موسسه تحقیقات خاک و آب

انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی

پژوهش‌های خاک

http:// www.srjournal.areeo.ir

الف / جلد ۳۶ / شماره ۲ / سال ۱۴۰۱

ISSN: 2228 -7124

عنوان فهرست صفحه

بررسی اثر کود زیستی ازتوباکتر و مدیریت کود اوره توأم با کود حیوانی بر عملکرد و پروتئین گندم دیم ۱۰۹

محمدحسین سدری، ابراهیم روحی و محمدکوهسار بستانی

ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی ایران ۱۲۷

میرناصر نویدی، جواد سیدمحمدی، سیدعلیرضا سیدجلالی، علی زین الدینی، اصغر فرج نیا، غلامرضا زارعیان، نورایر تومانیان، شاهرخ فاتحی، مهناز اسکندری و بهاره دلسوز

تأثیر سطوح مختلف فسفر بر رشد، عملکرد و کارایی جذب فسفر در ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) ۱۴۷

محمدعلی خودشناس، جواد قدبیک لو و فریدون نورقلی پور

اثر برخی مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در خاک آهکی شور ۱۶۳

محمدهادی میرزاپور و فریدون نورقلی‌پور

اثر ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر برخی ویژگی‌های ریحان سبز (*Ocimum basilicum L.*) و خاک پس از برداشت ۱۷۷

مریم موسی‌پور، محمد فیضیان و زهره بوالحسنی

بررسی اجمالی وضعیت عناصر پرمصرف، شوری و کربن آلی در خاک برخی اراضی شالیزاری استان گیلان ۱۹۳

حسن شُکری واحد، ناصر دواتگر، مسعود کاوسی، شهریار بابازاده، لیلا رضایی و مریم شکوری

اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خود به‌خودی و مکانیکی درخاک‌های با بافت مختلف ۲۰۹

راضیه دریایی، سید علی اکبر موسوی، رضا قاسمی و مسعود ریاضی

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

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

نشریه علمی

پژوهش‌های خاک

جلد 36 شماره (2)

1401

صاحب امتیاز: موسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

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

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

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

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

تایپ و صفحه آرایی: **کبری علی نژاد**

تعداد انتشار در سال: **چهار شماره**

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

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

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

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

این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:

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

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

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

پایگاه سیویلیکا **www.civilica**

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

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

عنوان | فهرست | صفحه

بررسی اثر کود زیستی ازتوباکتر و مدیریت کود اوره توأم با کود حیوانی بر عملکرد و پروتئین گندم دیم 109

محمدحسین سدری، ابراهیم روحی و محمدکوهسار بستانی

ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی ایران 127

میرناصر نویدی، جواد سیدمحمدی، سیدعلیرضا سیدجلالی، علی زین الدینی، اصغر فرج نیا، غلامرضا زارعیان، نورایر تومانیان، شاهرخ فاتحی، مهناز اسکندری و بهاره دلسوز

تأثیر سطوح مختلف فسفر بر رشد، عملکرد و کارایی جذب فسفر در ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) 147

محمدعلی خودشناس، جواد قدبیک لو و فریدون نورقلی پور

اثر برخی مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در خاک آهکی شور 163

محمدهادی میرزاپور و فریدون نورقلی‌پور

اثر ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر برخی ویژگی‌های ریحان سبز (*Ocimum basilicum L.*) و خاک پس از برداشت 177

مریم موسی‌پور، محمد فیضیان و زهره بوالحسنی

بررسی اجمالی وضعیت عناصر پرمصرف، شوری و کربن آلی در خاک برخی اراضی شالیزاری استان گیلان 193

حسن شُکری واحد، ناصر دواتگر، مسعود کاوسی، شهریار بابازاده، لیلا رضایی و مریم شکوری

اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خود به‌خودی و مکانیکی درخاک‌های با بافت مختلف 209

راضیه دریایی، سید علی اکبر موسوی، رضا قاسمی و مسعود ریاضی

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

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

الف) اصول کلی

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

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

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

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

- ***مقالاتی که مبنی بر آزمایش هایی است که بیش از 3 سال از خاتمه اجرای آن گذشته است از شانس کمتری برای پذیرش برخوردار خواهد بود و نویسندگان باید علت تأخیر در نوشتن مقاله را توجیه کنند***

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوهٔ نگارش مقاله

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

جدول 1- نوع قلم و اندازه

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

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

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

عنوان مقاله

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

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

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

واژه های کلیدی:

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

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

مقدمه

باید 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 کمیّت آن ستون باشد. اگر همهٔ ارقام جدول دارای یک واحد مشترک باشند، آن واحد در عنوان اصلی جدول ذکر شود. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه شوند.

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

در این بخش نویسنده (گان) می‌توانند از اشخاص، سازمان‌ها و افراد ذیربطی که در اجرای تحقیق همکاری داشته اند، تشکر و قدر دانی نمایند. این قسمت باید کوتاه و در حدود 50 کلمه باشد.

فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:
بای بوردی و همکاران (1382) گزارش کردند...
اسمیت (2002) گزارش کرد ...
اسمیت و جونز (2002) گزارش کردند...
اسمیت و همکاران (2002) گزارش کردند...

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

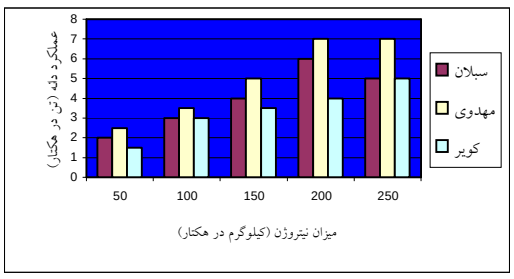
جدول نامناسب

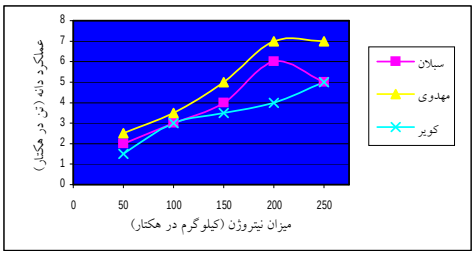
بافت	*Mge xch*	*Kavail .*	*Pava il*	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m-1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/2	0-30
لومی رسی	305	295	0/6	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	332	0/5	0/21	33	9/5	/8 7	60-90

جدول مناسب

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

نامناسب

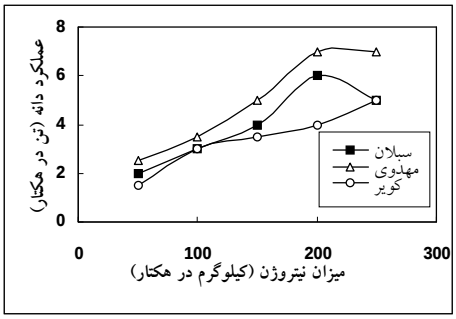




مناسب

نامناسب

مناسب



فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب ..... نویسنده مسئول مقاله زیر:

- **سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود**

موارد زیر را به آگاهی می رسانم:

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

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

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

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

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

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

دکتر رامین ایرانی پور	1 مقاله	دکتر ناصر علی اصغرزاد	1 مقاله
دکتر کامران افتخاری	2 مقاله	دکتر امیر فتوت	2 مقاله
دکتر کامبیز بازرگان	2 مقاله	دکتر مسعود کاووسی	1 مقاله
دکتر علیرضا جعفرنژادی	1 مقاله	دکتر مهرزاد مستشاری	2 مقاله
دکتر علیرضا حسین پور	1 مقاله	دکتر بابک متشرع زاده	2 مقاله
دکتر هوشنگ خسروی	1 مقاله	دکتر عزیز مجیدی	1 مقاله
دکتر علی چراتی	1 مقاله	دکتر کامران میرزاشاهی	1 مقاله
مهندس عبد المحمد دریاشناس	2 مقاله	دکتر فرهاد مشیری	3 مقاله
دکتر فرهاد رجالی	2 مقاله	دکتر محمد حسن مسیح آبادی	1 مقاله
دکتر حامد رضایی	1 مقاله	دکتر فاطمه مسکینی ویشکایی	1 مقاله
دکتر محمودرضا رمضانپور	2 مقاله	دکتر محمد حسین محمدی	1 مقاله
دکتر محمد حسن روزیطلب	1 مقاله	دکتر محمدرضا نیشابوری	1 مقاله
دکتر فریدون سرمدیان	1 مقاله	دکتر علیرضا واعظی	1 مقاله
دکتر سید علیرضا سید جلالی	1 مقاله	دکتر محمدحسن هادیزاده	1 مقاله
دکتر کریم شهبازی	1 مقاله		
دکتر آزاده صفادوست	1 مقاله		
دکتر عبدالحسین ضیائیان	2 مقاله		

بررسی اثر کود زیستی ازتوباکتر و مدیریت کود اوره، توأم با کود حیوانی بر عملکرد و پروتئین گندم دیم

محمدحسین سدری[1]، ابراهیم روحی و محمدکوهسار بستانی

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران؛ **Sedri_mh@yahoo.com**

استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران؛ **roohiebrahim@yahoo.com**

محقق بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران؛ **mkb1348@yahoo.com**

ص **109 -125**

دریافت: **1400/8/11** و پذیرش: **1401/2/21**

چکیده

به منظور بررسی اثر کود زیستی ازتوباکتر و مدیریت مصرف کود اوره توأم با کود حیوانی بر عملکرد و پروتئین گندم دیم، آزمایشی با دو سطح کود حیوانی شامل M0 (بدون کود حیوانی) و M15 (15 تن در هکتار کود حیوانی) و ده تیمار کودی با ترکیب‌های مختلف روش و زمان مصرف کود اوره و تلقیح بذر با ازتوباکتر شامل، T1 = شاهد (بدون اوره و عدم تلقیح بذر با ازتوباکتر) T2 = کل اوره در پائیز، T3 = کل اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T4 = نصف اوره در پائیز + نصف دیگر اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T5 = نصف اوره در پائیز + محلول‌پاشی 5% اوره (در مرحله پنجه‌دهی)، T6 = تلقیح بذر با ازتوباکتر، (T6 + T2)=T7، (T6 + T3)= T8، (T6 + T4)= T9و (T6 + T5)= T10 بر روی رقم گندم دیم آذر 2 در سه تکرار، به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در تناوب گندم-آیش به مدت دو سال زراعی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو (کردستان) به اجرا در آمد، نتایج مشخص نمود که اثر کود حیوانی بر عملکردهای بیولوژیک و دانه در سطح (p<0/01) و بر وزن هزار دانه (p<0/05) معنی‌دار بود. اثر تیمارهای کودی بر عملکردهای بیولوژیک و دانه و وزن هزار دانه (p<0/01) معنی‌دار بود. اثر متقابل کود حیوانی و تیمارهای کودی بر هیچکدام از خصوصیات عملکردی معنی‌دار نبود. میانگین عملکرد دانه در تیمارهای T4، T8، T3، T2، T5، T9، T7 و T10 نسبت به شاهد، به ترتیب به میزان 845، 833، 759، 755، 678، ۶۷۰،۶۵۷ و622 کیلوگرم در هکتار افزایش نشان دادند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما عملکرد دانه در تیمار ازتوباکتر، با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. اثر متقابل کود حیوانی و تیمارهای کودی بر پروتئین دانه معنی‌دار بود (p<0/05). اثر تیمارهای کودی بر پروتئین دانه فقط برای تیمار T8 معنی‌دار (p<0/05) بود. نتیجه کلی این بود که در گندم، دیم مصرف کل کود اوره در پائیز به عنوان بهترین زمان مصرف و در شرایط مصرف نصف کود اوره در پائیز، محلول‌پاشی (پنج درصد) اوره در مرحله پنجه‌دهی در بهار به عنوان تکمیل کننده تغذیه نیتروژنی، قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: کود نیتروژنی، خصوصیات کیفی گندم، زمان مصرف کود

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: سنندج، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، بخش تحقیقات خاک و آب

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum L.*)، یکی از محصولات استراتژیکی است که در کشور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. با توجه به عملکرد پائین و سطح قابل توجه مناطق تحت کشت گندم دیم ایران، ضرورت دارد راه‌کارهای لازم برای افزایش میزان محصول در واحد سطح مورد بررسی قرار گیرد. یکی از این راه-کارهای اساسی و مؤثر در ارتقای سطح تولید و بهبود خصوصیات کیفی محصولات کشاورزی، مصرف بهینه کودهای شیمیایی است. نیتروژن، یکی از مهمترین عناصر غذایی ضروری و عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی می‌باشد. کمبود مواد آلی در مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان منبع طبیعی نیتروژن مورد نیاز گیاه و تنش رطوبتی به عنوان مانع اصلی جذب نیتروژن، همواره مطرح بوده و بعد از تنش رطوبتی، تنش نیتروژنی، مهمترین عامل محدود کننده گندم دیم محسوب می‌شود (ریان و همکاران، 2008).

در مناطق دیم، عامل تعیین کننده اصلی در جذب نیتروژن، میزان بارندگی و پراکنش مناسب در مراحل مختلف رشد و نیاز گیاه به آب است به‌طوری‌که این عامل مهم، ایجاب می‌کند عملیات کشاورزی و مدیریت مزرعه و بالاخص کود دهی در این‌گونه مناطق، به نحو مطلوب و ویژه‌ای که با مناطق تحت کشت آبیاری، تفاوت اساسی دارد، انجام گیرد. در بین عناصر تغذیه‌ای، نیتروژن به دلیل نقش‌های مهم و مختلف در کنترل سیستم بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کمبود نیتروژن، از عمومی‌ترین و رایج-ترین کمبودهای عناصر غذایی در غلات دانه ریز به شمار می‌رود. کمبود نیتروژن می‌تواند باعث تجزیه فرآورده‌های کلروفیلی، رنگ پریدگی و زردی گیاه شده و فعالیت بیوشیمیایی گیاه را مختل سازد. در اکثر اراضی دیم استان کردستان و منطقه غرب کشور به علت عدم بازگشت بقایای حاصل از برداشت به زمین و همچنین سوزاندن کلش، اغلب خاک‌های کشاورزی، با فقر ماده آلی مواجه است به همین دلیل کمبود شدید نیتروژن در مزارع گندم به صورت لکه‌های رنگ پریده و نقصان رشد در اکثر مناطق مشهود بوده و همچنان به عنوان یکی از شایع‌ترین کمبودهای مهم تغذیه‌ای محدود کننده تولید گندم، مطرح است و ضروری است، که بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در مزارع گندم دیم، مصرف کود اوره به میزان 30 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در دو تقسیط (نصف در پائیز و نصف در بهار قبل از شروع اولین بارندگی بهاره) توصیه شده است (توشیح، 1376). برخی از محققین معتقدند که مصرف پائیزه کود نیتروژنی در گندم، امکان هدر رفت نیتروژن از طریق آبشویی را افزایش داده و به عنوان خطر جدی در آلودگی محیط‌زیست محسوب می‌گردد (کوهران و همکاران، 1978). عبدلمنعم و ریان (1997)، معتقدند که تلفات نیتروژن از طریق آبشویی در شرایط دیم، مشکلی محسوب نمی‌شود در صورتی‌که در شرایط آبی، تلفات نیتروژن از این طریق اصلی‌ترین مشکل کاهش و از دسترس خارج شدن نیتروژن است. فیضی اصل و همکاران (1386)، معتقدند که کاربرد پائیزه دو منبع کود نیتروژنی نیترات آمونیوم و اوره بهتر از کاربرد تقسیطی آن بوده و از بین دو کود مورد آزمایش، کود اوره نسبت به کود نیترات آمونیوم، به لحاظ عملکرد دانه، کارایی استفاده از نیتروژن و درصد پروتئین دانه را ارجح‌تر دانسته اند.

فیضی اصل و همکاران (1386)، بر اساس نتایج آزمایش چند ساله، در شرایط مناطق دیم مراغه، قاملو و زنجان، برای دستیابی به حداکثر 95 درصد عملکرد دانه، نیاز نیتروژنی گندم دیم آذر2 را به ترتیب 65، 75 و 55 کیلوگرم در هکتار از منبع اوره یا نیترات آمونیوم اعلام کردند و تأکید نمودند که این مقادیر، تماماً در پائیز همزمان با کاشت و بدون اختلاط با بذر مصرف شود. آبرول (1990)، معتقد است محلول‌پاشی اوره، به عنوان مکملی برای مصرف این کود در خاک، محسوب می‌شود و اعلام کرد که محلول‌پاشی اوره در مراحل قبل از گرده - افشانی گندم، می‌تواند نیازهای نیتروژنی سنبله گندم، را

بدون ایجاد ورس، تأمین نماید و باعث افزایش تعداد سنبلچه‌های بارور در سنبله گردد. توشیح (1381)، بر اساس نتایج تحقیقات انجام گرفته در کردستان مشخص نمود که محلول‌پاشی اوره با غلظت 10 درصد در مرحله پنجه‌دهی بر روی گندم رقم سرداری می‌تواند جایگزین خوبی برای روش معمول کود دهی سرک بهاره می‌باشد (احمد و کیبرت، 2014). یکی از مناسب‌ترین و مفیدترین راهکارها برای کمک به بهبود وضعیت نغذیه‌ای گیاه، استفاده از فنآوری زیستی و ترکیبات غیرآلاینده محیط زیست، به ویژه باکتری‌های تولیدکننده محرک‌های رشد گیاهی است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR)[1] قادرند در طول فصل رشد گیاه، با استفاده از مکانیسم‌های مختلف، در یک یا چند مرحله شاخص‌های مختلف، رشد را بهبود بخشیده و در نهایت، موجب افزایش کمی و کیفی عملکرد در گیاهان مختلف از جمله گندم شوند.

این گروه از باکتری‌ها در خاک‌ها، به طور طبیعی وجود دارند، ولی تعداد و تراکم این باکتری‌ها در خاک پایین است، بنابراین تلقیح بذرهای گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و در نتیجه، منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک شوند (نظرلی و سیدشریفی، 2013). ازتوباکتر، باکتری تثبیت کننده نیتروژن هوا از خانواده ازتوباکتراسه، هتروتروف، هوازی مطلق و گرم منفی است. ازتوباکتر در سال 1901 در آمریکا از خاک، جداسازی و شناسایی شد (تامسون و اسکرمن، 1979)، ولی کاربرد آن در کشاورزی، از روسیه آغاز شد، به طوری‌که در سال‌های 1958 تا 1960 در اتحاد جماهیرشوروی سابق، 23 آزمون مزرعه‌ای به منظور تعیین عکس‌العمل محصولات مختلف به تلقیح با ازتوباکتر انجام شد که هشت مزرعه از جمله گندم پائیزه و بهاره به افزایش عملکرد، عکس‌العمل معنی‌داری را نشان دادند (سوبارائو، 1988). در هندوستان، نیز چنین آزمایشاتی بر روی محصولات مختلف، از جمله گندم صورت گرفت که نتایج مثبتی داشت (سوبارائو، 1988). در یک آزمایش مزرعه‌ای که توسط (سوندارا و همکاران، 1962) انجام شد، تلقیح ازتوباکتر همراه با کود دامی، موجب 2/37 درصد افزایش عملکرد در دانه گندم شد. همچنین گزارشات مشابه متعددی در مورد اثر کود ازتوباکتین به ویژه به همراه کود دامی روی محصولاتی مانند گندم، ذرت و همچنین ارزن وجود دارد (مارتینز تولدو وگونزالز، 1988؛ مشرام، 1982؛ نیتو و فراکنبرگر، 1990؛ یاهالون،1984). گزارشات متعدد، نشان داده که تلقیح گیاهان با باکتری ازتوباکتر، علاوه بر افزایش عملکرد 5-35 درصدی، موجب کاهش در مصرف کودهای نیتروژنی می‌گردد.

ارزانش (1382) با بررسی تلقیح بذور گندم پائیزه، با باکتری تثبیت کننده نیتروژن Azaspirillum brasilense strain Sp7 با سه سطح نیتروژن 50، 100 و 150 کیلوگرم اوره در گندم رقم مهدوی، گزارش نمود که تلقیح بذور با این باکتری بر روی عملکرد، نیتروژن و فسفر دانه، اثر معنی‌داری نداشته و این اثر، فقط بر روی وزن هزار دانه و پتاسیم دانه معنی‌دار (در سطح پنج درصد) بود. اردکانی و همکاران (1382)، گزارش نمودند که تلقیح بذر با باکتری Azaspirillum brasilense، میزان کارایی جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه و در دانه را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش داده و همچنین اعلام نمودند که این امر، به دلیل تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش سطح توسعه ریشه و جذب بیشتر آب و عناصر غذایی بوده و با کاربرد کود دامی در اکثر موارد، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، بهبود یافته و موجب جذب بیشتر عناصر غذایی گشته بود. نتایج تحقیقات اردکانی و همکاران (1382)، نشان داد که مصرف کود دامی پوسیده، موجب افزایش میزان مواد عناصر معدنی در اطراف ریشه گیاه شده بود که در نتیجه آن، غلظت این عناصر در اندام-های گیاهی، نیز افزایش یافته بود. در ارتباط با تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلوم و میکوریز، بهترین نتیجه در تیمارهایی عاید گردید که از کود دامی، استفاده شده بود.

[1]. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

نتایج تحقیقات محمودی (1382) مشخص نمود که تلقیح بذر گندم دیم با مایه تلقیح ازتوباکتر با بستر مایع به همراه مصرف کود گاوی، با میانگین عملکرد 3610 کیلوگرم در هکتار، نسبت به تیمار مصرف60 کیلوگرم نیتروژن خالص، به میزان 332 کیلوگرم، افزایش نشان داد و همچنین مشخص نمود که مایه تلقیح، فقط در صورت مصرف کود دامی بر شاخص‌های رشد، اثر معنی‌داری داشته و موجب افزایش میزان جذب روی و درصد پروتئین دانه شده بود. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر بخشی مایه تلقیح ازتوباکتر، تعیین کاربردی‌ترین روش مصرف کود اوره و ارزیابی اثرکود حیوانی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم دیم و ارتقاء میزان ماده آلی خاک‌های تحت کشت گندم دیم استان کردستان و در راستای پاسخ به سوالات ذیل انجام شد:

- آیا تلقیح بذر با مایه تلقیح ازتوباکتر، به تنهایی نیتروژن مورد نیاز گندم دیم را تأمین می‌کند؟
- اگر جواب مثبت باشد، پس دیگر نیازی به مضرف کود شیمیایی اوره نخواهد بود و اگر پاسخ منفی باشد، کدام ترکیب مصرف اوره به عنوان بهترین ترکیب همراه با تلقیح بذر در تامین نیتروژن مورد نیاز گندم دیم می‌تواند بیشترین تاثیر را بر خصوصیات کمی و کیفی گندم دیم داشته باشد؟
- با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی منطقه نسبت به سالیان گذشته که قطعاً متاثر از تغییر اقلیم جهانی است، آیا بهترین زمان مصرف کود اوره همچنان بر اساس توصیه تحقیقاتی گذشته (انجام دو تقسیط اوره در پائیز و بهار) مناسب استان و منطقه غرب است یا مصرف کل اوره در پائیز یا بهار؟
- آیا مصرف کود حیوانی بر کارائی و اثربخشی مایه تلقیح ازتوباکتر در زراعت گندم دیم موثر است؟
- آیا محلول‌پاشی گندم دیم با اوره در بهار، جایگزین مناسبی برای مصرف سرک کود اوره در بهار محسوب می‌شود؟
- آیا پروتئین دانه و عملکرد گندم دیم، تابع مصرف توام کود حیوانی، زمان و روش مصرف اوره و تلقیح بذر با کود زیستی ازتوباکتر است؟

مواد و روش‌ها

به منظور کاهش مصرف کودهای نیتروژنی و با هدف ارزیابی استفاده از کود زیستی ازتوباکتر در مدیریت‌های مختلف کود اوره شامل زمان مصرف و تقسیط کود اوره و محلول‌پاشی اوره توأم با کود دامی بر عملکرد و میزان پروتئین گندم دیم، آزمایشی مزرعه‌ای با ده تیمار زمان و روش‌های مختلف مصرف کود اوره و مایه تلقیح ازتوباکتر، شامل تیمارهای T1- شاهد (بدون اوره و عدم تلقیح بذر با ازتوباکتر) T2- کل اوره در پائیز همزمان با کشت، T3- کل اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T4- نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + نصف دیگر اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T5- نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + محلول‌پاشی 5% اوره (در مرحله پنجه‌دهی)، T6- تلقیح بذر با ازتوباکتر، T7- (تیمار T2 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T8- (تیمار T3 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T9- (تیمار T4 + تلقیح بذر با ازتوباکتر) و T10 - (تیمار T5 + تلقیح بذر با ازتوباکتر) به عنوان عامل فرعی و دو سطح ماده آلی (کود حیوانی پوسیده شده) شامل، M0 (بدون کود حیوانی)، M15 (15 تن در هکتار کود حیوانی) به عنوان عامل اصلی بر روی رقم گندم دیم آذر2 در سه تکرار، به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در تناوب گندم–آیش- گندم، به مدت دو سال زراعی اجرا شد.

به منظور اجرای آزمایش، قطعه زمینی به مساحت 1200 مترمربع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو، انتخاب و عملیات آماده‌سازی زمین مورد نظر، شامل شخم عمیق و دیسک‌زنی و تسطیح در پائیز، انجام شد. عملیات گونیا کردن، متراژ، میخ‌کوبی، طناب‌کشی مطابق نقشه آزمایشی انجام گردید. کرت‌هایی به ابعاد 20 متر مربع (5 × 4 مترمربع) با فاصله تکرار و تیمار نیم متر،

در نظر گرفته شد. قبل از انجام کشت، نمونه مرکب خاک از هر تکرار تهیه و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. بذر مصرفی از رقم آذر 2 با سم قارچ کش دی وای دنت (با نسبت 2 در هزار) آغشته و با تراکم 150 کیلوگرم در هکتار، توسط بذرکار آزمایشی وینتراشنایگر کشت گردید. در تیمارهای مصرف مایه تلقیح ازتوباکتر، بذور گندم در سال اول بر اساس دستورالعمل مایه تلقیح ازتوباکتر تجاری در بستر جامد (به تعداد تقریبی 10^7 باکتری در هر گرم) و در سال دوم از کشت خالص مایه تلقیح ازتوباکتر در بستر جامد بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب (به میزان 2 لیتر مایه تلقیح به ازای هر 100 کیلوگرم بذر گندم)، آغشته و کشت شد.

مصرف کود اوره (بر اساس60 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نیتروژن خالص در هکتار) انجام گرفت. کود اوره در تیمارهای مصرف پائیزه در سطح کرت‌ها به طور یکنواخت توزیع و به زیر خاک برده شد. با توجه به اینکه غلظت فسفر و پتاسیم در خاک بیشتر از حد بحرانی این عناصر بود، بنابراین در این آزمایش، نیازی به مصرف کودهای حاوی این عناصر نبود. در بهار، بقیه کود اوره، قبل از شروع بارندگی در سطح کرت‌های مربوطه، مطابق نقشه آزمایش، به صورت سرک توزیع گردید. محلول-پاشی اوره در مرحله پنجه‌دهی با غلظت 5 درصد، در تیمارهای مربوطه انجام گرفت. در مرحله ظهور برگ پرچم، نیز نمونه برگ از هر تیمار تهیه و جهت اندازه-گیری نیتروژن، به آزمایشگاه ارسال گردید. برداشت محصول، بصورت کف‌بر انجام و عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در هرکرت، تعیین شد. جهت اندازه‌گیری پروتئین دانه، نمونه مرکب دانه از هر کرت تهیه و به آزمایشگاه تحویل شد. در نهایت، پس از جمع آوری داده‌های آزمایش، جدول آنالیز واریانس و مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد.

