌کمبود آب. تنش-های محیطی در علوم زراعی. ۱۳ (۱) ۱۴۵-۱۵۴.

۱۴. علیار، س.، اصغرزاده، ن.ع.، دباغ محمدی نسب، ع. و اوستان، ش. ۱۴۰۰. تأثیرکاربرد ورمی‌کمپوست بر رشد و روابط آبی گیاه کینوا در شرایط تنش شوری. نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۱ (۳): ۱۳۱-۱۴۷.

۱۵. قلی زاده، م.، گالشی، س.، لطیفی، ن.، و زینلی، ا. ۱۳۸۶. تاثیر میزان و نوع کود نیتروژن بر تثبیت بیولوژیک نیتروژن در گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.). نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴ (۵): ۸۷-۹۵.

۱۶. گلچین، ا.، وطنی، ا.، سالوند، ب. و رخش، ف. ۱۳۹۵. تأثیر کاربرد ویناس و افزودنی نیتروژن و فسفر بر رشد و عملکرد گیاه گوجه فرنگی. نشریه علوم باغبانی، ۳۰ (۱): ۱۱-۱۸.

۱۷. لطفی، ب.، فتوحی، ف.، سیادت، س. ع. و صادقی، م. ۱۳۹۶. اثر کود شیمیایی نیتروژنه و کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد و درصد پروتئین دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.). نشریه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۲ (۴۵۱): ۱۳۸-۱۲۳.

۱۸. میرزاخانی، م.، قنبری کاشان، م.، و هاشمی، س، ا، ف. (۱۳۹۵). پاسخ کارایی فیزیولوژیک نیتروژن گلرنگ به مصرف کودهای دامی و شیمیایی در منطقه کاشان. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی. ۱۱ (۴۱):۵۳-۶۴.

19. Ahmad, A., Mohammad Hasham, P. and Naqibullah, N. 2023. Effects of Organic Fertilizer on Growth and Yield of Common Bean (Phaseolus vulgaris L). AgroTech- Food Science, Technology and Environment, 2 NO. 2. 37-48.

20. Asadipour, M. and Seyed Haji, R. 2013. Influence of vermicompost and plant density on some morphological traits and biological yield of mungbean (Vigna radiata). International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 5: 319-323.

21. Bremner, J. 1996. Nitrogen total. Methods of Soil Analysis. In: D. L. Sparks et al. (Eds). Method of Soil Analysis. Part 3. pp. 1085-1121. Chemical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

22. Diacono, M. and Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: a review. Agron Sustain Dev, 30: 402- 421.
23. Dotaniya, M. L., Datta, S. C., Biswas, D. R., Dotaniya, C. K., Meena, B. L., Rajendiran, S., Regar, L. K. and Manju Lata. 2016. Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. Int. J. Recycling Organic Waste Agric, 5: 185–194.
24. Fathi, Z., Pezesh Poor, P. and Sarajoghi, M. 2023. Effect of fertilizers Nitroxin, Biosulphate and different levels of Sulphate on biomass and biological characteristics of green mung. The First National Conference on Planning, Conservation, Environmental Protection and Sustainable Development, 20 Feb. Hamadan, Iran.
25. Fernandez-Salvador, J., Strick, B. C. and Bryla, D. R. 2015. Liquid Corn and Fish Fertilizers Are Good Options for Fertigation in Blackberry Cultivars Grown in an Organic Production System. HortScience, 50: 225–233.
26. Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis, hydrometer methods. In: D. L. Sparks et al. (Eds). Method of Soil Analysis. part 1. pp: 383-411. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
27. Geng, Y., Cao, G., Wang, L. and Wang, S. 2019. Effects of equal chemical fertilizer substitutions with organic manure on yield, dry matter, and nitrogen uptake of spring maize and soil nitrogen distribution. PloS one, 14(7): e0219512.
28. Gondwe, R. L., Kinoshita, R., Suminoe, T., Aiuchi, D., Palta, J. P. and Tani, M. 2020. Available soil nutrients and NPK application impacts on yield, quality, and nutrient composition of potatoes growing during the main season in Japan. Am. J. Potato Res, 97: 234–245.
29. Haefele, S. M., Sipaseuth, N., Phengsouvanna, V., Dounphady, K., and Vongsouthi, S. 2010. Agroeconomic evaluation of fertilizer recommendations for rainfed lowland rice. Field Crops Research, 119: 215-224.
30. Helmke, P., and Sparks, D. L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In: D. L. Sparks et al. (Eds). Method of Soil Analysis. Part 3. 3rd Ed. pp. 551-574. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
31. Helrich, K. (1990). Association of official analytical chemists. Journal of AOAC, Incorporated, 15(1), 673.
32. Ibrahim, M., Iqbal, M. and Elahi Valeem, E. 2008. Response of wheat growth and yield to various levels of compost and organic manure. Pakistan Journal of Botany, 40(5): 2135-2141.
33. Jabeen, N. and Ahmad, R. 2016. Growth response and nitrogen metabolism of sunflower (Helianthus annuus L.) to vermicompost and biogas slurry under salinity stress. J Plant Nutr, 40: 104-114.
34. Kakar, K., Xuan, T. D., Noori, Z., Aryan, S. and Gulab, G. 2020. Effects of organic and inorganic fertilizer application on growth, yield, and grain quality of rice. Agriculture. 10: 544.
35. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Bakhshaei, S. and Davari, A. 2017. A meta-analysis on nitrogen fertilizer experiments on cereal crops in Iran. Agroecology, 9(2): 296-313.
36. Li, S., Zhao, X., Ye, X., Zhang, L., Shi, L., Xu, F. and Ding, G. 2020. The effects of condensed molasses soluble on the growth and development of rapeseed through seed germination, hydroponics and field trials. Agriculture, 10: 260.
37. Liu, J., Shu, A., Song, W., Shi, W., Li, M., Zhang, W., Li, Z., Liu, G., Yuan, F., Zhang, S., Liu, Z. and Gao, Z. 2021. Long-term organic fertilizer substitution increases rice yield by improving soil properties and regulating soil bacteria. Geoderma, 404: 115287.
38. Mehdi, Z., Iraj, A., Gholam, A. A. and Gholam, A. A. 2011. A study on the effects of different bio fertilizer combinations on yield, its components, and growth indices of corn

(Zea mays L.) under drought stress conditions. African Journal of Agricultural Research, 6(3): 681-685.

39. Mirza Hasanuzzaman, K. U., Ahamed, N. M., Rahmatullah, N., Akhter, K. N. and Rahman, M. L. 2010. Plant growth characters and productivity of wetland rice (Oryza sativa L.) as affected by application of different manures, Emir. J. Food Agric, 22 (1): 46-58.
40. Mosavai, A. and Shokohfar, A. 2016. Effect of compilation organic and mineral fertilizer on production parameters and harvest index of cowpea (Vigna unguiculata L.). Journal of Plant Ecophysiology, 8(25): 152-160.
41. Nasir Khan, M., Mobin, M. and Zahid, A. 2018. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 225-240.
42. Navarro-Morillo, I., Navarro-Perez, V., Perez-Millan, R., Navarro-León, E., Blasco, B., Cámara-Zapata, J. M., Garcia-Sanchez, F. 2023. Effects of Root and Foliar Application of Corn Steep Liquor on Pepper Plants. A Physiological, Nutritional, and Morphological Study. Horticulturae, 9, 221.
43. Naveed, S., Rehim, A., Imran, M., Anwar, M. F. and Hussain, S. 2018. Effect of distillery spentwash fertigation on crop growth, yield, and accumulation of potentially toxic elements in rice. Environ. Sci. pollut. Res, 25, 31113–31124.
44. Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1996. Total carbn, organic carbn, and organic matter. In: D. L. Sparks et al. (Eds.). Method of Soil Analysis. Part 3, 3 rd Ed. pp. 961-1010. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
45. 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. United States Department of Agriculture. Circular, Washington DC, 939: 1-18.
46. Pinto, L. E., Cordeiro, C. F. D. S., de Araujo, A. S. and Araujo, F. F. D. 2022. Vinasse improves soil quality and increases the yields of soybean, maize, and pasture. Rev. Bras. Engenharia Agrıcola e Ambiental, 26, 335–340.
47. Popp, M. P., Slaton, N. A., Norsworthy, J. S. and Dixon, B. 2021. Rice yield response to potassium: An economic analysis. Agronomy Journal, 113:287–297.
48. Qaswar, M., Jing, H., Ahmed, W., Li, D. C., Liu, S. J., Lu, Z., Cai, A. D., Liu, L. S., Xu, Y. M., Gao, J. S. and Zhang, H. M. 2020. Yield sustainability, soil organic carbon sequestration and nutrients balance under long-term combined application of manure and inorganic fertilizers in acidic paddy soil. Soil Tillage Res, 198, 1-6.
49. Rosales, M. A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J. and Covarrubias, A. A. 2012. Physiological analysis of common bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. Plant Physiology and Biochemical, 56, 24-34.
50. Rosety, D., Gaur, R. and Johiri, B. N. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacterial community structure in rained-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry, 38: 1111-1120.
51. Siavoshi, M., Nasiri, A. and Laware, S. L. 2011. Effect of Organic Fertilizer on Growth and Yield Components in Rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Science, 3: 217-224.
52. Sihi, D., Dari, B., Sharma, D. K., Pathak, H., Nain, L. and Sharma, O. P. 2017. Evaluation of soil health in organic vs. conventional farming of basmati rice in North India. J. Plant Nutr, Soil Sci. 180: 389-406.

53. Stamenkovic, C., Beskoski, V., Karabegovic, I., Lazic, M., and Nikolic, N. 2018. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. Spanish Journal of Agricultural Research, 16(1): 210-228.
54. Stephen, G. S., Shitindi, M. J., Bura, M. D., Kahangwa, C. A. and Nassary, E. K. 2024. Harnessing the potential of sugarcane-based liquid byproducts—molasses and spentwash (vinasse) for enhanced soil health and environmental quality. A systematic review. . Frontiers in Agronomy 6 (1): 1358076.
55. Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L. and Hernandez, M. T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biol Biochem, 38: 1413–1421.
56. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil asidity. In D. L. Sparks et al. (Eds). Method of Soil Analysis. Part 3. 3rd Eds, pp, 475-490, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
57. Wang, L., Sun, X., Li, S., Zhang, T., Zhang, W., Zhai, P. 2014. Application of organic amendments to a coastal saline soil in North China: effects on soil physical and chemical properties and tree growth. PLoS One, 9: 89185.
58. Wang, W. X., Vinocur, B., and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity, and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218: 1-14.
59. Wani, I. A., Sogi, D. S., Wani, A. A. and Gill, B. S. 2013. Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars. LWT-Food Science and Technology, 53: 284-278.
60. Yadana, K. L., Aung, K. M., Takeo, Y. and Kazuo, O. 2009. The Effects of Green Manure (Sesbania rostrata) on the Growth and Yield of Rice, J. Fac. Agr. Kyushu Univ, 54 (2): 313-319.
61. Yang, S. D., Liu, J. X., Wu, J., Tan, H. W. and Li, Y. R. 2013. Effects of vinasse and press mud application on the biological properties of soils and productivity of sugarcane. Sugar Tech, 15: 152-158.
62. Zahir, A. Z., Arshad, M. and Frankenberger, W. F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81: 97-168..

نشریه پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۹ / شماره۱ / ۱۴۰۴/۱۵۱-۱۲۷
DOI: 10.22092/IJSR.2025.368881.772

بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی در خاک شور گلخانه

فاطمه یزدانی نژاد[۱]، مصطفی چرم*[۲] و محمد جواهریان[۳]

۱- دانشجوی دکترا , گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران fyazdani89@yahoo.com

۲- استاد , گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران m.chorom@scu.ac.ir

۳- دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم ، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران m.javaherin@scu.ac.ir

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ و پذیرش:۱۴۰۴/۴/۳۱

چکیده

استفاده از هیدروژل‌های جدید و سازگار با محیط زیست می‌تواند راه حلی برای تنش شوری خاک باشد. ابتدا یک هیدروژل مرکب از کودهای نتیروژن N، فسفرP و پتاسیم K بر پایه کربوکسی متیل سلولز در آزمایشگاه تهیه شد. آزمایش‌های مورفولوژیکی و پایداری هیدروژل مزبور شامل TEM، SEM، FTIR، EDS و TGA انجام شد. رهاسازی مواد مغذی N-P-K در سطوح مختلف قابلیت هدایت الکتریکی(EC) و pH در ۲۸ روز بررسی شد. نتایج نشان داد که منحنی رهاسازی مواد مغذی در pH های مختلف دارای شیب تقریباً یکسانی بود که نشان‌دهنده آزادسازی کنترل‌شده و رهاسازی مبتنی بر ماتریس است. منحنی آزادسازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و درصد آزادسازی عنصر از هیدروژل سنتز شده با تعریف استاندارد بین‌المللی برای کودهای آهسته رهش مطابقت داشت. به منظور بررسی تأثیر کود تهیه شده در خاک شور بر صفات رشدی گیاه گوجه‌فرنگی و برخی ویژگی‌های خاک، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل نوع خاک در دو سطح شور (دسی زیمنس بر متر EC=6.2) و غیر شور (دسی زیمنس بر متر EC=2) و کود آهسته رهش درسه سطح ۰، ۱٪ و ۲٪ بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل سطح کود مصرفی و شوری خاک بر برخی صفات رویشی گوجه فرنگی، درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی و ویژگیهای خاک، در سطح ۵٪ معنی دار بود. اثر هیدروژل مصرفی باعث افزایش معنی‌داری در میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک شور نسبت به خاک شاهد شد. بیشترین میزان جذب عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی در سطوح کود هیدروژل ۲٪ نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. بنابراین گیاه دارای مواد مغذی کافی برای رشد و نمو در تمام مراحل رشد بود که استفاده از عناصر غذایی را در مقایسه با کودهای معمولی کارآمدتر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: هیدروژل، تنش شوری ، کود آهسته رها، جذب عناصر غذایی

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.chorom@scu.ac.ir

استناد: یزدانی نژاد، ف.، چرم، م.، جواهریان، م.، ۱۴۰۴ بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی در خاک شور گلخانه. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش های خاک، (۱) ۳۹، ۱۵۱-۱۲۷.

مقدمه

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازهای اساسی جوامع باعث شـده اسـت در برخی از حوزه‌ها از جمله کیفیت محصولات غذایی مختلف، توسعه پایدار با تهدید روبه رو شود به طوری که کمیت تولید مواد غذایی، نسبت به کیفیت آن در اولویت قرار گرفته است. مرتبط با این رویه نامطلوب، رواج استفاده از کودهای شیمیایی و سموم در میان کشاورزان یکی از موضوعاتی است که نیازمند توجه جدی‌تر است (بحرینی زاده و همکاران، ۱۴۰۲). هدف کشاورزی پایدار تامین نیازهای غذایی و در عین حال بهبود سلامت خاک و محافظت از آن در برابر تخریب و آلودگی ناشی از استفاده زیاد از کودهای شیمیایی است (Yeligbayeva et al., 2024). شوری خاک یکی از تهدیدات رایج برای مدیریت پایدار خاک و بهره برداری بهینه از اراضی کشاورزی در سراسر جهان است. با توجه به کمبود روز افزون منابع آبی و تغییرات شدید آب و هوایی، سیستم‌های کشاورزی با چالش‌هایی همچون حفظ بهره‌وری خاک پایدار با ورود آب و کود کمتر روبرو هستند (Zhao et al., 2024). با افزایش جمعیت در سراسر جهان، چاره ای جز استفاده از خاک شور برای افزایش مناطق کشاورزی وجود ندارد. بنابراین جهت بهبود بهره‌وری محصولات زراعی در شرایط شور، باید مدیریت مناسبی مانند استفاده از هیدروژل‌ها برای بهبود خواص خاک ارائه شود (Abedeen et al., 2023). کشاورزی امروزی تمرکز را از مصرف زیاد سنتی به مصرف دقیق کود و آب تغییر داده است. از این نظر، شیوه‌ها و فن‌آوری‌های بهینه مدیریت آب، کود و خاک که به حذف عوامل ضد تولید کمک می‌کنند و به طور موثر استفاده از آب و کود را با ورودی کمتر آب و کود ترویج می‌کند، بسیار مورد نیاز است که به سمت کشاورزی امروزی هدایت شوند (Xiao et al., 2022). کشاورزی امروزی بر روی معرفی نسل جدید از کودهایی است که می‌توانند سرعت رهایش مواد مغذی را کنترل کرده و باعث افزایش رهایش مواد مغذی به صورت هماهنگ و متناسب با نیاز گیاه در طول فصل رشد شوند. این کودها طوری طراحی شده‌اند که مواد مغذی را به تدریج و در طول زمان آزاد کنند، که این امر باعث کاهش هدر رفت مواد مغذی، افزایش کارایی مصرف کود، کاهش آلودگی محیط زیست و تأمین مداوم مواد مغذی برای گیاه در طول فصل رشد می‌شود (Motamedi et al., 2020). استفاده از کودهای آهسته رهش باعث بهبود عملکرد محصول، کاهش آلودگی زیست محیطی و کاهش خطر آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شوند (صدیقی و همکاران،۱۴۰۲). بنابراین استفاده از سامانه‌های هیدروژلی آهسته رهش می‌تواند یک روش مناسب برای بهبود مدیریت آب، افزایش دسترسی گیاه به آب، افزایش راندمان مصرف کودها و کاهش آلودگی‌های محیط زیستی باشد (Dehkordi and Seyyedboveir, 2013). هیدروژل‌های سوپرجاذب به عنوان یک جایگزین مناسب، کم هزینه، زیست سازگار با کارایی جذب آب بالا برای سیستم‌های آبیاری کشاورزی پدید آمده اند (Tyagi et al., 2023).