مشخصات جغرافیایی و برخی از پارامترهای اقلیمی محل اجرای آزمایش

ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو با طول جغرافیایی 47 درجه شرقی و عرض جغرافیایی35/20 درجه شمال در ارتفاع 1500 متری از سطح دریا قرار دارد و از یک اقلیم نیمه‌خشک سرد، برخوردار است. میزان بارندگی در سال اول آزمایش، 333/7 میلی‌متر بود که در مقایسه با میانگین بلند مدت، 66/3 میلی‌متر و نسبت به سال گذشته، 21/4 درصد کاهش داشته است. پراکنش بارندگی در پائیز 94/1، در زمستان 158 و در بهار 81/6 میلی‌متر بوده است. بارندگی‌ها 28/2 درصد در پائیز، 47/3 درصد در زمستان و 24/5 درصد در بهار به وقوع پیوسته-اند. داده‌های درجه حرارت نشان می‌دهند که متوسط دمای سال اول آزمایش، 5/7 درجه سانتی‌گراد بوده که در مقایسه با میانگین بلند مدت 3/9 درجه سانتی‌گراد و نسبت به سال گذشته، 3 درجه سانتی‌گراد، کاهش داشته است. مجموع روزهای زیر صفر ، 127 روز بوده که نسبت به سال گذشته، 16 روز افزایش داشته است.

میزان بارندگی‌ها در مهر ماه، کمتر از مقدار موثر بوده و لذا جوانه‌زنی در مهر ماه، صورت نگرفت. در آبان ماه، نیز اگرچه بارندگی مناسب بود، ولی در نیمه دوم آبان ماه، بارندگی موثر، اتفاق افتاد و به دلیل شروع یخبندان‌ها جوانه‌زنی، در طی پائیز بسیار ضعیف بود. شروع رشد مجدد در اسفند ماه، نیز بدلیل یخبندان‌های موجود (تعداد 19 روز) و پائین بودن متوسط درجه حرارت (7/7 درجه سانتی‌گراد)، به خوبی از سرگرفته نشد. قطع تقریباً 30 روزه بارندگی در اواخر اسفند ماه و همچنین در اوایل فروردین ماه، خود موجبات بروز تنش خشکی را در مراحل 1-2 برگی را فراهم نمود. ولی در اردیبهشت ماه، بعلت بارندگی کافی و بالا رفتن متوسط درجه حرارت، تقریباً شرایط مساعدی برای رشد فراهم نمود. در خرداد ماه، به علت کمبود و یا عدم بارندگی و همچنین نقصان رطوبتی خاک مراحل زایشی، بخصوص مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه با تنش آخر فصل مواجه

شد. میزان بارندگی در سال دوم آزمایش، 438 میلی‌متر بوده که در مقایسه با میانگین بلند مدت، 38 میلی‌متر و نسبت به سال زراعی گذشته، 31/2 درصد افزایش داشته است. پراکنش بارندگی در پائیز 76/4 در زمستان 210 و در بهار 151/6 میلی‌متر بوده است. به عبارت دیگر، 17/4 درصد بارش‌ها در پائیز، 47/9 درصد در زمستان و 34/6 درصد در بهار بوقوع پیوسته‌اند (جدول 1). داده‌های درجه حرارت، نشان می‌دهند که متوسط دمای سال دوم، 7/7 درجه سانتی‌گراد بوده که در مقایسه با میانگین بلند مدت، 1/9 درجه سانتی‌گراد کاهش و نسبت به سال زراعی گذشته، 2 درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. مجموع روزهای زیر صفر 112 روز، بوده که نسبت به سال زراعی گذشته، 15 روز کاهش داشته است (جدول 1). همچنان‌که مشاهده می‌شود، میزان بارندگی‌ها در مهر ماه، کمتر از مقدار موثر بوده و لذا جوانه‌زنی در مهر ماه، صورت نگرفت. در آبان ماه، نیز اگرچه بارندگی، مناسب بود ولی در نیمه دوم آبان ماه، بارندگی مؤثر اتفاق افتاد و به دلیل شروع یخبندان‌ها، جوانه‌زنی در طی پائیز، بسیار ضعیف بود. در خرداد ماه، به علت کمبود و یا عدم بارندگی و همچنین نقصان رطوبتی خاک، مراحل زایشی بخصوص مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه، با تنش آخر فصل، مواجه شد. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت، در این آزمایش طی سال دوم، در معرض تنش‌های خشکی اول و آخر فصل و همچنین سرما و یخبندان در اوایل مرحله رشد قرار گرفتند.

جدول 1- آمار هواشناسی سال‌های اول و دوم آزمایش (ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو - استان کردستان)

سال زراعی	ماه	متوسط بارندگی میلی متر	حداقل دمای مطلق C°	حداکثر دمای مطلق C°	متوسط دما C°	تعداد روز های یخبندان	رطوبت نسبی %	تبخیر میلی- متر	متوسط دمای حداقل C°	متوسط دمای حداکثر C°
سال اول	مهر	13/9	-0/5	30	15/9	1	26	9/5	5/4	26/5
	آبان	62/1	-4/4	22	9/1	10	45/6	4/2	2/4	15/8
	آذر	18/1	-16	11/5	0/1	27	62/6	0	-5/5	5/7
	دی	37/2	-27	9	-5/4	29	68/2	0	-11/7	0/9
	بهمن	15	-30/6	7	-7/9	29	73/8	0	-14/4	-1/3
	اسفند	105/8	-16	14	2/7	19	62/6	0	-3	8/5
	فروردین	36/7	-12	23	8/2	11	41/5	3/2	0/7	15/8
	اردیبهشت	41/5	-1/2	27/5	12/3	1	44/8	6/3	4/3	20/4
	خرداد	3/4	1/4	32/5	16/5	0	28/5	11/1	5/7	27/4
	تیر	0	5	38	22	0	22/7	14/2	10/1	33/9
سال دوم	مهر	8	-6/2	28/5	14/7	1	29/6	312	5/1	24/4
	آبان	39/4	-10	23	6	17	48/3	120	-1/5	13/5
	آذر	29	-8/8	21/5	6/3	19	41/7	0	-2/3	15
	دی	54/7	-28	10/5	-2/5	25	67/6	0	-7/8	2/8
	بهمن	124/6	-18	14	1	20	64/5	0	-3/2	5/3
	اسفند	30/7	-10	18/5	4/8	20	41/9	0	-3	12/7
	فروردین	104/3	-8	24	8/6	10	49/7	52/7	1	16/3
	اردیبهشت	42/2	0/8	25/5	13	0	42/7	176/7	5/1	21
	خرداد	5/1	0/8	34/5	17/8	0	27/6	347/2	6/5	29/2

نتایج

نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکوشیمیایی سه نمونه خاک مرکب (عمق 25-0 سانتیمتری) مربوط به محل اجرای آزمایش از سه تکرار، نشان دهنده آن بود که خاک، آهکی با pH قلیایی، بافت خاک رسی و فاقد مسئله شوری بود و از لحاظ ماده‌آلی و نیتروژن‌کل فقیر و غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب در حد کفایت قرار داشتند (جدول 2).

جدول 2- خصوصیات فیزیکوشیمیایی 3 نمونه خاک مرکب (0-25 سانتیمتری) - ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو

Texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	K.ava (mg/kg)	P.ava (mg/kg)	NH^{4+} PPM	NO^{-3} PPM	OC (%)	T/N/V (%)	PH	ECe $*10^{-3}$ (ds/m)	SP (%)	شماره نمونه
C	25	36	39	340	13/8	4/41	8/28	0/99	13/25	8/0	0/53	36/22	1
C	23	36	41	330	13/1	4/70	10/28	0/77	12/75	7/9	0/59	39/22	2
C	23	33	40	340	12/0	4/56	7/42	0/76	16/00	7/9	0/53	37/92	3

نتایج تجزیه مرکب

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله اثر تیمارهای آزمایش بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزاردانه مشخص نمود که اثر عامل اصلی (کود حیوانی) بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. اثر عامل فرعی (تیمارهای کودی) بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). اثر متقابل کود حیوانی و تیمارهای کودی، فقط بر عملکرد بیولوژیک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه، اثر معنی‌داری نداشتند. اثر سال بر عملکرد بیولوژیک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه اثر معنی‌داری نداشت (جدول3).

جدول 3- خلاصه جدول تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آزمایش (کود حیوانی، تلقیح بذر با کود زیستی ازتوباکتر و مدیریت مصرف اوره) بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه، غلظت نیتروژن در برگ پرچم و پروتئین دانه

منابع	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک		عملکرد دانه		وزن هزار دانه		غلظت نیتروژن در برگ		پروتئین دانه	
		F value	Prob	F value	Prob	F value	Prob	F value	Prob	F value	Prob
سال	1	84/4330	**	0/3439	n.s	4/8475	n.s	18/4208	*	9/2160	*
سال * تکرار	4	1/2019	n.s	0/3319	n.s	1/2942	n.s	2/4175	n.s	2/3634	n.s
(A)	1	0/4005	n.s	1/3606	n.s	0/1990	n.s	4/2290	n.s	0/2340	n.s
(A) * سال	1	2/1237	n.s	0/0408	n.s	0/0090	n.s	0/6825	n.s	3/9037	n.s
(B)	9	15/8110	**	17/1671	**	8/0636	**	2/7545	**	1/3252	n.s
(B) * سال	9	2/8460	**	4/2697	**	2/7596	**	0/8914	n.s	0/9695	n.s
B * A	9	2/5738	*	0/9942	n.s	1/6920	n.s	1/6941	n.s	0/4702	n.s
A * B * سال	9	2/1093	*	1/1984	n.s	0/4243	n.s	0/4992	n.s	1/4342	n.s
کل	72										
CV (%)		14/54		18/50		6/58		14/12		15/38	

- (A) عامل کود حیوانی و (B) عامل (تیمارهای کودی اوره و تلقیح بذر با ازتوباکتر)
- * و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد است.
- n.s. عدم معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد

مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر عملکرد و پروتئین گندم دیم

میانگین عملکرد بیولوژیک کلیه تیمارهای آزمایش به غیر از تیمار T6 (تلقیح بذر با ازتوباکتر) نسبت به شاهد، افزایش داشتند که این افزایش در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه مشخص نمود که به غیر از تیمار T6 (تلقیح بذر با ازتوباکتر)، کلیه تیمارها نسبت به شاهد افزایش داشتند و تیمارهای T2 (مصرف کل کود اوره در پائیز همزمان با کشت) و T5 (مصرف نصف کود اوره همزمان با کشت در پائیز + محلول پاشی 5% اوره) و تیمار T10 (T5 + تلقیح بذر با ازتوباکتر) نسبت به شاهد، به ترتیب به میزان 899، 878 و 893 کیلوگرم در هکتار افزایش داشتند که این افزایش، در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر وزن هزار دانه، مشخص نمود که تیمار شاهد و تیمار T6 (تلقیح بذر با ازتوباکتر) نسبت به سایر تیمارها، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند، به طوری که این دو تیمار، مشترکاً در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول 4). مقایسه میانگین اثر متقابل عوامل فرعی (تلقیح بذر با ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره) و عامل اصلی (کود حیوانی) بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد (بدون مصرف کود اوره) و بدون مصرف کود حیوانی، نسبت به شاهد (بدون مصرف کود اوره) و با مصرف 15 تن در هکتار کود حیوانی، به میزان 973 کیلوگرم افزایش داشت که این افزایش در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و سایر تیمارها نسبت به هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول 5).

جدول 4-مقایسه میانگین اثر تیمارهای کود اوره و مایه تلقیح ازتوباکتر بر عملکردبیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، غلظت نیتروژن در برگ پرچم و پروتئین دانه

تیمار کودی	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	غلظت نیتروژن در برگ (درصد)	پروتئین دانه (درصد)
T1	3764 c	1050 c	40/67 a	2/577 b	10/37 ab
T2	6265 a	1949 a	35/70 bc	3/226 a	10/72 ab
T3	5364 b	1619 a	34/42 c	2/940a	10/99 ab
T4	5716 ab	1859 ab	36/11 bc	3/070 a	10/85 ab
T5	5603 ab	1928 a	35/72 bc	3/013 a	10/61 ab
T6	3573 c	947 c	40/14 a	2/989 a	9/86 b
T7	5641 ab	1765 ab	36/53 bc	3/238 a	11/37 ab
T8	5750 ab	1823 ab	36/12 bc	3/078 a	11/87a
T9	5132 b	1603 b	36/87 b	3/258 a	11/26 ab
T10	5371 b	1943 a	36/17 bc	3/240 a	10/96 ab
Lsd 5%	617/6	248/2	1/973	0/3591	1/363

T1- شاهد (بدون مصرف اوره و عدم تلقیح بذر با ازتوباکتر) T2- مصرف کل اوره در پائیز همزمان با کشت، T3- مصرف کل اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T4- مصرف نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + مصرف نصف دیگر اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T5- مصرف نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + محلول‌پاشی 5% اوره (در مرحله پنجه‌دهی)، T6- تلقیح بذر با ازتوباکتر، T7- (تیمار T2 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T8- (تیمار T3 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T9- (تیمار T4 + تلقیح بذر با ازتوباکتر) و T10 - (تیمار T5 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)

- حروف کوچک مشابه نشانه عدم معنی داربودن در سطح پنج درصد است.

مقایسه میانگین اثر متقابل عوامل فرعی (تلقیح بذر با ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره) و عامل اصلی (کود حیوانی) بر عملکرد دانه، مشخص نمود که عملکرد دانه در تیمار شاهد (بدون مصرف کود اوره) بدون مصرف کود حیوانی، نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود اوره) و با مصرف 15 تن در هکتار کود حیوانی، به میزان 535 کیلوگرم افزایش نشان داد که این افزایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود و سایر تیمارها نسبت به هم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول 5). مقایسه میانگین اثر متقابل عوامل فرعی (تلقیح بذر با ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره) و عامل اصلی (کود حیوانی) بر وزن هزار دانه مشخص نمود که اثر متقابل کود حیوانی و تیمارهای مختلف کود اوره و مایه تلقیح ازتوباکتر بر وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول 5). مقایسه میانگین اثر کود حیوانی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در جدول شماره 6 آمده است.

جدول 5- مقایسه میانگین اثرمتقابل کود حیوانی و تیمار کودی بر عملکردبیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزاردانه

تیمار کودی	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		وزن هزار دانه (گرم)	
	M0	M15	M0	M15	M0	M15
T1	3277 f	4250 d	782 f	1317 de	39/68 abc	41/65 a
T2	6897 a	5634 a	1943 abc	1955 abc	34/99 de	36/40 de
T3	5557 bc	5172 bc	1661 bcd	1577 cd	35/74 de	33/09 e
T4	5563 bc	5870 bc	1822 abc	1896 abc	35/28 de	36/93 cd
T5	4962 cd	6243 bc	1758 abc	2098 a	36/22 ab	35/22 de
T6	3626 ef	3520 d	870 f	1024 ef	40/41 de	39/87 abc
T7	5445 bc	5837 bc	1684 abcd	1847 abc	35/48 de	37/57 bcd
T8	5783 bc	5718 ab	1760 abc	1886 abc	36/20 bcd	36/04 de
T9	5077 cd	5187 bc	1585 cd	1622 bcd	37/97 de	35/76 de
T10	5353 bc	5389 bc	1855 abc	2031 ab	35/13 abc	37/22 cd
Lsd 5%	873		351		2/97	

T1- شاهد (بدون مصرف اوره و عدم تلقیح بذر با ازتوباکتر) T2- مصرف کل اوره در پائیز همزمان با کشت، T3- مصرف کل اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T4- مصرف نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + مصرف نصف دیگر اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T5- مصرف نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + محلول‌پاشی 5% اوره (در مرحله پنجه‌دهی)، T6- تلقیح بذر با ازتوباکتر، T7- (تیمار T2 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T8- (تیمار T3 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T9- (تیمار T4 + تلقیح بذر با ازتوباکتر) و T10 - (تیمار T5 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)

-حروف کوچک مشابه نشانه عدم معنی‌دار بودن در سطح پنج درصد است.

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت نیتروژن در برگ پرچم و پروتئین دانه مشخص نمود که اثر عامل اصلی (مصرف کود حیوانی) بر غلظت نیتروژن در برگ پرچم و پروتئین دانه معنی‌دار نبود. اثر عامل فرعی (تیمارهای تلقیح ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره) بر غلظت نیتروژن در برگ پرچم در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما این اثر بر پروتئین دانه معنی‌دار نشد. اثر متقابل کود حیوانی و تیمارهای کودی بر غلظت نیتروژن و میزان پروتئین معنی‌دار نبود (جدول 3). مقایسه میانگین اثر تلقیح ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره بر غلظت نیتروژن در برگ پرچم مشخص نمود که کلیه تیمارها نسبت به شاهد افزایش نشان داده اند، به طوری‌که این افزایش، در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 4). مقایسه میانگین اثر متقابل عوامل فرعی (تلقیح بذر با ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره) و عامل اصلی (کود حیوانی) بر غلظت نیتروژن در برگ پرچم مشخص نمود که کلیه تیمارهای مصرف کود حیوانی نسبت به تیمارهای بدون مصرف کود حیوانی، افزایش غلظت نیتروژن داشتند اما این افزایش به لحاظ آماری معنی‌داری نبود (جدول 7). مقایسه میانگین

اثر تلقیح ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره بر پروتئین دانه گندم نشان داد که هیچکدام از تیمارها نسبت به شاهد، اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول 4).

جدول 6- مقایسه میانگین اثر اصلی کود حیوانی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزاردانه

سطوح کود حیوانی (تن در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)
M0	5153	1572	36/71
M15	5281	1725	36/71

جدول 7-مقایسه میانگین اثرمتقابل کود حیوانی و تیمارهای کودی بر غلظت نیتروژن در برگ پرچم و پروتئین دانه

تیمار کودی	غلظت نیتروژن در برگ پرچم (درصد)		پروتئین دانه (درصد)	
	M0	**M15**	**M0**	**M15**
T1	2/305 d	2/848 c	9/73 bc	11/00 abc
T2	2/862 c	3/590 a	10/74 abc	10/69 abc
T3	2/850 c	3/030 abc	11/35 abc	10/62 abc
T4	2/243 abc	2/897 bc	10/98 abc	10/71 abc
T5	2/758 cd	3/268 abc	9/63 c	11/59 abc
T6	2/897 bc	3/082 abc	9/76 bc	9/97 bc
T7	3/280 abc	3/197 abc	11/26 abc	11/48 abc
T8	3/032 abc	3/123 abc	11/20 abc	12/55 a
T9	3/048 abc	3/467 ab	11/50 abc	11/02 abc
T10	3/013 abc	3/467 ab	12/01 abc	9/92 bc
Lsd 5%	0/4977		1/927	

T1- شاهد (بدون مصرف اوره و عدم تلقیح بذر با ازتوباکتر) T2- مصرف کل اوره در پائیز همزمان با کشت، T3- مصرف کل اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T4- مصرف نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + مصرف نصف دیگر اوره در اوایل بهار به صورت سرک، T5- مصرف نصف اوره همزمان با کشت در پائیز + محلول‌پاشی 5% اوره (در مرحله پنجه‌دهی)، T6- تلقیح بذر با ازتوباکتر، T7- (تیمار T2 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T8- (تیمار T3 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)، T9- (تیمار T4 + تلقیح بذر با ازتوباکتر) و T10 - (تیمار T5 + تلقیح بذر با ازتوباکتر)

-حروف مشابه عدم معنی‌دار بودن در سطح آماری پنج درصد است.

بحث

میانگین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در تیمار شاهد (بدون مصرف کود اوره)، با مصرف 15 تن در هکتار کود حیوانی، نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود اوره و بدون مصرف کود حیوانی)، به ترتیب به میزان 973 و 535 کیلوگرم افزایش عملکرد داشتند که این افزایش، به ترتیب در سطح پنج درصد و یک درصد معنی‌دار بود (جدول 5). بر این اساس، می‌توان چنین استنباط نمود که در شرایط تنش تغذیه‌ای نیتروژن در گندم دیم، مثل تیمار شاهد (T1) که کود نیتروژن مصرف نشده بود و گیاه تحت کمبود نیتروژن قرار داشت، اثر مثبت کود حیوانی بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم دیم به وضوح، قابل مشاهده است. تیمار تلقیح بذر با ازتوباکتر و همچنین تیمارهای روش‌های مصرف کود اوره و تلقیح ازتوباکتر، نسبت به هم، اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول 5). علاوه بر این مصرف کود حیوانی در گندم دیم، هیچ تأثیری بر افزایش عملکرد دانه در تیمار تلقیح بذر با ازتوباکتر نداشت. این نتیجه، با نتایج رام و همکاران (2014) که گزارش نمودند مصرف توأم کود حیوانی و کود زیستی علاوه بر اثر مستقیم و غیرمستقیم بر افزایش خصوصیات کمی و کیفی گندم، موجب اثربخشی

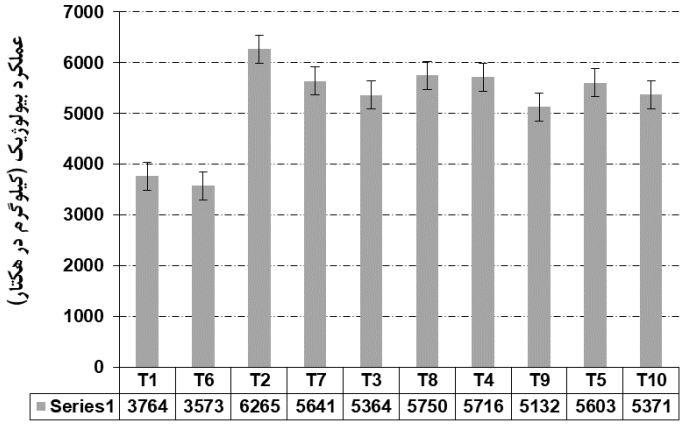
بیشتر کود زیستی شده بود، همخوانی ندارد. این عدم اثر بخشی کود دامی بر مصرف ازتوباکتر، به نظر می‌رسد به دلیل از بین رفتن جمعیت فعال و مؤثر باکتری ازتوباکتر در اثر عوامل نامساعد محیطی، منجمله سرمای شدید زمستانه تا زیر صفر در سال اول و دوم به ترتیب 30/6- و 28- درجه سانتی‌گراد در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو و حتی بروز تنش خشکی، طی هر دو سال اجرای آزمایش بوده باشد. عملکرد دانه با تلقیح بذر با ازتوباکتر، نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. این نتیجه با نتایج تحقیق ارزانش و همکاران (1382) که اعلام نموده بودند که تلقیح بذور گندم پائیزه رقم گندم آبی مهدوی با باکتری تثبیت کننده نیتروژن brasilense strain Sp7 Azaspirillum بر عملکرد دانه، درصد نیتروژن اثر معنی داری نداشته بود، همخوانی دارد.

اما این نتیجه، با نتایج تحقیقات سوبارائو (1988)، ماجد و همکاران (2006) و چاکماک و همکاران (2014) که گزارش کرده بودند تلقیح بذر گندم با باکتری‌های محرک رشد، عکس‌العمل معنی‌داری نشان داده بودند، همخوانی ندارد. با مشاهده شکل شماره 1، می‌توان به نکات جالب توجه اشاره نمود. نکته مهم این است که بین تیمار تلقیح بذر با ازتوباکتر، نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نمی‌گردد و عملکرد دانه در سایر تیمارهایی که با مایه تلقیح ازتوباکتر نیز همراه هستند، نسبت به تیمار T6 (تلقیح بذر با ازتوباکتر) اختلاف معنی‌داری ندارند (شکل 2). مصرف 60 کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تمام تیمارهای کودی، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم دیم شده بود. این نتیجه با نتایج پژوهش سدری و همکاران (2022) و فیضی اصل و همکاران (1393) همخوانی دارد. عملکرد دانه در تیمار T2 یعنی مصرف تمام کود اوره در پائیز همزمان با کشت با تیمار T4 (مصرف نصف کود اوره همزمان با کشت در پائیز + مصرف نصف دیگر کود اوره در اوایل بهار به صورت سرک) که توصیه تحقیقاتی سالیان گذشته است، اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. با توجه به اینکه مصرف تقسیطی کود اوره در بهار که الزماً برای جذب نیتروژن موجود در کود توسط گیاه، باید با بارندگی، مقارن باشد و بدون بارندگی موثر، غیرقابل جذب خواهد بود، مصرف کل کود نیتروژنی در پائیز به دلیل عدم ریسک کمتر و یک مرحله عملیات کمتر، به نظر می‌رسد بهتر از تقسیط دو مرحله‌ای کود اوره در پائیز و بهار باشد. این نتیجه، با نتایج تحقیقات سدری و همکاران (1396) که با بهره‌گیری از تکنیک ایزوتوپ نیتروژن-15 و با هدف تعیین بهترین سطح و زمان مصرف کودهای ازته در گندم دیم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قاملو، مصرف کل نیتروژن در پاییز را نسبت به تقسیط دو مرحله‌ای (مصرف دو سوم کود اوره در پاییز و یک سوم دیگر اوره در بهار) و (مصرف نصف کود اوره در پاییز و نصف دیگر اوره در بهار در مرحله پنجه‌دهی) را به دلیل بیشترین کارائی مصرف کود نیتروژنی، بیشترین کارائی مصرف آب باران، بیشترین شاخص تحمل به تنش خشکی STI و بیشترین عملکرد دانه در گندم دیم، برتر اعلام کرده بودند، همخوانی دارد.

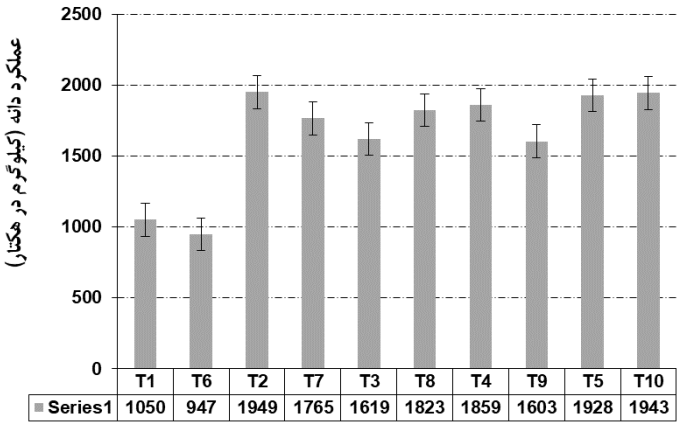
علاوه بر این، نتیجه این تحقیق، با تحقیقات نوتال و همکاران (1989) و فولر و بریدون (1989) که معتقد بودند، کاربرد پاییزی کودهای نیتروژنی برای غلات دیم در کشور کانادا نسبت به مصرف تقسیطی، برتر است و کاربرد پاییزی اوره قبل از کاشت گندم را به دلیل کاهش تلفات نیتروژن، بسیار مؤثر می‌دانستند، نیز همخوانی دارد. فولر و بریدون (1989) معتقد بودند که کاربرد پاییزی کودهای نیتروژنی، به دلیل کاربردی و عملی بودن آن و همچنین مسائل اقتصادی، به کاربرد تقسیطی ترجیح دارد. فیضی اصل و همکاران (1393) با بررسی دقیق تغییرات یون نیترات ایزوتوپ 15 در لایه 100-0 سانتی‌متری خاک تحت کشت گندم دیم، گزارش نمودند که در مصارف 30-60 کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره، امکان انتقال نیترات-15 به عمق پایین‌تر از 40 سانتی‌متری خاک وجود ندارد. بر این اساس و با وجود احتمال وقوع بارندگی‌های کمتر از 500 میلی‌متر در فصل زراعی در

غرب کشور، کاربرد پاییزه تمام 60 کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای کشت گندم دیم، احتمال شستشوی نیتروژن به عمق خارج از دسترس ریشه در حداقل است. با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار در عملکرد دانه در تیمارهای T5 (مصرف نصف کود اوره همزمان با کشت در پائیز + محلول‌پاشی 5% اوره) و تیمار T2 (مصرف کل کود اوره در پائیز همزمان با کشت)، می‌توان این روش را نیز به عنوان توصیه کاربردی برای کشاورزان دیمکار، نیز مورد توجه قرار داد. فیضی اصل و همکاران (1386) در تحقیق خود در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه نیز، مصرف پاییزه کل کود اوره در گندم دیم را نسبت به تقسیط کود اوره در دو مرحله پاییز و بهاره، ارجح دانسته بود.

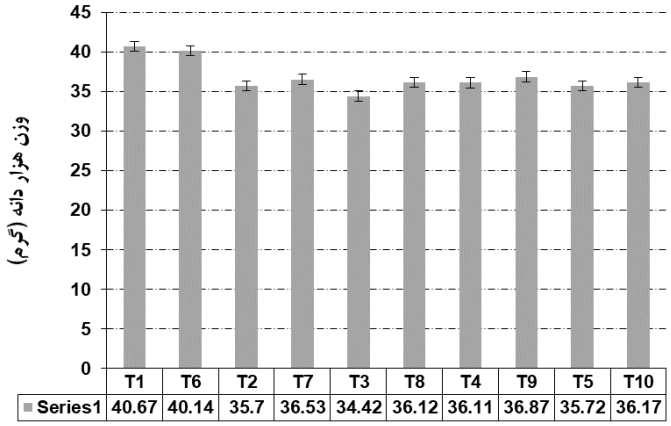
توشیح (1381)، در تحقیق انجام گرفته در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم قاملو، محلول‌پاشی ارقام گندم دیم سبلان و سرداری را با کود اوره در غلظت پنج درصد را جایگزین کاملی، نسبت به مصرف سرک کود اوره در بهار اعلام کرده است. در صورتی‌که کشت گندم دیم در بهار، با کمبود بارندگی مواجه باشد، یا بخواهیم در مصرف کود اوره، صرفه‌جویی نماییم، روش محلول‌پاشی اوره، جایگزین خوبی برای کمبود نیتروژن مورد نیاز گندم دیم، در مقابل مصرف کود اوره به صورت سرک بهاره، یا نصف کود اوره مصرفی در پائیز خواهد بود. مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر وزن هزار دانه، مشخص نمود که تیمار شاهد و تیمار T6 (تلقیح بذر با ازتوباکتر) نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد داشت که هر دو تیمار را در یک کلاس آماری قرار داده بود (شکل 3). با مشاهده مقایسه‌ای دقیق شکل‌های 2 و 3، می‌توان چنین بیان نمود که تیمارهای دارای افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، نسبت به شاهد، همان تیمارهایی هستند که نسبت به شاهد، کاهش معنی‌داری در وزن هزار دانه دارند. بنابراین از این مقایسه نیز، می‌توان چنین استنباط نمود که افزایش عملکرد دانه، ناشی از افزایش وزن هزار دانه نبوده و این احتمال می‌تواند وجود داشته باشد که افزایش عملکرد در دانه گندم دیم، به دلیل افزایش تعداد دانه در واحد سطح (یا تعداد دانه در سنبله یا تعداد سنبله در واحد سطح) بوده باشد.



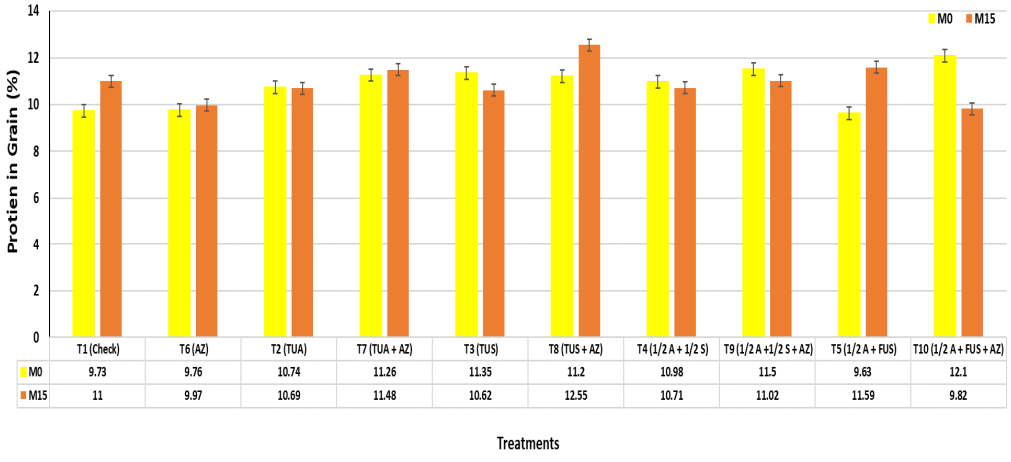
شکل 1- مقایسه میانگین اثرتیمارهای کودی و ازتوباکتر بر عملکرد بیولوژیک



شکل 2-مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی و ازتوباکتر بر عملکرد دانه



شکل 3-مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی و ازتوباکتر بر وزن هزار دانه



شکل 4- اثر کود حیوانی، ازتوباکتر و مدیریت کود اوره بر میانگین پروتئین دانه گندم

مقایسه میانگین اثر تلقیح ازتوباکتر و روش‌های مصرف کود اوره بر پروتئین دانه گندم نشان داد که درصد پروتئین دانه در هیچکدام از تیمارهای آزمایش نسبت به شاهد، اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول 4). مقایسه میانگین اثر متقابل عوامل فرعی (تلقیح ازتوباکتر و روش-های مصرف کود اوره) و عامل اصلی (کود حیوانی) بر میزان پروتئین دانه نیز مشخص نمود که کلیه تیمارها به لحاظ پروتئین نسبت به شاهد، اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول 7). اما مقایسه میانگین پروتئین دانه در تیمارهای مختلف در شکل 4، نکات قابل تاملی را نشان می‌دهد. اولاً در شرایط عدم مصرف کود اوره، با مصرف کود حیوانی در گندم دیم، پروتئین دانه به طور میانگین، به میزان 1/27 درصد افزایش یافته بود.

ثانیاً میانگین پروتئین دانه در تیمار T2 (مصرف کل اوره در پاییز) در شرایط عدم مصرف کود نیتروژنی و با مصرف کود حیوانی به میزان 15 تن در هکتار، نسبت به شاهد، به ترتیب به میزان 1/01 و 0/96 درصد افزایش داشتند و در تیمار T7 (مصرف کل اوره در پاییز + تلقیح بذر با ازتوباکتر) در شرایط عدم مصرف کود حیوانی و مصرف کود حیوانی به میزان 15 تن در هکتار، مقادیر پروتئین دانه نسبت به شاهد، به میزان بیشتری و به ترتیب، به میزان 1/53 و 1/75 درصد افزایش نشان داده بود. از این قیاس، چنین استنباط می‌شود که مایه تلقیح ازتوباکتر، علی‌رغم اینکه هیچگونه تأثیری بر عملکرد دانه نداشته، اما با مصرف توأم کود اوره در پاییز و کود حیوانی، میزان پروتئین دانه گندم به طور چشمگیری افزایش یافته بود. نتیجه مشابه نیز در تیمار حاوی ازتوباکتر، نظیر تیمار مصرف کل کود اوره در بهار و تلقیح بذر با ازتوباکتر (T8)، حاکی از افزایش پروتئین دانه در این تیمار، نسبت به شاهد در شرایط بدون مصرف کود حیوانی و مصرف 15 تن در هکتار کود حیوانی، به ترتیب به میزان 1/47 و 2/82 درصد است. میانگین پروتئین دانه در تیمار T9 (مصرف نصف کود اوره در پاییز به هنگام کشت + مصرف نصف دیگر اوره در بهار به صورت سرک + ازتوباکتر) در شرایط بدون مصرف کود حیوانی و مصرف کود حیوانی به میزان 15 تن در هکتار، نسبت به شاهد، به ترتیب به میزان 1/77 و 1/29 درصد افزایش نشان داده است. میانگین پروتئین دانه در تیمار T10 (مصرف نصف کود اوره در پاییز + محلول‌پاشی 5 درصد اوره در بهار + ازتوباکتر) در شرایط عدم مصرف کود حیوانی، نسبت به شاهد به میزان 2/27 درصد افزایش نشان داد. اما به دلیل نامعلوم در همین تیمار، میانگین پروتئین دانه نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار نداشته است. البته تفسیر رفتار ازتوباکتر در تیمارهای مختلف مدیریت مصرف کود اوره و مصرف و عدم مصرف کود حیوانی در گندم دیم در این پژوهش، کمی پیچیده است. در هر حال، به نظر می‌رسد در مدیریت‌های مختلف مصرف کود اوره توأم با کود حیوانی، تلقیح بذر با مایه تلقیح ازتوباکتر، تاثیر مثبتی بر پروتئین دانه گندم داشته است. در این رابطه لازم است برای بررسی دقیق رفتار تلقیح بذر با کود زیستی ازتوباکتر بر بهبود میزان پروتئین دانه گندم دیم، آزمایشات دقیق‌تری انجام شود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج اثر تیمارهای کودی اوره و تلقیح بذر با کود زیستی ازتوباکتر بر عملکرد دانه مشخص نمود که کلیه تیمارهای کود مدیریت اوره، نسبت به شاهد (بدون مصرف کود اوره)، به لحاظ عملکرد دانه، افزایش معنی-داری داشتند. با توجه به اینکه تیمار مصرف کل کود اوره در پائیز تفاوت معنی‌داری به لحاظ عملکرد دانه با تقسیط اوره (مصرف نصف کود اوره در پائیز + نصف دیگر اوره در بهار در مرحله پنجه‌زنی گندم) نشان نداد، بنابراین، منطق حکم می‌کند که در وهله اول و به عنوان توصیه اول، از روش اقتصادی‌تر در کشت گندم دیم، یعنی مصرف یک‌باره کود اوره در پاییز استفاده گردد. چه با بهره‌گیری از مصرف کل کود اوره در پائیز، علاوه برکاهش عملیات کود دهی در بهاره که خود موجب کاهش اتلاف وقت و هزینه زارع می‌گردد، از عبور ماشین آلات پخش کود در بهار که فشردگی خاک را به دنبال

خواهد داشت، جلوگیری نموده و از احتمال تصعید و هدر رفت اوره بر اثر پخش سطحی و حتی از عدم جذب توسط گیاه، به دلیل احتمال عدم بارندگی مؤثر بهاره، جلوگیری می‌کند. در وهله دوم، در صورت مصرف نصف کود اوره در پاییز و با توجه به ضرورت، مصرف نصف دیگر نیتروژن در بهار و در راستای پایداری عملکرد گندم دیم و در برای افزایش کارائی مصرف کود نیتروژنی و به منظور کاهش ریسک عدم جذب کود نیتروژنی در بهار به دلیل کمبود بارش و جود خشکسالی احتمالی، به عنوان توصیه دوم، انجام محلول‌پاشی اوره با غلظت 5 درصد، در مرحله پنجه‌دهی گندم، به عنوان بهترین و عملی‌ترین جایگزین مصرف نیتروژن سرک بهاره توصیه می‌شود. کشت رقم اصلاح شده گندم دیم نظیر رقم آذر2 در مقایسه با ارقام بومی منطقه (رقم سرداری)، از ارقام پرنیاز به کود دهی است. با توجه به کمبود مواد آلی خاک‌های تحت کشت گندم دیم، مصرف به تنهایی کود حیوانی در مقدار آزمایش شده (15 تن در هکتار)، نیاز نیتروژن گندم دیم را نمی‌تواند، تأمین نماید. بنابراین با توجه به اثرات مثبت کود حیوانی بر عملکرد گندم دیم و پروتئین دانه و افزایش قابلیت جذب انواع کودهای شیمیایی، منجمله کودهای نیتروژنی، با هدف افزایش تدریجی میزان ماده آلی خاک‌های تحت کشت گندم دیم، در برنامه کود دهی گندم دیم، به همراه مصرف کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک، مصرف کود حیوانی توصیه می‌شود. در این پژوهش، مصرف کود حیوانی تاثیری برکارائی و اثربخشی مایه تلقیح ازتوباکتر در زراعت گندم دیم نداشت. گزارشات محققین کشور، حاکی از اثرات مثبت مایه تلقیح ازتوباکتر در مناطق تحت کشت گندم دیم است. با توجه به این‌که اثربخشی مایه تلقیح ازتوباکتر در محصولات زراعی، به عومل متعدد از جمله اقلیم، شکل و حالت مایه تلقیح (جامد، مایع و...)، نحوه مصرف، رقم بذر مورد استفاده، نوع باکتری کمکی در مایه تلقیح، نوع میکروارگانیسم ها و ترکیب میکروبی ماده آلی مورد مصرف، اقلیم و شرایط خاک و بسیاری از عوامل ناشناخته دیگر بستگی دارد. بنابراین به نظر می‌رسد، عدم اثربخشی مایه تلقیح در پژوهش حاضر، به نحوی با عوامل مذکور مرتبط از جمله اثر مصرف سم قارچ دی وای دنت (علیه سیاهک پنهان پاکوتاه) آغشته شده به بذر گندم و یا سرمای شدید در زمستان و فروردین ماه (دمای حداقل هوا به 30/6- درجه سانتیگراد) بوده و نیاز است در پژوهش‌های تکمیلی این موضوع، تحت بررسی دقیق‌تری قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقایان دکتر هوشنگ خسروی و دکتر احمد اصغرزاده اعضای محترم هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و تهیه کشت خالص مایه تلقیح ازتوباکتر و از همکاران محترم آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان به پاس انجام آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های خاک و گیاه این پژوهش، تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

فهرست منابع:

1. ارزانش، محمدحسین. 1382. بررسی تأثیر مایه تلقیح آزوسپیریلومی در سه سطح مختلف کود نیتروژنی روی عملکرد گندم پائیزه. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک. ایران.
2. اردکانی، محمدرضا، مجد، فرامرز، مظاهری، داریوش، نورمحمدی، قربان و امیرحسین شیرانی‌راد. 1382. محاسبه کارایی جذب عناصر ماکرو در گیاهان و دانه گندم تحت تأثیر کاربرد آزوسپیریلوم، میکوریزا آربوسکولار و استرپتومایسیس به همراه کود دامی. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک. ایران.
3. امامی، عاکفه. 1375. روش‌های تجزیه گیاه (جلد اول). مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره 982. ایران.

4. توشیح، وفا. 1376. بررسی اثرات میزان و زمان مصرف منابع مختلف کودهای ازته شیمیایی در گندم دیم. گزارش نهایی بخش تحقیقات خاک و آب. مرکز تحقیقات کشاورزی کردستان. ایران.
5. توشیح، وفا. 1381. بررسی اثر محلول‌پاشی اوره در گندم (ارقام سبلان و سرداری) در کردستان. گزارش نهایی بخش تحقیقات خاک و آب. مرکز تحقیقات کشاورزی کردستان. ایران.
6. سدری، محمدحسین، میرخانی، رایحه، احمد، گلچین، ولی، فیضی اصل و عادل، سی و سی مرده. 1396. ارزیابی اثر مدیریت مصرف نیتروژن بر کارائی مصرف نیتروژن در گندم دیم با استفاده از ایزوتوپ نیتروژن[15]. نشریه علمی پژوهشی خاک (علوم خاک و آب). الف/جلد31. شماره 1. ایران.
7. صالح راستین، ناهید. 1357. بیولوژی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. ایران.
8. علی احیائی، مریم و علی‌اصغر بهبهانی زاده. 1372. شرح روش‌های تجزیه خاک (جلد اول). مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره 893. ایران.
9. فیضی‌اصل، ولی. 1386. بررسی مقادیر و اشکال مختلف نیتروژن خاک در خصوصیات کمی و کیفی گندم دیم. گزارش نهایی. نشریه شماره 86/317. موسسه تحقیقات دیم کشور. ایران.
10. فیضی اصل، فتوت، امیر، آستارایی، علیرضا و امیر لکزیان. 1393. مدیریت بهینه نیتروژن برای ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم با استفاده از نیتروژن -15. رساله دکتری. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. ایران.
11. محمودی، حمید. 1382. بررسی اثر کود بیولوژیکی ازتوباکتر در بستر جامد و مایع بر عملکرد گندم دیم. گزارش نهایی. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم. مراغه. ایران.
12. ملکوتی، محمدجعفر و پیمان کشاورز. 1384. نگرشی بر حاصلخیزی خاک‌های ایران (شناسایی و بهره‌برداری). انتشارات سنا. موسسه تحقیقات خاک و آب. وزارت جهادکشاورزی. ایران.
13. Abrol, Y, P. 1990. Nitrogen in higher plants.John Wiley and Sons,Inc, England.
14. Abdel-Moem., M., and J, Ryan. 1997. Nitrogen fertilizer use efficiency in WANA as determined by ^{15}N technique. p 57-63. In J. Ryane (ed) Accomplishments and future challenge in dryland soil fertility research in the Mediteranean area. ICARDA, Aleppo, Syria.
15. Cakmakç R., M, Turan, M, Gulluce, and F., Sahin. 2014. Rhizobacteria for reduced fertilizer inputs in wheat (Triticum aestivum spp. vulgare) and barley (Hordeum vulgare) on Aridisols in Turkey. International Journal of Plant Production 8(2): 163-181.
16. Cohran, V. L., R. L. Warner and R. I. Papendick. 1978. Effect of depth and nitrogen application rate on yield, protein content and quality of winter wheat. Agron.J. 70: 964-968.
17. Fowler, D. B., and J. Brydon. 1989. No-till winter wheat production on the Canadian prairies: Placement of urea and ammonium nitrate fertilizers. Agronomy Journal. 81: 518-524.
18. Majeed, A., M. K. Abbasi, S. Hameed, A. Imran, and N. Rahim. 2015. Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on plant growth promotion. Original Research 6: 1-10.
19. Martinez Toledo, M. V., J. Gonzalez-lopez, T. DeLa-Rubia, J. Moreno and Ramos-Cormenzana. 1988. Effect of inoculation with Azotobacter chroococcum on nitrogenase activity of Zea mays roots grown in agricultural soils under aseptic and non-sterile conditions. Biol. Fertil. Soils. 69: 170-173.
20. Meshram, S. U., and S. T. Shend. 1982. Total nitrogen uptake by maize with Azotobacter inoculation. Plant and Soil, 69: 275-280.

21. Nazarly, H., and R. Seyed Sharifi. 2013. Study of qualitative and quantitative yield and some agronomic characteristics of sunflower (Helianthus annus L.) in response of seed inoculation with PGPR in various levels of nitrogen fertilizer. Journal of Agroecology 5(3): 308-317. (In Persian)
22. Nieto, K. F., and W. T. Frankenberger. 1990. Influence of adenine, isopenthyle alchol and Azotobacter chroococcum on the growth of Raphanus sativus. Plant and Soil. 127: 147-156.
23. Nuttall, W. F., W. K. Dawleg, S. S. Malbi, and K. E. Bowren. 1989. The effect of spring and fall application of N on yied and quality of barley (Hordeum Vulgare L.) and rapeseed (Brassica compestris L.). Canadian Journal of Soil Science 199-211.
24. Ram, M., M. R. Davari, S. N. and Sharma. 2014. Direct, residual and cumulative effects of organic manures and biofertilizers on yields, NPK uptake, grain quality and economics of wheat (Triticum aestivum L.) under organic farming of rice-wheat cropping system. *ournal of Organic Systems*, 9 (1), pp. 16-30.
25. Ryan J., M. Pala, S. Masri, M. Singh, and H. Harris. 2008. Rainfed wheat-based rotations under Mediterranean conditions: Crop sequences, nitrogen fertilization, and stubble grazing in relation to grain and straw quality. European Journal of Agronomy. 28: 112–118.
26. Sedri, M. H., E, Roohi, M, Niazian and G, Niedbała .2022. Interactive Effects of Nitrogen and Potassium Fertilizers on Quantitative-Qualitative Traits and Drought Tolerance Indices of Rainfed Wheat Cultivar. Agronomy J (MDPI). 12: 1-30.
27. Suba Rao, N. S. 1988. Biofertilizers in agriculture. Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, 208 p.
28. Thompson, J. P., and V. B. D. Skerman. 1979. Azotobacterceae.417p. Academic press INC(Londen).
29. Welch, R. M., W. H. Allaway, W.A. House and J. Kubota. 1991. Geographic distribution of trace element problems. 2nd ed. Ed: J. J. Mortvedt et al. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI:31-57
30. Yahalon, E., Y. Kapulnik and Y. Okon. 1984. Response of Setaria italica to inoculation with Azospirillum brasilense as compared to Azotobacter chroococcum. Plant and Soil. 82: 7-85.

ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی ایران

میرناصر نویدی[1]، جواد سیدمحمدی، سیدعلیرضا سیدجلالی، علی زین الدینی، اصغر فرج نیا، غلامرضا زارعیان، نورایر تومانیان، شاهرخ فاتحی، مهناز اسکندری و بهاره دلسوز

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **n.navidi@areeo.ac.ir**

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **j.mohammadi@areeo.ac.ir**

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **ajalali@areeo.ac.ir**

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **a.zeinadini@areeo.ac.ir**

مربی پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران؛ **farajnia1966@yahoo.com**

استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زرقان، ایران؛ **gh.zareian@areeo.ac.ir**

دانشیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران؛ **norairtoomanian@gmail.com**

استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران؛ **sh.fatehi@areeo.ac.ir**

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **mahnazskandari@yahoo.com**

محقق موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **b_delsooz@yahoo.com**

ص: **127- 145**

دریافت: **1401/2/28** و پذیرش: **1401/6/6**

چکیده

مطالعات برای تناسب اراضی کشور پراکنده بوده و تعداد کمی از آن‌ها به‌طور خاص با تمرکز بر تجزیه و تحلیل مناسب بودن اراضی برای کشاورزی انجام شده است، اما اغلب مطالعات مزبور به صورت محلی بوده و تاکنون مطالعات جامعی در سطح کشور انجام نشده است. تعیین تناسب اراضی کشاورزی برای تولید محصولات زراعی یکی از ابزارهای مهم برای بهره‌برداری بهینه از منابع خاک است. برای این منظور با تجمیع، آماده‌سازی و رقومی‌سازی مطالعات خاک و طبقه‌بندی اراضی در سطح کشور و با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری و در نظر گرفتن پهنه‌های زراعی-اقلیمی، واحدهای خاک در دشت‌های آبی در سراسر کشور با هدف تعیین توان اراضی برای کشت آبی گندم مشخص شد. سپس با وارد کردن داده‌های اقلیمی، خاک، و پستی و بلندی در نرم‌افزار تهیه شده بر پایه روش فائو و پارامتریک ریشه دوم، کلیه واحدهای خاک واقع در دشتهای آبی کشور برای کشت گندم آبی مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار گرفت. نتایج نشان داد که 1/4 میلیون هکتار از اراضی مزبور در کلاس مناسب (S1)، 2/08 میلیون هکتار دارای کلاس نسبتاً مناسب (S2)، 1/4 میلیون هکتار دارای کلاس تناسب کم (S3)، و 524 هزار هکتار اراضی دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و 503 هزار هکتار از اراضی نامناسب دائمی (N2) می‌باشند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی دارای دقت قابل قبول می‌باشد. عمده‌ترین ویژگی‌های محدودکننده تناسب اراضی ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بافت، و نیز شوری و قلیائیت، شیب، زهکشی و در برخی مناطق ویژگی‌های اقلیمی می‌باشد. با توجه به نقشه جامع تناسب اراضی و به‌کارگیری نتایج به‌دست آمده، با مدیریت و بهره‌برداری درست از اراضی زیر کشت آبی در سطح کشور، حفظ منابع اراضی به‌ویژه خاک و استفاده پایدار را به دنبال خواهد داشت. ضمناً نتایج فوق، لایه اطلاعاتی مبنایی است که همراه با داده‌های دیگر از جمله آمار اقتصادی برای تدوین الگوی کشت مناسب مورد نیاز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: توان اراضی ، گندم آبی، محدودیت‌های اراضی.

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب، بخش تحقیقات ارزیابی اراضی

مقدمه

امنیت غذایی و اراضی کشاورزی تحت تأثیر فشار عظیمی از رشد جمعیت، تغییرات زیست‌محیطی جهانی شامل تغییر اقلیم، تخریب اراضی و تسریع شهرنشینی قرار گرفته و در حال حاضر این موضوع به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (مکنزی و ویلیامز، 2015؛ صفوان و همکاران، 2022). پیش‌بینی شده است تا سال 2050 برای تغذیه حدود 10 میلیارد نفر جمعیت جهان، افزایش 50 تا 100 درصدی تولید مواد غذایی مورد نیاز است (گرلند و همکاران، 2014). اما پیش‌بینی می‌شودکه در بهترین حالت حدود 25 تا 70 درصد این موضوع تحقق یابد (تیلمن و همکاران، 2011). عدم تعادل بین عرضه مواد غذایی و رشد جمعیت در بسیاری از کشورهای جهان به‌ویژه در آفریقا و خاورمیانه بسیار جدی است (کومو و همکاران، 2017). با توجه به شیوه‌های فعلی کشاورزی، حدود یک میلیارد هکتار اراضی، به‌منظور برآورد تقاضای تخمینی مواد غذایی تا سال 2050 بایستی موجود باشد (تیلمن و همکاران، 2011). از طرف دیگر، با توجه به افزایش جمعیت و محدود بودن اراضی قابل کشت، افزایش سطح زیر کشت به‌طور قابل ملاحظه امکان‌پذیر نیست (گاشاو و همکاران، 2018؛ مینتا و همکاران، 2018). بنابراین افزایش مقدار عملکرد در واحد سطح اراضی قابل کشت باید برنامه‌ریزی شود و گام‌های رسیدن به این هدف بایستی به درستی مدیریت شود (سیدمحمدی و همکاران، 2019a).

لذا ضروری است که به سرعت سامانه‌های کشاورزی نوین و مناسب نه تنها برای تغذیه جمعیت رو به رشد بلکه برای کاهش تأثیرات مخرب زیست‌محیطی ایجاد شود (اسمیت، 2013؛ روتولو و همکاران، 2015؛ آکپوتی و همکاران، 2019). برای توسعه پایدار کشاورزی و رسیدن به امنیت غذایی فعلی و آینده از طریق استفاده کارآمد از منابع اراضی، تحقق اصولی و صحیح افزایش عملکرد در واحد سطح، ارزیابی قابلیت و تناسب اراضی با رویکردهای مکانی مبتنی بر تحلیل و بهینه‌سازی با مدیریت قوی و کارآمد اراضی کشاورزی ضروری است (مونتگومری و همکاران، 2016؛ بونفانته و همکاران، 2018؛ عبدالله و همکاران، 2019؛ سیدمحمدی و نویدی، 2022).

تجزیه و تحلیل تناسب اراضی با در نظر گرفتن عواملی همانند آب و هوا، خاک، کاربری اراضی و پستی و بلندی برای شناخت ظرفیت ذاتی اراضی و انواع محدودیت‌های آن به منظور طراحی کاربری خاص همانند کشت محصول معین انجام می‌شود و یکی از فرآیندهای مهم برنامه‌ریزی کاربری اراضی بوده و یک شرط ضروری برای دستیابی به استفاده بهینه از منابع اراضی موجود است (پرتی و بهاروچا، 2014؛ آکپوتی و همکاران، 2019؛ مظاهره و همکاران، 2019؛ سیدمحمدی و همکاران، 2019b؛ پیله‌ور و همکاران، 2020؛ صفوان و همکاران، 2022).