زمانی که هیدروژل در خاک استفاده شود یک توده ژلاتینی هیدراته بی شکل تشکیل می‌شود که باعث جذب و دفع آب در مدت زمان طولانی می‌شود. در نتیجه به عنوان یک منبع آهسته رهش آب در خاک عمل می‌کند که اندازه گرانول هیدروژل، رطوبت زمینه ای خاک ، درجه اتصالات عرضی و حلالیت از جمله عوامل فعالی هستند که روی رهاسازی مواد مغذی موجود در هیدروژل تاثیر گذار می‌باشند (Mahgoub., 2020). در کودهای هیدروژلی آهسته رهش حائلی فیزیکی مانع رهش سریع مواد مغذی می‌شود. با استفاده از این کودهای هیدروژلی آهسته رهش می‌توان از تلفات مواد مغذی قابل شستشو مانند نیتروژن جلوگیری نموده و سبب استفاده تدریجی متناسب با نیاز گیاه شد. این فرآیند سبب افزایش بهره‌وری و تاثیرگذاری موثرتر کود نیز خواهد شد (صدیقی و همکاران،۱۴۰۲). اما یکی از مهمترین چالش‌ها در ساخت و سنتز هیدروژل‌های کودی کند رها انتخاب نوع پوشش کودی زیست تخریب پذیری و مقرون به صرفه بودن نوع

پوشش می‌باشد (اولاد و همکاران،۱۳۹۵ Bai et al.,2015;).

کامپوزیت‌های پلیمری از ترکیب پلیمرهای زیست تخریب پذیر سازگار با محیط زیست می‌باشند که توانایی جاذب‌های آب را بهبود بخشیده و تخریب زیستی محصول را فراهم می‌کنند. از این رو این نوع کامپوزیت‌ها با پتانسیل بالا در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی و محیط زیست به کار گرفته می‌شوند (ماهانی، ۱۴۰۳). کربوکسی متیل سلولز از مشتقات سلولز و یک پلیمر زیستی با کاربردهای امیدوارکننده است که در مناطق مختلف می توان از آن استفاده نمود. کامپوزیت‌های مبتنی بر کربوکسی متیل سلولز با توجه به خواص بسیار خوبی که دارند، مانند دسترسی آسان، سنتز آسان، ویسکوزیته بالا، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، حلالیت در آب، تغییرات ساختاری آسان، شباهت بافتی، هزینه کم و غیر سمی بودن توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. با توجه به کاربردهای متفاوتی که کربوکسی متیل سلولز دارد از آن به عنوان جایگزین سبز به جای پلیمرهای معمولی برای توسعه پایدار در آینده پیشنهاد می‌شود(Tyagi et al., 2023) . عابدین و همکاران(۲۰۲۳) با مطالعه اثر هم افزایی بیوچار و هیدروژل پلی (۲-اتیل-۲-اکسازولین)/پلی(۲-هیدروکسی اتیل متاکاریلات)/کیتوسان) روی خواص خاک شور و بهره‌وری محصول هویج به این نتیجه رسیدند که کاهش قابل‌توجهی در شوری خاک، درصد سدیم قابل تبادل، افزایش مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، نقطه پژمردگی دائمی و آب قابل دسترس وجود دارد. بیشترین درصد افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۳۶، ۷۰ و ۷۲ درصد بود. علاوه بر این، افزایش نسبی بهره وری هویج در بالاترین میزان بیوچار و هیدروژل ۴۹/۶۳ درصد بود. سلیمی و همکاران(۱۴۰۰) اقدام به سنتز کودهای کند رها نانو کامپوزیت پلیمری نشاسته و بررسی اثر مقایسه‌ای این کودها بر رشد و پاسخ‌های تغذیه‌ای گیاه گوجه فرنگی نمودند. نتایج نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن و بازیابی ظاهری نیتروژن با استفاده از این کودها افزایش یافت. درصد نیتروژن کل و میزان نیترات موجود در اندام هوایی در گیاهان تیمار شده با کودهای آهسته رهش در مقایسه با اوره به ترتیب افزایش و کاهش یافت. تحقیقات نشان داده است که کود سوپرفسفات تریپل با پوشش آتاپولگیت رفتار کند رهایی داشته است و رهایش فسفر به وسیله آن با نیاز گیاه ذرت در طول دوره رشد در یک منطقه نیمه خشک چین همزمان گردید (Guan et al.,2014). استفاده از این کود کند رها، کارایی مصرف کود فسفر را ۱۱٪ تا ۲۶/۷ درصد نسبت به کود شیمیایی فاقد آتاپولگیت افزایش داد. فیاضی (۱۴۰۲) جهت کنترل رهاسازی عناصر غذایی پر مصرف N-P-k با استفاده از هیدروژل‌های مبتنی بر نانوساختار رسی سپیولایت و نشاسته به این نتیجه رسیدند که انتشار مواد مغذی از ساختار کود آهسته رهش دارای تاخیر بوده که برای جلوگیری از انتشار بیش از حد عناصر غذایی، به حداقل رسیدن اثرات منفی زیست محیطی و مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی حیاتی است. میزان مصرف هیدروژل در هکتار با توجه به نوع بافت خاک بین ۵-۲/۵ کیلوگرم متغیر می‌باشد. در خاک‌های رسی و سنگین مقدار کمتر و در خاک‌های شنی و سبک مقدار بیشتری توصیه می‌گردد (Saini and Malve.,2022). استفاده از هیدروژل‌های کودی در کشت گندم نشان داد که جذب عناصر غذایی و راندمان مصرف آب در گندم زمستانه زمانی که ۵ کیلوگرم در هکتار هیدروژل در خاک لومی شنی استفاده شد، نسبت به خاک لوم رسی با همان میزان مصرف هیدروژل ۸/۴۸ درصد افزایش در عملکرد مشاهده شد(Saini et al., 2018). گوجه‌فرنگی (Solanum lycopersicum) یک سبزی با اهمیت اقتصادی بسیار زیاد است که به طور وسیعی در سرتاسر جهان در شرایط مزرعه و گلخانه کشت و تولید می‌گردد. تولید گوجه فرنگی تحت تاثیر تنش‌های زیستی و غیر زیستی بسیاری است (Wang et al,2011, Saito et al, 2011). در ایران سطح زیر کشت گوجه فرنگی بیش از ۱۵۰ هزار هکتار و تولید آن بیش از۶ میلیون تن است به

طوریکه سالانه رتبه ششم تا هفتم تولید را به خود اختصاص می‌دهد (عابدی و همکاران، ۱۳۹۸).

تقاضا برای گوجه‌فرنگی با افزایش سریع جمعیت در حال افزایش است و در آینده نزدیک، تقاضا برای گوجه‌فرنگی افزایش خواهد یافت، در حالی که به دلیل کمبود زمین و رکود در عملکرد به دلیل عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی که محدودیت‌های اصلی برای تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی در سراسر جهان هستند، تولید کم خواهد بود (Hernandez-Perez et al, 2020). تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۵۰، تنش شوری به تنهایی باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد سبزیجات از جمله گوجه‌فرنگی خواهد شد (Wang et al, 2003) و این یک نگرانی بزرگ برای کشورهای جنوب شرقی آسیا خواهد بود. اثر منفی تنش شوری بر گوجه‌فرنگی ناشی از کاهش رشد گیاه به دلیل کاهش سرعت فتوسنتز است (Giannakoula and Ilias 2013) که منجر به کاهش اندازه میوه و عملکرد کل در هر بوته می‌شود که مهم‌ترین عوامل برای تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی هستند. علاوه بر این، در مورد رشد، گیاه گوجه‌فرنگی گزارش شده است که تحت تنش شوری، ارتفاع گیاه کوتاه‌تر و سطح برگ کمتری دارند. همچنین، محتوای کلروفیل نسبی برگ(مقدار SPAD) که میزان نیتروژن را به عنوان یک عنصر کلیدی برای افزایش فتوسنتز، نشان می‌دهد، می‌تواند تحت تأثیر شرایط شوری قرار گیرد (Zhang et al. 2017). اگرچه درصد دقیقی برای گلخانه‌ها به طور خاص در دسترس نیست، اما طبق مطالعه‌ای که در Springer Nature منتشر شده است، تخمین زده می‌شود که ۲۰٪ از کل زمین‌های آبیاری شده در سراسر جهان تحت تأثیر نمک قرار دارند. از آنجایی که گلخانه‌ها اغلب از آبیاری استفاده می‌کنند و شوری یک مسئله شناخته شده در کشاورزی است، می‌توان نتیجه گرفت که بخش قابل توجهی از گلخانه‌ها احتمالاً مشکلات شوری را تجربه می‌کنند. طبق مطالعه‌ای در Springer، برخی تخمین‌ها نشان می‌دهد که تا ۵۰٪ از زمین‌های آبیاری شده ممکن است تحت تأثیر نمک قرار گرفته باشند(Shrivastava and Kumar., 2014). این پژوهش با هدف بررسی کاربرد هیدروژل‌های کودی زیست تخریب پذیر در کشت گیاه گوجه فرنگی متاثر از شوری خاک در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. شایان ذکر است که هیدروژل کودی مورد مطالعه بر پایه ترکیبات زیست تخریب‌پذیر کربوکسی متیل سلولز، بتاسیکلودکسترین و شبکه ساز آدیپک اسید سنتز گردیده است که تمامی این ترکیبات منشاء گیاهی داشته و زیست تخریب پذیر می‌باشند.

مواد و روش ها

مواد مورد استفاده

کربوکسی متیل سلولز(CMC) ازشرکت sigma (آمریکا)، آدیپک اسید(Merck 818650) آلمان، سدیم بنزوات، بتا سیکلودکسترین(C4767) ازشرکت sigma (آمریکا)، نمک سدیم کلراید(NaCl) مرک (Art no. 109945) و نمک کلسیم کلراید ($CaCl_2$) مرک (Art no.102382)، کود سولفات پتاسیم ۵۰ ٪ (K_2SO_4)،کود سوپرفسفات تریپل ۴۶٪ $Ca\ (PO_4H_2)_2$ وکود ازته از منبع اوره ٪۴۶ درصد ازت از شرکت پتروشیمی رازی تهیه شد.

دستگاه های مورد استفاده

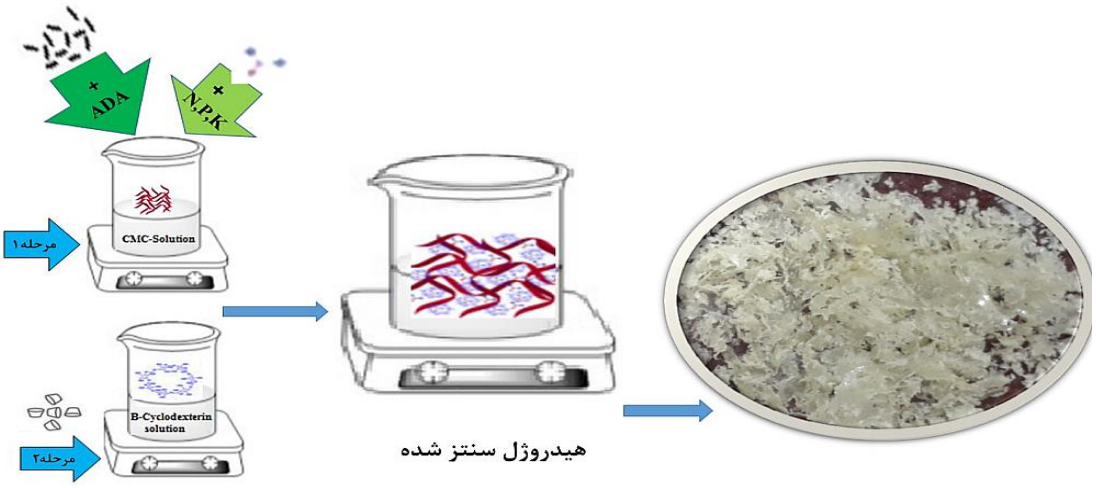
برای ارزیابی ریخت شناسی هیدروژل سنتز شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰ کیلو ولت ساخت کشور دانمارک (شرکت سازنده LEO)، مدل VP ۱۴۵۵، برای مطالعه گروه های عاملی از طیف سنج مادون قرمز FTIR تبدیل فوریه مدل Perkin Eelmer ساخت کشور انگلستان، به صورت قرص های پتاسیم برماید[1] در محدوده موج cm^{-1} ۴۰۰-۴۰۰۰ و میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM با ولتاژ شتاب دهنده ۱۰۰ کیلو ولت ساخت کشور دانمارک(شرکت سازنده LEO) و مدلE ۹۰۶، برای مطالعه پایداری گرمایی

[1] Potassium Bromide

هیدروژل کامپوزیت سنتز شده از گرما وزن سنج Mettler مدل TGA/DSCI . ساخت سوئیس، برای شناسایی و تأیید حضور عناصر غذایی بارگزاری شده نیتروژن، پتاسیم، فسفر در ساختار هیدروژل مورد مطالعه از طیف سنجی تفکیک انرژی EDS–Map مدل VEGA 3 دیتکتور SAMX ساخت کشور فرانسه (کمپانی سازنده TESCAN) و برای اندازه گیری عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر در خاک و گیاه به ترتیب از کجلدال (Kjeldahl) ، فلیم فتومترJENWAY مدل PFP7، ساخت کشور انگلستان و اسپکتروفتومتر مدلuv 303 ساخت شرکت APPEL استفاده گردید.

سنتز فرمولاسیون هیدروژل کامپوزیت کندرهای N-P-K

ابتدا محلول (w/v) ٪۳ از کربوکسی متیل سلولز در آب مقطر تهیه شد. سپس جهت انحلال کربوکسی متیل سلولز به مدت ۲h در دمای ۷۰°C با قراردادن مگنت با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه همزده شد. در مرحله دوم محلول (w/v) ٪۳ از بتا سیکلو دکسترین در آب مقطر تهیه گردید و تا دمای ۵۰°C به مدت ۱h حرارت داده شد. در مرحله سوم ۲ گرم کود سولفات پتاسیم (K_2SO_4) و ۲ گرم کود سوپرفسفات تریپل $Ca(PO_4H_2)_2$ و۲ گرم کود ازته از منبع اوره ۴۶ درصد ازت به محلول کربوکسی متیل سلولزاضافه شد. در مرحله چهارم محلول(w/v) ٪۲ سدیم بنزوات در دمای اتاق تهیه گردید و ۱۰ میلی لیتر از این محلول به محلول کربوکسی متیل سلولز جهت قوام هیدروژل اضافه شد. پس از این مرحله شبکه ساز آدیپک اسید به محلول کربوکسی متیل سلولز اضافه گردید و در مرحله آخر محلول بتاسیکلودکسترین (محلول مرتبه ۲) به صورت قطره قطره به محلول کربوکسی متیل سلولز اضافه شد و با همزن مغناطیسی با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲h همزده شد. در انتها زمانی که مخلوطی کاملا همگن با ظاهری ژله‌ای ایجاد شد یکبار با آب مقطر شسته و سپس جهت خالص سازی به مدت یک ساعت درون الکل اتانول قرار داده شد. جهت خشک کردن هیدروژل کودی سنتز شده مدت ۱۲ h در دمای ۶۰°C در آون قرار داده شد و پس از خشک شدن به وسیله هاون چینی ساییده شده و جهت مصارف بعدی در جای خشک و خنک نگهداری شد. (Mesias et al., 2019 and Natkański et al.,2012). شکل (۱) شماتیک سنتز هیدروژل کامپوزیت کندرهای N–P–K نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک سنتز هیدروژل کامپوزیت کند رهای N-P-K

بررسی ریخت شناسی و ساختار هیدروژل کامپوزیت کودی کند رها

جهت شناسایی و تایید حضور عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بارگزاری شده در هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده از طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS Map) استفاده گردید(Mengdi Ma et al.,2020, Tamara et al., 2020,Yao et al.,2010). شرح بررسی طیف سنجی تفکیک انرژی EDS و تحلیل آنالیزتصویربرداری هیدروژل کامپوزیت سنتز شده جهت تأیید عناصر غذایی بارگزاری شده در ساختار هیدروژل در بخش نتایج و بحث گزارش شده است. لازم به ذکر است که شرح بررسی ریخت شناسی و ساختار هیدروژل کامپوزیت کودی ساخته شده بر اساس روش هایTEM، SEM، FTIR و TGA با توضیحات کامل در مقاله (یزدانی و همکاران ۱۴۰۳) ارائه گردیده است.

بررسی رهایش عناصر غذایی بارگزاری شده در هیدروژل کامپوزیت کودی تحت تاثیر شوری‌های مختلف نسبت به زمان

پس از سنتز هیدروژل کامپوزیت کودی کند رها میزان رهاسازی عناصر غذایی تحت تاثیر شوری‌های محلول‌های نمکی (EC=۲،۴،۶ mmohs/cm) در زمان های ۴،۱۰،۱۴،۲۱،۲۸ روز مورد بررسی قرار گرفت (Bortolin,2013). در این روش مقدار۱ گرم از هیدروژل خشک شده درکیسه چای قرار داده شد. سپس در محلول هایی از نمک‌های یک ظرفیتی NaCl و دو ظرفیتی $CaCl_2$ (با غلظت ۲،۴،۶ mmohs/cm) قرار داده شد و در فواصل زمانی ۲۸ روز عناصر NPK رها شده مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه گیری عنصر نیتروژن در فاز محلول از دستگاه اسپکتروفتومتر(Bortolin,2013)، عنصر فسفر به روش اولسن(Olsen,1954) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و برای پتاسیم از فتومتری شعله (Chapman,1982)، استفاده شد.

– مطالعه رهایش عناصر غذایی N-P-K از هیدروژل کامپوزیت کودی تحت تاثیرpH های مختلف نسبت به زمان بررسی رهایش عناصرغذایی NPK از هیدروژل کامپوزیت سنتز شده تحت تاثیر pH های مختلف آب در زمان‌های ۴،۱۰،۱۴،۲۱،۲۸ روز مورد بررسی قرار گرفت (Bortolin,2013). در این روش مقدار۱ گرم از هیدروژل خشک شده درکیسه چای قرار داده شد. سپس نمونه‌ها در محلول هایی با pH= ۶،۷،۸ که با محلول سود و اسید کلریدریک یک دهم مولار تنظیم شد قرار داده و در فواصل زمانی ۲۸ روز عناصر NPK رها شده در محلول اندازه گیری شد.

بررسی هیدروژل کامپوزیت کودی کامل کندرها در خاک و تاثیر آن بر رشد گیاه گوجه فرنگی در گلخانه

آزمایش گلدانی به عنوان مدل گیاهی جهت تعیین رفتار رهاسازی هیدروژل کامپوزیت کند رها در ارتباط با خاک و گیاه انجام شد. گیاه مورد مطالعه گوجه فرنگی(Lycopersicon esculentum L.) رقم دافنیس[2] بود که رقمی میان رس و مناسب کشت در گلخانه می‌باشد. اثر کود سنتز شده بر مراحل رشدی گیاه گوجه فرنگی در مقایسه با تیمار شاهد که از کودهایی شیمیایی مرسوم استفاده شده بود مورد ارزیابی قرار گرفت. کودهای شیمیایی مرسوم شامل ازت، فسفر و پتاسیم(NPK) به منظور مقایسه با کودهای هیدروژلی مورد استفاده قرار گرفتند. منابع کودهای مورد استفاده به این شرح بودند: کود ازته از منبع اوره با ۴۶ درصد ازت، فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و پتاس از منبع سولفات پتاسیم. برای اطمینان از مقایسه منصفانه و علمی، نوع و مقدار کودهای شیمیایی به گونه‌ای تعیین شد که میزان مصرف آن‌ها معادل

[2] Daphnis

با مقدار مصرف هیدروژل باشد. زمان مصرف این کودها پس از انتقال نشاها به گلدان اصلی و استقرار کامل ریشه‌ها در محیط ریشه گیاه صورت گرفت، تا گیاهان بتوانند به بهترین شکل از مواد مغذی بهره‌مند شوند. میزان مصرف کودهای شیمیایی بر اساس تجزیه و تحلیل خاک و نیازهای تغذیه‌ای گیاه تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های خاک مورد آزمایش قرار گرفتند تا کمبودهای احتمالی مواد مغذی مشخص شود، و سپس مقدار کودهای NPK بر اساس این کمبودها و با هدف رساندن سطح مواد مغذی خاک به حد مطلوب تعیین گردید. هدف از این رویکرد، حصول اطمینان از مقایسه‌ای دقیق و ارزیابی تاثیر مستقیم هر نوع کود (شیمیایی و هیدروژلی) بر عملکرد گیاه در شرایط تحت بررسی بود. این پژوهش در آبانماه سال۱۴۰۳ –۱۴۰۲ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. نشاهای ۸ هفته‌ای حاصل از کاشت بذرهای گوجه فرنگی به گلدان‌هایی با قطر ۳۰ سانتی متر و ارتفاع ۴۰سانتی متر حاوی هر کدام ۷ کیلوگرم خاک زراعی شور (SS[3]) و غیر شور(NSS[4]) انتقال یافتند. خاک شور dS/m (EC=۶/۲) و خاک غیر شور(EC=۲ dS/m) از مزارع متفاوت دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که خصوصیات بافتی هردو خاک Sandy clay loam بود. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد استفاده در جدول (۱) آورده شده است. در مجموع ۱۸ عدد گلدان بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار (تیمارهای خاک شور با سطوح کودی ۰٪، ۱٪ و ۲٪ درصد به ترتیب شامل SS_{F0} ,SS_{F1} ,SS_{F2} و تیمارهای خاک غیر شور با سطوح کودی ۰٪، ۱٪ و ۲٪ درصد به ترتیب شامل((NSS_{F0} ,NSS_{F1} ,NSS_{F2})) و سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. جهت زهکشی بهتر گلدان‌ها قبل از ریختن خاک درون گلدان‌ها از سنگریزه و توری استفاده گردید . همچنین جهت جلوگیری از بیماری‌های قارچی و بوته میری با توجه به شرایط دمایی گلخانه کلیه گلدان‌ها و خاک مورد استفاده قبل از انتقال نشاء با قارچ‌کش ضدعفونی گردید. در داخل هر گلدان ۷ کیلوگرم خاک ریخته شد و ۳ عدد نشاء گوجه فرنگی به هرگلدان انتقال داده شد. پس از گذشت یک هفته از استقرار نشاها حذف نشاهای ضعیف صورت گرفت. هیدروژل سنتز شده در سطح ۰٪(F_0) ، ۱٪ (F_1)و ۲٪ (F_2) در ناحیه ریشه گیاه اضافه و آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی صورت گرفت. آبیاری گلدان‌ها به صورت دستی و با استفاده از استوانه مدرج انجام شد تا دقت در حجم آب اعمال شده تضمین شود. سعی بر این بود که آبیاری به آرامی و به صورت یکنواخت انجام شود تا از ایجاد رواناب سطحی و توزیع غیریکنواخت آب در خاک جلوگیری شود. حجم آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک تعیین می‌شد. در هر بار آبیاری، به هر گلدان حجمی از آب مقطر اضافه می‌شد که معادل مقدار آبی بود که خاک برای رسیدن به ظرفیت زراعی خود نیاز داشت. به عبارت دیگر، هدف این بود که خاک همواره در شرایط ظرفیت زراعی نگهداری شود. این حجم بسته به نوع خاک (شور یا غیرشور) و وزن خشک خاک در هر گلدان متفاوت بود. همچنین زمان آبیاری مجدد بر اساس مشاهده و ارزیابی میزان رطوبت خاک از طریق وزنی انجام شد. بدلیل عدم آبشویی و نداشتن زه آب لذا در این مطالعه کسر آبشویی انجام نشد. به عبارت دیگر، اجازه داده نشد آب از انتهای گلدان‌ها خارج شود به این ترتیب کارایی هیدروژل سنتز شده در شرایطی مشابه با شوری موجود در بسیاری از اراضی کشاورزی ارزیابی شد.

[3] salty soil

[4] non-saline soil

جدول۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده قبل از کاشت

نوع خاک	مشخصات خاک	مقدار	واحد	مشخصات خاک	مقدار	واحد
خاک شور(SS)	بافت خاک	Sandy Clay loam	------	N	۰/۰۸	(%)
	شن	۴۱	(%)	P	۹/۸	)meq/l (
	سیلت	۳۱	(%)	K	۱۲	)meq/l (
	رس	۲۸	(%)	Ca	۲۴	(meq/l)
	EC	۶/۲	(dS/m)	Mg	۹	(meq/l)
	pH	۷/۷	---	Na	۲۳	(meq/l)
	OM	۰/۷	(%)	-	-	-
خاک غیر شور(NSS)	بافت خاک	Sandy Clay loam	------	N	۰/۰۵	(%)
	شن	۳۳	(%)	P	۱۱/۲	) meq/l (
	سیلت	۴۶	(%)	K	6	)meq/l(
	رس	۲۱	(%)	Ca	10	(meq/l)
	EC	۲	(dS/m)	Mg	4	(meq/l)
	pH	۷/۱	----	Na	6	(meq/l)
	OM	۰/۸	(%)	-	-	-

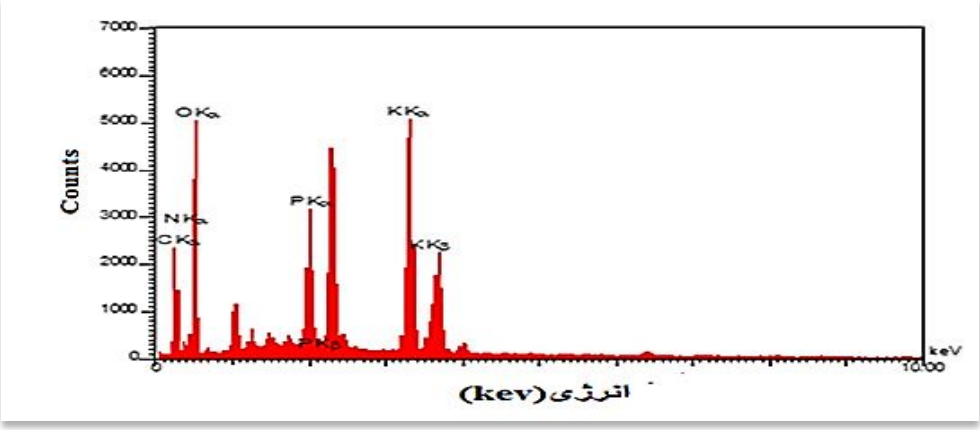
علاوه بر این مرحله، در زمان رشد رویشی با توجه به کمبودهای مشاهده شده، در دو مرحله از محلول های غذایی ۱۰۰۰ پی پی‌ام آهن، منیزیم و کلسیم همراه با آب آبیاری استفاده گردید. برداشت گیاهان پس از اتمام رشد رویشی و اواسط میوه‌دهی انجام شد. پس از برداشت نیز طول بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ، وزن میوه، تعداد گل، درصد نیتروژن کل گیاه به روش کجلدال(Chapman,1982)، فسفر به روش(Olsen,1954) و پتاسیم به روش فتومتری شعله(Chapman,1982) اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده

جهت شناسایی درصد عناصر و تایید حضور عناصر غذایی نیتروژن(N)، پتاسیم(K)، فسفر(P) بارگزاری شده در هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده از طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS Map) استفاده گردید (Mengdi Ma et al.,2020, Tamara et al., 2020, Yao et al.,2010). طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس(EDS) برای تجزیه و تحلیل ساختاری و آنالیز عناصر موجود در نمونه به کار می‌رود و با نصب آن بر روی میکروسکوپ های الکترونی می‌توان با مطالعه پرتوهای بازگشتی از نمونه و تعیین پرتو ایکس مشخصه هر عنصر، با استفاده از قدرت تفکیک و قابلیت بزرگنمایی مختلف، آنالیز کیفی و کمی را بر روی طیف وسیعی از نمونه‌ها انجام داد. هر چه پیک مشاهده شده برای عنصر در نمودار بالاتر باشد، غلظت بیشتری از آن عنصر در نمونه مشاهده می‌شود. همچنین هر چه انرژی پرتوی الکترونی افزایش و وزن اتمی عناصر کاهش یابد، می‌توان از عمق بیشتری از نمونه اطلاعات کسب نمود (پرستگاری و فولادگر،۱۳۹۶). نکته قابل توجه اینکه تحلیل EDS Map بر روی یک ناحیه خاص و با ابعاد مشخص انجام شده است و نتایج درصد عناصر، مربوط به همین ناحیه منتخب است. EDS یک تکنیک تحلیلی سطحی است و اطلاعات ارائه شده، مربوط به چند میکرومتر ابتدایی سطح نمونه است. این بدان

معناست که نتایج، نمایانگر کل حجم نمونه نیست(Spaleta et al., 2020). بر اساس آنالیز EDSحضور عناصرغذایی نیتروژن، پتاسیم، فسفر، اکسیژن و کربن در هیدروژل سنتز شده تأیید شد. در این نمودار بیشترین فراوانی عنصری مربوط به عناصر کربن، پتاسیم، اکسیژن، نیتروژن و فسفر می‌باشد، (شکل۴) و (جدول۲).



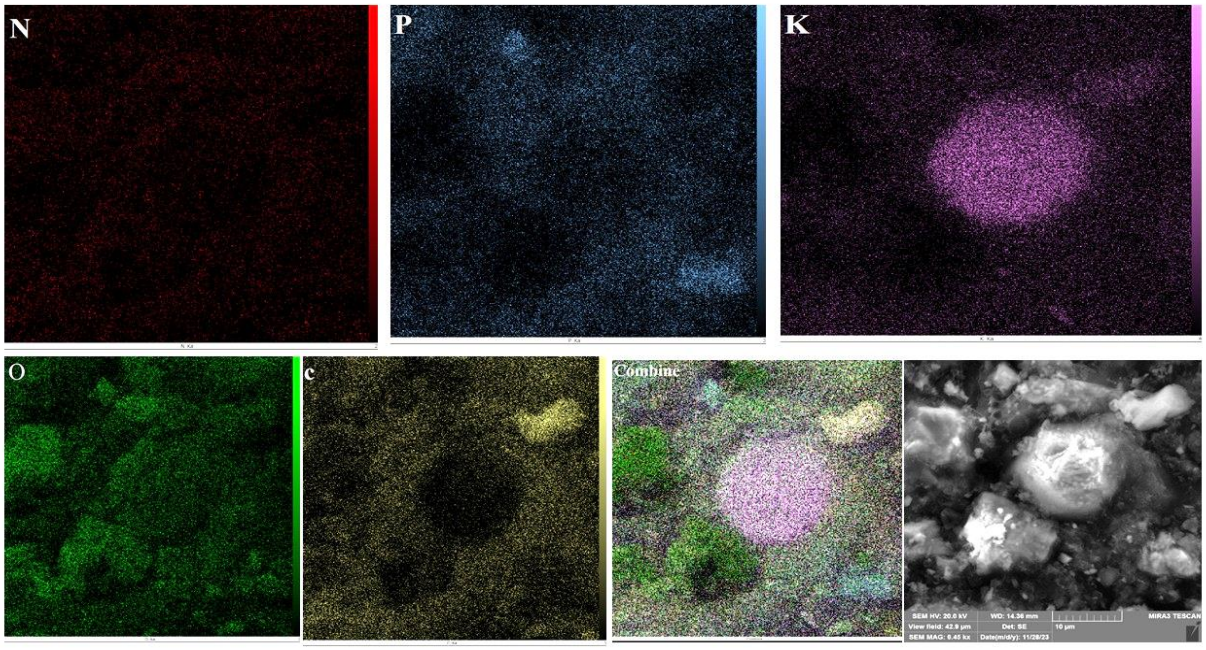
شکل ۴- طیف حاصل از آنالیزنمونه با روش طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS)

جدول ۲- میزان عناصر موجود در نمونه آنالیز شده بر اساس درصدهای وزنی و اتمی

Element	Series	Wt.%	at.%
C	K-Series	35.68	51.29
N	K-Series	0.22	0.14
O	K-Series	32.01	34.43
P	K-Series	0.12	0.07
K	K-Series	31.97	14.07
	Sum:	100.00	100.00

تحلیل آنالیزتصویربرداری هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده

با توجه به آنالیز تصویر برداری حضور عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، اکسیژن و کربن در هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده تأیید شد. تمامی عناصر مورد بررسی C، K، P، N، دارای توزیع و پراکندگی تقریباً همگنی می‌باشند (شکل ۵).