طبقه‌بندی علمی و اصولی منابع اراضی برای کشاورزی در تصمیم‌گیری انتخاب مناسب کاربری اراضی راهبردی، مورد نیاز است (نیجبروک و اندلمان، 2016). تاکنون مطالعات متعددی با مقیاس کوچک و با وسعت کم در سطح کشور به اجرا گذارده شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به کارهای بامری و همکاران (1382) که محدوده‌ای با وسعت 10337 هکتار در منطقه ایرانشهر را برای کشت آبی گندم مطالعه نموده‌اند یا باقرزاده و همکاران (1391) که حدود 3828 کیلومترمربع از اراضی دشت نیشابور را برای کشت گندم مطالعه کرده‌اند، یا سیدمحمدی و همکاران (1396) که اراضی به وسعت 12000 هکتار را در دشت مغان و صفری و همکاران (1396) که اراضی کشاورزی واقع در دشت زنجان را به مساحت 7000 هکتار برای کشت آبی محصول گندم انجام داده‌اند، اشاره کرد. بنابراین، تجزیه و تحلیل تناسب اراضی کشاورزی برای دستیابی به استفاده بهینه از اراضی با هدف بهره‌وری پایدار از منابع اراضی در برنامه‌های توسعه‌ای کشور اعم از کشاورزی و عمرانی بسیار مهم و

ضروری بوده و برای نیل به این هدف، در این مطالعه اراضی کشاورزی تحت کشت آبی در دشت‌های آبی کشور با روش پارامتریک ریشه دوم برای کشت آبی محصول راهبردی و غله پرمصرف گندم[1] مورد ارزیابی تناسب اراضی قرار گرفت تا همزمان با شناسایی توانایی اراضی، محدودیت‌های آن‌ها نیز در سراسر کشور مشخص و راهکارهای مناسب برای مدیریت آن‌ها در راستای افزایش عملکرد با حفظ منابع خاک و اراضی ارائه شود. امید است نتایج این مطالعه بتواند به پیشرفت سامانه استفاده از اراضی کشاورزی موجود، برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه اراضی از طریق کشاورزی پایدار و حفاظت از منابع خاک و آب کمک نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل اراضی واقع شده در دشت‌های آبی سطح کشور به وسعت حدود 6 میلیون هکتار می‌باشد. اقلیم محدوده مطالعاتی شامل پهنه‌های مختلف اقلیمی از گرم و خشک تا سرد و مرطوب را در بر می‌گیرد.

مراحل پژوهش

به منظور تعیین تناسب اراضی برای کشت گندم در دشت‌های آبی کشور، فرآیند تجمیع، آماده‌سازی، رقومی‌سازی مطالعات خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی، محاسبه مقادیر شاخص اراضی و تعیین کلاس‌های تناسب در واحدهای خاک طی مراحل زیر انجام شد:

جمع‌آوری مستندات

گزارش‌های مطالعات خاکشناسی انجام شده در سطح کشور جمع‌آوری شد. سپس مشخصات کلی مطالعات مانند سال انجام، دقت مطالعه، مقیاس نقشه‌ها، نوع نقشه‌های تفسیری، مساحت مطالعه، سامانه طبقه‌بندی خاک و هم‌چنین کیفیت نقشه‌ها از نظر مرجع مکانی (داشتن مختصات جغرافیایی) و سایر موارد تعیین شدند تا به‌عنوان فراداده[2] 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 ریخت‌شناسی[3] و جدول تجزیه‌های آزمایشگاهی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی افق‌های خاک سری‌های شاهد بررسی و قابلیت بکارگیری آن‌ها در فرآیند ارزیابی تناسب اراضی مورد بررسی قرار گرفت.

رقومی‌سازی اطلاعات و پردازش داده‌ها

نقشه‌های خاک و طبقه‌بندی کاغذی اسکن شده، سپس زمین‌مرجع کردن نقشه‌های دارای مبنای پستی و بلندی، نقشه‌های دارای مختصات و بدون پایه پستی و بلندی و نقشه‌های بدون مختصات جغرافیایی صورت پذیرفت. یکپارچه‌سازی لایه‌های واحدهای خاک و اندکس نقشه‌های پستی و بلندی برای هر منطقه مطالعاتی انجام شده و در نهایت، عملیات هم‌پوشانی کناره‌ای، پالایش و آماده‌سازی نقشه‌ها برای پردازش در محیط نرم‌افزار آرک جی آی اس صورت پذیرفت. داده‌های توصیفی شامل ویژگی‌های ریخت‌شناسی 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 شد. سپس این داده‌ها به داده‌های مکانی مرتبط خود در محیط جی آی اس 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 یکتا تعلق گرفت، به گونه‌ای که بتوانند با نتایج تناسب اراضی مرتبط شوند.

کنترل کیفی مطالعات رقومی‌شده

به منظور کنترل کیفی مطالعات، مرزهای نقشه توسط تصاویر گوگل‌ارث صحت‌سنجی شد و اصلاحات

[1] Triticum aestivum L.

[2] Meta data

[3] Morphology

مورد نیاز صورت پذیرفت. هم‌چنین منابع خطا، مانند خطاهای تکنیکی و فردی در رقومی‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. خطای تکنیکی مربوط به خطای عکس‌های هوایی به‌عنوان لایه پایه مطالعات خاک‌شناسی (موزائیک عکس‌های هوایی) است. خطاهای فردی نیز ناشی از اشتباه خاکشناس در ترسیم مرز خاک‌ها بر روی نقشه تفسیری اولیه و هم‌چنین نقشه نهایی است که پس از مرحله مطالعات میدانی انجام می‌شود. هم‌چنین خطاهای رقومی‌سازی نیز ناشی از انجام این فرآیند بود که غالباً در مراحل مختلف رقومی‌سازی از کپی نقشه‌های اصلی، خطای زمین‌مرجع و خطای ترسیم مرزهای واحدهای نقشه خاک ناشی می‌گردید. با رفع و اصلاح منابع خطا و اشتباه، نقشه‌های رقومی تهیه شده از کیفیت مناسبی برخوردار و برای انجام مطالعه مهیا شدند (جمشیدی، 1398).

تهیه لایه اراضی هدف و اجرای فرآیند تناسب اراضی

پس از تهیه لایه اراضی تحت کشت آبی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست 2014، تصاویر ماهواره مودیس 2015، نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی با عنوان سیمای آبخیزها در سال 1382 با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ و لایه پوششی کشوری کاربری اراضی با مقیاس 1:25000 توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، در محیط جی آی اس با لایه رقومی محدوده دارای مطالعات خاک و طبقه‌بندی اراضی تلفیق شدند. با این کار لایه واحدهای خاک برای ارزیابی تناسب اراضی مشخص شد. این لایه حدود 6 میلیون هکتار از اراضی قابل کشت را شامل شد. وضعیت اقلیم ایران چه به‌صورت منطقه‌ای و چه به‌صورت ملّی با روش‌های متعددی، مورد بررسی قرار گرفته است که اغلبشان به‌دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و عدم توزیع مناسب ارتفاعی و مکانی و استفاده از داده‌های محیطی نامناسب و بکارگیری قالب‌های[1] ریاضی ناکارآمد در مقیاس ملّی بر شرایط پستی و بلندی و پیچیدگی‌های اقلیمی اراضی کشور منطبق نیستند. بنابراین نمی‌توانند مبنای مناسبی برای مطالعات دیگر باشند. با این وجود نقشه پهنه‌بندی زراعی-اقلیمی[2] یونسکو به‌دلیل برخی مزیت‌ها مانند تبعیت پلی‌گون‌ها از روند تغییرات مکانی پستی و بلندی ایران، استفاده از متغیرهای اقلیمی و محیطی افزون‌تر در قالب‌سازی، لحاظ کردن تغییرات ارتفاعی نقطه‌ای و پیوسته و تطابق افزون‌تر کلاس‌های تعریف شده با اقلیم مناطق مختلف، مبنای کلاس‌های اقلیمی قرار گرفت. پس از هم‌پوشانی لایه خاک با نقشه پهنه‌بندی زراعی- اقلیمی، مشخص شد که برای هر یک از واحدهای خاک و ایستگاه هواشناسی کشاورزی[3] مربوطه کدام پهنه زراعی-اقلیمی باید استفاده شود. هم‌چنین زمان‌بندی ظهور مراحل رشد و نمو متأثر از شرایط اقلیمی[4] محصول گندم در نقاط مختلف کشور با همکاری کارشناسان مراکز تحقیقات و سازمان‌های جهادکشاورزی با نهایت دقت و حساسیت بر مبنای پهنه‌های زراعی-اقلیمی تهیه شد. با انجام فرآیندهای ذکر شده، 11386 واحد خاک در دشت‌های آبی کشور مرزبندی گردید. سرانجام برای تعیین شاخص اراضی در واحدهای خاک، ویژگی‌های آب و هوائی شامل درجه حرارت، رطوبت‌نسبی و تابش خورشید، ویژگی‌های خاک و زمین‌نما برای کشت آبی گندم با روش پارامتریک ریشه دوم با استفاده از نرم‌افزار ارزیابی تناسب اراضی تهیه شده در مؤسسه تحقیقات خاک و آب و با توجه به جدول‌های نیازمندی‌های محصول گندم (جدول‌های 1 و 2) مورد ارزیابی قرار گرفت.

1. Models

2. Agro-Climatic Zones (ACZ)

3. Synoptic station

4. Phenology period

جدول 1- نیازمندی‌های خاک و زمین‌نما برای کشت آبی گندم (سیدجلالی و همکاران، 2019)

کلاس، سطح محدودیت و مقیاس درجه‌بندی						
کلاس تناسب		S1	S2	S3	N1	N2
سطح محدودیت		0	1	2	3	4
درجه‌بندی		100 95	85	60	40	25 0
پستی و بلندی						
شیب (%)		1-0	2-1	5-2	8-5	>8
خیسی						
سیل‌گیری		F0	-	F1	F2	F3+
زهکشی	خاک‌های متوسط و سنگین	خوب	متوسط	ناقص	ضعیف و تهویه‌دار	- ضعیف اما قابل زهکشی ضعیف غیرقابل زهکشی
	خاک‌های سبک	ناقص	متوسط	خوب	ضعیف و تهویه‌دار	ضعیف اما قابل زهکشی ضعیف غیرقابل زهکشی
ویژگی‌های فیزیکی خاک						
بافت/ساختمان		C<60s, SiC, Co, Si, SiL, CL, SiCL, SiCs	C<60v, SC, C>60s, L	C>60v, SCL	SL, LfS, LS	Cm, SiCm, LcS, fS, cS, S
ذرات درشت (درصد حجمی)		3-0	15-3	35-15	75-35	>75
عمق خاک (سانتی‌متر)		>90	50-90	20-50	10-20	<10
آهک (%)	اولیه	20-3	40-20	60-40	70-60	>70
	ثانویه	20-3	30-20	40-30	60-40	>60
گچ (%)		10-0	25-10	40-25	50-40	>50
ویژگی‌های حاصلخیزی خاک						
ACEC (cmol(+)/kg clay)		24<	16-24	<16(-)	<16(+)	
اشباع بازی (%)		80<	50-80	35-50	<35	
مجموع کاتیون‌های بازی		8<	5-8	3/5-5	2-3/5	<2
واکنش خاک$_{(H2O)}$		7/5-7	8/2-7/5	8/3-8/2	8/5-8/3	>8/5
		6/5-7	6-6/5	5/6-6	5/2-5/6	<5/2
کربن‌آلی (%)		>1/5	0/8-1/5	<0/8		
شوری و قلیائیت						
شوری (dS/m)		6-0	9-6	13-9	18-13	>18
سدیم تبادلی (%)		15-0	20-15	35-20	45-35	>45

جدول 2- نیازمندی‌های اقلیمی برای کشت آبی گندم (سیدجلالی و همکاران، 2019)

کلاس، سطح محدودیت و مقیاس درجه‌بندی						
کلاس تناسب		S1	S2	S3	N1	N2
سطح محدودیت		0	1	2	3	4
درجه‌بندی		100 95	85	60	40	25 0
متوسط دما در چرخه رشد (°C)		20-18	23-20	25-23	30-25	- >30
		15-18	12-15	10-12	10-12	- <8
متوسط دما در مرحله رویشی (°C)		8-10	4/9-8	4-4/9	2-4	- <2
		12-10	18-12	24-18	28-24	- >28
متوسط دما در مرحله گل‌دهی (°C)		14-18	12-14	10-12	8-10	- <8
		22-18	26-22	32-26	36-32	- >36
متوسط دما در مرحله رسیدگی (°C)		16-20	14-16	12-14	10-12	- <10
		24-20	30-24	36-30	42-36	- >42
متوسط حداقل همراه با متوسط حداکثر دمای دمای روزانه سردترین ماه (°C)		اگر کمتر از 8 و کمتر از 21	- -	اگر بیشتر از 8 و کمتر از 21	اگر بین 8 تا 19 و بیشتر از 21	- - - -

نتایج و بحث

توصیف ویژگی‌های خاک و زمین‌نما

برای ارزیابی تناسب اراضی به‌منظور کشت آبی گندم در اراضی دشت‌های آبی کشور، ویژگی‌های دارای محدودیت، شامل شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، عمق خاک و مقدار سنگ‌ریزه)، آهک، گچ، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، درصد سدیم تبادلی و اقلیم انتخاب شدند. مقادیر ویژگی‌های خاک و زمین‌نما برای 11386 واحد خاک به وسعت حدود 6 میلیون هکتار که در دشت‌های آبی کشور قرار گرفته‌اند، با اعمال ضرایب وزنی عمق خاک استخراج گردید. مقدار درصد شیب غالباً بین صفر تا 5/5 درصد بوده و دارای میانگین 2/48 درصد است. 94/52 درصد از واحدهای خاک (10762 واحد) از نظر خطر سیل‌گیری بدون محدودیت بود، در 3/95 درصد از واحدها (450 واحد) دارای محدودیت کم، 1/41 درصد از واحدها (160 واحد) دارای محدودیت متوسط و 0/12 واحدهای خاک (14 واحد) دارای محدودیت خیلی زیاد خطر سیل‌گیری بودند. در مورد وضعیت زهکشی خاک‌های مورد بررسی قابل ذکر است که 8646 واحد دارای زهکشی خوب، 1409 واحد زهکشی متوسط، 1063 واحد دارای زهکشی ناقص، 103 واحد دارای زهکشی ضعیف با تهویه، 82 واحد دارای زهکشی ضعیف اما قابل اصلاح و 84 واحد زهکشی ضعیف غیرقابل اصلاح دارند. واحدهای خاک مورد مطالعه همه کلاس‌های بافتی مشاهده شد. کمینه[1] مقدار آهک خاک‌های مورد بررسی صفر و بیشینه[2] 81/8 درصد با میانگین 26/32 درصد می‌باشد. مقدار کمینه گچ در خاک‌های مورد بررسی صفر و مقدار بیشینه آن 80 درصد بود که متوسط مقدار آن 1/18 درصد محاسبه شد. واکنش خاک از 4/94 تا 12 متغیر بود و متوسط آن 7/8 می‌باشد. در مورد شوری خاک مقدار کمینه صفر و بیشینه 188 دسی‌زیمنس بر متر بود. میانگین هدایت الکتریکی در خاک‌های مورد بررسی 7/03 دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد. درصد سدیم تبادلی در خاک‌های مورد بررسی دارای مقدار کمینه صفر و بیشینه 100 بود. متوسط مقدار آن 7/72 درصد محاسبه شد. از نظر اقلیمی واحدهای خاک مورد بررسی در پهنه‌های اقلیمی متفاوت قرار داشتند و محصول گندم آبی نیز از نظر اقلیمی در شرایط اقلیمی متفاوت مورد کشت قرار می‌گیرد.

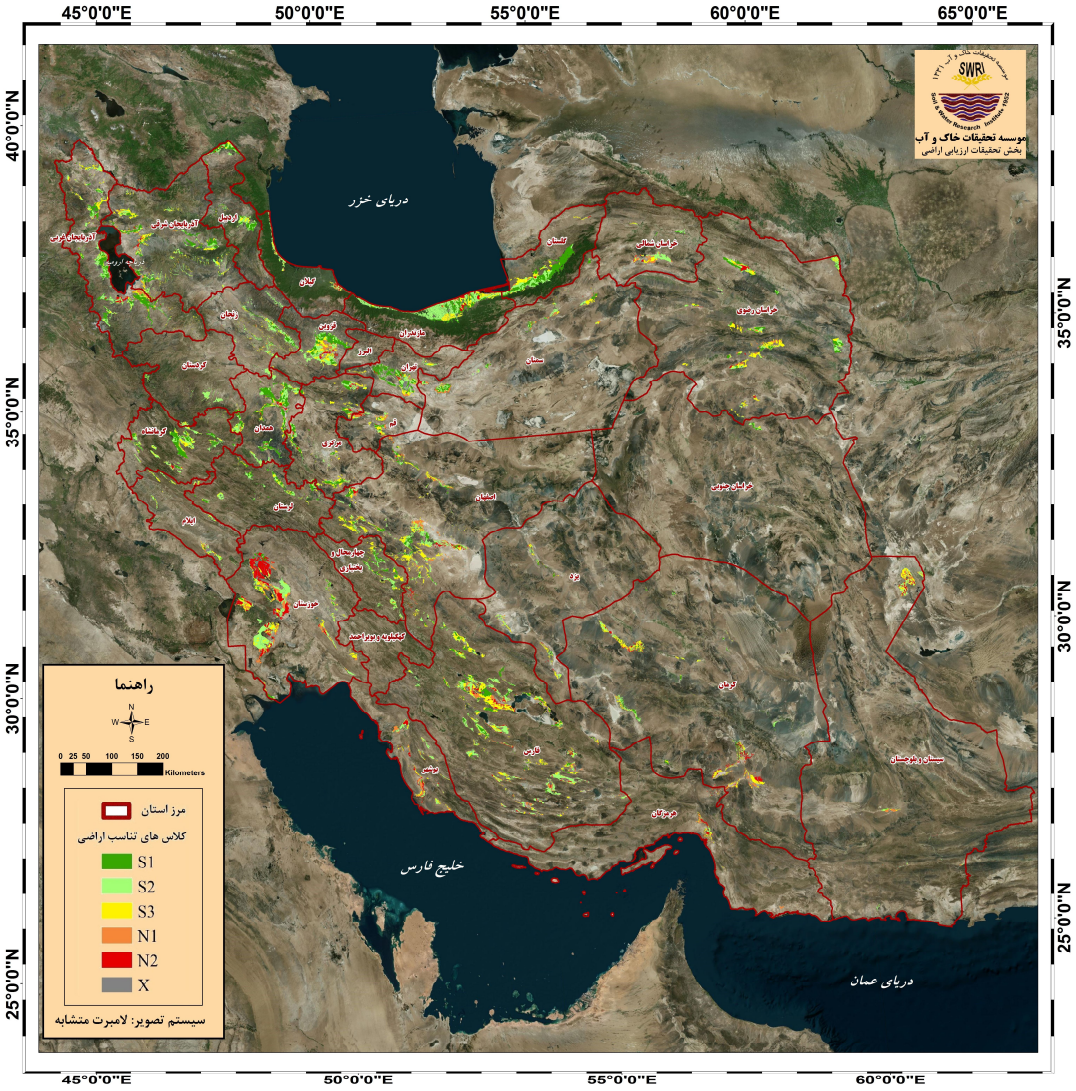
تناسب اراضی و عوامل محدودکننده

مقادیر ویژگی‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم با استفاده از جدول‌های 1 و 2 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. در شکل 1 توزیع کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی گندم در دشت‌های آبی کشور ارائه شده است. نتایج نشان داد که 220,419,1 هکتار از اراضی مورد بررسی در سطح کشور در کلاس مناسب (S1)، 2,084,868 هکتار از اراضی تحت کشت آبی دارای کلاس نسبتاً مناسب (S2)، 1,395,618 هکتار دارای کلاس تناسب کم یا بحرانی (S3)، اراضی به مساحت 524,531 هکتار دارای کلاس نامناسب در حال حاضر (N1) و 503,199 هکتار از اراضی مورد مطالعه نامناسب دائمی (N2) برای کشت آبی گندم هستند (شکل 2). وسعت اراضی کلاس‌های مختلف تناسب اراضی و عوامل غالب محدودکننده به تفکیک استان‌ها در جدول 3 ارائه شده است.

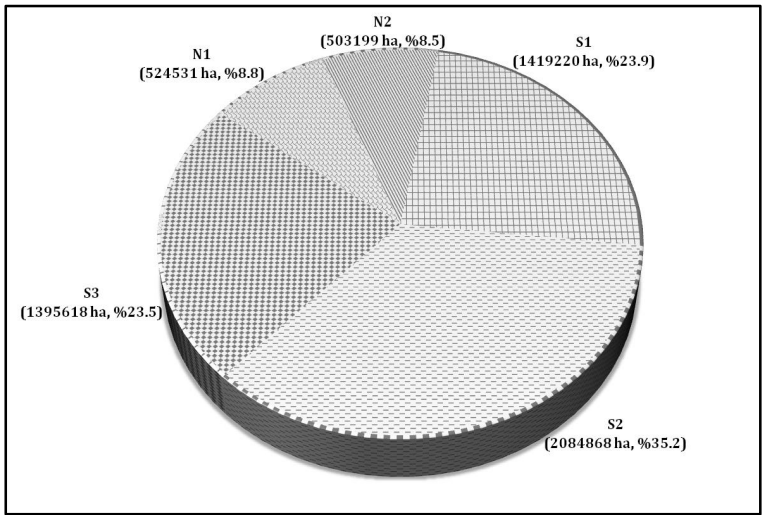
---

[1] Minimum

[2] Maximum



شکل 1- نقشه ارزیابی تناسب اراضی برای کشت آبی گندم در سطح دشت‌های آبی کشور



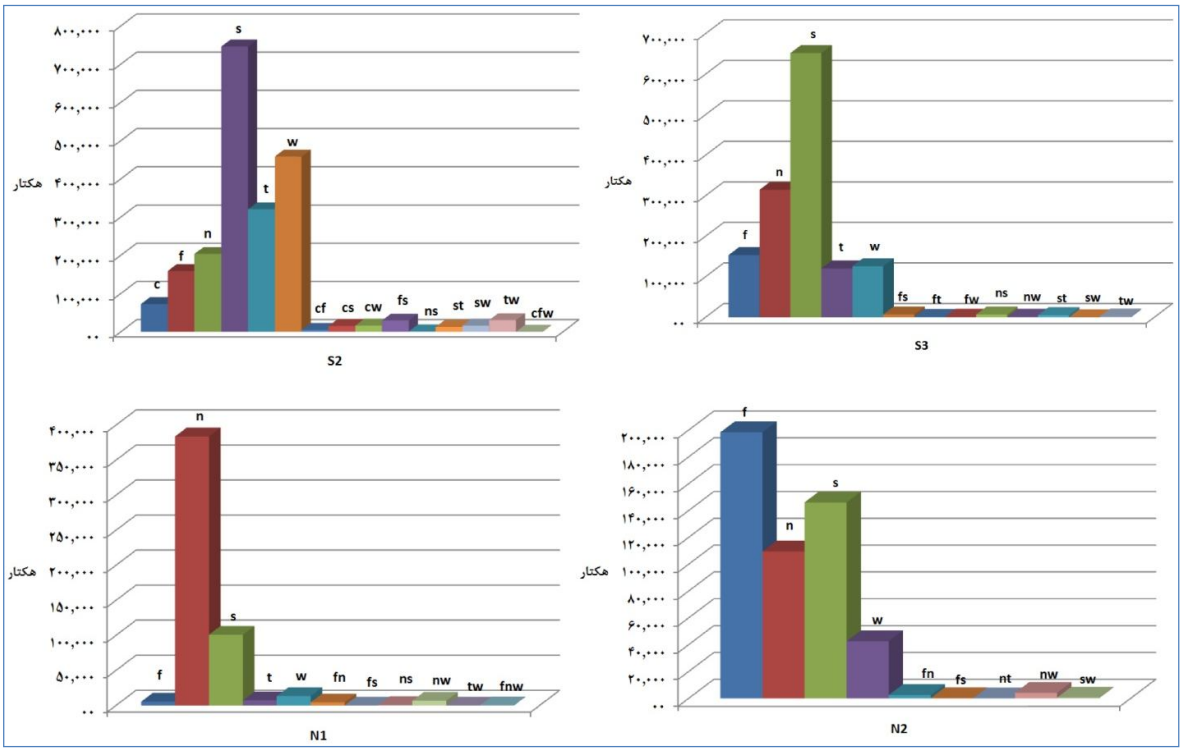
شکل 2- درصد و مساحت کلاس‌های تناسب اراضی برای کشت آبی گندم

جدول 3- وسعت اراضی قرار گرفته در کلاس‌های تناسب اراضی و عوامل محدودکننده به تفکیک استان

استان	کلاس تناسب	وسعت (هکتار)	عوامل محدودکننده غالب
آذربایجان‌شرقی	S1	92961/3	-
	S2	90456	شیب، عمق، ذرات درشت، بافت و زهکشی
	S3	92496/4	بافت، شیب و شوری یا قلیائیت
	N1	21423	شوری و قلیائیت
	N2	8773/5	شوری و قلیائیت
آذربایجان‌غربی	S1	143503/7	-
	S2	123314/1	بافت، عمق، سنگریزه، آهک، زهکشی، شیب، شوری و قلیائیت
	S3	63553/6	بافت، عمق، ذرات درشت، آهک، زهکشی، شیب، شوری و قلیائیت، واکنش خاک
	N1	25102/3	شوری و قلیائیت
	N2	18008/4	اسیدیته خاک
اردبیل	S1	47184	-
	S2	48862/5	زهکشی، شیب، شوری و قلیائیت و بافت
	S3	15007/7	شوری و قلیائیت، بافت، عمق، ذرات درشت و آهک
	N1	531/4	شیب و بافت
	N2	1248/6	واکنش خاک
تهران	S1	80015/6	-
	S2	39012/9	شیب، بافت، زهکشی و واکنش خاک
	S3	24838/3	شوری و قلیائیت، بافت و واکنش خاک
	N1	9157/2	بافت، عمق و زهکشی
	N2	4210/7	واکنش خاک
خراسان شمالی	S1	3448/2	-
	S2	32339/8	واکنش خاک، بافت، عمق و شیب
	S3	13762/1	شوری و قلیائیت، بافت، عمق و آهک
	N1	16987	شوری و قلیائیت، بافت، عمق و آهک
	N2	3330/5	بافت، آهک، عمق و شوری و قلیائیت
خراسان رضوی	S1	66704	-
	S2	78303/1	بافت، شیب و شوری و قلیائیت
	S3	101316	بافت، واکنش خاک، شوری و قلیائیت
	N1	24270/6	بافت، ذرات درشت، شوری و قلیائیت
	N2	15065/1	واکنش خاک، بافت و شوری و قلیائیت
خوزستان	S1	29785/4	-
	S2	192641/8	بافت، آهک، زهکشی، سیل‌گیری، شیب
	S3	103026/9	بافت، آهک، شوری و قلیائیت، زهکشی، سیل‌گیری و واکنش خاک
	N1	94579/9	شوری و قلیائیت، زهکشی و بافت
	N2	195938/2	واکنش خاک، شوری و قلیائیت، بافت، زهکشی
زنجان	S1	17723/6	-
	S2	94029/4	شیب، بافت، واکنش خاک و زهکشی
	S3	23963/3	شیب، بافت و زهکشی
	N1	4871/1	بافت، عمق و شیب
	N2	144/9	شیب و شوری و قلیائیت
فارس	S1	115440/8	-
	S2	274293/7	بافت، آهک، شوری و سیل‌گیری
	S3	215902/9	بافت، آهک، ذرات درشت، سیل‌گیری، شوری و قلیائیت و واکنش خاک
	N1	72898/7	شوری و قلیائیت، بافت، آهک
	N2	53638/7	بافت، آهک، شوری و قلیائیت
قزوین	S1	73305/1	-