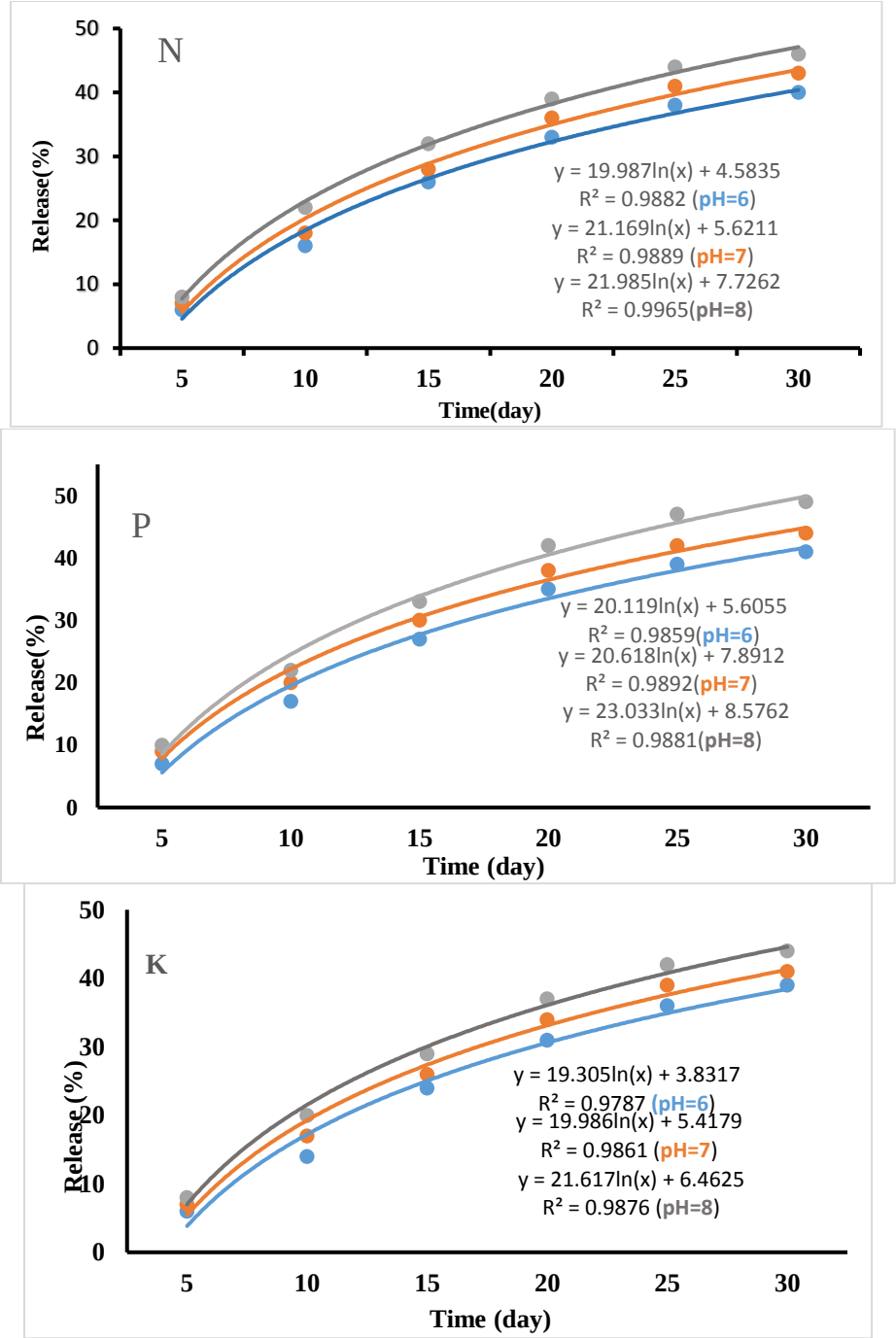


شکل۵- آنالیز تصویربرداری هیدروژل کامپوزیت کند رهای N-P-K

مطالعه رهایش عناصر غذایی N-P-K از هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده تحت تاثیرpH های مختلف نسبت به زمان

نتایج نشان داد که میزان رهایش عناصر غذایی تحت تاثیر pH محلول قرار گرفته است (شکل ۶). با توجه به منحنی‌های رهایش، درصد رهایش N-P-K در pH های بالا افزایش و در pH های پایین کمتر می‌شود. در واقع این افزایش رهایش عناصر غذایی در pH بالا بدین معنی است که مقاومت پلیمر سنتز شده و ساختار هیدروژل تحت شرایط اسیدی و قلیایی دستخوش تغییرات می‌گردد و این افزایش حلالیت بیانگر حلالیت اجزای پلیمری در شرایط کمی قلیایی می‌باشد(Mesias et al, 2019) . مقاومت هیدروژل کامپوزیت کودی سنتز شده در pH اسیدی بیشتر می‌باشد. بر اساس نتایج به طور متوسط ۴۰ درصد عناصر بارگزاری شده در هیدروژل طی مدت زمان ۲۸ روز رهاسازی شده است. با توجه به تعریف کمیته استاندارد سازی اروپا برای توصیف کودهای آهسته رهش سه شاخص، رهاسازی کمتر از ۱۵٪ در ۲۴ ساعت، رهاسازی کمتر از ۷۵٪ در ۲۸ روز و حداقل حدود ۷۵٪ رهاسازی در زمان تعیین شده در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد پیشنهاد شده است (Trenke,2010 and Shaviv,2001, Chen, & Lai, 2013) که بر اساس آن می توان گفت کود سنتز شده کند رها می‌باشد. نزدیک بودن منحنی‌های رهایش در سطوح کمی اسیدی نشانه حلالیت پلیمر و انتشار عناصر غذایی به دام افتاده در ساختار پلیمر می‌باشد(Mesias et al, 2019). با توجه به شکل(۶) منحنی رهایش عناصر غذایی در pH های مختلف دارای شیب تقریباً یکسانی است. هرگاه منحنی رهایش عناصر غذایی در pH های مختلف دارای شیب یکسانی باشد نشان دهنده انتشار کنترل شده و انتشار مبتنی بر ماتریس می‌باشد (Mesias and Chen 2019). رهاسازی مبتنی بر ماتریس-Matrix) based release)به این معنی است که مواد فعال (مثل مواد مغذی در کودها) در یک ساختار یا بستر جامد (که به آن ماتریس می‌گویند) قرار گرفته‌اند و آزاد شدن این مواد از داخل آن ماتریس، به صورت تدریجی و کنترل شده انجام می‌شود. در این مطالعه هیدروژل همان ماتریس است که مواد مغذی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) را در خود نگه داشته و به صورت کنترل شده و آهسته رها می‌کند. این روش در تولید کودهای آهسته‌رهش بسیار کاربرد دارد. از جمله

ویژگی‌های اصلی رهاسازی مبتنی بر ماتریس:۱- آزادسازی تدریجی، ۲- آزاد سازی کنترل شده و ۳- بهره‌وری بالاترتوسط گیاه می باشد. جهت بررسی ارتباط میان رهایش عناصر غذایی با زمان نمودارهای لگاریتمی این رهایش ترسیم شد (شکل ۶). بالا بودن R^2 درهمه منحنی ها بیانگر ارتباط رهایش عناصر غذایی با زمان می‌باشد. میزان رهایش عناصر N و P با افزایش پ هاش تقریباًدر طول مدت ۲۸ روز بیشتر از رهایش K می باشد (شکل ۶). نتایج به دست آمده با نتایج چن و همکاران(۲۰۱۹) که با استفاده از پوشش زیست تخریب پذیر کیتوسان/ آلژینات و کراس لینکر سیتریک اسید نوعی کود آهسته رهش NPK سنتز نمودند مطابقت دارد. نتایج به دست آمده در فاز محلول و در یک محیط کاملاً محلول مورد بررسی قرار گرفته است، مسلماً این رهایش در محیط خاک تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون pH ، ترشحات ریشه گیاهان ، میکروارگانیسم های موجود در خاک و غیره تغییر خواهد کرد.

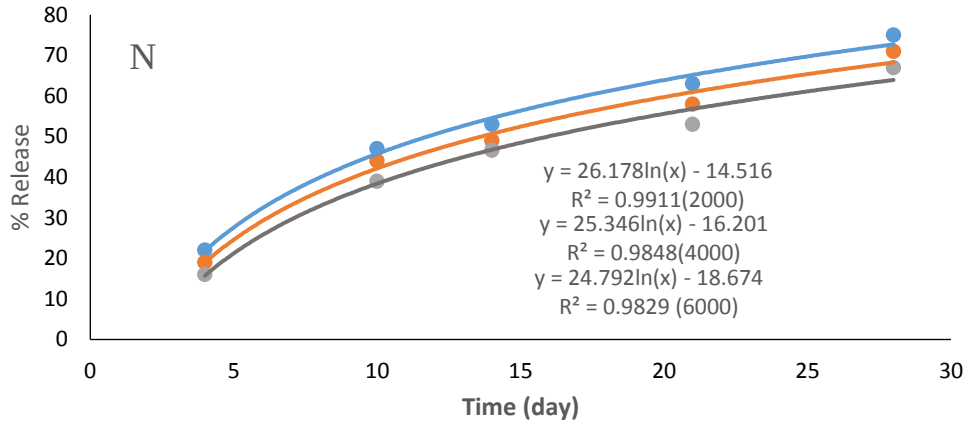


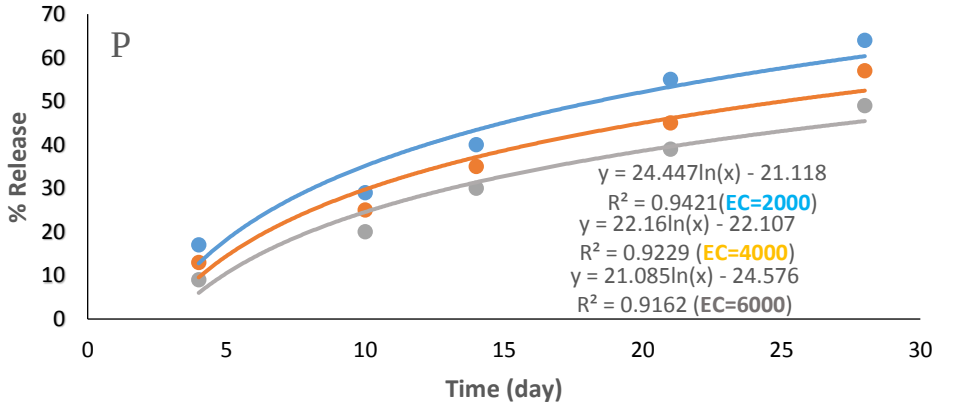
شکل ۶- روند انتشار عناصر غذایی N-P-K تحت تاثیر pH های ۶،۷،۸ طی مدت زمان ۲۸ روز

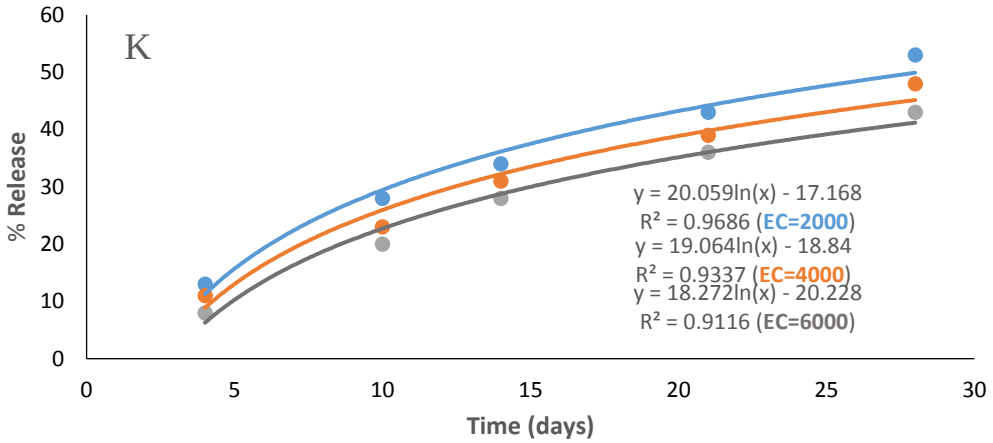
بررسی رهایش عناصر غذایی ازهیدروژل کامپوزیت کند رهای سنتز شده تحت تاثیر زمان و شوری

نتایج حاصل از بررسی رهایش عناصر غذایی در کود سنتز شده در محلول آبی با شوری متفاوت طی مدت زمان ۲۸ روز در شکل (۷) نشان داده شده است. در واقع مکانیسم رهاسازی عناصر غذایی در ترکیبات کودی سنتزشده و پوشش داده شده شامل تورم هیدروژل از طریق جذب آب و وارد شدن آب به ماتریس درونی پلیمر، حل شدن عناصر غذایی در هیدروژل متورم شده و رهایش آهسته عناصر غذایی به خارج از شبکه پلیمر از طریق تبادل آب بین محیط بیرونی و هیدروژل سنتز شده می‌باشد(Xioa

et all., 2017). میزان رهاسازی نیتروژن در سطوح مختلف شوری تحت تاثیر شوری محیط قرار گرفته است به طوریکه با افزایش املاح نمکی محیط محلول میزان رهاسازی این عناصر کم شده است. با توجه به اینکه هر گرم هیدروژل سنتز شده حاوی ۷۰ میلی‌گرم نیتروژن می‌باشد طی مدت زمان ۲۸ روز میزان رهایش نیتروژن در µ mohs/cm EC=2000، معادل ۷۴/۳۸٪، در EC=4000 µmohs/cm، برابر ۷۲/۹۶٪، و در EC=6000 µmohs/cm برابر با ۶۷/۵۸٪) بود (شکل ۷a). هر گرم هیدروژل سنتز شده حاوی ۷۱ میلی‌گرم فسفر بوده است که طی مدت زمان ۲۸ روز میزان رهاسازی فسفردر EC= 2000 µmohs/cm برابر ۶۳/۵۶٪، در EC=4000 µmohs/cm، برابر با ۵۶/۸۱٪، و در EC=6000 µmohs/cm معادل ۵۱/۳۳٪، بود (شکل ۷b). یکی از دلایل مهم در کم شدن رها سازی عناصر از هیدروژل سنتز شده در محلولی با شوری بالا رقابت یونی و افزایش قدرت یونی محلول نمکی است که باعث کم شدن فعالیت یونی عناصر می‌گردد. در نمودار رهاسازی برای عنصر پتاسیم نیز یک روند صعودی را نشان می‌دهد. هر گرم هیدروژل سنتز شده حاوی ۲۱۵ میلی‌گرم پتاسیم بوده است که طی مدت زمان ۲۸ روز میزان رهاسازی پتاسیم در µmohs/cm EC= 2000، معادل ۵۳٪، در EC=4000 µmohs/cm، معادل ۴۹٪، و در EC=6000 µmohs/cm معادل ۴۵٪)، بود(شکل ۷c). هر سه نمودار رهاسازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و درصد رهاسازی عناصر با توجه به تعریف استاندارد جهانی در خصوص کودهای کند رها مطابقت داشته و بیانگر کندرها بودن کود سنتز شده و قابلیت استفاده این کود در خاک های شور می‌باشد .







شکل ۷- نمودار رهایش عناصر غذایی (N-P-K) ازهیدروژل کامپوزیت کندرهای سنتز شده تحت تاثیر زمان و شوری طی ۲۸ روز

تاثیر کودهای هیدروژل زیست تخریب پذیر بر خصوصیات مرفولوژیکی گیاه گوجه فرنگی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس(جدول ۲) ، اثر متقابل سطح کود کاربردی و سطح شوری خاک بر ارتفاع گیاه، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک گیاه و وزن تک میوه در سطح ۵ درصد معنی دار شد.