	S2	96827/5	واکنش خاک، بافت، آهک، زهکشی، شوری و قلیائیت و شیب
	S3	53582/9	واکنش خاک، شوری و قلیائیت، بافت، آهک، عمق، ذرات درشت و زهکشی
	N1	17949/6	شوری و قلیائیت و زهکشی
	N2	10591/5	شوری و قلیائیت و زهکشی
کرمان	S1	20657/8	-
	S2	41864/2	بافت، آهک، عمق، شوری و قلیائیت و واکنش خاک
	S3	97456/8	شوری و قلیائیت، واکنش خاک، بافت، عمق، آهک و ذرات درشت
	N1	26770/6	شوری و قلیائیت، بافت، آهک، عمق خاک
	N2	43087/5	بافت، آهک، عمق، واکنش خاک و شوری و قلیائیت
کرمانشاه	S1	87417/3	-
	S2	93447/6	شیب، بافت، عمق و واکنش خاک
	S3	39528/1	شیب، بافت، شوری و زهکشی
	N1	51/9	شیب، بافت، آهک
	N2	4511/3	واکنش خاک و زهکشی
ایلام	S1	2565/1	-
	S2	27584/1	بافت، آهک، عمق و زهکشی
	S3	18029/1	بافت، آهک، عمق، شوری و قلیائیت و زهکشی
	N1	4689/8	شوری و قلیائیت و بافت
	N2	2590	بافت، آهک و شوری و قلیائیت
چهارمحال و بختیاری	S1	33430/6	-
	S2	48922/2	بافت، آهک، عمق، شیب و زهکشی
	S3	31596/8	بافت، آهک، عمق و شیب
	N1	2867/2	بافت، شوری و قلیائیت و شیب
	N2	1251/1	بافت، عمق و ذرات درشت
لرستان	S1	36827/2	-
	S2	41147	بافت، عمق، آهک، شیب و زهکشی
	S3	18881/2	بافت، عمق، آهک، شیب و زهکشی
	N1	1445/2	بافت و شیب
	N2	177/6	بافت و ذرات درشت و آهک
همدان	S1	141743/4	-
	S2	96828/9	شیب، واکنش خاک، شوری و قلیائیت و زهکشی
	S3	32867/4	بافت، عمق، آهک، شیب و واکنش خاک
	N1	7860/9	شوری و قلیائیت و زهکشی
	N2	10448/9	واکنش خاک و زهکشی
مازندران	S1	68494/2	-
	S2	195833/1	زهکشی، بافت، عمق و واکنش خاک
	S3	69229/5	بافت، عمق، شوری و قلیائیت و زهکشی
	N1	5345/8	بافت و واکنش خاک
	N2	16405/3	زهکشی و بافت
گلستان	S1	149289/6	-
	S2	70930/3	زهکشی، شیب و شوری و قلیائیت
	S3	39653/6	شوری و قلیائیت و زهکشی
	N1	3814/2	شوری و قلیائیت
	N2	1834/2	زهکشی و شوری و قلیائیت
هرمزگان	S1	-	-
	S2	5904/4	اقلیم و بافت
	S3	9905/1	بافت و شوری وقلیائیت
	N1	12630/7	شوری و قلیائیت و بافت
	N2	10994/1	واکنش خاک، زهکشی و بافت

	1099/5	S1	
-	32986/9	S2	
بافت، عمق و شوری و قلیائیت	18814/1	S3	بوشهر
شوری و قلیائیت و بافت	30670/7	N1	
شوری و قلیائیت و بافت	18052/2	N2	
بافت، عمق و واکنش خاک	77633/5	S1	
-	122316/9	S2	
بافت، آهک، شوری و قلیائیت، شیب، واکنش خاک و زهکشی	161015/4	S3	اصفهان
بافت، عمق، ذرات درشت و شوری و قلیائیت	62409/5	N1	
شوری و قلیائیت، بافت، عمق، آهک و شیب	31124/6	N2	
واکنش خاک، بافت، عمق و آهک	75324/6	S1	
-	49234/8	S2	
بافت، آهک، عمق، شیب، شوری و قلیائیت و واکنش خاک	52169	S3	مرکزی
بافت، آهک، عمق، شوری و قلیائیت، شیب و زهکشی	6391/7	N1	
شوری و قلیائیت	14245/1	N2	
واکنش خاک، شوری و قلیائیت و بافت	32018/1	S1	
-	38574/9	S2	
شوری و قلیائیت، بافت، آهک، واکنش خاک	17324	S3	سمنان
بافت، عمق، آهک، شوری و قلیائیت و شیب	24599	N1	
شوری و قلیائیت و بافت و آهک	4100/9	N2	
شوری و قلیائیت و واکنش خاک	4512/9	S1	
-	18874/1	S2	
بافت، آهک، عمق، واکنش خاک، اقلیم و شوری و قلیائیت	19752/3	S3	یزد
شوری و قلیائیت، بافت، آهک، عمق و واکنش خاک	2395/1	N1	
شوری و قلیائیت	3473/7	N2	
واکنش خاک، شوری و قلیائیت، بافت و آهک	7158/7	S1	
-	35643/7	S2	
اقلیم، شیب، بافت، آهک و عمق	5253/7	S3	کردستان
شیب، بافت و شوری و قلیائیت	992	N1	
بافتف آهک و شوری و قلیائیت	359/4	N2	
زهکشی	8336/3	S1	
-	13756/7	S2	
بافت، عمق، آهک و شوری و قلیائیت	19942/8	S3	قم
بافت، عمق، آهک، زهکشی و شوری و قلیائیت	15593/3	N1	
شوری و قلیائیت و بافت	6333/7	N2	
شوری و قلیائیت	815/5	S1	
-	36901/5	S2	
شوری و قلیائیت، بافت، اقلیم، واکنش خاک، زهکشی	26612/3	S3	سیستان و بلوچستان
شوری و قلیائیت و بافت	24661/4	N1	
شوری و قلیائیت	13679/9	N2	
بافت و واکنش خاک			



شکل 3- وسعت اراضی محدودشده با ویژگی‌های متفاوت در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی (w: خطر زهکشی و سیل‌گیری، s: ویژگی‌های فیزیکی، n: شوری و قلیائیت، f: حاصلخیزی، t: پستی و بلندی و c: اقلیم)

با توجه به شکل 3 مشاهده می‌گردد که در کلاس نسبتاً مناسب (S2) افزون‌ترین وسعت اراضی دشت‌های آبی کشور برای کشت گندم با عوامل فیزیکی مختلف خاک نظیر بافت خاک، عمق خاک، درصد سنگ‌ریزه، مقدار آهک و گچ محدود شده‌اند. محدودکننده‌ترین عوامل افزون‌بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در این کلاس تناسب برای کشت آبی گندم، به ترتیب از وسعت زیاد به کم شامل زهکشی، شیب، شوری و قلیائیت، واکنش خاک و اقلیم منطقه می‌باشد. محدودیت‌های اراضی دارای کلاس تناسب کم (S3) در دشت‌های آبی کشور برای کشت گندم به ترتیب ویژگی‌های فیزیکی خاک عمدتاً بافت و آهک خاک، شوری و قلیائیت، واکنش خاک، خطر سیل‌گیری و شیب می‌باشد. در کلاس تناسب N1، شوری و قلیائیت خاک و ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله بافت و گچ خاک افزون‌ترین وسعت اراضی واقع شده در این کلاس را محدود کرده‌اند. ویژگی‌های واکنش خاک و بافت خاک و در برخی واحدها مقدار گچ خاک، شوری و قلیائیت و زهکشی مهم‌ترین عوامل محدودکننده در اراضی دارای کلاس تناسب N2 است که وسعت زیادی از اراضی قرار گرفته در این کلاس را برای کشت آبی گندم محدود کرده‌اند. ویژگی‌های محدودکننده اقلیمی در اراضی مورد بررسی شامل متوسط دما در چرخه رشد[1] (شهرستان‌های زرقان، بیجار، قروه، تربت‌جام، نیشابور و رشت)، دوره گل‌دهی (سپیدان و شاهرود) و سبزینگی (جاسک، نیک‌شهر، کنارک و چابهار) می‌باشد. در سایر مناطق محدودیت اقلیمی برای رشد و توسعه محصول گندم در چرخه رشد وجود ندارد.

تحلیل آماری نتایج

برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی و اثرات ویژگی‌ها روی کلاس‌های تناسب، با توجه به مقادیر ویژگی‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم در واحدهای خاک مورد مطالعه، تجزیه واریانس چندمتغیره[2] بین

1. Growth cycle
2. Multivariate analysis of variance (MANOVA)

کلاس‌های تناسب اراضی انجام شد. این آزمون چندمتغیره در تحقیقات متعددی برای بررسی دقت واحدهای نقشه خاک تفکیک شده (اسفندیارپور بروجنی و همکاران، 2010)، دقت تفکیک کلاس‌های حاصلخیزی در نقشه حاصلخیزی خاک (دواتگر و همکاران، 2012؛ تری‌پاتی و همکاران، 2015 و بیهرا و همکاران، 2018) و کلاس‌های تناسب اراضی تفکیک شده برای کشت آبی جو (سیدمحمدی و همکاران، 2019a) استفاده شده است. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره با توجه به آزمون لامبدای ویلکس[1] در سطح احتمال 95 درصد مشخص کرد که بین کلاس‌های تناسب اراضی با حدود اطمینان[2] کمتر از 0/0001 اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 4). بنابراین با توجه به تجزیه آماری فوق و مقدار آماره آزمون، می‌توان گفت که تفکیک کلاس‌های تناسب به درستی انجام شده است. هم‌چنین همگنی مقادیر ویژگی‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون لِون[3] مورد بررسی قرار گرفت (جدول 5). نتایج نشان داد که مقادیر ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر همگنی دارای اختلاف معنی‌دار بوده، بنابراین غیرهمگن هستند یعنی بین کلاس‌های تناسب اراضی از نظر مقادیر ویژگی‌های خاک و زمین‌نما تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود داشته که نشان‌دهنده دقیق بودن تفکیک کلاس‌ها از نظر آزمون لِون می‌باشد.

بررسی اثرات ویژگی‌های خاک، زمین‌نما و اقلیم روی کلاس‌های تناسب تفکیک شده برای کشت آبی گندم در سطح کشور نشان می‌دهد که همه ویژگی‌های مورد بررسی دارای اثرات معنی‌دار قاطع با احتمال بیش از 99 درصد بوده‌اند (جدول 6). برای تعیین مهم‌ترین مشخصه‌های مؤثر در تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی مقایسه میانگین مقادیر مشخصه‌ها بین کلاس‌های تناسب با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[4] در سطح احتمال 95 درصد انجام شد (جدول 7). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میان ویژگی‌های مورد بررسی شیب، سیل‌گیری، زهکشی، بافت و واکنش خاک بین همه کلاس‌های تناسب اراضی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. شوری و قلیائیت خاک بین کلاس‌های S1 و S2 اختلافشان معنی‌دار نشده اما میان سایر کلاس‌های تناسب اراضی دارای اختلاف معنی‌دار بودند. با توجه به جدول 6 مشاهده می‌شود که مقادیر ویژگی‌های محدودکننده (دارای اثر منفی در کشت و توسعه محصول) شامل سیل‌گیری، زهکشی، بافت (بافت، ساختمان، عمق خاک و درصد سنگ‌ریزه)، آهک، گچ، واکنش خاک، شوری و قلیائیت خاک از کلاس S1 تا N2 افزایش داشته و درجه‌شان کاهش یافته است.

مقایسه مقادیر متوسط، کمینه و بیشینه درجات ویژگی‌ها در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی نشان می‌دهد که در کلاس تناسب S2 شدت محدودکنندگی ویژگی‌ها به صورت شیب> بافت> آهک> واکنش خاک> زهکشی>اقلیم> سیل‌گیری> شوری> درصد سدیم تبادلی>گچ می‌باشد (جدول 8). با توجه به جدول 7 مهم‌ترین عامل محدودکننده کشت آبی گندم در کلاس تناسب S2 اول شیب اراضی و سپس بافت خاک می‌باشد. در کلاس تناسب S3 به صورت بافت> شیب> آهک> واکنش خاک> زهکشی> شوری> اقلیم> سیل‌گیری> درصد سدیم تبادلی> گچ، در کلاس تناسب N1 به‌صورت بافت> شوری> درصد سدیم تبادلی> شیب> آهک> واکنش> زهکشی> اقلیم>سیل‌گیری>گچ و در کلاس N2 ویژگی‌های محدودکننده به ترتیب شدت محدودیت شامل بافت>واکنش خاک>شوری>درصد سدیم تبادلی> آهک> زهکشی> شیب> اقلیم> سیل‌گیری> گچ می‌باشند. در کلاس‌های تناسب S3، N1 و N2 مهم‌ترین ویژگی محدودکننده بافت است.

---

1. Wilks' lambda
2. P-value
3. Levene test
4. Least significant difference (LSD)

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس چند متغیره بین کلاس‌های تناسب اراضی (α=0/05)

آزمون	آماره	F	df_H	df_E	P-value
لامبدای ویلکس	0/251	473/5	40	43123	<0/0001

جدول 5- نتایج آزمون لِوِن برای بررسی واریانس خطای ویژگی‌ها بین کلاس‌های تناسب

ویژگی	F	df1	df2	P-value
شیب	514/6	4	11381	<0/0001
سیل‌گیری	553/3	4	11381	<0/0001
زهکشی	740/9	4	11381	<0/0001
بافت	3045	4	11381	<0/0001
آهک	186/9	4	11381	<0/0001
گچ	451/1	4	11381	<0/0001
واکنش خاک	369/3	4	11381	<0/0001
شوری	1054/2	4	11381	<0/0001
درصد سدیم تبادلی	2863/5	4	11381	<0/0001
اقلیم	28	4	11381	<0/0001

جدول 6- نتایج آزمون اثرات متغیرها در کلاس‌های تناسب

منبع	ویژگی	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-value
کلاس تناسب	شیب	7962/5	4	1990/6	349/3	<0/0001
	سیل‌گیری	34386/3	4	8596/6	145/2	<0/0001
	زهکشی	176114/9	4	44028/7	313/3	<0/0001
	بافت	2008442/2	4	502110/5	1229/5	<0/0001
	آهک	99468/5	4	24867/1	83	<0/0001
	گچ	15468/9	4	3865/9	152/4	<0/0001
	واکنش خاک	166/5	4	41/6	296/6	<0/0001
	شوری	774552/8	4	193638/2	651/3	<0/0001
	درصد سدیم تبادلی	772532/2	4	193133	919/6	<0/0001
	اقلیم	1809/5	4	452/4	17/5	<0/0001

جدول 7– مقایسه میانگین مقادیر ویژگی‌های اراضی در کلاس‌های تناسب اراضی با آزمون LSD (α=0/05)

کلاس تناسب	شیب (%)	سیل‌گیری	زهکشی	بافت	آهک (%)	گچ (%)	واکنش خاک	شوری ($dS\ m^{-1}$)	درصد سدیم تبادلی (%)	اقلیم
S1	$0/96^{e}$	$97/5^{a}$	$96/3^{a}$	$95/4^{a}$	$18/7^{c}$	$0/32^{d}$	$7/7^{e}$	$1/59^{d}$	$1/88^{d}$	$96/3^{a}$
S2	$2/07^{c}$	$96/7^{b}$	$93/8^{b}$	$88/9^{b}$	$26/9^{b}$	$0/54^{cd}$	$7/74^{d}$	$1/99^{d}$	$2/74^{d}$	$95/3^{b}$
S3	$3/43^{a}$	$95/8^{c}$	$93/1^{c}$	$69/4^{c}$	$26/3^{b}$	$0/75^{c}$	$7/78^{c}$	$3/57^{c}$	$4/63^{c}$	$95/6^{c}$
N1	$2/92^{b}$	$95/3^{d}$	$89/5^{d}$	$59/9^{d}$	$28/9^{a}$	$2/36^{b}$	$7/83^{b}$	$20/59^{b}$	$18/62^{b}$	$95/1^{bd}$
N2	$1/76^{d}$	$90/8^{e}$	$81/3^{e}$	$58/1^{e}$	$29/7^{a}$	$4/22^{a}$	$8/15^{a}$	$24/21^{a}$	$27/32^{a}$	$94/8^{d}$

جدول 8- مقادیر متوسط، کمینه و بیشینه درجات* ویژگی‌های خاک و زمین‌نما در کلاس‌های تناسب اراضی

کلاس تناسب	شیب	سیل‌گیری	زهکشی	بافت	آهک	گچ	واکنش خاک	شوری	درصد سدیم تبادلی	اقلیم
متوسط درجات ویژگی‌ها										
S1	94/9	97/5	96/3	95/4	94/3	99/8	91/8	98/6	99/3	96/3
S2	85/2	96/7	93/8	88/9	89/3	99/7	91/0	97/0	98/3	95/3
S3	75/0	95/8	93/1	69/4	88/8	99/5	89/1	93/2	95/9	95/6
N1	81/4	95/3	89/5	59/9	86/3	98/5	86/6	68/5	79/7	95/1
N2	89/1	90/8	81/3	58/1	81/2	95/8	66/6	67/2	70/0	94/8
کمینه درجات ویژگی‌ها										
S1	85	97/5	90	76/22	75/93	88	85	85	87	80/2
S2	60	72/5	72/5	52	52/73	66/77	53/95	63/7	65	72/35
S3	32/5	50	32/5	28/94	40/26	52	32/5	32/5	32/5	72/35
N1	32/5	50	32/5	15/19	40/65	55/31	32/5	32/5	32/5	72/35
N2	32/5	12/5	12/5	3/24	12/5	12/5	12/5	32/5	12/5	72/35
بیشینه درجات ویژگی‌ها										
S1	100	97/5	97/5	97/5	100	100	100	100	100	100
S2	100	97/5	97/5	97/5	100	100	100	100	100	100
S3	100	97/5	97/5	97/5	100	100	100	100	100	100
N1	100	97/5	97/5	97/5	100	100	100	100	100	100
N2	100	97/5	97/5	97/5	100	100	100	100	100	100

*Ratings

تفسیر ویژگی‌های اراضی در ارتباط با عملکرد گندم آبی در استان‌های شاخص

ویژگی‌های خاک در برخی استان‌ها بر اساس سطح زیرکشت و عملکرد گندم آبی مورد بررسی قرار گرفت. در استان خوزستان که دارای افزون‌ترین عملکرد گندم در سطح کشور است، حدود 352 هزار هکتار اراضی تحت کشت آبی گندم با 1/5 میلیون تن تولید (احمدی و همکاران، 1399)، عمده‌ترین ویژگی‌های محدودکننده اراضی در کلاس‌های تناسب S2 و S3 شامل مقدار آهک خاک، بافت، زهکشی، سیل‌گیری و شیب می‌باشد. هم‌چنین کلاس‌های تناسب N1 و N2 برای کشت آبی گندم مشخص کرد که مهم‌ترین عوامل محدودکننده شوری و قلیائیت خاک، زهکشی و واکنش خاک می‌باشد بررسی واحدهای خاک با محدودیت واکنش خاک نشان داد که خاک این واحدها دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای از آهک و سدیم تبادلی هستند که دلیل افزایش مقدار واکنش خاک در این خاک‌ها بوده و باعث نامناسب شدن این خاک‌ها برای کشت آبی گندم شده است. منشاء آهک خاک‌های این مناطق عمدتاً به موادمادری آهکی آن‌ها برمی‌گردد. هر چند وجود مقداری آهک در خاک برای بهبود ساختمان و نفوذپذیری خاک ضروری است اما زیادی مقدار آن در خاک کیفیت خاک را به صورت منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد. آبکافت یون‌های کلسیم باعث افزایش واکنش خاک و نامناسب شدن محیط از طریق بهم‌ریختن تعادل عناصر تغذیه‌ای به‌ویژه عناصر کم مصرف برای رشد و توسعه محصول گندم خواهد شد (اسپوزیتو، 2016؛ ویل و برادی، 2016؛ بلییم، 2017). شدت تبخیر و سیلابی شدن آب‌های جاری در فصول با بارندگی زیاد می‌تواند در دراز مدت دلیل افزایش مقدار شوری و قلیائیت در بسیاری از خاک‌های استان باشد که در برخی موارد باعث افت شدید کیفیت و توان خاک‌ها (کلاس تناسب N2) شده است. استان فارس با 210 هزار هکتار سطح زیرکشت و 914 هزار تن عملکرد جایگاه دوم تولید گندم آبی را دارد (احمدی و همکاران، 1399). محدودیت‌های خاک و اراضی در استان فارس تقریباً شبیه خوزستان بوده و بیشتر ویژگی‌های محدودکننده در

کلاس‌های تناسب S2 و S3 شامل بافت، آهک، شوری و سیل‌گیری و در کلاس‌های N1 و N2 غالباً شوری و قلیائیت، بافت و آهک می‌باشد. البته در برخی نواحی فارس مثل سپیدان و زرقان بر خلاف خوزستان محدودیت اقلیمی برای رشد و توسعه محصول گندم وجود دارد. در مجموع وسعت اراضی مناسب به‌ویژه اراضی کلاس S1 در استان فارس بیشتر از استان خوزستان می‌باشد (شکل 1). دلیل عمده آن به شرایط مساعد خاک‌های فارس از نظر ویژگی‌های محدودکننده برمی‌گردد. خاک‌های تحت کشت آبی این استان از نظر عوامل محدودکننده شوری و قلیائیت نسبت به خاک‌های تحت کشت آبی استان خوزستان عمدتاً دارای کیفیت بهتری می‌باشند.

سومین استان با غالبیت عملکرد در سطح کشور استان گلستان با سطح زیرکشت 161 هزار هکتار و 807 هزار تن می‌باشد (احمدی و همکاران، 1399). عوامل محدودکننده رشد و نمو گندم در این استان در مقایسه با استان‌های فارس و خوزستان کاملاً متفاوت است. در این استان عامل زهکشی اراضی به‌ویژه در کلاس‌های S2 وS3 باعث کاهش توان اراضی و افت کیفیت تناسب برای کشت گندم آبی شده است. وسعت اراضی مناسب گلستان در مقایسه با استان‌های فارس و خوزستان به‌ویژه برای کلاس S1 نسبت به کل اراضی تحت کشت آبی استان‌های مذکور زیاد بوده و اراضی نامناسب در مقایسه با اراضی مناسب بسیار کمتر است (شکل 1). به همین دلیل، مقدار تولید در واحد سطح در استان گلستان (5 تن در هکتار) بیشتر از استان فارس (4/3 تن در هکتار) و استان خوزستان (4/2 تن در هکتار) می‌باشد.

استان خراسان رضوی دارای 156 هزار هکتار وسعت اراضی تحت کشت آبی گندم بوده و مقدار تولید آن 483 هزار تن می‌باشد (احمدی و همکاران، 1399). عوامل محدودکننده کلاس‌های تناسب اراضی S2 و S3 در این استان عمدتاً شامل بافت خاک، شیب زمین و تا حدی شوری و قلیائیت بوده و در کلاس‌های N1 و N2 عوامل محدودکننده شامل بافت خاک، مقدار شوری و زیاد بودن مقدار واکنش خاک ناشی از سدیمی بودن برخی واحدهای خاک (اثر آبکافت سدیم) می‌باشد (اسپارکس، 2003؛ اسپوزیتو، 2016). حدود 99 هزار هکتار از اراضی تحت کشت آبی گندم در استان کرمانشاه واقع شده که دارای تولید معادل 504 هزار تن می‌باشد (احمدی و همکاران، 1399).

اراضی مورد مطالعه کرمانشاه که در کلاس‌های تناسب S2 و S3 قرار گرفته‌اند عمدتاً دارای محدودیت بافت خاک، شیب و شوری زیاد و قابل ملاحظه در برخی از واحدهای خاک هستند. محدودیت‌های شدید مربوط به بافت خاک و واکنش خاک باعث شده تا برخی واحدهای خاک مورد مطالعه در کلاس‌های تناسب N1 و N2 قرار گیرند. عمده واحدهای خاکی که دارای مقدار زیاد واکنش خاک به عنوان عامل محدودکننده بودند مقادیر آهک خاکشان زیاد بوده و به‌نظر می‌آید مقدار زیاد کربنات کلسیم در این خاک‌ها موجب افزایش واکنش خاک شده است. نکته قابل توجه در مورد خاک‌های خراسان رضوی و کرمانشاه این است که با وجود این‌که وسعت خاک‌های تحت کشت آبی خراسان رضوی بیشتر از کرمانشاه است ولی مقدار متوسط عملکرد خاک‌های این استان کمتر است. متوسط عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی حدود 3/09 تن در هکتارو برای استان کرمانشاه حدود 5/05 تن در هکتار محاسبه شده است. بررسی واحدهای خاک قرار گرفته در دو استان مذکور نشان داد که محدودیت خاک‌های خراسان رضوی در مقایسه با کرمانشاه افزون‌تر بوده و عمده خاک‌های استان کرمانشاه در رده مناسب و وسعت زیادی از آن‌ها در کلاس تناسب S1 واقع شده‌اند (شکل 1). بنابراین زیاد بودن مقدار عملکرد با وسعت زیاد اراضی دارای کلاس تناسب مناسب (S1) همدیگر را تایید می‌کنند و نشان‌گر دقیق بودن خروجی‌های این مطالعه می‌باشد.

بررسی مقدار عملکرد متوسط در کشت آبی گندم در دشت‌های آبی کشور نشان داد که افزون‌ترین عملکرد در

استان تهران 6/08 تن در هکتار و کمترین آن در استان سیستان و بلوچستان 2/68 تن در هکتار می‌باشد (احمدی و همکاران، 1399). تحلیل مقادیر ویژگی‌های واحدهای خاک تحت کشت آبی دو استان نشان داد که مهم‌ترین محدودیت‌ها در استان تهران مربوط به بافت خاک و شیب می‌باشد در صورتی‌که در استان سیستان و بلوچستان محدودیت‌ها غالباً مربوط به اقلیم (متوسط دما در مرحله سبزینگی)، بافت خاک، زهکشی و افزون از همه مربوط به شوری و قلیائیت خاک است، هم‌چنین در برخی واحدهای خاک که مقدار قلیائیت قابل ملاحظه بوده، مقدار واکنش خاک زیاد شده و جزء عوامل محدودکننده لحاظ شده است. در مجموع با توجه به شدت محدودیت‌های فوق می‌توان اذعان کرد که کلاس‌های مناسب در استان سیستان و بلوچستان کمتر از استان تهران است. نقشه تناسب اراضی این واقعیت را نشان می‌دهد (شکل 1). وسعت اراضی مناسب به‌ویژه کلاس تناسب S1 در استان تهران افزون‌تر از استان سیستان و بلوچستان است. تفاوت مقدار متوسط عملکرد در این دو استان نیز مؤید این مسئله می‌باشد.