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح کود و شوری خاک بر برخی خصوصیات رویشی گیاه گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد میوه	وزن تک میوه	تعداد گل
سطح کود	۲	۸۵۶/۵*	۲۷۳۴۳*	۲۲۲/۳*	۸۶/۶ns	۱/۹۸*	۲۳/۵۹*	۱۱۸/۱۶*	۵۶/۳۸*
شوری خاک	۱	۲۶۵۰/۸*	۲۳۰۲۵/۷*	۲۲۳۳/۶*	۳۵۹*	۸/۵۹*	۴/۰۳ ns	۷۶/۸*	۹۳/۶۳ns
سطح کود * شوری خاک	۲	۸۴۳/۸*	۶۵۵۱۴*	۴۹۸/۹*	۱۶/۶۲ns	۰/۷۵۶ns	۲/۵۴ ns	۴۹/۰۲*	۴/۱۹ns
خطا	۸	۴۵/۴	۵۹۴۰/۷۸	۸/۴۷	۴۵/۴۱	۲۲/۴۷	۰/۴۲	۳/۹۱	۲/۷۵
CV(%)	-	۶/۶۵	۲۸/۷۹	۶/۶۶	۱/۸۱	۳/۹	۲۵/۵	۱۱/۷	۱۵/۷

ns و ** و * به ترتیب عدم اختلاف معنی دار و معنی دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

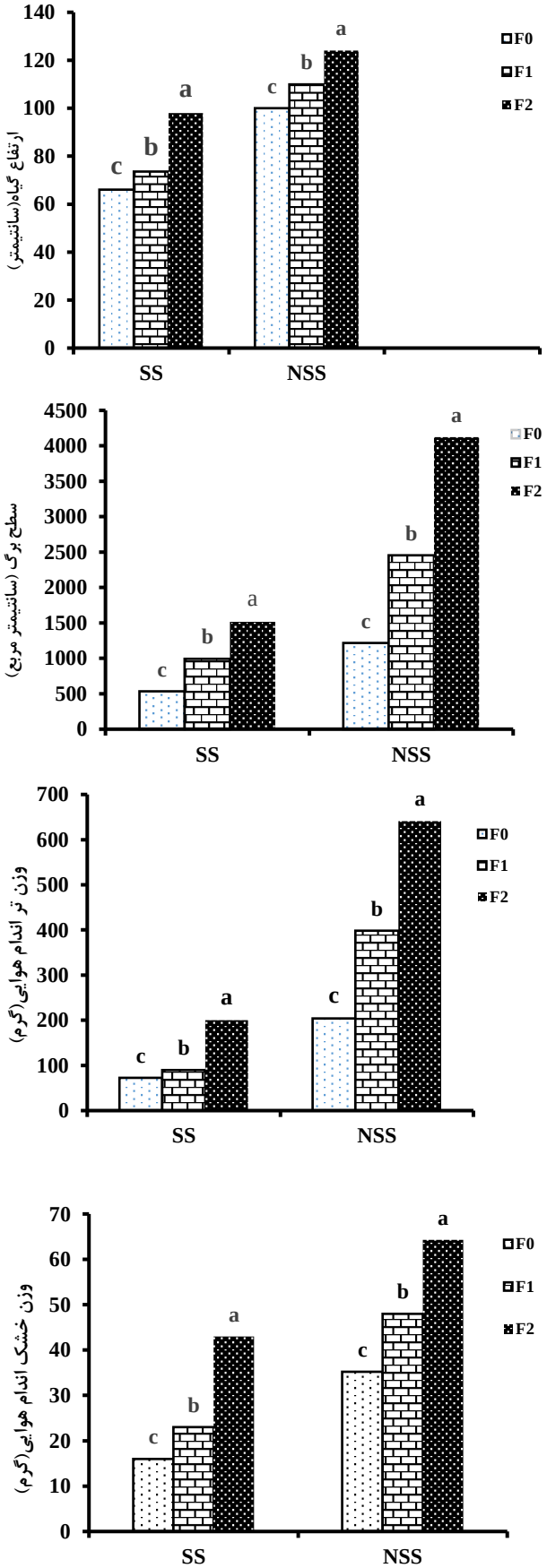
همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل سطح کود کاربردی و شوری خاک بر درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی در سطح پنج درصد معنی دار شد(جدول۳).کیفیت و کمیت رشد گیاهان بستگی به تقسیم سلولی، بزرگ شدن و تمایز سلولی گیاه دارد. از آنجایی که عنصر غذایی نیتروژن از عناصر اساسی برای رشد رویشی محسوب می‌شود، بنابراین دسترسی بیشتر به این عنصر توسط گیاه باعث افزایش جذب و فتوسنتز بیشتر توسط گیاه می‌شود که این یکی از دلایل افزایش ارتفاع و بیانگر اثر مثبت نیتروژن در رشد گیاهان می‌باشد (جامی و همکاران،۹۸). در کودهای با رهایش کنترل شده میزان رهایش عناصر غذایی در مدت زمان طولانی‌تری صورت می‌گیرد ، بنابراین گیاه در تمام مراحل رشد عنصر غذایی کافی جهت رشد و نمو در اختیار داشته و همین امر باعث کارایی مصرف بیشتر عناصر در مقایسه با کودهای شیمیایی معمولی و بدون پوشش می‌شود (Ramli.,2019).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سطح کود و شوری خاک بر درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)
سطح کود	۲	۰/۱۴۹*	۰/۰۱۷*	۱/۶۲*
شوری خاک	۱	۰/۰۴۵*	۰/۰۴۳*	۱/۹۹*
سطح کود * شوری خاک	۲	۰/۰۰۷*	۰/۰۱۶*	۳/۳۵*
خطا	۸	۰/۰۷۲	۰/۰۰۵	۱/۴۵
CV(%)	--	۱۳/۸	۱۴/۶	۱۷/۸

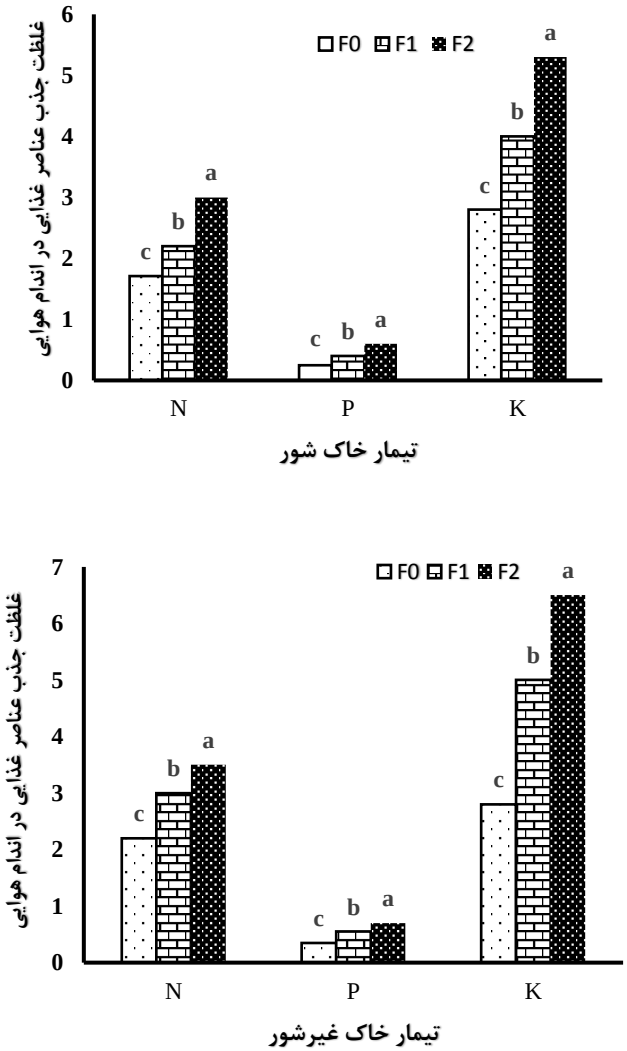
ns و ** و * به ترتیب عدم اختلاف معنی دار و معنی دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۸) برای دو خاک شور(SS) و غیرشور(NSS) نشان داد ،که ارتفاع گیاه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، تعداد میوه و تعداد گل در هر گلدان در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار ارتفاع گیاه در تیمار خاک شور ۹۸ سانتیمتر بود که مربوط به سطح کودیSS_{F2} می‌باشد. ارتفاع گیاه درسطح SS_{F2} نسبت به تیمار کودی SS_{F0} و SS_{F1} به ترتیب ۲۴/۸۹ ٪ و ۳۲/۶۵٪ افزایش نشان می‌دهد. بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار NSS_{F2}، ۱۲۴سانتیمتر بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۱۹درصد اختلاف داشت. سطح برگ تیمار SS_{F2} نیز ۱۵۱۴ سانتیمترمربع بود که نسبت به سطح کودی SS_{F0} و SS_{F0} به ترتیب ۳۴ ٪ و ۶۴٪ افزایش را نشان داد. سطح برگ تیمار NSS_{F2}، ۴۱۸۲ سانتیمترمربع بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۴۴٪ و ۶۸٪ درصد اختلاف داشته است. وزن تر اندام هوایی در سطح کودی SS_{F2}، ۲۰۰ گرم بود که در مقایسه با سطح کودی SS_{F0} و SS_{F1} به ترتیب ۵۵٪ و ۶۳٪ افزایش را نشان داد. بیشترین وزن تر اندام هوایی در خاک غیر شور در سطح NSS_{F2} ۶۴۰ گرم بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۳۵٪ و ۶۵٪ افزایش وزن داشته است. وزن خشک اندام هوایی در سطح کودی SS_{F2}، ۴۳ گرم بود که در مقایسه با سطح کودی SS_{F0} و SS_{F1} به ترتیب ۲۵٪ و ۴۵٪ افزایش را نشان داد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در خاک غیر شور در سطح NSS_{F2} ۶۵ گرم بود که نسبت به سطح کودی NSS_{F0} و NSS_{F1} به ترتیب ۲۰٪ و ۳۵٪ افزایش وزن داشته است (شکل ۸). با توجه به نتایج به دست آمده وضعیت رشدی گیاه گوجه فرنگی در کلیه صفات اندازه گیری شده در سطوح کودی SS_{F2} و NSS_{F2} نسبت به سطح کودی SS_{F1} وNSS_{F1} و NSS_{F0} وSS_{F0} وضعیت مطلوبتری را نشان داد. استفاده از ترکیبات هیدروژلی کامپوزیت خاصیت نگهداری آب و عناصر غذایی به صورت طولانی مدت در خاک حفظ گردیده، نوسانات رطوبتی خاک کاهش یافته و موجب افزایش رشد گیاه خواهد شد(Bokharaei 2023). در مطالعه ای که سلیمی و همکاران(۱۴۰۰) بر روی گیاه گوجه فرنگی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از کودهای کند رها بر بسیاری از صفات رشدی گیاه گوجه فرنگی اثر مثبت و معنی داری داشته است. علت افزایش رشد طولی ساقه و وزن اندام هوایی را مربوط به خاصیت جذب بالای آب در هیدروژل بیان کردند. Mahgoub(2020) اثر بخشی هیدروژل را بر رشد گیاه گوجه فرنگی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه از دو سطح کودی هیدروژل به علاوه نصف کود شیمیایی N-P-K استفاده گردید (HG1=2+0/5 g و HG2=4+0/5 g.)، نتایج نشان داد تیمارهای کودی ۴ و ۲ گرم هیدروژل بر تعداد شاخه‌های گیاه، طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و ساقه و تعداد میوه نسبت به تیمار شاهد تاثیر مثبت، معنی دار و روند افزایشی را به دنبال داشته است.



شکل ۸- نمودار مقایسه میانگین اثرسطح کودی و شوری خاک بر برخی صفات رویشی گیاه گوجه فرنگی در سطح ۵ درصد معنی داری

نتایج مقایسه میانگین اثر سطح کود و خاک بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی نشان داد شکل(۹) که بیشترین مقدار جذب عناصر غذایی در سطوح کودی F_2 و F_1 هیدروژل نسبت به تیمار F_0 به دست آمد. در تیمار خاک شور، غلظت نیتروژن در سطوح کودی F1،F0 و F2 به ترتیب برابر با ۱/۷٪، ۲/۲٪ و ۳٪ ، غلظت فسفر ۰/۲٪، ۰/۳۵٪ و ۰/۶٪ و غلظت پتاسیم ۲/۸٪، ۴٪ و ۵/۳٪ اندازه‌گیری شد. به طور کلی، غلظت نیتروژن در سطح کودی F2 نسبت به F0، حدود ۱,۳٪، غلظت فسفر حدود ۰/۴٪ و غلظت پتاسیم در سطح کودی F2 نسبت به F0، حدود ۲,۵٪ افزایش را نشان می‌دهد.در حالیکه غلظت جذب عناصر در تیمار خاک غیر شور برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی در سطح کودی F_2 نسبت به سطح کودی F_1 و F_0 به ترتیب ۰/۵، ۱/۵ درصد برای نیتروژن، ۰/۲، ۰/۳ درصد برای فسفر، ۱/۶و ۲/۶ درصد برای پتاسیم افزایش داشته است. نتایج نشان می‌دهد که در خاک غیرشور درصد جذب عناصر N-P-K در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی به طور معنی دار افزایش یافته است. هیدروژل‌هایی که حاوی کود هستند و آب را بصورت تنظیم شده رها می‌کنند باعث توزیع سطح کودی در طول زمان می‌شوند. بنابراین مواد مغذی برای طولانی‌ترین دوره زمانی در دسترس گیاه خواهد بود (Abobatta, 2018).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سطح کود و شوری خاک بر غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی در سطح ۵ درصد معنی داری

تاثیر هیدروژل کودی سنتز شده بر خصوصیات شیمیایی خاک پس از برداشت محصول

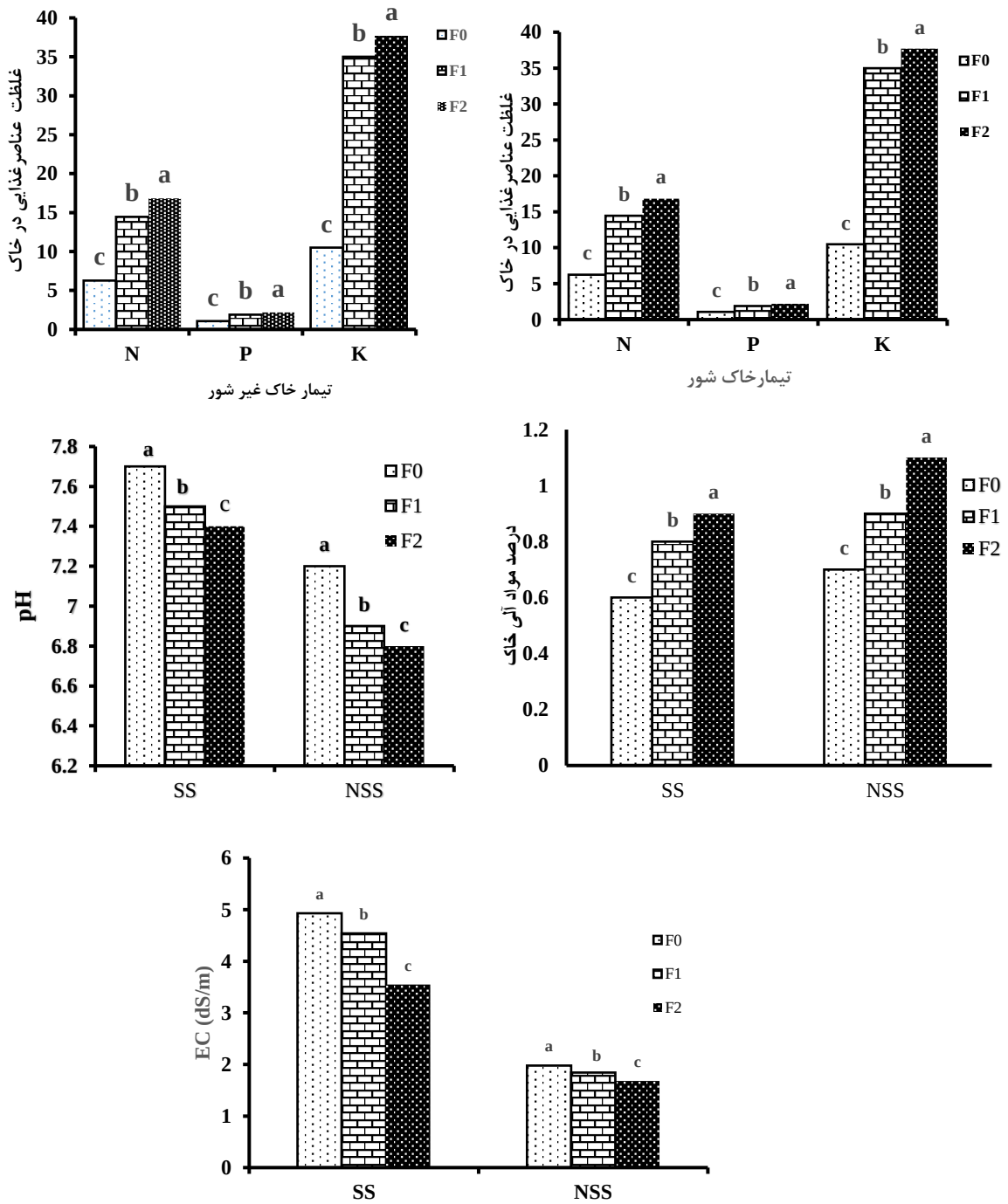
نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین خصوصیات شیمیایی خاک‌های پس از برداشت گیاه به ترتیب در جدول ۴ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. pH خاک بر تغییرات شیمیایی خاک و درصد جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاهان تاثیر می‌گذارد. در این مطالعه تیمارهای SS و NSS در هر دو سطح کودی F_1 و F_2 به صورت جزئی کاهش pH را نشان دادند. جدا شدن H^+ از هیدروژل باعث افزایش بار منفی در سطح و خنثی شدن محل‌های تبادل کاتیونی و افزایش اسیدیته خاک می‌شود. هرچه هیدروژل مدت زمان طولانی‌تری در خاک بماند pH خاک بیشتر کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار هیدروژل pH خاک بین ۰/۱۸– ۰/۸ واحد در ناحیه ریشه گیاهان متغیر می‌باشد (El-Saied 2016 and Rajakumar et al.,2016). pH اولیه خاک شور ۷/۷ و pH اولیه خاک غیرشور۷ بود. در تیمارSS و NSS، pH در سطح کودیF_2 نسبت به سطح کودیF_1 وF_0 کاهش بیشتری داشته است. کاهش pH در سطح کودی، SS_{F2} ، SS_{F1}و SS_{F0} خاک شور با توجه به pH اولیه خاک به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۱۲ و ۰/۰۴ درصد بود. این کاهش pH می تواند ناشی از حفظ رطوبت متفاوت در خاک باشد. در مطالعات مشابهی که توسط Wael et al.,(2015). و Ali et al., (2021) انجام شده است تایید کننده کاهش جزئی pH با استفاده از هیدروژل می‌باشد. هیدروژل‌ها از طریق کاهش pH دسترسی به مواد مغذی، افزایش مواد آلی، خواص شیمیایی و وضعیت تغذیه ای گیاه را بهبود می‌بخشند. Roy et al., (2019) گزارش دادند که کاربرد هیدروژل باعث افزایش رطوبت لایه سطحی خاک، جذب بهتر مواد غذایی و افزایش ۲۲٪ جوانه زنی گندم در مقایسه با کشت بدون هیدروژل گردید. استفاده از ۵ kg/h هیدروژل به طور قابل توجهی رطوبت خاک را در اعماق مختلف (۳۰cm–۴۵، ۱۵–۳۰، ۰–۱۵) در تمامی مراحل رشد افزایش داده و باعث جذب بهتر عناصر غذایی گردید (Dass et al.,2013; Saini et al., 2018). در مطالعه مشابهی که فو و همکاران(۲۰۲۳) بر روی گیاه ذرت در خاک های متاثر از نمک با استفاده از ترکیبات کودی کربوکسی متیل سلولز انجام داده بودند،گزارش دادند که رطوبت خاک، مواد آلی خاک، نیتروژن معدنی، میزان فسفر و پتاسیم خاک افزایش و شوری خاک کاهش یافته و منجر به افزایش عملکرد ذرت به میزان ۲۱/۲۹٪ شد. تأثیر تیمار های کودی بر میزان ماده آلی خاک در هر دو خاک شور و غیرشور نشان داد که مقدار ماده آلی خاک نسبت به مقدار اولیه در خاک شور در سطح کودی۰٪ ، ۱٪ و ۲٪ هیدروژل کاربردی به ترتیب ۱۲٪، ۱۸٪ ، ۴۲٪ و در خاک غیرشور نیز به ترتیب ۱۶٪، ۲۶٪ و ۶۶٪ درصد افزایش مواد آلی را نشان داد (شکل ۹). این افزایش محتوای مواد آلی خاک ممکن است به دلیل در دسترس بودن رطوبت بهینه در خاک برای رشد خوب، افزایش فعالیت میکروبی و در نتیجه افزایش تخریب مواد آلی باشد. نتایج به دست آمده از این مطالعه با نتایج Ali et al.,2021 و El-Hady Abo-Sedera (2006) مطابقت دارد.