رعایت تناسب اراضی گامی مطمئن در عملکرد زیاد همراه با حفظ خاک برای استفاده آیندگان و افزایش توان خاک می‌باشد. ارزیابی اراضی و تهیه نقشه تناسب اراضی بر اساس نقشه‌های خاک مؤثق یکی از ابزارهای تحقق این امر مهم می‌باشد. نقشه تناسب امکان پهنه‌بندی دقیق اراضی مستعد و غیرمستعد برای کشت محصولات مختلف را فراهم آورده و برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تسهیل می‌نماید. با توجه به این نکته که برآورد صحیح توان و قابلیت واحدهای خاک در فرآیند ارزیابی، شرط اصلی ارائه راهکارها، برنامه پایش و مدیریت کاربردی و اصولی اراضی می‌باشد، بنابراین افزایش اطمینان نسبت به نتایج حاصل از کاربرد روش تحلیل و طبقه‌بندی تناسب اراضی، یکی از مهم‌ترین موضوعات در فرآیند ارزیابی تناسب اراضی است. از طرف دیگر، یکی از مزایای افزایش اطمینان از صحت نتایج تناسب اراضی، کمک به ایجاد تفاهم و کاهش تعارضات در مرحله تصمیم‌گیری در زمینه امکان‌پذیر بودن اجرای طرح تناسب اراضی مورد نیاز از دیدگاه کشاورزی و محیط‌زیست است تا اراضی به طرز مناسبی مورد بهره‌برداری قرار بگیرند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

شناسایی توان اراضی، ارزیابی استعداد اراضی برای انواع فعالیت‌های کشاورزی سبب جلوگیری از تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی، آلودگی منابع آب و خاک، شور شدن اراضی و کاهش سفره آب زیرزمینی شده و توسعه پایدار کشاورزی را به دنبال خواهد داشت. برای این منظور تناسب و استعداد اراضی دشت‌های آبی کشور برای کشت آبی گندم با روش پارامتریک ریشه‌دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی دقت تفکیک کلاس‌های تناسب اراضی از تجزیه واریانس چندمتغیره استفاده شد. مقدار حدود اطمینان آزمون لامبدای ویلکس نشان داد که تفکیک کلاس‌ها دارای دقت زیادی است. هم‌چنین مقایسه میانگین با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار مقادیر ویژگی‌های خاک و اراضی در کلاس‌های تناسب تفکیک شده را نشان داد که حاکی از دقت زیاد کلاس‌های تفکیک شده است. مهم‌ترین ویژگی‌های محدودکننده در اراضی تحت کشت آبی کشور برای کشت گندم شامل بافت، شوری و قلیائیت، شیب، زهکشی و در برخی مناطق ویژگی‌های اقلیمی می‌باشد.

اطلاعات حاصل از انجام مطالعات تناسب اراضی ضمن تعیین ویژه‌مکانی قابلیت‌ها و محدودیت‌های اراضی برای کاربری‌های مورد نظر، به استفاده بهینه از منابع تولید کمک نموده و می‌تواند به‌عنوان راهنما ملاک تصمیم‌گیری برای کارشناسان و بهره‌برداران درگیر درکار طراحی نحوه بهره‌برداری از اراضی قرار گیرد. توسعه پایدار ایجاب می‌نماید که تا حد امکان برنامه کشت برای واحدهای خاک با کلاس‌های رده مناسب طراحی شده و کشت در بقیه اراضی دارای عوامل محدودکننده به نوع و بزرگای عامل محدودکننده بستگی داشته باشد. بنابراین در اراضی

که شدت محدودیت عوامل محدودکننده نظیر اقلیم، ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله بافت خاک و سیل‌گیری زیاد باشند کشت محصول توصیه نمی‌شود. در مورد عوامل محدودکننده همانند شوری و قلیائیت با انجام عملیات اصلاحی براساس بررسی‌های اقتصادی در صورت وجود منابع آب با کیفیت مناسب می‌تواند کلاس تناسب واحد مورد نظر ترقی یافته و بهبود عملکرد را به‌دنبال داشته باشد. انجام عملیات زهکشی و اصلاح اراضی با محدودیت‌های سیل‌گیری و پستی و بلندی در اراضی که از نظر اقتصادی توجیه داشته باشد، برای بهبود کیفیت اراضی و افزایش عملکرد توصیه می‌شود. هم‌چنین در اراضی نامناسب با محدودیت شدید برای حفاظت از منابع خاک و سرمایه بهتر است کشت انجام نگیرد. با توجه به این‌که ویژگی‌های حاصلخیزی خاک می‌تواند از عوامل مهم محدودکننده باشد، لذا مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی بسیار مهم و ضروری بوده و بایستی مورد ملاحظه قرار گیرد. در مجموع می‌توان گفت در صورت به‌کارگیری نتایج به‌دست آمده به‌ویژه 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. ضمناً این اطلاعات و نتایج، حاوی یکی از لایه‌های اطلاعاتی مهم برای تدوین الگوی کشت بوده که برای تحقق صحیح این موضوع لازم است جنبه‌های دیگر از جمله مسائل اقتصادی نیز مورد توجه قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. احمدی، ک.، ح.ر. عبادزاده، ف. حاتمی، ح. عبدشاه، آ. کاظمیان. 1399. آمارنامه کشاورزی. جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، 97 صفحه.
2. باقرزاده، ح.ر.، ع. باقرزاده و ح. معین‌راد. 1391. تحلیل روش‌های پارامتریک در ارزیابی کیفی تناسب اراضی دشت نیشابور برای زراعت گندم. مجله بوم شناسی کشاورزی، جلد 4، شماره 2، صفحه 130-121.
3. بامری، م.، ح. بهرامی و م.ح. مسیح‌آبادی. 1382. ارزیابی کیفی تناسب اراضی دشت چاه شور ایرانشهر برای کشت آبی گندم، جو و یونجه. مجله علوم خاک و آب، جلد 17، شماره 2، صفحه 200-190.
4. جمشیدی، م. 1398. ایجاد لایه‌های اطلاعاتی رقومی منابع خاک اراضی آبی کشور. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، گزارش شماره 57002، 147 صفحه.
5. سیدجلالی، س.ع.، م.ن. نویدی، ع. زین‌الدینی و ز. محمداسماعیل. 1398. نیازهای رویشی گیاهان زراعی. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، 262 صفحه.
6. سیدمحمدی، ج.، ع.ا. جعفرزاده، ف. سرمدیان، ف. شهبازی و م.ع. قربانی. 1396. مقایسه کارآیی روش‌های TOPSIS، AHP و ریشه دوم در تعیین اولویت کشت گندم، جو و ذرت تحت آبیاری بارانی در دشت مغان. مجله دانش آب و خاک، جلد 27، شماره 2، صفحه 59-45.
7. صفری، ی.، م.ا. دلاور و ز. نوری. 1396. ارزیابی تناسب اراضی بخشی از دشت زنجان برای کشت گندم آبی با استفاده از راه‌کار امتیازات محدودیتی. مجله آب و خاک، جلد 31، شماره 2، صفحه 532-522.
8. Abdallah, S., M.A. Elmohemen, S. Hemdan, and K. Ibrahem. 2019. Land Assessment for Agricultural Use in Jizan Basin, KSA, After 48 Years of Jizan Dam Construction. J. Indian Soc. Remote Sens. 47:1895-1904.
9. Akpoti, K., A.T. Kabo-bah, and S.J. Zwart. 2019. Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. Agric. Syst., 173:172-208

10. Behera, S.K., R.K. Mathur, A.K. Shukla, K. Suresh, and C. Prakash. 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.
11. Bleam, W.F. 2017. Soil and Environmental Chemistry. 2nd edition, Academic Press, 586p.
12. Bonfante, A., G. Langella, P. Mercogliano, E. Bucchignani, P. Manna, and F. Terribile. 2018. A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. Sci.Total Environ. 624:294-308.
13. Davatgar, N., M.R. Neishabouri, and A.R. Sepaskhah. 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.
14. Esfandiarpoor Borujeni, I., J. Mohammadi, M.H. Salehi, N. Toomanian, and R.M. Poch. 2010. Assessing geopedological soil mapping approach by statistical and geostatistical methods: A case study in the Borujen region, Central Iran. Catena. 82:1-14.
15. FAO. 2007. Land evaluation: Towards a revised framework. Electronic Publishing Policy and Support Branch, 124p.
16. Gashaw, T., T. Tulu, M. Argaw, and A.W. Worqlul. 2018. Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. Sci. Total Environ. 619:1394-1408.
17. Gerland, P., A.E. Raftery, H. Ševčíková, N. Li, D. Gu, T. Spoorenberg, L. Alkema, B.K. Fosdick, J. Chunn, N. Lalic, and G. Bay. 2014. World population stabilization unlikely this century. Science, 346:234-237.
18. Kummu, M., M. Fader, D. Gerten, J.H. Guillaume, M. Jalava, J. Jägermeyr, S, Pfister, M. Porkka, S. Siebert, and O. Varis. 2017. Bringing it all together: linking measures to secure nations' food supply. Current Opinion Environ. Sustainability, 29:98-117.
19. Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Prog. Plan. 62:3-65.
20. Mazahreh, S., M. Bsoul, and D.A. Hamoor. 2019. GIS approach for assessment of land suitability for different land use alternatives in semi arid environment in Jordan: Case study (AlGadeer Alabyad-Mafraq). Inf. Process. Agric. 6:91-108.
21. McKenzie, F.C., and J. Williams. 2015. Sustainable food production: constraints, challenges and choices by 2050. Food Secur. 7(2):221-233.
22. Minta, M., K. Kibret, P. Thorne, T. Nigussie, and L. Nigatu. 2018. Land use and land cover dynamics in Dendi-Jeldu hilly-mountainous areas in the central Ethiopian highlands. Geoderma, 314:27-36.
23. Montgomery, B., S. Dragićević, J. Dujmović, and M. Schmidt. 2016. A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. Comput. Electron. Agric. 124:340-353.
24. Nijbroek, R.P. and S.J. Andelman. 2016. Regional suitability for agricultural intensification: a spatial analysis of the Southern Agricultural Growth Corridor of Tanzania. Int. J. Agric. Sustain. 14(2):231-247.
25. Pilevar, A.R., H.R. Matinfar, A. Sohrabi, and F. Sarmadian. 2020. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. Ecol. Indic. 110:105887.
26. Pretty, J., and Z.P. Bharucha. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. Ann. Bot. 114(8):1571-1596.
27. Rotolo, G.C., S. Montico, C.A. Francis, and S.Ulgiati. 2015. How land allocation and technology innovation affect the sustainability of agriculture in Argentina Pampas: An expanded life cycle analysis. Agric. Syst. 141:79-93.

28. Safwan, M., K. Alsafadi, H. Ali, S.M.N. Mousavi, S. Kiwan, S. Hennawi, E. Harsanyie, Q.B. Pham, N. Thi Thuy Linh, R. Ali, D.T. Anh, and V.N. Thai. 2022. 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 Int. 37(6):1645-1663.
29. Seyedmohammadi, J., and 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.
30. Seyedmohammadi, J., F. Sarmadian, A.A. Jafarzadeh, and R.W. McDowel. 2019a. Integration of ANP and Fuzzy set techniques for land suitability assessment based on remote sensing and GIS for irrigated maize cultivation. Arch. Agron. Soil Sci. 65:1063-1079.
31. Seyedmohammadi, J., F. Sarmadian, A.A. Jafarzadeh, and R.W. McDowel. 2019b. Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. Geoderma, 352:80-95.
32. Smith, P. 2013. Delivering food security without increasing pressure on land. Glob. Food Sec. 2(1):18-23.
33. Sparks, D.L. 2003. Environmental Soil Chemistry. 2nd edition, Academic Press, 352p.
34. Sposito, C. 2016. The Chemistry of Soils. 3rd edition, Oxford University Press, 272p.
35. Tilman, D., C. Balzer, J. Hill, and B.L. Befort. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc. Nati. Aca. Sci. 108:20260-20264.
36. Tripathi, R., A.K. Nayak, M. Shahid, B. Lal, P. Gautam, R. Raja, S. Mohanty, A. Kumar, B.B. Panda, and R.N. Sahoo. 2015. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. Catena, 133:128-136.
37. Weil, R.R., and N.C. Brady. 2016. The Nature and Properties of Soils. 15th edition, Pearson Education Limited, 1104p.

تأثیر سطوح مختلف فسفر بر رشد، عملکرد و کارایی جذب فسفر در ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*)

محمدعلی خودشناس[1]، جواد قدبیک لو و فریدون نورقلی پور

عضو هیأت علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران؛ **khodshenasm@gmail.com**

عضو هیأت علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران؛ **ghadbykloo@gmail.com**

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **nourfg@yahoo.com**

ص:**147- 162**

دریافت: **1400/11/23** و پذیرش: **1401/2/21**

چکیده

به‌منظور تعیین کارایی ارقام مختلف گلرنگ ازلحاظ جذب فسفر و پاسخ آن‌ها نسبت به مصرف مقادیر کود فسفر، آزمایشی دوساله (1397-1395) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو رقم سینا و پدیده و مقادیر صفر، 25، 50، 75 و 100 کیلوگرم در هکتار فسفر، از منبع سوپر فسفات تریپل در سه تکرار در مزرعه ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی اراک اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه، تعداد غوزه، وزن هزار دانه، جذب فسفر، نیتروژن، پتاسیم و فسفر کارایی کل تحت تأثیر رقم و سطوح فسفر قرار داشت. غیر از وزن کل ماده خشک و غلظت فسفر سایر ویژگی‌های موردمطالعه از تغییرات اثر سال متأثر گردیدند. ارتفاع بوته و غلظت پتاسیم تنها تحت تأثیر رقم بود اما وزن کل ماده خشک و غلظت فسفر تحت تأثیر سطوح فسفر قرار داشت. مقایسه میانگین تأثیر سطوح فسفر بر عملکرد دانه نشان داد که حداکثر عملکرد دانه در هر دو رقم از تیمار 25 کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد. ازنظر شاخص فسفر کارایی کل، سطح 50 و ازنظر کارایی جذب و فاکتور تنش فسفر، سطح 25 کیلوگرم فسفر در هکتار بهینه می‌باشند. شاخص‌های کارایی فسفر بین دو رقم تفاوت معنی‌داری نداشت اما رقم سینا نسبت به رقم پدیده جذب فسفر بالاتری نشان داد

واژه‌های کلیدی: کود دهی، کارایی فسفر، تغذیه گلرنگ

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: اراک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی.

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) یک محصول صنعتی مهم بوده که با دارا بودن بیش از 150 گونه از اسپانیا تا آفریقای شمالی، غرب آسیا و هند پراکنده‌شده است (راستگو، 2013؛ دانک و همکاران، 1992). گلرنگ به دلیل ویژگی‌های مطلوب و خاص نظیر استفاده‌های دارویی و غذایی از گل‌های آن، تولید روغن نباتی باکیفیت بالا، تولید کنجاله به‌عنوان مکمل غذایی مناسب برای دام، مقاومت نسبتاً زیاد آن به تنش‌های غیرزنده ازجمله شوری، خشکی و سرمای زمستانه، از اهمیت خاصی برخوردار است (طهماسبی زاده و همکاران، 2010). درصد روغن دانه گلرنگ بین 20 تا 45 درصد می‌باشد که با توجه به حجم زیاد واردات روغن خوراکی به کشور، می‌تواند جایگزین داخلی مناسبی محسوب گردد. روغن گلرنگ با دارا بودن 78 درصد لینولئیک اسید[1] (اسید چرب اشباع‌نشده)، توکوفرول[2] به‌عنوان آنتی‌اکسیدان ونیز داشتن ویتامین ای، علاوه بر اینکه کاهنده کلسترول خون بوده، برای سلامتی جامعه نیز مفید می‌باشد (ارسلان و تونتراک، 2003).

رشد، نمو و عملکرد گیاهان تحت تأثیر کمبود یا فزونی عرضه هر یک از عناصر غذایی و یا مواد سمی قرار می‌گیرد بنابراین، مدیریت مصرف متعادل و مؤثر کود برای حصول به حداکثر عملکرد گیاه و افزایش کیفیت محصول، ضروری است (امام و نیک نژاد، 1383؛ خادمی و همکاران، 1379؛ خواجه پور، 1371 و گرنت و بیلی، 1993).

جایگزینی گیاهان مناسب برای سامانه‌های تناوب که همواره از چالش‌های پیش رو در کشاورزی پایدار بوده، به وجود اطلاعات اقلیمی، اکولوژیکی و زراعی مرتبط است. توصیه‌های مناسب به زراعی و تغذیه گیاه می‌تواند شرایط رقابت این گیاه با محصولات دیگر را برای قرار گرفتن در الگوهای کشت افزایش دهد. فسفر از عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان بوده که پس از نیتروژن دومین عنصر محدودکننده در تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود. باوجود فراوانی فسفر در طبیعت، به دلیل تثبیت این عنصر در خاک، کمبود آن در بسیاری از خاک‌ها مشاهده می‌شود (کریمیان، 1377). سالانه بیش از 19/3 میلیون تن فسفر در دنیا (اسمیت و همکاران، 2009) و 800 هزار تن در ایران مصرف می‌شود (ملکوتی، 1384). تقریباً 20 درصد فسفر مصرف شده در کشت اول مورد استفاده گیاه قرارگرفته و باقیمانده آن در خاک تثبیت‌شده و به شکل غیرقابل‌دسترس گیاه تجمع می‌یابد (گروتز و گوئرینوت، 2002).

در زمینه تأثیر و کارایی فسفر قنبری کاشان (1396) در تحقیقی نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و فسفر بر عملکرد روغن گلرنگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در بین سطوح کودهای نیتروژن و فسفر، بیشترین عملکرد روغن با میانگین 383/3 کیلوگرم مربوط به مصرف 150 کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره و 75 کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و کمترین مقدار آن با میانگین 340/8 کیلوگرم مربوط به عدم مصرف کود نیتروژن و فسفر بود. همچنین، در بین سطوح مختلف مصرف کود فسفر، کمترین و بیشترین مقدار کارایی مصرف فسفر، با میانگین صفر و 110 کیلوگرم به ترتیب مربوط به تیمارهای عدم کاربرد کود و تیمار مصرف 75 کیلوگرم فسفر بود.

در تحقیقی دیگر حشمتی و همکاران (1396) در تحقیقی عنوان کردند که کاربرد کود فسفر در سطح 50 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار به همراه کود زیستی فسفات بارور-2 به‌صورت بذرمال باعث افزایش عملکرد دانه به میزان 1761/67 کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد و افزایش 12/53 درصدی شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طورکلی، پاسخ محصولات به فسفر اضافه‌شده افزون بر ویژگی‌های گیاه یعنی

[1] Linoleic acid
[2] Tocopherol

به‌کارگیری سازوکارهای فیزیولوژیکی (ترشح اسیدهای آلی و رهاسازی یون هیدروژن) و مرفولوژیکی (افزایش طول ریشه، تعداد و طول تارهای کشنده، تشکیل و رشد ریشه‌های جانبی)، متأثر از عوامل خاکی نظیر پ هاش، شوری، مقدار کربنات کلسیم (هر چه این عامل بیشتر باشد احتمال تثبیت فسفر به ترکیبات کمتر قابل‌دسترس بیشتر است)، میزان پخشیدگی فسفر از فاز جامد به محلول خاک (ظرفیت بافری خاک)، زمان رسیدن به حالت تعادل، مقدار ماده آلی، درجه حرارت خاک و نوع و مقدار رس خاک نیز می‌باشد (پورویماس و مانور، 1993؛ نرکار و همکاران، 2006). مارشنر (1998) بر همین اساس کاهش قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های آهکی به دلیل فراوانی کلسیم و در خاک‌های اسیدی به دلیل فراوانی آلومینیوم و آهن ایجاب می‌نماید که جهت حفظ تولید، همه‌ساله کودهای حاوی فسفر بر اساس آزمون خاک مصرف شوند، ولی معمولاً کارایی پایین کودهای فسفر باعث شده تا استفاده از ژنو تیپ‌ها و ارقام گیاهی ازجمله گلرنگ به‌عنوان یک متغیر مکمل و حتی جایگزین برای افزایش کارایی فسفر موردتوجه باشد (باتن، 1992؛ اردل و بایدر، 2005).

ماهون (1983) و گاهونیا و همکاران (1994) شناخت تغییرات ژنتیکی ارقام و عوامل محیطی را اساس موفقیت در این روش دانستند. گاهونیا و نیلسن (1996) عقیده دارند که ازنقطه‌نظر تغذیه گیاهی ژنو تیپ کارا در جذب فسفر ژنو تیپی است که بتواند فسفر خاک را بیشتر محلول کرده و جذب نماید و یا بتواند از فسفر جذب‌شده برای تولید محصول به نحو مطلوب استفاده نماید. تفاوت کارایی ژنو تیپ‌های مختلف گیاهی در استفاده از فسفر به جذب به‌وسیله ریشه‌ها، یا مصرف توسط گیاه و یا هر دو عامل مربوط می‌باشد (مارشنر، 1998). فوهس و همکاران (1991) تارهای کشنده و گاهونیا و نیلسن (1996) تغییرات اسیدیته در منطقه اطراف ریشه و مارشنر (1995) ترشحات ریشه‌ای را عامل مؤثر معرفی کردند. فوهس و جانک (1983) بیان کردند که میزان فسفر خاک بر رشد ریشه، تشکیل تارهای کشنده و میزان ترشحات ریشه تأثیر دارند. ازترک و همکاران (2005) در تحقیقی دریافتند که تفاوت‌های زیادی بین ارقام ازلحاظ فسفر کارایی وجود دارد و در میان ارقام مورد بررسی، کارایی در جذب مهم‌ترین و مؤثرترین مکانیسم فسفر کارایی به دست آمد، از عملکرد نسبی اندام هوایی هم به‌عنوان شاخص فسفر کارایی استفاده کرده و نشان دادند که پارامترهای غلظت کل فسفر در گیاه و عملکرد اندام هوایی در حالت فسفر ناکافی نیز می‌توانند به‌عنوان شاخص قابل‌اطمینان برای ارزیابی فسفر کارایی باشند. شهباز اختر و همکاران (2013) در مطالعه گلخانه‌ای با کشت هیدروپونیک بر روی چهار رقم کلزا نشان دادند که ارقام کلزا از نظر شاخص‌های کارایی متفاوت بودند به‌طوری‌که دامنه تغییرات فاکتور تنش فسفر در ارقام مورد مطالعه بین 47 تا 67 درصد در نوسان بود آنان اشاره کردند که هر چه فاکتور تنش فسفر کمتر باشد رقم متحمل‌تر به تنش فسفر است. یحیی آبادی و نورقلی پور (1396) در آزمایشی با دو رقم گلرنگ و پنج سطح کود فسفر نشان دادند که تأثیر نوع رقم بر فاکتور تنش فسفر معنی‌دار عنوان نمودند. با توجه به محدود بودن مطالعات انجام‌شده، این تحقیق درزمینه تأثیرمصرف فسفر بر عملکرد و اجزاء آن و در رابطه با شاخص‌های کارایی فسفر گیاه گلرنگ، انجام شد.

روش تحقیق

این تحقیق به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در قالب فاکتوریل در سه تکرار در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی اراک طی سال‌های زراعی 1396-1395 و 1397-1396 اجرا شد. آزمایش دارای دو فاکتور بود، فاکتور اول شامل دو رقم گلرنگ (پدیده و سینا) و فاکتور دوم، پنج مقدار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (0، 25، 50، 75 و 100 کیلوگرم فسفر در هکتار) بود که قبل از کشت استفاده گردید. بعد از آماده‌سازی زمین (آبیاری اولیه، دیسک و تسطیح)، یک نمونه مرکب، شامل پنج نمونه از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری خاک تهیه و آزمایش‌های لازم نظیر بافت به روش هیدرومتر

(بایکوس، 1962)، پ-هاش گل اشباع با الکترود شیشه‌ای (پیچ، 1965)، درصد کربنات کلسیم معادل با استفاده از اسید هیدروکلریک (آلیسون و مود، 1965)، درصد ماده آلی به روش تیتراسیون (واکلی و بلاک، 1934)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (رودز، 1996)، فسفر قابل‌استفاده بر اساس روش اولسن (اولسن و همکاران، 1954)، پتاسیم قابل‌استفاده به روش استات‌آمونیم یک مولار (ساتن و سی، 1958) و عناصر آهن، روی، مس و منگنز قابل‌استفاده (احیایی و بهبهانی زاده،1372) انجام شد (جدول 1). هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به طول پنج متر، فاصله خطوط 50 سانتیمتر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین تکرارها نیز چهار متر در نظر گرفته شد به‌طوری‌که تراکم کشت در هر کرت آزمایشی بر اساس دستورالعمل موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر 25 بوته در مترمربع بود (جباری و همکاران، 1398). 150 کیلوگرم در هکتار نیتروژن بر اساس آزمون خاک از منبع اوره در سه مرحله (کشت، خروج از روزت با رشد سریع و قبل از گلدهی) مصرف شد (نورقلی پور و همکاران، 1393).

پتاسیم به میزان 50 کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم قبل از کشت به‌صورت یکنواخت در تمام کرت‌ها مصرف گردید. همچنین برای کاهش اثرات غیر یکنواختی عناصر آهن، روی، منگنز و مس بومی خاک، این عناصر از منبع سولفات با غلظت سه در هزار در مرحله خروج از روزت و قبل گلدهی با غلظت پایه[1] محلول‌پاشی شد (نورقلی پور و همکاران، 1393). کلیه عملیات زراعی در مرحله داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز، سم‌پاشی علیه شته در مرحله رسیدگی خورجین، وجین، سله شکنی به‌صورت دستی انجام شد.

در انتهای فصل زراعی، پس از حذف دو خط کناری و نیم متر از بالا و پائین هر کرت، عملیات برداشت در سطح 10 مترمربع انجام شد. قبل از برداشت، از هر تکرار تعداد غوزه‌های بارور در مترمربع و پس از برداشت، وزن هزار دانه محاسبه شد. غلظت فسفر و پتاسیم[2] دانه با روش هضم خشک و غلظت نیتروژن[3] با روش هضم تر (احیایی و بهبهانی زاده، 1372) و جذب کل این عناصر (معادله 1) و نیز صفاتی نظیر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، وزن کل ماده خشک، کارایی جذب فسفر دانه (معادله 2) (اوزبرون و رنگل، a 2002)، فسفر کارایی کل (معادله 3) (ازترک و همکاران، 2005) و فاکتور تنش فسفر کل (معادله 4) (صدیق و گلس، 1983) اندازه‌گیری شد.

معادله – 1 غلظت هر عنصر در دانه × عملکرد = جذب کل هر عنصر

معادله – 2 (جذب فسفر دانه در تیمار کود فسفر/ جذب فسفر دانه در تیمار شاهد) = کار آیی جذب فسفر دانه

معادله – 3 100 × (عملکرد دانه در تیمار کود فسفر/ عملکرد دانه در تیمار شاهد) = فسفر کار آیی کل

معادله – 4 100 × وزن ماده خشک تیمار فسفر/ (عملکرد ماده خشک شاهد - عملکرد ماده خشک تیمار) = فاکتور تنش فسفر کل

داده‌های به‌دست‌آمده ازنظر آمار توصیفی با استفاده از نرم‌افزار Spss، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار Sas و نمودارها و محاسبات با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

.

1 Basal dose

4، 5- نتایج غلظت و جذب نیتروژن و پتاسیم به علت مشکلات آزمایشگاهی برای سال اول نشان داده شده است.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قطعات آزمایش (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک)

مشخصات نمونه	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اشباع	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده	آهن قابل استفاده	روی قابل استفاده	منگنز قابل استفاده	مس قابل استفاده	بافت
			درصد			میلی‌گرم بر کیلوگرم						
ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک	7/91	1/12	34/00	21/00	0/43	7/03	250/00	4/35	2/10	10/32	0/95	لوم سیلتی رسی

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول 2 و مقایسه میانگین تأثیر مصرف سطوح مختلف فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم گلرنگ در جدول 3 نشان داده شده است. در ادامه هر کدام از ویژگی‌های مورد مطالعه ارقام گلرنگ ازنظر آماری مورد بحث قرار می‌گیرد.