جدول۴- نتایج تجزیه واریانس اثر سطح کود و شوری خاک بر خصوصیات شیمیایی خاک پس از برداشت گیاه گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن (٪)	فسفر (mq/l)	پتاسیم (mq/l)	کلسیم (mq/l)	منیزیم (mq/l)	سدیم (mq/l)	موادآلی (٪)	pH -	EC dS/m
سطح کود	۲	۰/۷۲۸	۱/۸۰۵	۰/۹۳۴	۱/۱۴۵	۰/۲۴	۱۹۴/۷۸	۰/۹۸	۰/۷	۳/۶۹
شوری خاک	۱	۰/۲۴۳^{ns}	۱۴۴۴/۱۴*	۱۸۴/۳۹*	۱۵۴/۴*	۳۶/۹۴*	۲۳۴/۵*	۱/۰۱*	۲۹/۹۴*	۹/۲۳*
سطح کود* شوری خاک	۲	۰/۸۲۶^{ns}	۰/۸۲۳^{ns}	۳/۳۵۷^{ns}	۱۶/۹۷^{ns}	۳/۵۶^{ns}	۱۰/۲۱^{ns}	۰/۷۳^{ns}	۰/۸^{ns}	۰/۳۹^{ns}
	۱۲	۰/۲۶	۷۴/۴۸	۱۷/۶۳	۱۵/۹	۳/۲۹	۱۲۹/۹۴	۰/۳۱۹	۳/۸۸	۱/۲۹
خطا	–	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۵۵
CV(%)										

ns و **و * به ترتیب عدم اختلاف معنی دار ومعنی دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

از نتایج قابل توجه در خصوص کاربرد کود هیدروژلی در هر دو خاک شور و غیرشور کاهش شوری خاک بود (شکل ۹). نتایج نشان داد که در تیمار های خاک شور در سطوح کودی F0, F1 و F2 میزان شوری خاک به ترتیب میزان۱ ، ۱/۵ و ۲/۵ dS/m کاهش یافته است (شکل ۹). در تیمار های خاک غیرشور این میزان تغییر در شوری خاک اتفاق نیفتاد. بطوریکه در سطوح کودی F0, F1 و F2 میزان شوری خاک به ترتیب میزان ۰/۲ dS/m ، ۰/۴ و ۰/۵ کاهش نشان داد. زمانی که هیدروژل در خاک استفاده شود یک توده ژلاتینی هیدراته بی‌شکل تشکیل می‌شود که باعث جذب و دفع آب در مدت زمان طولانی می‌شود. در نتیجه به عنوان یک منبع آهسته رهش آب در خاک عمل می‌کند که اندازه گرانول هیدروژل، رطوبت زمینه ای خاک ، درجه اتصالات عرضی و حلالیت از جمله عوامل فعالی هستند که روی رهاسازی مواد مغذی موجود در هیدروژل تاثیرگذار می‌باشند (Mahgoub., 2020). هیدروژل‌ها می‌توانند با افزایش احتباس آب و بهبود بالقوه در دسترس بودن مواد مغذی، در کاهش اثرات منفی شوری خاک بر رشد گیاه مفید باشند. آن‌ها همچنین می‌توانند به کاهش غلظت نمک‌های مضر در محلول خاک و اطراف ریشه‌های گیاه کمک کنند. با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک‌ها و تنظیم منابع آب موجود برای گیاهان، به ویژه در محیط‌های خشک، رشد و استقرار گیاهچه را بهبود بخشند. با این حال، اثربخشی هیدروژل‌ها می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند ترکیب هیدروژل، سطح شوری و نوع خاک قرار گیرد(Khizra Ali., 2024). در مطالعه ای که Chen et al.,2004 بر روی گیاه Populus euphratica در خاک شور انجام دادند تجزیه و تحلیل یون‌های موجود در بافت و سلول‌ها نشان داد که بهبود رشد گیاه ناشی از افزایش توانایی دفع نمک و جذب بیشتر کلسیم (Ca^{2+}) است. اسکن میکروسکوپی با پرتو ایکس از بخش‌های ریشه نشان داد که حضور هیدروژل، مانع از عبور یون‌های (Na^+) از طریق فضای بین سلولی (آپوپلاست) در ریشه‌های جوان و پیر شد، و همچنین مانع عبور (Cl^-)کلرید در بخش‌های بیرونی سلول‌ها (آپوپلاست و سیتوپلاسم) شد. در حالی که اجازه می‌داد (Cl^-)در واکوئل‌های بخش قشری ریشه‌های جوان و پیر جمع شود. در مجموع افزودن هیدروژل به خاک شور، کیفیت محلول خاک را با کاهش سطح نمک و غنی‌سازی جذب Ca^{2+} بهبود می‌بخشد، که این خاصیت هیدروژل به دلیل ظرفیت مبادله کاتیونی آن است. در نتیجه، تجمع ریشه‌ها در نزدیکی هیدروژل، تماس بهتر ریشه‌ها با منبع Ca^{2+} و کاهش تماس آنها با Na^+ و Cl^-، نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه نسبت به شوری دارد. Shaoliang Chenet al.,2003 مطالعه ای مقایسه ای میان گیاهان کشت شده در محیط های شور انجام دادند. نتایج نشان داد که زیست توده گیاهان رشد یافته در خاک شور کمتر از گیاهان تیمار شده با هیدروژل (نمک + هیدروژل) بود.زیست توده گیاهان رشد یافته در خاک شور اصلاح شده با هیدروژل ۲/۷ برابر بیشتر از گیاهان رشد یافته در خاک بدون هیدروژل بود. همچنین وزن خشک برگ، ساقه و ریشه همگی با افزودن هیدروژل به خاک شور به طور قابل توجهی بهبود یافتند.



شکل ۱۰- نمودار مقایسه میانگین اثر سطح کود و شوری خاک بر برخی خصوصیات شیمیایی و غلظت عناصر غذایی در سطح ۵ درصد معنی داری

ارزیابی اقتصادی و بر آورد هزینه ها

ارزیابی و توجیه اقتصادی در خصوص سنتز کودهای هیدروژلی در مقایسه با کودهای شیمیایی معمول مستلزم محاسبه و اندازه‌گیری مواد اولیه مورد استفاده در سنتز کودها، عملکرد میوه (کل و قابل فروش)، محاسبه هزینه‌های تولید و تعیین درآمد بر اساس قیمت‌های بازار می‌باشد. البته بایستی به این نکته توجه نمود که بدون محاسبه هزینه‌های تولید، فرآوری و نیروی کار برای تولید هیدروژل و کودهای شیمیایی و همچنین مزایای کیفی و

کمی استفاده از هیدروژل (مانند کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد و کاهش مصرف کود) نمی توان تحلیل دقیقی از سودآوری کلی به دست آورد. بنابراین جهت سنتز کودهای هیدروژلی کند رها نیاز به مطالعات بیشتر و استفاده از مواد اولیه ارزانتر می‌تواند در کاهش هزینه های تولید موثر باشد. تحقیقات در زمینه استفاده از مواد اولیه ارزان‌تر و بهینه‌سازی فرآیند تولید کود هیدروژلی با هدف کاهش هزینه‌های تولید در حال انجام است. انتظار می‌رود که با دستیابی به این اهداف، استفاده از کودهای هیدروژلی به یک گزینه اقتصادی و جذاب برای کشاورزان تبدیل شود. شایان ذکر است که نتایج اولیه این مطالعه نشان داد که استفاده از کودهای هیدروژلی کندرها، با توجه به مزایایی مانند کاهش شوری خاک و بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه، پتانسیل بالایی برای افزایش سودآوری در مقایسه با کودهای شیمیایی معمول دارد.

نتیجه گیری

بحران شوری و قلیایی شدن خاک یک چالش مهم برای توسعه کشاورزی جهانی است. هیدروژل‌های جدید سازگار با محیط زیست قابلیت‌های بسیار خوبی در حفظ آب و آزادسازی آهسته عناصر غذایی در بهبود کشاورزی نشان داده‌اند. با افزودن هیدروژل به خاک خواص شیمیایی خاک بهبود یافته و باعث افزایش پارامترهای رشد گوجه فرنگی، افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه، کاهش pH خاک، افزایش دسترسی به مواد مغذی و کاهش دفعات کوددهی گردید. بیشترین مقدار جذب عناصر غذایی در سطوح کودی F_2 و F_1 هیدروژل نسبت به تیمار F_0 به دست آمد. در تیمار خاک شور، غلظت نیتروژن در سطوح کودی F1،F0 و F2 به ترتیب برابر با ۱/۷٪، ۲/۲٪ و ۳٪ ، غلظت فسفر ۰/۲٪، ۰/۳۵٪ و ۰/۶٪ و غلظت پتاسیم ۲/۸٪، ۴٪ و ۵/۳٪ اندازه‌گیری شد. در حالیکه غلظت جذب عناصر در تیمار خاک غیرشور برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی در سطح کودی F_2 نسبت به سطح کودی F_1 و F_0 به ترتیب ۰/۵، ۱/۵ درصد برای نیتروژن، ۰/۲، ۰/۳ درصد برای فسفر، ۱/۶و ۲/۶ درصد برای پتاسیم افزایش داشته است. نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر توانایی هیدروژل سنتز شده در حفظ و نگهداری آب، عناصر غذایی و رهایش آرام عناصر غذایی طی دوره رشد می‌باشد. اثر هیدروژل مصرفی باعث افزایش معنی‌داری در میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک نسبت به خاک شاهد شد. بیشترین میزان جذب عناصر غذایی در گیاه گوجه فرنگی در سطوح کود هیدروژل ۲ درصد نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. بنابراین گیاه دارای مواد مغذی کافی برای رشد و نمو در تمام مراحل رشد است که استفاده از عناصر غذایی را در مقایسه با کودهای رایج کارآمدتر می‌کند.نتیجه کلی اینکه وضعیت رشدی گیاه گوجه فرنگی در کلیه صفات اندازه گیری شده در سطوح کودی SS_{F2} و NSS_{F2} نسبت به سطح کودی SS_{F1} و NSS_{F1} و NSS_{F0} و SS_{F0} وضعیت مطلوبتری را نشان داد. مواد پلیمری هیدروژل هیدروفیل به عنوان حامل عمل می‌کنند و رهاسازی مواد مغذی را تنظیم می‌کنند و در کاهش تلفات ناخواسته کود و افزایش راندمان مصرف کود مفید هستند. افزودن هیدروژل به خاک شور، کیفیت محلول خاک را با کاهش سطح نمک و غنی‌سازی جذب Ca^{2+} بهبود می‌بخشد. این خاصیت هیدروژل مربوط به ظرفیت تبادل کاتیونی، تجمع ریشه‌ها در نزدیکی هیدروژل، تماس بهتر ریشه‌ها با منبع Ca^{2+} و کاهش تماس آنها با Na^+ و Cl^- و افزایش مقاومت گیاه نسبت به شوری می شود. با این حال،هزینه سنتز هیدروژل های کودی بالا بوده و از نظر اقتصادی، همیشه بار مالی کشاورز را افزایش می‌دهند، بنابراین با توجه به اینکه هزینه مواد اولیه ساخت کودهای هیدروژلی کندرها بالا می‌باشد فقط می توان در محصولات با ارزش بالا که در زیر سازه‌های محافظت شده مانند سایه بان‌ها یا خانه های سبز کشت می‌شوند استفاده شوند.

تشکر و قدر دانی

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز (پژوهانه شماره SCU.AS1402.692) به خاطر پشتیبانی مالی تشکر و سپاسگزاری می شود.

فهرست منابع

۱. اولاد، ع و ذبحی، ح. ۱۳۹۵. سنتز هیدروژل نانوکامپوزیتی ثعلب- گرافت- آکریلیک اسید/ مونت موری لونیت و بررسی رفتار جذب آب آن. نخستین سمینار شیمی کاربردی ایران (IACS). ۱-۲ شهریور ۱۳۹۵.

۲. بحرینی زاده، ا.، بهروزی،م.، و نزاکتی،ل. ۱۴۰۲. عوارض استفاده از کودهای شیمیایی و حشره کش ها بر سلامت انسان- ضررهای یک ماده مفید. مجله بهورز. ۳۴(۱۱۹):۴۶-۴۰.

۳. پرستگاری،م. فولادگر،م.۱۳۹۶.طیف سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس(EDS). فصلنامه علمی، سال اول، شماره ۲،ص:۱۹-۱۳.

۴. جامی، م،ق.، قلاوند،ا.، مدرس ثانوی، س،ع،م.، مختصی بیدگلی،ع.، باغبانی آرانی،ا.، نامداری،ا.، ۱۳۹۸. واکنش صفات رویشی و کیفی دانه آفتابگردان به منابع مختلف نیتروژن(کودآلی و شیمیایی) و زئولیت تحت رژیم های مختلف آبیاری. مجله تنش های محیطی در علوم زراعی:۱۲(۱): ص ۱۵۲-۱۴۱. http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.1297.1265

۵. سلیمی،م.، معتمدی،ا.، متشرع زاده، ب.، داودی،د.، علیخانی،ح.، میرسیدحسینی،ح. ۱۴۰۰. تولید کود اوره کندرها با استفاده از پوشش نانو کامپوزیت پلیمری بر پایه نشاسته و بررسی اثرات آن بر رشد گیاه گوجه فرنگی (Lycopersicon esculentum L .) مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۲):ص ۳۱۲-۳۰۱.

۶. صدیقی،ح.، شایسته،ک.، ارجمند،م. ۱۴۰۲. مروری بر کودهای کندرهش از منظر زیست محیطی و اقتصاد و آینده آن در ایران و جهان. مجله پژوهش های علوم کشاورزی پایدار. ۳(۲):۶۸-۵۱.

۷. عابدی،م.، احمدوند،ر. ۱۳۹۸. نشریه فنی آشنایی با آفات و بیماری های گوجه فرنگی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.

۸. فیاضی،م.۱۴۰۲. کنترل رهاسازی کودهای پرمصرف ازت، فسفر و پتاسیم با استفاده از هیدروژل های مبتنی بر نانوساختار رسی سپیولایت و نشاسته. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی، انجمن علمی بهداشت محیط ایران. دوره شانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۶۵۳-۶۶۸

۹. محمدی، ی.خ. و موحدی راد، س. ۱۳۹۷. تولید آزمایشگاهی کود پوشش دار آهسته رهش با استفاده از مواد زیست تخریب پذیر در یک بستر سیال. نشریه علمی پژوهشی شیمی و مهندسی شیمی ایران. (۳): ۱۲۴-۱۱۹.

۱۰. ماهانی،ا،ا. ۱۴۰۳. کامپوزیت پلیمرهای زیست تخریب پذیر و نانوذرات در هیدروژل ها: بررسی و عملکرد آنها. مجله علوم و صنایع غذایی ایران:شماره ۱۴۹،دوره ۲۱،ص ۱۵۸-۱۴۰.

۱۱. 11-یزدانی ،ف. چرم ،م. جواهریان، م. ۱۴۰۳. ساخت و شناسایی هیدروژل کامپوزیت بر پایه کربوکسی متیل سلولز و بتاسیکلودکسترین، اصلاح شده با آدیپک اسید و بررسی رفتار جذبی آن در محیط های شور و اسیدیته متفاوت. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. کد مقاله JIPST-2408-2343 (R2) .

12. 12-Abobatta, W. (2018). Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. Adv. Agric. Environ. Sci. Open Access, 1: 163–172

13. 13-Abdeen, Sa., hefni,H., Awadallah-F,A., and Abd El-Rahman,N.(2023). The Synergistic Effect of Biochar and Poly(2-ethyl-2- oxazoline)/poly(2-hydroxyethylmethacarylate)/Chitosan) Hydrogels on Saline Soil Properties and Carrot Productivity. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2409982/v1.

14. 14-Ali, A., A. Malik, R. Kausar, M.I. Akram and M. Akmal. 2021. Effects of hydrogels on citrus yield and soil physico-chemical properties in rainfed area of district Attock. Soil Environ. 40(2): 157-164. Bortolin, A., Aouada, F.A., Mattoso,

L.H.C., and Ribeiro, C. (2013) Nanocomposite PAAm/Methyl Cellulose/Montmorillonite Hydrogel: Evidence of Synergistic Effects for the Slow Release of Fertilizers Agricultural and Food Chemistry, 61, 7431−7439.

15. 15-Ali,K.;Asad,Z.;Agbna,G.H.D.;Saud,A.;Khan,A.;Zaidi,S.J.Progress and Innovationsin Hydrogels for Sustainable Agriculture. Agronomy 2024, 14,2815. https://doi.org/10.3390/agronomy14122815.
16. 15-Bai H., Zhang Q., He T., Zheng G., Zhang G., Zheng L., and Ma S., Adsorption Dynamics, Diffusion and Isotherm Models of Poly(NIPAm/LMSH) Nanocomposite Hydrogels for the Removal of Anionic Dye Amaranth from an Aqueous Solution, Appl. Clay Sci., 124-125, 157-166, 2016.
17. 16-Bokharaei,S.N.,Moteshrezedeh., Etesami.,H.Motamedi.,E.2021. Effect of hydrogel composite reinforced with natural char nanoparticles on improvement of soil biological properties and the growth of water deficit-stressed tomato plant. EcotoxicologyandEnvironmentalSafety223(2021)112576. journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecoenv.
18. 17-Bortolin, A., Aouada, F.A., Mattoso, L.H.C., and Ribeiro, C. (2013) Nanocomposite PAAm/Methyl Cellulose/Montmorillonite Hydrogel: Evidence of Synergistic Effects for the Slow Release of Fertilizers Agricultural and Food Chemistry, 61, 7431−7439.
19. 18-Chapman H.D., and Pratt P.E. 1982. Methods of analysis for soil plants and waters, University of California publ. No. 4034. Berkely.
20. 19-Chen C., Gao Z., Qiu X., & Hu S. 2013. Enhance-ment of the controlled-release properties of chitosan membranes by crosslinking with suberoyl chloride.Molecules, 18(6), 7239–7252.
21. 20-Chen, SH., Zommorodi,M., Fritz,E., Wang,SH and Huttermann,A.2004. Hydrogel modified uptake of salt ions and calcium in Populus euphratica under saline conditions. College of Biological Sciences and Technology,Beijing Forestry University. DOI: 10.1007/s00468-003-0267-x
22. 20-Dass, A., Singh, A. and Rana, K. S. 2013. In-situ moisture conservation and nutrient management practices in fodder-sorghum (Sorghum bicolor). Annals of Agricultural Research. 34(3): 254–259.
23. 21-Dehkordi, D. K. and S. Seyyedboveir (2013). Evaluation of super AB A 200 Superabsorbent on water use efficiency and yield response factor of SCKaroun 701 corn under deficit irrigation. Adv. Environ. Biol., 4615–4623.
24. 22-El-Hady, O.A. and S.A. Abo-Sedera. 2006. Conditioning effect of composts and acrylamide hydrogels on a sandy calcareous soil. II-Physico-bio-chemical properties of the soil. International Journal of Agriculture and Biology 8(6): 876-884.
25. 23-El-Saied Houssni, Omar A., El-Hady b., Altaf H., Basta a., Camilia Y., El-Dewiny b, Salah A. Abo-Sedera 2016. Bio-chemical properties of sandy calcareous soil treated with rice straw-based hydrogels. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 15: 188–194.
26. 24-FU, X., WU,X., Wang,H., Chen, Y., Wang,R., Wang, Y.2023. Effects of fertigation with carboxymethyl cellulose potassium on water conservation, salt suppression, and maize growth in salt-affected soil. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108436.
27. 25-Guan, Y., C. Song, Y. Gan, and F.M. Li. 2014. Increased maize yield using slow-release attapulgite-coated fertilizers. Agronomy for Sustainable Development, 34: 657–665.
28. 26-Hakim, F., Trinurani Sofyan, E., Sudirja, R., Joy,B., Yuniarti,A and Herdiyantoro, D. The Application of Slow Release NPK Fertilizer on Inceptisols to Changes of Soil Chemical Properties and Growth of Sweet Corn (Zea mays L. saccharata). International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology Vol-7, Issue-3; May-Jun, 2022. DOI: 10.22161/ijeab.
29. 27- Hernández-Pérez, O. I., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejacal, I., Cartmill, A.D., and Cartmill, D.L. 2020. Tomato fruit yield, quality, and nutrient status in response

to potassium: calcium balance and electrical conductivity in the nutrient solution. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20(2), 27 484–492. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00133-9.

30. 28- Giannakoula, A. E., and Ilias, I. F. 2013. The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (Lycopersicon esculentum Mill). Archives of Biological Sciences, 65(2), 611–620. https://doi.org/10.2298/ABS1302611G.
31. 27-MengdiMa, M., Mukerabigwi, J.F., Huang, R., Lei, Sh., Huang, X., and Cao, y.2020. Eco-Friendly Superabsorbent Synthesis Based on Polysaccharides. Journal of Polymers and the Environment (2020) 28:2801–2809. https://doi.org/10.1007/s10924-020-01802-y.
32. 28-Motamedi, E., Motesharezedeh, B., Shirinfekr, A. & Samar, S. M. Synthesis and swelling behavior of environmentally friendly starch-based superabsorbent hydrogels reinforced with natural char nano/micro particles. J. Environ. Chem. Eng. 8, 103583. https:// doi. org/ 10. 1016/j. jece. 2019. 103583 (2020).
33. 29-Mesias. V., Bernadette Agu.A., Japheth Benablo.P., Chun-Hu. C. and Penaloza Jr.D.2019. Coated NPK Fertilizer Based on Citric Acid-Crosslinked Chitosan/Alginate Encapsulant Journal of Ecological Engineering. Vol .20, No (11), pp 1-12. https://doi.org/10.12911/22998993/113418.
34. 30-Mahgoub,N. 2020. Effectiveness of Hydrogel Application on Tomato (Solanum lycopersicum L.) Growth and some Sandy Soil Chemical Properties under Drip Irrigation System. Journal of Soil & Water Sciences; Suez Canal University, 2020. Volume 5 (1): 49-54 .
35. 31-Natkański P., Białas A. and Kuśtrowski P., 2012. The synthesis of poly(acrylic acid)-bentonite and polyacryl-amide-bentonite composites for adsorption applications," Chemik, Vol. 66, No. 7, pp. 742-749.
36. 32-.Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean C.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agricultur Circular. No. 939,19(1945).
37. 33-Ramli ,R.A. Slow release fertilizer hydrogels: a review. Polymer Chemistry. 2019;10(45):6073-90.
38. 34-Roy, T., Suresh Kumar, Lekh Chand, Kadam, D. M., Bankey Bihari, Shrimali, S. S., Rajesh Bishnoi, Maurya, U. K., Madan Singh, Muruganandam, M., Lakhan Singh, Sharma, S. K., Rakesh Kumar and Anil Mallik, 2019. Impact of Pusa hydrogel application on yield and productivity of rainfed wheat in North West Himalayan region. Current Science. 116(7) : 1246-1251.
39. 35-Rajakumar.,R. and Sankar.,s.2016. Hydrogel: Novel Soil Conditioner and Safer Delivery Vehicle for Fertilizers and Agrochemicals – A Review. International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA) Volume 02, Issue 09, [September- 2016] e-ISSN: 2394-5532, p-ISSN: 2394-823X
40. 36-Shaviv.A.2001.Advances in controlled-release fertilizers, Advances in Agronomy, vol. 71, pp. 1–49.
41. 37- Shrivastava,P., Kumar,R.2014. Soil salinity:Aserious environmental issue And plant growth promoting bacteria as oneOf the tools foritsall eviation. DepartmentofEnvironmentalMicrobiology,BabasahebBhimraoAmbedkarUniversity (ACentralUniversity),Lucknow,Uttar Pradesh226025,India.. http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001.
42. 37-Saini .A.K., and Mulve.,s. 2023.Impact of Hydrogel on Agriculture - A review. DOI No:http://doi.org/10.53550/EEC.2023.v29i01s. https://www.researchgate.net/publication/368488821.
43. 38-Saini, A.K., Patel, A.M., Chaudhary P. P. and Saini, L.H. 2018. Impact assessment of irrigation, fertility and hydrogel levels on growth attributes, yield and economics of summer pearl millet (Pennisetum glaucum L.) under North Gujarat. Journal of Pharm. Phytochem. 7(2): 2914-2918.

44. 39- Saito, T., Ariizumi, T., Okabe, Y., Asamizu, E., Hiwasa-Tanase, K., Fukuda, N., Mizoguchi, T.,Yamazaki, Y., Aoki, K., and Ezura, H. 2011. TOMATOMA: A novel tomato mutant database distributing micro-tom mutant collections. Plant and Cell Physiology, 52(2), 283–296. https://doi.org/10.1093/pcp/pcr004.
45. 39- Spaleta,k., Hayes,S., Newberry,R., Piatak,N.2020. Evaluating the Utility of Principal Component Analysis on EDS X-Ray Maps to Determine Bulk Mineralogy. DOI: 10.1111/ggr.12349
46. 39-Tyagi,V., Thakur,A.2023. Applications of biodegradable carboxymethyl cellulose-based composites. journal . homepage: www.sciencedirect.com/journal/results-in-materials https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100481.
47. 40-Tamara Perchyonok, V., Reher, V., Zhang, S., Oberholzer,T., Massey, W., and Grobler, S.R. 2014. Chitosan:Vitamin C Containing Hydrogels as a Prototype Functional Prolonged Pain Management Restorative Material In-Vitro Studies. http://dx.doi.org/10.4236/ojst.2014.48053.
48. 41-Trenke, M.E. 2010. Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture, International Fertilizer Industry Association (IFA).
49. 42-Wang L., Zhang J., and Wang A., Fast Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Adsorption onto Chitosan-g Poly(acrylic acid)/Attapulgite Composite, Desalination, 266, 33-39, 2011.
50. 43-Wael, M., Nada and O. Blumenstein, 2015. Characterization and impact of newly synthesized superabsorbent hydrogel nanocomposite on water retention characteristics of sandy soil and grass seedling growth. International Journal of Soil Science 10: 153-165.
51. 44-Xiao,M., Liu,G., Jiang,Sh., Guan, X., Chen, J., Yao,R and Wang, X.2022. BioOrganic Fertilizer Combined with Different Amendments Improves Nutrient Enhancement and Salt Leachingin Saline Soil:AsoilColumnExperiment. Water 2022, 14,4084. https://doi.org/10.3390/w14244084. https://www.mdpi.com/journal/water.
52. 45-Xiao, X., Yu, L., Xie, F., Bao, X., Lio, H., Ji, Z., and Chen, L. (2017). One-step method to prepare starch-based superabsorbent polymer for slow release of fertilizer. Chemical Engineering Journal, 309, 607- 616
53. 46-Yao, J.Houang,Y and Wang,H.2010.Controlling zeolite structures and morphologiesUsing polymer networks. Journal of Materials Chemistry. Doi:10.1039/c0jm01003k.
54. 47-Yeligbayeva.B., Moldabayeva.G Zh., Al Azzam.Kh M., Bekbayeva.L., Negim.EL S., Shalash.M., and Usman.A.2024. Synthesis, Characterization, and Applications of Anticorrosion Polyurethane Coating: The Effect of Bisphenol F. International Journal of Technology 15(5) 1258-1270 (2024). http://ijtech.eng.ui.ac.id.
55. 48-Zhao,J.;Qi,Y.;Yin,C.;Liu,X.Efects of Nitrogen Reduction at Diferent Growth Stages on MaizeWater and Nitrogen Utilization under Shallow Buried Drip Fertigated Irrigation. Agronomy 2024, 14,63.https://doi.org/10.3390/agronomy14010063.
56. 49- Zhang, P., Senge, M., and Dai, Y. 2017. Effects of salinity stress at different growth stages on tomato growth, yield, and water-use efficiency. Communications in soil science and plant analysis, 48(6), 624–634. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269803.

6/Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) Vol. 39, No 1 , 2025
DOI: 10.22092/IJSR.2025.368881.772

Effect of Biodegradable Hydrogels Fertilizer on Tomato Cultivation in Grrenhouse Saline Soil

Fatemeh Yazdany nejad[1], Mostafa Chorom[*2] and Mohammad Javaherian[3]

1- PhD Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shaid Chamran University of Ahvaz,Iran, fyazdani89@yahoo.com
2- Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shaid Chamran University of Ahvaz,Iran. Corresponding author: m.chorom@scu.ac.ir
3- Associate Professor, Department of chemistry, College of Science, Shaid Chamran University of Ahvaz,Iran javaherin@scu.ac.ir

«Research Article»
Received: March 16, 2025, and Accepted: July 22, 2025

Abstract

The use of new and environmentally friendly hydrogels can be a solution to soil salinity stress. First, a composite hydrogel of nitrogen, phosphorus, and potassium (N-P-K) fertilizers based on carboxymethyl cellulose was synthesized in the laboratory. Necessary morphological and stability tests of the synthesized hydrogel were performed, including TEM, SEM, FTIR, EDS and TGA. The release of N-P-K nutrients was investigated at different EC and pH levels over a period of 28 days. The results showed that the nutrient release curve at different pH had almost the same slope, indicating controlled release and matrix-based release. The release curve of N-P-K and the percentage of element release from the synthesized hydrogel were consistent with the international standard definition for slow-release fertilizers. To investigate the effectiveness of fertilizers in saline soil on the growth characteristics of tomato plants and some soil properties, an experiment was conducted in a randomized complete factorial design with three replications in a greenhouse. The factors studied included soil type at two levels (saline and non-saline) and slow-release fertilizer at three levels (0, 1%, and 2%).The results showed that the interaction effect of applied fertilizer level and soil salinity on some vegetative characteristics of tomato, percentage of N-P-K in tomato plant shoots, and soil characteristics were significant at the 5% level. The effect of applied hydrogel caused a significant increase in the amount of organic carbon, N, P, and K in the soil compared to the control. The highest amount of nutrient absorption in tomato plants was obtained at 2% hydrogel fertilizer levels compared to the control treatment. Therefore, the plant has sufficient nutrients for growth and development at all stages of growth, which makes the use of nutrients more efficient compared to conventional fertilizers.