جدول 2- تجزیه واریانس مرکب اثر سطوح فسفر بر صفات اندازه‌گیری شده (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد دانه	ارتفاع بوته	تعداد غوزه	وزن کل ماده خشک	وزن هزار دانه	غلظت فسفر دانه	جذب فسفر دانه
سال	1	591108 ^{ns}	122/7 ^{ns}	41659 ^{ns}	6295764 ^{ns}	12/1 ^{ns}	0/0011 ^{ns}	0/51 ^{ns}
بلوک	4	53846 ^{ns}	31/6 ^{ns}	325 ^{ns}	1249405 ^{ns}	1/8 ^{ns}	0/0002 ^{ns}	0/26 ^{ns}
رقم	1	2895811 ^{ns}	1704/5 ^{ns}	39475 ^{ns}	2464298 ^{ns}	9/9 ^{ns}	0/0064 ^{ns}	40/81 ^{ns}
سال*رقم	1	1588074**	140/4**	41029**	4403037 ^{ns}	6/3*	0/0003 ^{ns}	12/01**
سطح فسفر	4	2274437*	180/3 ^{ns}	3967**	22853779*	2/7*	0/0135**	35/65**
سال*سطح فسفر	4	147526 ^{ns}	33/8 ^{ns}	36 ^{ns}	3330022 ^{ns}	0/3 ^{ns}	0/0005 ^{ns}	1/75 ^{ns}
رقم*سطح فسفر	4	328569*	39/1 ^{ns}	434*	1141271 ^{ns}	1/5*	0/0006 ^{ns}	3/52*
سال*رقم*سطح فسفر	4	30940 ^{ns}	39/3 ^{ns}	36 ^{ns}	30988020 ^{ns}	0/2 ^{ns}	0/0008 ^{ns}	0/38 ^{ns}
اشتباه	36	58570 ^{ns}	14/6 ^{ns}	339	1415266 ^{ns}	1/0	0/0007 ^{ns}	0/83 ^{ns}
ضریب تغییرات	-	9/1	3/1	7/7	7/9	3/4	11/4	13/9

*,** به ترتیب در سطح 1، 5 درصد اختلاف معنی‌دار داشته و ns بی‌معنی است.

ادامه جدول 2- تجزیه واریانس اثر سطوح فسفر بر صفات اندازه‌گیری شده (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کارایی جذب فسفر دانه	فسفر کارایی کل	فاکتور تنش فسفر کل
سال	1	0/13 ns	3122 ns	211 ns
بلوک	4	0/01 ns	101 ns	109 ns
رقم	1	0/14 ns	683 ns	407 ns
سال*رقم	1	0/005 ns	1675**	117 ns
سطح فسفر	3	0/19 ns	318 ns	1/87 ns
سال*سطح فسفر	3	0/13 ns	57 ns	96 ns
رقم*سطح فسفر	3	0/025 ns	225**	9/43 ns
سال*رقم*سطح فسفر	3	0/004 ns	1/97 ns	84 ns
اشتباه	28	0/012 ns	36 ns	46 ns
ضریب تغییرات	-	22/1	8/7	35/7

*,** به ترتیب در سطح 1، 5 درصد اختلاف معنی‌دار داشته و ns بی‌معنی است.

ادامه جدول 2- تجزیه واریانس مرکب اثر سطوح فسفر بر صفات اندازه‌گیری شده (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت نیتروژن دانه	جذب نیتروژن دانه	غلظت پتاسیم دانه	جذب پتاسیم دانه
بلوک	2	0/077	211/51	0/010**	11/87**
رقم	1	0/097	2/09	0/011**	4/13
سطح فسفر	4	0/018	1102/19**	0/003	15/24**
سطح فسفر×رقم	4	0/027	224/19	0/001	1/20
باقیمانده	18	0/099	106/17	0/001	1/09
ضریب تغییرات	-	11/78	13/99	12/05	12/98

*,** به ترتیب در سطح 1، 5 درصد اختلاف معنی‌دار داشته و ns بی‌معنی است

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که ارتفاع بوته گلرنگ تحت تاثیر اثر متقابل سال و نوع رقم بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که ارتفاع رقم پدیده به‌طور معنی‌دار ($p<0.05$) از رقم سینا بیشتر است. تیمارهای کودی باهم اختلاف معنی‌دار نشان ندادند اما با شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند. سوفی و همکاران (2020) تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه گلرنگ تحت تأثیر مصرف کود فسفر روی ارتفاع مشاهده نکردند که این تفاوت می‌تواند ناشی از اختلاف ژنتیکی اثر کود بر روی این خصوصیت در ارقام باشد (گاهونیا و همکاران، 1994).

جدول 3- نتایج تأثیر مصرف سطوح مختلف فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم گلرنگ (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

مقادیر فسفر	وزن هزار دانه (گرم)			وزن کل ماده خشک (کیلوگرم در هکتار)			تعداد غوزه در مترمربع			ارتفاع بوته (سانتیمتر)			عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		
	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین
0	29/1 ab*	29/9 a	29/5 A	12601 b	12580 b	12590 B	184/5 c	235/3 b	209/9 B	114/5 b	114/3 b	114/4 B	1687 d	2182 c	1934 C
25	28/8 ab	29/7 a	29/3 A	16701 a	14615 ab	15658 A	218/3 bc	266/7 a	242/5 AB	126/6 a	120/8 ab	123/7 A	2882 ab	3241 a	3061 A
50	28/6 ab	29/5 ab	29/0 A	15577 a	15642 a	15610 A	223/5 b	281/1 a	252/3 A	124/1 a	120/7 ab	122/4 A	2764 b	2899 ab	2831 AB
75	28/7 ab	29/3 ab	29/0 A	15530 a	15787 a	15658 A	229/3 b	282/8 a	256/1 A	122/2 a	123/5 a	122/8 A	2852 ab	2827 ab	2840 AB
100	27/6 b	28/9 ab	28/2 A	16494 a	15041 a	15767 A	214/3 bc	267/5 a	240/9 AB	126/2 a	120/0 ab	123/1 A	2547 bc	2574 bc	2560 B
میانگین	28/6 A	29/5 A	-	15381 A	14733 A	-	214/0 AB	266/7 AB	-	122/7 AB	119/9 AB	-	2546 A	2745 A	-
رقم															
پدیده	27/8 a	29/4 a	28/6 A	15854 a	14665 a	15259 A	162/2 b	267/2 a	214/7 B	129/6 a	123/7 a	126/6 A	2164 b	2688 a	2426 B
سینا	29/3 a	29/5 a	29/4 A	14907 a	14801 a	14854 A	265/8 a	266/2 a	266/0 A	115/9 b	116/1 b	116/0 B	2929 a	2802 a	2865 A
میانگین	28/6 A	29/5 A	-	15381 A	14733 A	-	214/0 B	266/7 A	-	122/7 A	119/9 A	-	2546 A	2745 A	-

* اعدادی که با حروف مشترک نشان داده‌شده‌اند ازنظر آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ادامه جدول 3- نتایج تأثیر مصرف سطوح مختلف فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم گلرنگ (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

مقادیر فسفر	غلظت فسفر دانه (درصد)			جذب فسفر دانه (کیلوگرم در هکتار)			کارایی جذب فسفر (کیلوگرم در کیلوگرم)			فسفر کارایی کل (درصد)			فاکتور تنش فسفر (درصد)		
	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین	سال اول	سال دوم	میانگین
0	0/19 b	0/18 b	0/19 B	3/28 c	3/97 c	3/63 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0/24 a	0/25 a	0/25 A	7/12 ab	8/25 a	7/68 A	0/47 ab	0/49 ab	0/48 A	57/8 e	68/0 cd	62/9 B	24/1 a	13/1 a	18/6 A
50	0/28 a	0/27 a	0/27 A	7/72 ab	7/85 ab	7/78 A	0/41 b	0/51 ab	0/46 A	60/1 de	75/7 bc	67/9 AB	18/9 a	18/7 a	18/8 A
75	0/27 a	0/24 a	0/25 A	7/70 ab	6/86 ab	7/28 A	0/43 b	0/60 ab	0/51 A	58/3 e	77/4 ab	67/9 AB	18/8 a	19/8 a	19/3 A
100	0/26 a	0/25 a	0/26 A	6/66 ab	6/47 b	6/57 A	0/49 ab	0/62 a	0/55 A	65/5 de	85/2 a	75/4 A	22/7 a	16/2 a	19/4 A
میانگین	0/25 A	0/24 A	-	6/50 A	6/68 A	-	0/45 A	0/55 A	-	60/4 A	76/6 B	-	21/1 A	16/9 A	-
رقم															
پدیده	0/24 a	0/23 a	0/23 A	7/77 a	6/30 ab	5/76 B	0/38 b	0/51 ab	0/45 A	50/8 b	78/7 a	64/7 A	25/6 a	18/3 a	22/0 A
سینا	0/26 a	0/25 a	0/25 A	7/77 a	7/06 a	7/41 A	0/51 ab	0/60 a	0/56 A	70/1 a	74/4 a	72/3 A	16/7 a	15/6 a	16/1 A
میانگین	0/25 A	0/24 A	-	6/50 A	6/68 A	-	0/45 A	0/55 A	-	60/4 B	76/6 A	-	21/1 A	16/9 A	-

*اعدادی که با حروف مشترک نشان داده‌شده‌اند ازنظر آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ادامه جدول 3- نتایج تأثیر مصرف سطوح مختلف فسفر بر عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم گلرنگ (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

مقادیر فسفر	غلظت نیتروژن دانه (درصد)			جذب نیتروژن دانه (کیلوگرم در هکتار)			غلظت پتاسیم دانه (درصد)			جذب پتاسیم دانه (کیلوگرم در هکتار)		
	پدیده	سینا	میانگین	پدیده	سینا	میانگین	پدیده	سینا	میانگین	پدیده	سینا	میانگین
0	2/8 a	2/7 a	2/7 A	61/1 c	57/7 c	59/4 B	0/32 ab	0/27 bc	0/30 A	7/06 cde	5/92 e	6/49 B
25	3/0 a	2/9 a	3/0 A	87/3 ab	104/2 a	95/8 A	0/35 a	0/31 abc	0/33 A	10/32 ab	10/96 a	10/64 A
50	2/5 a	2/6 a	2/5 A	68/6 bc	77/9 bc	73/2 B	0/30 abc	0/25 c	0/27 A	8/27 cd	7/45 cde	7/86 B
75	2/7 a	2/4 a	2/6 A	76/3 bc	68/6 bc	72/5 B	0/32 ab	0/25 bc	0/29 A	9/01 bc	7/21 cde	8/11 B
100	2/7 a	2/5 a	2/6 A	73/5 bc	61/0 c	67/3 B	0/27 bc	0/28 bc	0/27 A	7/34 cde	6/76 de	7/05 B
میانگین	2/7 A	2/6 A	-	73/4 A	73/9 A	-	0/31 A	0/27 A	-	8/40 A	7/66 A	-

*اعدادی که با حروف مشترک نشان داده‌شده‌اند ازنظر آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول 4- معادلات رگرسیونی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با سطوح فسفر (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

ویژگی	رقم	معادله رگرسیونی	ضریب تبیین
تعداد غوزه	پدیده	$y = = -0.0069x^2 + 1.0081x + 190.22$	$R^2 = 0.9323$
	سینا	$y = -0.0163x^2 + 1.9185x + 231.22$	$R^2 = 0.9954$
وزن ماده خشک کل	پدیده	$y = -0.7417x^2 + 103.41x + 12870$	$R^2 = 0.7704$
	سینا	$y = -0.5886x^2 + 80.466x + 13038$	$R^2 = 0.9332$
عملکرد دانه	پدیده	$y = -0.2212x^2 + 29.27x + 1791.5$	$R^2 = 0.8825$
	سینا	$y = -0.3671x^2 + 37.798x + 2351.8$	$R^2 = 0.6959$
ارتفاع بوته	پدیده	$y = -0.0021x^2 + 0.2897x + 119.88$	$R^2 = 0.5851$
	سینا	$y = -0.0017x^2 + 0.2144x + 111.46$	$R^2 = 0.9264$
جذب فسفر دانه	پدیده	$y= -0.0008x^2 + 0.1152x + 3.1867$	$R^2 = 0.918$
	سینا	$y = -0.0015x^2 + 0.1606x + 4.8974$	$R^2 = 0.8329$

تعداد غوزه

تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که سطوح فسفر و اثر متقابل سال و رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل سطح فسفر و رقم در سطح پنج درصد بر تعداد غوزه تأثیر داشته است. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که سطح 50 و 75 کیلوگرم فسفر در هکتار با شاهد اختلاف معنی‌دار داشت. میانگین تعداد غوزه در دو رقم تفاوت معنی‌داری داشت. میانگین تعداد غوزه رقم‌ها در سال دوم بیشتر از سال اول بود و تحت تأثیر مصرف فسفر تا سطح 75 کیلوگرم در هکتار، تعداد غوزه افزایش داشته اما در مقدار بالاتر کاهش‌یافته است. تعداد غوزه و سطوح فسفر با معادله درجه دوم برازش شد (جدول 4). این معادلات نشان داد که ویژگی تعداد غوزه با مصرف فسفر از همبستگی بالایی در دو رقم برخوردار بود. سوفی و همکاران (2020) نیز تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه از لحاظ این ویژگی تحت تأثیر مصرف کود فسفر مشاهده نمودند. به نظر می‌رسد با افزایش مصرف کود نیتروژن و فسفر، از طریق افزایش سطح برگ، میزان کلروفیل و ساخت اسیدهای آمینه، شرایط برای رشد رویشی مطلوب و تجمع بالاترین میزان مواد قندی فراهم می‌گردد. در نتیجه گیاه با پشتوانه خوبی از کربوهیدرات‌های فتوسنتزی وارد فاز زایشی می‌گردد و می‌تواند بیشترین تعداد اجزای عملکرد نظیر تعداد غوزه و تعداد دانه در غوزه را به وجود آورد (قنبری کاشان، 1396).

وزن ماده خشک کل

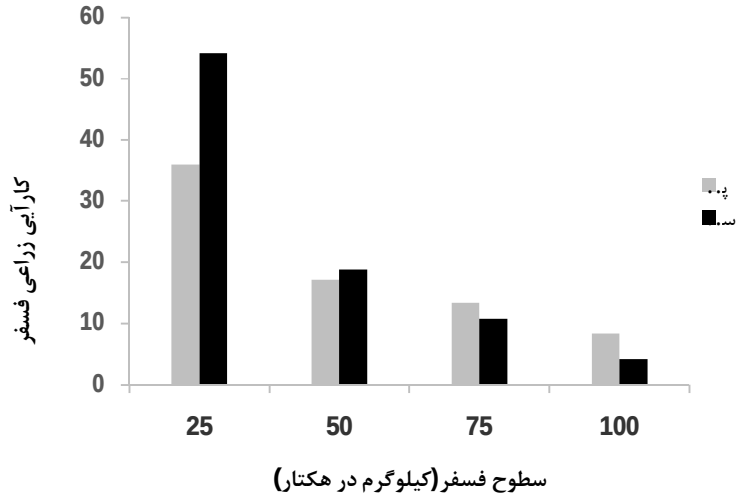
تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که سطوح فسفر در سطح 5 درصد بر وزن ماده خشک کل تأثیر معنی‌دار داشته است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول 3)، تیمارهای کودی، باهم اختلاف معنی‌دار نشان ندادند اما با شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند. وزن ماده خشک با افزایش مصرف فسفر دارای روند افزایشی بود اما طبق قانون بازده نزولی این افزایش معنی‌دار نیست. بین ارقام ازنظر وزن ماده خشک اختلاف معنی‌داری در دو سال مشاهده نشد. ضرایب همبستگی وزن ماده خشک در دو رقم با سطوح کود فسفر در جدول 4 نشان داده شده است. ضرایب تبیین این معادلات حاکی است که تغییرات وزن ماده خشک تولیدی بر اساس سطوح فسفر در رقم سینا با دقت بیشتری قابل پیش‌بینی است. قنبری کاشان (1396) در تحقیقی حداکثر وزن ماده خشک را با مصرف 50 کیلوگرم فسفر به همراه 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و 20 تن در هکتار کود دامی در کشت گلرنگ گزارش نمود. روند کاهشی وزن ماده خشک در بالاترین سطح فسفر می تواند به دلیل کاهش توانایی فیزیولوژیکی متابولیسمی فسفر با افزایش غلظت این عنصر در گیاه یا تأثیر برهمکنش منفی فسفر برجذب سایر عناصر باشد (مارشنر، 1998 و سوفی و همکاران، 2020).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر سطوح فسفر و اثر متقابل سطح در رقم در سطح پنج درصد و اثر متقابل سال و رقم در سطح یک درصد بر روی عملکرد دانه معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که سطوح فسفر با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. حداکثر عملکرد دانه در هر دو رقم از تیمار 25 کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد. به نظر می‌رسد روش مصرف نواری کود فسفر و کارایی بالای ریشه‌ها از دلایل افزایش عملکرد در این سطح از تیمار کودی قلمداد شود (باتن، 1992). میانگین دو رقم باهم تفاوت معنی‌داری داشتند و عملکرد رقم سینا بیشتر از رقم پدیده بود. حداکثر کارایی زراعی ارقام در سطح مصرف 25 کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد (شکل 1). عملکرد دانه و سطوح فسفر با معادله درجه دوم برازش شد (جدول 4). ضرایب تبیین این معادلات نشان داد که ویژگی عملکرد دانه با مصرف فسفر در رقم پدیده نسبت به سینا از همبستگی بالاتری برخوردار بود. قنبری کاشان (1396) کارایی زراعی فسفر درکشت گلرنگ را تحت تأثیر مصرف کود فسفر و نیتروژن و کود

دامی در سطح یک درصد معنی‌دار دانست. حشمتی و همکاران (1396) نشان دادند که کاربرد 50 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار در خاکی با پ-هاش 7/7 و فسفر قابل‌استفاده 10 میلی‌گرم در کیلوگرم، باعث افزایش عملکرد دانه به میزان 1761/67 کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد شد . همچنین سوفی و همکاران (2020) در تحقیقی اثر سطوح کود فسفر را بر عملکرد گلرنگ در سطح یک درصد معنی‌دار گزارش نمودند اما تفاوتی بین ارقام مشاهده نکردند. آنان 100 کیلوگرم فسفر در هکتار را برای حصول عملکرد مطلوب توصیه نمودند.

عملکرد هر دو رقم با مصرف 25 کیلوگرم فسفر در هکتار افزایش و سپس با مصرف سطوح بالاتر کاهش‌یافته‌اند. با افزایش مصرف واحدهای کودی به دلیل تثبیت فسفر یا حتی آبشویی مقدار فسفر جذب‌شده به همان نسبت افزوده نخواهد شد این موضوع باعث کاهش کارایی مصرف کود فسفر مصرفی می‌شود. نتایج نشان داد (جدول 3) میزان جذب فسفر دانه با افزایش سطوح فسفر از سطح 50 تا 100 کیلوگرم در هکتار در هر دو رقم روند کاهشی داشت، عملکرد دانه با جذب فسفر ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد ($0/958^{*}$)؛ بنابراین کاهش کارایی زراعی فسفر را می‌توان ناشی از اثرات کاهش جذب فسفر دانست (شکل 1)، اگرچه ارسلان و همکاران (2003) و باتن (1992) برهمکنش منفی سطوح بالاتر فسفر برجذب سایر عناصر مثل نیتروژن توسط ریشه را از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد در نظر گرفتند.



شکل 1- کارایی زراعی کود فسفر ارقام گلرنگ (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

وزن هزار دانه گلرنگ

تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که سطوح فسفر، اثر متقابل سطح فسفر و رقم و نیز اثر سال در رقم بر روی وزن هزار دانه در سطح 5 درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که در سال اول و دوم تفاوت معنی‌داری بین سطوح فسفر در هر دو رقم مشاهده نشد. در هر دو رقم وزن هزار دانه در بالاترین سطح مصرف فسفر کاهش یافت. میانگین وزن هزار دانه رقم سینا در هر دو سال انجام آزمایش نسبت به پدیده بیشتر بود. در این آزمایش اثر مثبت فسفر بر عملکرد می‌تواند از طریق تأثیر بر روی اجزای دیگر عملکرد قلمداد گردد. سوفی و همکاران (2020) این ویژگی گلرنگ را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار کود فسفر دانسته و بین این ویژگی و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری گزارش نمودند. تفاوت

ژنتیکی ارقام می‌تواند از دلایل تأثیر فسفر بر روی تغییرات این ویژگی ذکر شود (ناصر و همکاران، 1978؛ گاهونیا و همکاران، 1994).

غلظت و جذب نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر سطوح فسفر بر جذب نیتروژن دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما اثر رقم معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون دانکن نشان داد که تیمار 25 کیلوگرم فسفر در هکتار بیشترین میزان جذب نیتروژن دانه را نشان می‌دهد. مقایسه ضریب همبستگی نشان داد که جذب نیتروژن با جذب فسفر ($r = 0/81^{**}$) و با فسفر کارایی ($r = 0/75^{**}$) از همبستگی بالایی برخوردار است. از دلایل این برهمکنش مثبت می‌توان به نقش فسفر در بهبود عملکرد تارهای کشنده، گسترش ریشه، تشکیل و انسجام ترکیبات بیوشیمیایی مهمی نظیر نوکلئوتیدها که حاوی نیتروژن هستند اشاره نمود (اوزبرون و رنگل،2002).

غلظت و جذب پتاسیم دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر سطوح فسفر بر جذب و اثر رقم بر غلظت پتاسیم دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین آزمون دانکن (جدول 3) نشان داد که تیمار 25 کیلوگرم فسفر در هکتار بیشترین میزان غلظت و جذب پتاسیم دانه را نشان می‌دهد. میانگین مقدار غلظت پتاسیم رقم پدیده نسبت به سینا 14/8 درصد و میانگین جذب پتاسیم 9/7 درصد بیشتر بود. مقایسه ضریب همبستگی نشان داد که جذب پتاسیم با جذب فسفر ($r = 0/80^{**}$) و با فسفر کارایی ($r = 0/68^{**}$) از همبستگی بالایی برخوردار است. تأثیر مثبت برهمکنش این دو عنصر در بهبود فعالیت واکنش‌های سلولی از دلایل افزایش عملکرد دانه می‌باشد (مارشنر، 1998 و رنگل، 1999).

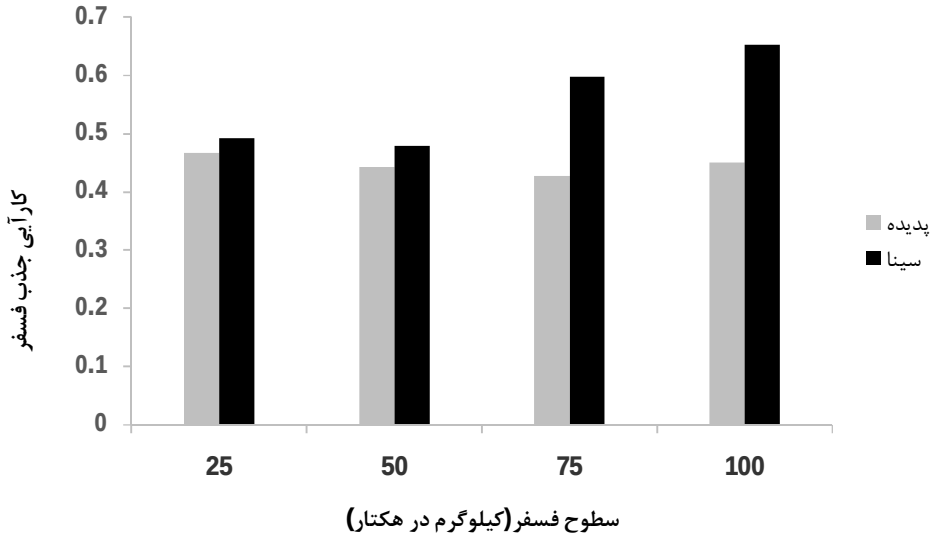
غلظت و جذب فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر سطوح فسفر بر روی غلظت و جذب فسفر دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سطوح فسفر در رقم در سطح پنج درصد بر روی جذب فسفر دانه معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون دانکن نشان داد که بین سطوح فسفر و شاهد در هر دو ویژگی معنی‌دار بود، اگرچه بین سطوح فسفر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، بنابراین می‌توان چنین گفت که سطح اول فسفر اعمال شده توانسته جذب فسفر را افزایش دهد، از آنجا که جذب فسفر به عوامل خاکی نظیر آهک، کلسیم آزاد، اسیدیته، ماده آلی و رس بستگی دارد بایستی توصیه فسفر مبتنی بر این ویژگی‌ها صورت گیرد (مارشنر، 1998). نتایج ضریب همبستگی (جدول 5) نشان می‌دهد که جذب فسفر دانه با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. وردر و وجایالاکشمی (1974) تأثیر مصرف کود فسفر را درافزایش جذب کل فسفر معنی‌دار گزارش نمودند، اگرچه گاهونیا و نیلسن (1996) عنوان می‌نمایند که ارقام گلرنگ با داشتن تفاوت ریشه‌ای در جذب فسفر محلول در خاک متمایز می‌گردند اما کومار (2000) عنوان می‌نماید که قابلیت بیشتر جذب فسفر از طریق اثر بر اجزا عملکرد در میزان تولید گلرنگ تأثیرگذار می‌باشد. در این تحقیق میانگین اثر رقم در دو سال آزمایش بر اساس آزمون دانکن (جدول 3) معنی‌دار بود، به‌طوری‌که رقم سینا حدود 28/6 درصد بیشتر از رقم پدیده فسفر جذب کرده است. تفاوت ژنتیکی ارقام در جذب فسفر توسط فرناندز و همکاران (2007) گزارش گردید.

کارایی جذب فسفر دانه

نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) حاکی است که میزان کارایی جذب فسفر دانه در سال دوم از سال اول بیشتر بود اگرچه این تغییر ازنظر آماری معنی‌دار نبود. میزان کارایی جذب فسفر در سال اول از روند کاهشی در سطوح 50 و 75 برخوردار بود اما در سال دوم اجرای آزمایش میزان کارایی در هر دو رقم با افزایش سطح فسفر افزایش یافت. شکل 2 نشان می‌دهد در هر سطح مصرف فسفر کارایی رقم سینا بیشتر از پدیده بود. کارایی

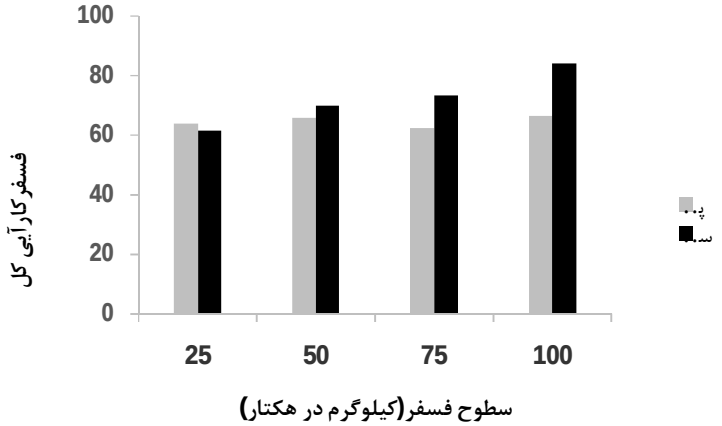
جذب فسفر رقم سینا 24/4 درصد بالاتر از رقم پدیده بود که بالاتر بودن این شاخص با میانگین بالاتر عملکرد رقم سینا هم‌خوانی دارد. افزایش در مقدار این شاخص نشان‌دهنده تمایل کمتر رقم به مصرف کود فسفر که به مفهوم کارآمدتر بودن آن رقم می‌باشد. توانایی جذب مؤثر ریشه و تولید ترکیبات ذخیره‌ای فسفر دار از ویژگی‌های ژنتیکی رقم سینا می‌باشد.