Keywords: Hydrogel, Salinity stress, Slow-release fertilizer, Nutrient uptake

* - Corresponding author email: m.chorom@scu.ac.i

Cite this article: Yazdany nejad, F., Chorom, M., Javaherian,M.,2025. Effect of Biodegradable Hydrogels Fertilizer on Tomato Cultivation in Grrenhouse Saline Soil. Journal of Soil Research, 39(1), 127-151

5/Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) Vol. 39, No 1 , 2025
DOI: 10.22092/IJSR.2025.368115.766

Evaluation of the Application of Three Types of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of White Bean (*Phaseolus vulgaris*) in Hidaj Region, Zanjan Province

Edris Gavili Kilaneh*[1], Mohammad Babaakbari [2], Akbar Hassani [3], Milad Pero [4], Setareh Amanifar [5] and Asma Ahmadvand [6]

1- Ph.D. student of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan Iran.E-mail: Edris_Gavili@Yahoo.com
2- Associate professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan Iran.E-mail: Babaakbari@znu.ac.ir
3- Associate professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan Iran.E-mail: AKBAR.HASSANI@znu.ac.ir
4- Ph.D. in Food Engineering, Farhikhtegan Zarnam Industrial Research Group, Alborz Province, Hashtgerd city, Alborz Iran E-mail: M.Pero@zarholding.com
5- Associate professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan Iran.E-mail: Amanifar@znu.ac.ir
6- Ph.D. student of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan Iran.E-mail: Asma.a9344@gmail.com

«Research Article»
Received: January 01, 2025, and Accepted: July 22, 2025

Abstract

This study was conducted in the summer of 2024 in the Hidaj Region of Zanjan Province to evaluate the effects of three types of organic fertilizers on agronomic traits and yield of white bean, using a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The treatments consisted of different mixing ratios of liquid organic fertilizers derived from corn prossing, molasses, and vinasse, applied at a rate of 90 liters per hectare. The treatments ratios included: 100-0-0 (Z1), 75-25-0 (Z2), 75-0-25 (Z3), 50-25-25 (Z4), 0-100-0 (M5), 25-75-0 (M6), 0-75-25 (M7), 25-50-25 (M8), 0-0-100 (V9), 25-0-75 (V10), 0-25-75 (V11), 25-25-50 (V12), and 0-0-0 (C13, control). Among the treatments applied, treatment (Z1) increased plant height, dry weight, number of seeds per plant and grain yield by 18.1%, 17.3%, 21.3% and 25.8%, respectively, compared to the control. Also, treatment (Z2) increased plant height, dry weight, number of seeds per plant and grain yield by 16.7%, 21.6%, 19.5% and 26.1%, respectively, and treatment (M6) increased plant height, dry weight, number of seeds per plant, and grain yield by 15.8%, 18.2%, 18.9% and 21.7%, respectively, compared to the control. Considering the cost price of these three types of organic fertilizers, the economic analysis of the studied treatments showed that treatment (Z2) increased yield by 26.17% compared to the control and ultimately led to an increase in net profit equivalent to 0.801 billion rials.

Keywords: Amino acid, Pulses, Biological yield, Nitrogen, Benefit-Cost.

* - Corresponding author's email: Edris_Gavili@Yahoo.com

Cite this article: Gavili Kilaneh, E., Babaakbari, M., Hassani,A., Pero, M., Amanifar, S., Ahmadvand ,A., 2025. Evaluation of the application of three types of organic fertilizers on the yield and yield components of white bean (Phaseolus vulgaris) in the Hidaj region, Zanjan province. Journal of Soil Research, 39 (1), 103-126

4/Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) Vol. 39, No 1 , 2025
DOI: 10.22092/IJSR.2025.368579.769

Assessment of Potassium Status in Soils and Orange Orchards of Fars and Kohgiluyeh–and-Boyer-Ahmad Provinces

Safieh Khalili[1], Hamidreza Owliaie*[2], Mohammadreza Chakeralhoseini[3], and Ebrahim Adhami[4]

1- Former MSc. Student of Soil Science, Yasouj University, E-mail: safiyekhalili@yahoo.com
2- Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Yasouj, Iran., E-mail: owliaie@gmail.com
3- Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Kohgiluyeh-va-Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran. E-mail: reza.rns2007@gmail.com
4- Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Yasouj, Iran. E-mail: eadhami@gmail.com

«Research Article»

Received: February 08, 2025, and Accepted:July 16, 2025

Abstract

Potassium plays a vital role in improving both the quantity and quality of agricultural products. However, considerable amount of potassium in the soil is present in non-exchangeable and structural forms, making it less accessible for plant uptake. This study investigated the various forms of potassium in the surface and subsurface soils of orange orchards located in Fars (10 orchards) and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad (8 orchards) provinces. Additionally, it sought to identify an appropriate extractant for measuring plant-available potassium in these soils. Thus, 36 soil samples were collected from 18 orchards at two different depths. The analysis included various potassium forms, such as soluble, exchangeable, non-exchangeable, structural, and total potassium. Moreover, leaves from one-year-old branches were gathered to assess their potassium concentration. Potassium extraction was conducted using 11 different extractants, including 1M and 2M sodium chloride, 0.01M calcium chloride, Morgan, ammonium bicarbonate-DTPA, 1M ammonium acetate, 1M sodium acetate, 0.1M nitric acid, 2M hydrochloric acid, 0.025M sulfuric acid, and 1M magnesium acetate. The correlation between extracted potassium and plant uptake in orange trees was then evaluated. The findings indicated that the 2 M hydrochloric acid extractant had the highest correlation with the potassium absorbed by the plant. Furthermore, according to the soil potassium standard threshold, only three orchards in Fars and three in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad had potassium levels exceeding the critical limit. Leaf analysis also revealed that 60% of the samples from Fars orchards and 25% from Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad orchards contained potassium levels below the sufficiency threshold. Thus, in most orchards, applying potassium fertilizers is crucial for maximizing crop yield.

Keywords: Available potassium, Calcareous soil, Extractant, Citrus

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

Cite this article:Khalili, S., Owliaie, H., Chakeralhoseini, M., Adhami, E., 2025. Assessment of Potassium Status in Soils and Orange Orchards of Fars and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Provinces. Journal of Soil Research, 39(1), 75-101.

3/Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) Vol. 39, No 1 , 2025
DOI: 10.22092/IJSR.2025.369218.774

Threshold of Salinity Tolerance and Yield Reduction Slope of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) at Different Growth Stages

Mohammad Hossein Banakar*[1], Hamzeh Amiri[2], Gholam Hassan Ranjbar [3] and Mohammad Javad Babaie Zarch[4]

1- Faculty member, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran. mh_banakar@yahoo.com
2- Faculty member, Department of Biology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Khorram Abad, Iran. amiri_h_lu@yahoo.com
3- Faculty member, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran. ranjbar71@gmail.com
4- Faculty member, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran. javadbabaei67@gmail.com

«Research Article»

Received: April 28, 2025, and Accepted: July 15, 2025

Abstract

The increasing trend of salinity in water and soil resources has made it important to identify medicinal plants that are tolerant to salinity. This study was conducted in four separate experiments to evaluate the salinity tolerance of the medicinal plant fenugreek and the changes in its threshold of tolerance to salinity at different growth stages (germination, emergence, vegetative growth, reproductive growth). In the laboratory, the salinity tolerance of fenugreek was studied at ten salinity levels (control, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 $dS.m^{-1}$). In the greenhouse, the fenugreek salinity tolerance was studied at seven salinity levels (0.5, 3, 6, 9, 12, 15, 18 $dS.m^{-1}$) during the emergance stage and at seven salinity levels (0.5, 2, 4, 6, 8, 10, 12 $dS.m^{-1}$) during the vegetative and reproductive stages. The experiment was conducted in the form of randomized complete block design with three replications. In this research, some empirical models (linear, sigmoidal, exponential, and multicomponent models) were used. Results showed that the salinity tolerance of fenugreek changed during different growth stages as fenugreek had the highest tolerance at the germination stage, at which, the threshold was 20.3 $dS.m^{-1}$ and the germination reduction slope was 10.3% for the Isfahani variety. However, this tolerance gradually decreases in the later growth stages, such that fenugreek showed lower tolerance to salinity at emergance stage compared to the germination stage (the salt threshold of 4.9 $dS.m^{-1}$ with a reduction slope of 25.7%). In the vegetative growth stage, the salt tolerance of fenugreek decreased, such that its threshold was 1.3 $dS.m^{-1}$ with a yield reduction slope of 4.9%. Fenugreek showed the least tolerance to salinity at seed ripening stage, at which, the threshold of salinity tolerance was 1.30 $dS.m^{-1}$ with a yield reduction slope of 64.8%. According to nonlinear models, the corresponding salinity values at which yield is reduced by 50% (EC_{50}) for the Isfahan fenugreek population at the germination, emergence, vegetative growth and seed ripening stages were 25.8, 11.5, 11.7, and 6.5 $dS.m^{-1}$, respectively. Therefore, in areas with different qualities of water, farmers can irrigate fenugreek with saline water in the early stages of growth and gradually with higher quality water in the later stages.

Keywords: Experimental models, Salinity tolerance index, Saline water, Saline soil, Medicinal plants

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

Cite this article:Banakar, M.H., Amiri, H., Ranjbar,Gh.,2025. The threshold of salinity tolerance and the yield reduction slope of fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) at different growth stages. Journal of Soil Research, 39 (1), 53-73 .

2/Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) Vol. 39, No 1 , 2025
DOI: 10.22092/IJSR.2025.369128.775

Identifying Land Limitations Based on Assessing Their Suitability for Oilseed Plants Cultivation in the Country's Irrigated Plains

Javad Seyedmohammadi[1]* and Mirnaser Navidi[2]

1- Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; j.mohammadi@areeo.ac.ir
2- Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; n.navidi@areeo.ac.ir

«Research Article»
Received: April 27, 2025, and Accepted: July 14, 2025

Abstract

In this research, nationwide soil units in irrigated plains were identified for evaluating land suitability for irrigated cultivation of sunflower, soybean, canola, and seasame. To address this objective, existing soil survey studies across Iran were compiled, digitized, and harmonized. Using satellite imagery, land-use maps, and agro-climatic zoning data, subsequently, climatic, soil, and topographic parameters were integrated into a custom-developed software system based on the FAO land evaluation framework, i.e. employing the "parametric square root method". The results revealed that among approximately 4 million hectares (Mha) evaluated for sunflower cultivation, 158 thousand ha (Tha) were classified as S1 (highly suitable), 1.2 Mha as S2 (moderately suitable), 1.36 Mha as S3 (marginally suitable), 585 Tha as N1 (currently unsuitable), and 702 Tha as N2 (permanently unsuitable). For soybean, across 1.8 Mha, 27 Tha fell into S1, 500 Tha into S2, 548 Tha into S3, 316 Tha into N1, and 450 Tha into N2. Of the 5.5 Mha evaluated for canola, 195 Tha were S1, 1.6 Mha S2, 2.4 Mha S3, 596 Tha N1, and 804 Tha N2. For sesame, across 1.7 Mha, 23 Tha were S1, 135 Tha S2, 554 Tha S3, 460 Tha N1, and 537 Tha N2. Multivariate analysis of variance (MANOVA) confirmed the reliability of the land suitability classification. The primary limiting factors for sunflower cultivation included soil pH, texture, and especially in unsuitable classes, salinity, sodicity, calcium carbonate content, and slope. For soybean, organic carbon, climate, slope, salinity and sodicity were the key constraints. In case of canola, pH, texture, salinity, and sodicity; and for sesame, organic carbon, pH, salinity, and sodicity were the most limiting factors. The results and spatial maps generated in this study provide a robust decision-support tool for farmers, producers, and policymakers, enabling more informed planning and targeted cultivation of oilseed crops across Iran's irrigated plains.

Keywords: Land limitations, Land suitability, Sunflower, Soybean, Canola, Sesame.

*- Corresponding author's email: j.mohammadi@areeo.ac.ir

Cite this article:Seyedmohammadi, J., Navidi, M.N., 2025. Identifying Land Limitations Based on Assessing Their Suitability for Oilseed Plants Cultivation in the Country's Irrigated Plains. Journal of Soil Research,39 (1),19-51.

1/Iranian J. Soil Research (Soil and Water Sci.) Vol. 39, No 1 , 2025
DOI: 10.22092/IJSR.2025.367408.764

Incorporation of Fuzzy and Geostatistical Approaches in Soil pH Zoning in Parts of East and West Azerbaijan Provinces

Laleh Parviz*[1], Mohamad Salamat Aghbash[2] and Saba Nazarzadeh[3]

1- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University
E-mail: laleh_parviz@yahoo.com
2- B.Sc. student, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University
E-mail: msalamat@yahoo.com
3- B.Sc. student, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University
E-mail: nazarzadeh.saba36@gmail.com

«Research Article»
Received: October 22, 2024 and Accepted: June 28, 2025

Abstract

In this research, a soil pH map was prepared using the information of 53 points in the provinces of East and West Azerbaijan. The zoning map was prepared with three geostatistical approaches (kriging with sensitivity analysis of semivariogram), regression (linear and fuzzy) and a combination of the two approaches, fuzzy and kriging. In the regression approach, input layers including soil texture, digital elevation map, slope and aspect were considered. In the prepared maps, the northern parts of the study area had low pH values, and the more you move to the southwest, the pH values increased. The comparison of the approaches showed that the accuracy of the linear regression performance was low, so that the increase of the Theil's inequality coefficient from kriging and fuzzy regression to linear regression was equal to 55.5% and 27.2%, respectively. The values of the Coefficient of Residual Mass (CRM) in the two methods of kriging and fuzzy regression were very close to each other, but the value of the CRM in the combined method decreased compared to the other two methods (about 57.5%). The significance level of the LSD test at the level of one percent of the combined approach to kriging and fuzzy decreased by 63.2% and 67%, respectively, that is, the combined approach was closer to the observational data and this shows the accuracy of the combined method. The slope of the trend line on the graph of pH and height was positive in 73 randomly extracted points, indicating an increase in pH in higher areas. Preparation of soil pH zoning map can serve as a guide in determining the right place for cultivation or choosing the right plant for cultivation based on soil pH in the region.

Keywords: Fuzzy regression, Sensitivity analysis, Combined, Kriging, Semivariogram

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

Cite this article: Parviz, L., Salamat Aghbash, M., Nazarzadeh,S.,2025. Incorporation of fuzzy and geostatistical approaches in soil pH zoning in parts of East and West Azerbaijan provinces. Journal of Soil Research, 39(1), 1-17.

Contents

Subject

Incorporation of Fuzzy and Geostatistical Approaches in Soil pH Zoning in Parts of East and West Azerbaijan Provinces……...……...1
Laleh Parviz, Mohamad Salamat Aghbash, and Saba Nazarzadeh

Identifying Land Limitations Based on Assessing Their Suitability for Oilseed Plants Cultivation in the Country's Irrigated Plains…….……2
Javad Seyedmohammadi, and Mirnaser Navidi

Threshold of Salinity Tolerance and Yield Reduction Slope of Fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) at Different Growth Stages…….....3
Mohammad Hossein Banakar, Hamzeh Amiri, Gholam Hassan Ranjbar, and Mohammad Javad Babaie Zarch

Assessment of Potassium Status in Soils and Orange Orchards of Fars and Kohgiluyeh-and-Boyer-Ahmad Provinces……..….4
Safieh Khalili, Hamidreza Owliaie, Mohammadreza Chakeralhoseini, and Ebrahim Adhami

Evaluation of the Application of Three Types of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of White Bean (Phaseolus vulgaris) in Hidaj Region, Zanjan Province……5
Edris Gavili Kilaneh, Mohammad Babaakbari, Akbar Hassani, Milad Pero, Setareh Amanifar, and Asma Ahmadvand

Effect of Biodegradable Hydrogels Fertilizer on Tomato Cultivation in Grrenhouse Saline Soil…….…….6
Fatemeh Yazdany nejad, Mostafa Chorom, and Mohammad Javaherian

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

Soil and Water Research Institute Soil Science Society of Iran

Research and Soientific Journal
Iranian Journal of Soil Research

Vol. 39, No.2
2025

Manager-in–Charge: **Hadi Asadi Rahmani, PhD**
Director General, Soil and Water Research Institute
Editor-in–Chief: **Karim Shabazi, PhD**
Professor, 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
Hamid Siadat, PhD	Professor(Research), Soil and Water Research Institute
Hassan Towfighi, PhD	Associate Professor, Tehran University

English Editor: Hamid Siadat, PhD
Technical Editor: Eng. Kiana khamehchi

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

Soil and Water Research Institute

Soil Science Society of Iran

Iranian Journal of

Soil Research

(Soil and Water Sciences)

Volume 39\ No.1\ 2025

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject

Incorporation of Fuzzy and Geostatistical Approaches in Soil pH Zoning in Parts of East and West Azerbaijan Provinces……...……...1
Laleh Parviz, Mohamad Salamat Aghbash, and Saba Nazarzadeh

Identifying Land Limitations Based on Assessing Their Suitability for Oilseed Plants Cultivation in the Country's Irrigated Plains……..……2
Javad Seyedmohammadi, and Mirnaser Navidi

Threshold of Salinity Tolerance and Yield Reduction Slope of Fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) at Different Growth Stages…….....3
Mohammad Hossein Banakar, Hamzeh Amiri, Gholam Hassan Ranjbar, and Mohammad Javad Babaie Zarch

Assessment of Potassium Status in Soils and Orange Orchards of Fars and Kohgiluyeh-and-Boyer-Ahmad Provinces……..….4
Safieh Khalili, Hamidreza Owliaie, Mohammadreza Chakeralhoseini, and Ebrahim Adhami

Evaluation of the Application of Three Types of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of White Bean (Phaseolus vulgaris) in Hidaj Region, Zanjan Province……5
Edris Gavili Kilaneh, Mohammad Babaakbari, Akbar Hassani, Milad Pero, Setareh Amanifar, and Asma Ahmadvand

Effect of Biodegradable Hydrogels Fertilizer on Tomato Cultivation in Grrenhouse Saline Soil…….……6
Fatemeh Yazdany nejad, Mostafa Chorom, and Mohammad Javaherian