شکل 2- مقایسه اثر سطوح مصرف فسفر بر کارایی جذب فسفر دانه در دو رقم گلرنگ سینا و پدیده (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

فسفر کارایی کل

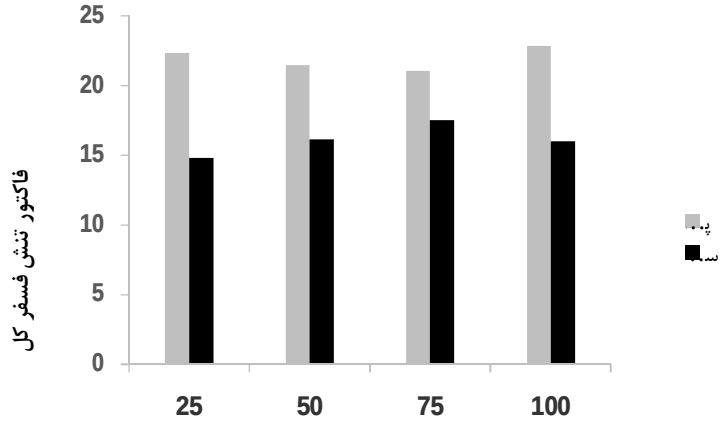
نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر متقابل سطوح فسفر و رقم و هم‌چنین سال و رقم بر روی فسفر کار آیی کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری بین سطوح فسفر نشان داد. روند فسفر کارایی کل با افزایش سطح فسفر، افزایشی بود و حداکثر کارایی از سطح 100 کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد. میزان کارایی رقم سینا 11/7 درصد از رقم پدیده بیشتر بود. فسفر کارایی شاخص‌های متعددی مورد استفاده قرارگرفته است، اما نسبت عملکرد در حالت تنش یا محدودیت به مـقدار آن در حالت کفایت فسفر بیش از همه مورد توجه قرارگرفته است (رنگل، 1999) این نسبت برحسب درصد بیان می‌شود و هر رقمی که نسبت کارایی بالاتری داشته باشند، از نظر فسفر کاراتر به حساب می‌آید (اوزترک و همکاران، 2005). میانگین کارایی کل رقم پدیده در دو سال اجرای آزمایش 64/7 و رقم سینا 72/3 درصد می‌باشد که حاکی از بالا بودن هر دو رقم ازلحاظ این شاخص می‌باشد. شکل 3 روند تغییرات کارایی دو رقم را در سطوح مختلف فسفر نشان می‌دهد. فسفر کارایی به عوامل متعددی از قبیل شرایط رشد و اشکال شیمیایی فسفر خاک نیز وابسته است (شومنس و همکاران، 2015).



شکل 3- مقایسه اثر سطوح مصرف فسفر بر فسفر کارایی کل در دو رقم گلرنگ سینا و پدیده (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

فاکتور تنش فسفر کل

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که تیمارهای آزمایش بر فاکتور تنش فسفر کل معنی‌دار نبود. یحیی آبادی و نورقلی پور (1396) در تحقیقی تأثیر نوع رقم گلرنگ بر فاکتور تنش فسفر را معنی‌دار عنوان نمودند. نتایج مقایسه میانگین (جدول 3) با آزمون دانکن نشان داد که حداکثر فاکتور تنش از سطح مصرف 100 کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد اگرچه سطوح کودی باهم تفاوت معنی‌داری نداشتند. روند تغییرات فاکتور تنش در دو رقم با افزایش سطح کود، افزایشی بود. در سال اول میزان فاکتور تنش بیشتر از سال دوم بود اگرچه اختلاف معنی‌داری نداشتند. شکل 4 میانگین دوساله روند تغییرات فاکتور تنش فسفر کل دو رقم را در سطوح مختلف فسفر نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در هر سطح مصرف فسفر فاکتور تنش فسفر کل رقم پدیده بیشتر از سینا بود. شهباز اختر و همکاران (2013) اشاره کردند که هر چه فاکتور تنش فسفر کمتر باشد رقم متحمل‌تر به تنش فسفر است، بر این اساس رقم سینا نسبت به رقم پدیده، کارا تر محسوب می‌شود.



شکل 4- مقایسه اثر سطوح مصرف فسفر بر فاکتور تنش فسفر کل در دو رقم گلرنگ سینا و پدیده (ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک، 1397-1395)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مصرف فسفر بر شاخص‌های کارایی فسفر مؤثر بود. بین سطوح فسفر مورداستفاده ازنظر کارایی جذب و فاکتور تنش، سطح 25 و از لحاظ فسفر کارایی کل سطح 50 کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر سطوح بهتر بود. اگرچه هر دو رقم از نظر شاخص‌های کارایی مورد مطالعه مشابه بودند، اما در مقایسه رقم سینا نسبت به رقم پدیده، از نقطه نظر بهره‌وری منابع فسفر خاک و کود برتری داشت. آشکار شدن تفاوت‌ها در شاخص‌های مورد سنجش مستلزم تنوع بیشتر ارقام و انجام تحقیق در خاک‌ها با دامنه متفاوتی از غلظت فسفر بومی خاک است (اوزترک و همکاران، 2005).

فهرست منابع:

1. امام، ی. و م. نیک نژاد. 1383. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی.چاپ دوم، ترجمه، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
2. جبّاری، ح.، س. پورداد، ا. امیدی، م. ر. نظری، ح. صادقی گرمارودی، م. ر. شهسواری، ف. نورقلی پور، ر. رضوی، ع. ا. کیهانیان، م. ر. کرمی نژاد، م. جمشیدی مقدم، م. صفری، م. اکبری و ه. شریف نسب. 1398. دستورالعمل فنی کشت گلرنگ (آبی و دیم). موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. نشریه فنی شماره57095.
3. حشمتی، س.، م. امینی دهقی و ک. فتحی امیر خیز. 1396. تاثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه، عملکرد روغن و اسیدهای چرب گلرنگ بهاره در شرایط کمبود آب. علوم گیاهان زراعی ایران. 48: 169-159.
4. خادمی، ز.، ح. رضائی، م. ج. ملکوتی و پ. مهاجر میلانی. 1379. تغذیه بهینه کلزا گامی مؤثر در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت روغن (توصیه کودی برای تولیدکنندگان کلزا در خاک‌های کشور). نشر آموزش کشاورزی ، کرج، ایران.
5. خواجه‌پور. م. ر. 1371. تولید نباتات صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه صنعتی اصفهان. صفحهٔ 66.
6. طهماسبی زاده، ح.، ح. مدنی، ا. فراهانی، م. میرزاخانی، و ا. فرمهینی. 1389. بررسی اثرات درجه حرارت، تراکم بوته و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد روغن گلرنگ بهاره. زراعت و اصلاح نباتات ایران. 6: 33-21.
7. علی احیایی ، م. و ع. ا. بهبهانی زاده. 1372. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک . موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره 893 .
8. کریمیان، ن. ع. 1377. پیامدهای زیاده‌روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفر. مجله خاک و آب، جلد 12، شماره 4، تهران، ایران.
9. ملکوتی، م.ج. 1384. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران. چاپ سوم با بازنگری کامل، انتشارات سنا. تهران، ایران.
10. قنبری کاشان، م.، م. میرزاخانی و ا. فریدهاشمی. 1396. تاثیر کودهای آلی و شیمیایی نیتروژنی و فسفر دار بر درصد روغن و برخی خصوصیات زراعی گلرنگ. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. 27: 216-203.
11. نورقلی پور، ف.، ح. رضایی، ک. میرزاشاهی، م.ن. غیبی، ح. حقیقت نیا، م.ر. رمضانپور، م.ح. ارزانش، ه. اسدی رحمانی، م.ه. میرزاپور، ص. زمانی، ر. محمدی کیا، م.م. طهرانی. 1393. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه کلزا. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج. ایران.
12. یحیی آبادی، م. و ف. نورقلی پور. 1396. فاکتورهای کارایی فسفر در ارقام گلدشت و پدیده در گیاه گلرنگ. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان.

13. Allison, L.E., and C.D. Moodie. 1965. Carbonate. p. 1379-1396. In C.A. Black (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2. Am. Soc. Agron, Inc., Madison, Wis, USA.
14. Arslan, B., Altuner, F., Tuncturk, M. 2003. An investigation on yield and yield components of some safflower varieties which grown in Van. 5th Field Crops Congress of Turkey. 1: 468-472.
15. Batten, G. D. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. Plant Soil. 149: 163-168.
16. Dahnke, W.C., C. Fanning, and A. Cattanach. 1992. Fertilizing Safflower. North Dakota State University Agriculture and University Extension., URL//:WWW.AG.NDSU.EDU.
17. Erdal, E., and H. Baydar. 2005. Deviations of some nutrient concentrations in different parts of safflower cultivars during growth stages. Pak. J. Bot, 37: 601-611.
18. Fernandez, L.A., P. Zalba, M.A. Gomez, and M.A. Sagardoy. 2007. Phosphate solubilization activity of bacterial strains in soil and their effect on soybean growth under greenhouse conditions. Biology and Fertility of Soils 43: 805-809.
19. Fohse, D. N., Claassen, and A. Jungk. 1991. Phosphorus efficiency of plants, II. Significance of root radius, root hairs and cation balance for phosphorus influx in seven plant species. Plant Soil. 123: 261-272.
20. Fohse, D., and A. Jungk. 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on the root hair formation of rape, spinach and tomato plants. Plant Soil. 74: 359-368.
21. Gahoonia, T. S., and N. E., Nielsen. 1996. Variation in acquisition of soil phosphorus among wheat and barley genotypes. Plant Soil. 178: 223- 230.
22. Gahoonia, T. S., S. Raza and N. E, Nielsen. 1994. Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture. Plant Soil. 159: 231-218.
23. Grant, C. A. and L. D. Bailey. 1993. Fertilizer management in canola production. Can. J. Plant Sci., 73:651-670.
24. Grotz, N., and M. L., Guerinot. 2002. Limiting nutrients: An old problem with new solutions. Plant Biol. 5: 158-163.
25. Henke, J., Breustedt, G., Sieling, K. and Kage, H. 2007. Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation.Journal of Agricultural Science. 5: 455–468.
26. Mahon, D. J. 1983. Limitation to the use of physiological variability in plant breeding. Can. J. Plant Sci. 63: 11-21.
27. Mane, V.S. and. A.S. Judhav. 1994. Effects of fertilizers and plant densities on growth and yield of irrigated safflower. Indian J. of Agro. 39: 79-82.
28. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. London. Academic Press.
29. Marschner, H. 1998. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. Field Crops Res. 56: 203-207.
30. Naser, H. G., N. Katkhud and L. Tannir. 1978. Effect of fertilization and population rate-spacing on safflower yield and other characteristics. Agron. J. 70 : 683- 684.
31. Nerkar Y.S., S.S. Narayanan, D.M. Hegde, P.S.Pathak, H.S.Sen, R.K. Chowdhury, S.S. Banga, A.K. Singh and P.S. Bhatnagar. 2006. Guidelines for the conduct of test for distinctivness, uniformity and stability on safflower.URL//:www. Plantauthority.gov.in/pdf/dsafflower.pdf.
32. Olsen, S. R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939 (p. 19). Washington, DC US Department of Agriculture.
33. Ozborne, L. D. and Z. Rengel. 2002. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of p uptake and utilization. Aust. J. Agric. Res. 53: 837- 844

34. Ozturk, L., S. Eker, B. Torun, and I. Cakmak. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. Plant Soil 269: 69–80.
35. Peech, M. 1965. Hydrogen ion activity. p. 914-925. In C.A. Black (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2. Am. Soc. Agron, Inc., Madison, Wis, USA.
36. Purvimath, S.S. and G.R. Manure. 1993. Effect of fertilizer levels of N,P,S and B on the seed and oil yield of safflower on vertisol. J. Indian, Society of Soil Science 41(4): 780-781.
37. Rastgou, B., A. Ebadi, A. Vafaie, and S. H. Moghadam. 2013. The effects of nitrogen fertilizer on nutrient uptake, physiological traits and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.). Int. J. Agron. Plant Prod 4: 355-364.
38. Rengel, Z. 1999. Physiological mechanisms underlying differential nutrient efficiency of crop genotypes. p. 227–265. In: Rengel, Z. (Ed.), Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications. Food Products Press, New York.
39. Rhoades, J. D. 1996. Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. P.417-436. In J. M. Bigham(ed.). Methods of Soil Analysis. Madison, Wisconsin, USA.
40. Schoumans, O.F., F. Bouraoui, C. Kabbe. 2015. Phosphorus management in Europe in a changing world. AMBIO 44: 180–192.
41. Shahbaz Akhtar, M., M. Nishigaki, Y. Oki, T. Adachi, Y. Nakashima, G. Murtaza, T. Aziz, M. Sabir, M. Aamer Maqsood , M. Zia-ur-Rehman , A. Wakeel , Y. Nakamoto, and C. Hartwig. 2013. Solubilization and acquisition of phosphorus from sparingly soluble phosphorus sources and differential growth response of brassica cultivars exposed to phosphorus-stress. Environ. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 44:7, 1242-1258.
42. Siddique, M.Y. and A.D.M. Glass. 1983. Utilizationindex: A modified approach to the estimationand comparison of nutrient utilization efficiencyin plant. J. Plant Nutr. 4: 289-302.
43. Smit, A.L., P.S. Bindraban, J.J. Schröder, J.G. Conijn, and H.G. van der Meer. 2009. Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. Plant Research International B.V., Wageningen. Report 282.
44. Sofy, S. O., S.J. Hama, and B.O. Hamma-Umin. 2020. Influence of phosphorus fertilizer on yield and oil of safflower (Carthamus tinctorius) varieties under rain fed condition. Applied Ecology and Environmental Research. 18:3409-3418.
45. Sutton, P. and W.A. Seay. 1958. Relationship between the potassium removed by millet and red clover and the potassium extracted by four chemical methods from six Kentucky soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 110–115.
46. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Sci. 37:29-37.
47. Warder, F. G., K. Vijayalakshmi. 1974. Phosphorus fertilization of sunflowers. Can. J. Plant. Sci. 54: 599-600.

اثر برخی مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در خاک آهکی شور

محمدهادی میرزاپور[1] و فریدون نورقلی‌پور

استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ **mhmirzap@yahoo.com**

استادیار، بخش حاصلخیزی و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ **nourfg@yahoo.com**

ص: **163-176**

دریافت: **1400/10/20** و پذیرش: **1401/6/6**

چکیده

هدف از اجرای این پژوهش، استفاده از برخی محرک‌های رشد گیاهی در بهبود عملکرد کلزا در خاک‌هایآهکی و شور بود. بنابراین، آزمایشی در بخش قمرود استان قم و طی دو سال زراعی 99-1397 در خاکی‌هایی با شوری‌های حدود 13 و 10 دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب در سال اول و دوم و شوری آب حدود 8-7/5 دسی‌زیمنس بر متر اجرا شد. پژوهش حاضر در شرایط مزرعه‌ای با خاک یکنواخت و مسطح، در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گردید. بذرکلزا رقم هایولا-50 به روش دستی کشت شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: 1) شاهد (مصرف کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک)، 2) مصرف خاکی اسید هیومیک (تیمار اول+ مصرف خاکی 5 کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار)، 3) محلول‌پاشی اسید آمینه (تیمار اول+ محلول‌پاشی اسیدآمینه با غلظت 5 گرم در هزار)، 4) محلول‌پاشی اسید هیومیک (تیمار اول+ محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت 5 گرم در هزار)، 5) محلول‌پاشی اسید فولویک (تیمار اول+ محلول‌پاشی اسید فولویک با غلظت 5 در هزار)، 6) محلول‌پاشی عصاره جلبک دریائی (تیمار اول+ محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت 5 گرم در هزار) و 7) تیمار ترکیبی (شامل تیمار اول+تیمارهای 2، 3، 4، 5 و 6). محلول‌پاشی بر اساس مقیاس زادوکس در کلزا در دو مرحله 57 (خروج از روزت) و59 (قبل از گلدهی) صورت گرفت. نتایج دو سالانه نشان داد که تیمار ترکیبی محرک‌های رشد، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و روغن و نیز برخی ویژگی‌های زراعی کلزا داشت. بالاترین عملکرد دانه و کاه، از تیمار ترکیبی مواد محرک رشد به‌ترتیب با میانگین 4565 و 1066 کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین، بالاترین مقدار میانگین غلظت پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس به ترتیب در تیمار 7، 1، 7، 7، 3، 4، 1 و 6 حاصل شد. به‌علاوه، بیشترین مقدار جذب پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن در تیمار 7 و روی و مس در تیمار 6 و در خصوص مس، در تیمار 1 مشاهده شد. براساس نتایج دوسالانه آزمایش حاضر، مصرف ترکیبی محرک‌های رشدی، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی کلزا در شرایط شور، نسبت به شاهد (عدم مصرف محرک رشد) داشت که نشان دهنده‌ی تاثیر این مواد بر افزایش تحمل کلزا در شرایط شور بود.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، اسید فولویک، اسید آمینه، عصاره جلبک دریایی، شوری

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم

مقدمه

کلزا (*Brasica napus* L.)، یکی از محصولات روغنی مهم دنیا پس از سویا است که کیفیت روغن آن بسیار مناسب می‌باشد (سازمان توسعه همکاری های اقتصادی[1]-سازمان خواربار جهانی، 2019). حدود 41 درصد روغن تولید شده در ایران از کلزا استحصال می‌شود (بای بوردی، 2010). در حال حاضر، سطحی معادل 350 هزار هکتار از اراضی آبی و دیم کشور، زیر کشت کلزا می‌باشد (بدون نام، 1399). از مهم‌ترین کشورهای تولید کننده کلزا می‌توان به کانادا، چین و هندوستان اشاره نمود که بیش از 65 درصد کلزای جهان را تولید می‌کنند. اکنون، بیش از 90 درصد روغن مصرفی کشور از خارج وارد می‌شود و این در حالی است‌که سیاست وزارت جهاد کشاورزی، توسعه‌ی کشت دانه‌های روغنی (از جمله کلزا) به‌منظور کاهش واردات روغن می‌باشد (بای بوردی، 2010).

در بین گروه وسیعی از تنش‌های محیطی، تنش شوری ازجمله مواردی است که باعث کاهش مقدار تولید و کیفیت محصول بخصوص در اراضی خشک و نیمه‌خشک می‌گردد (بنده‌حق و همکاران، 2021). برآورد شده که حدود 800 میلیون هکتار از اراضی زراعی در دنیا، زیر تأثیر این تنش است که سطح آن در کشور حدود 7 میلیون هکتار می‌باشد (دهقانی و سعادت، 1397). محرک رشد گیاه، هر ماده یا ریز جانداری است که به‌منظور افزایش بازده تغذیه، تحمل به تنش غیر زیستی و یا کیفیت محصول، صرف‌نظر از محتوای عناصر غذایی آن، در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (دو ژاردین و همکاران، 2015). ازجمله این مواد می‌توان به اسیدهای آمینه، هیومیک، فولویک و عصاره جلبک دریایی اشاره نمود (غفاری‌نژاد و همکاران، 1399). کاربرد محرک‌های زیستی به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه و غیرزیستی (اسیدهای آمینه و اسیدهای آلی) به‌صورت تلفیق با کودهای شیمیایی، یکی از راهبردهای تغذیه تلفیقی گیاه برای مدیریت پایدار بوم نظام‌های کشاورزی و افزایش تولید آنها در سامانه‌ی کشاورزی پایدار در شرایط شور می‌باشد (کالوو و همکاران، 2014؛ براون و سا، 2015).

طهرانی (1394) زمان مناسب استفاده از اسید آمینه به‌عنوان مواد محرک رشد گیاهی برای گندم، محلول‌پاشی در شروع زمان پنجه‌زنی و مرحله تکمیل آن اعلام نموده است. این محقق، پیروی از اصول صحیح تغذیه گندم و استفاده از کودهای حاوی عناصر غذایی، مواد آلی و محرک‌های رشد گیاهی را در کاهش تنش‌ها از جمله سرمازدگی مؤثر می‌داند. همچنین، کاربرد این مواد در دوره کوتاهی قبل از بروز تنش سرما، تأثیر کمتری بر مقاومت گیاه داشته ولی مصرف این مواد پس از وقوع تنش، برای کاهش عوارض سرمازدگی مؤثرتر می‌باشد.

بررسی مصرف اسید هیومیک در لوبیا نشان داد در بالاترین غلظت نمک (120 میلی‌مولار)، همه گیاهان خشک شدند ولی با کاربرد 0/05 و 0/1 درصد (وزنی/وزنی) از اسید هیومیک گیاهان زنده ماندند. در این آزمایش، کاربرد 0/1 درصد (وزنی/وزنی) از اسید هیومیک، باعث کاهش هدایت الکتریکی خاک به میزان چهار درصد نسبت به عدم مصرف اسید هیومیک گردید که این امر به تشکیل کمپلکس‌های هیومیک با کاتیون‌ها و شستشو و خارج شدن آنها از ناحیه ریشه ارتباط داده شد (کالوو و همکاران، 2014). این موضوع در ذرت در شرایط شور نیز مشاهده شد (محمد، 2012). کاربرد خاکی اسید هیومیک در نهال‌های پسته و در کلیه سطوح شوری، باعث کاهش معنی‌دار غلظت اسید آبسیزیک در برگ های پسته در مقایسه با گیاهان بدون مصرف اسید هیومیک شد (مقدم و سلیمانی، 2012). شاه و همکاران (2017) اثر محرک‌های زیستی اسید هیومیک و فسفیت را بر بنیهٔ[2] گیاه، بروز بیماری و عملکرد دانه گندم و کلزای زمستانه مورد مطالعه قرار دادند. این محققان، افزایش تحمل در

[1] Organisation for Economic Co-operation Development (OECD/FAO)

[2] Vigor

برابر بیماری‌های برگی، بهبود عملکرد و کارایی مصرف عناصر غذایی و کاهش وابستگی به کودها و سایر نهاده‌ها را گزارش کردند. در پژوهشی دیگر، مصرف توأمان خاکی و محلول‌پاشی هیومات پتاسیم و اسید سالیسیلیک به‌همراه باکتری‌های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن و حل کنندهٔ فسفر خاک، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، روغن و پروتئین کلزا و نیز، افزایش جذب عناصر غذایی اصلی و کم مصرف در شرایط شور شد (عامر و الرمادی، 2015). استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) سبب افزایش تحمل به تنش‌های خشکی، شوری و دمایی می‌شود (کارایجی، 2011).

مکانیسم تأثیر عصاره جلبک دریایی در مقاومت به تنش‌ها، هنوز شناخته‌نشده است؛ اما حضور مولکول‌های فعال زیستی مانند بتائین و سیتوکینین در این عصاره‌ها ممکن است در این زمینه، نقش داشته باشد. این عصاره‌ها غلظت مولکول‌های مرتبط با تنش مانند سیتوکینین، پرولین، آنتی اکسیدانت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در گیاه افزایش می‌دهند. سیتوکینین اثر منفی رادیکال‌های آزاد را به دو روش خنثی می‌کند: از بین بردن مستقیم رادیکال‌ها و یا جلوگیری از تشکیل آن‌ها با ممانعت از اکسید شدن زانتین (فَن و همکاران، 2013). از سوی دیگر، بررسی غلظت هورمون‌های گیاهی در 12 عصاره مختلف جلبک دریایی از منابع مختلف نشان داد که غلظت هورمون‌های گیاهی در این عصاره‌ها برای تأثیر بر گیاه پایین‌تر از حد اثرگذاری بر گیاه است (وَلی و همکاران، 2013). در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد عصارهٔ جلبک دریایی (*Ecklonia maxima*) و گوگرد عنصری در کلزا باعث افزایش جذب نیتروژن به ترتیب به میزان 16 و 13 درصد نسبت به شاهد شد (زیومِک و سزپانک، 2019). در این تحقیق، عصاره جلبک، تأثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در مرحلهٔ رشد و تکامل دانه‌ها داشته ولی در مرحلهٔ گل‌دهی، تأثیری منفی بر فعالیت آنزیم نیترورِداکتاز داشته است.

بر اساس گزارش پژوهشگران، مصرف اسید هیومیک در ذرت و سویا در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در این گیاهان گردید؛ این آنزیم‌ها، نقش مهمی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در غشاء سلول‌های ریشه دارند (واسن‌سلوز و همکاران، 2009). در آزمایش دیگری مشاهده شد کاربرد ماده محرک رشد حاوی اسید آمینه‌ی پرولین و گلوتامین کلات شده با عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش تحمل به تنش در گوجه‌فرنگی شد. این پژوهش‌گران بیان کردند که این افزایش تحمل، احتمالاً به دلیل افزایش کارایی مصرف آب باشد. اندازه‌گیری پرولین در این تیمار نیز نشان داد که با کاربرد این ماده‌ی محرک رشد، خسارت کمتری از طریق خشکی بر گیاه وارد شده است (سیمون‌گرا و همکاران، 2016). نتایج مثبت مشابهی از مصرف محرک‌های رشد طبیعی توسط سایر محققان ارائه شده است (خان و همکاران، 2009؛ پارادیکوویچ و همکاران، 2011؛ ارتانی و همکاران، 2013).

غالب پژوهش‌های انجام شده در خصوص کاربرد محرک‌های رشدی در شرایط معمولی و تنش خشکی، انجام شده و اطلاعات اندکی درباره‌ی تأثیر این مواد در شرایط شوری بر کلزا موجود است. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی تأثیر استفاده از برخی محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای آن در کلزا در شرایط شور آهکی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر برخی از مواد محرک رشدی بر رشد و عملکرد کلزا در شرایط شور آهکی، آزمایشی دوساله در بخش قمرود استان قم و طی دو سال زراعی 98-97 و 99-98 اجرا شد. آزمایش در سال اول و دوم به ترتیب در دو مزرعه با خاک یکنواخت و مسطح، با شوری حدود 13 و 10 دسی‌زیمنس بر متر و آب حدود 8-7/5 دسی‌زیمنس بر متر اجرا شد. این پژوهش

مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل: 1- شاهد (مصرف کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک) 2- مصرف خاکی اسید هیومیک در زمان کشت (تیمار اول+ مصرف خاکی 5 کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار) 3- محلول-پاشی اسید آمینه (تیمار اول+ محلول‌پاشی اسیدآمینه با غلظت 5 در هزار) 4- محلول‌پاشی اسید هیومیک (تیمار اول+ محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت 5 در هزار) 5- محلول‌پاشی اسید فولویک (تیمار اول+ محلول‌پاشی اسید فولویک با غلظت 5 در هزار) 6- محلول‌پاشی عصاره جلبک دریائی (تیمار اول+ محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت 5 در هزار) و 7- تیمار ترکیبی (شامل تیمار اول+تیمارهای 2، 3، 4، 5 و 6) بودند. محلول‌پاشی در دو مرحله 57 (خروج از روزت) و59 (قبل از گلدهی) بر اساس مقیاس زادوکس در کلزا صورت گرفت. مقدار نیتروژن توصیه شده در هر دو سال 200 کیلوگرم و فسفر در سال اول، 50 و در سال دوم، 75 کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، با توجه به مقدار پتاسیم قابل جذب خاک (بالاتر از حد بحرانی)، کود پتاسیمی مصرف نشد. تمامی کود فسفری از منبع سوپر فسفات تریپل پیش از کاشت و به‌صورت نواری بر اساس آزمون خاک استفاده شد. مصرف عناصر کم‌مصرف نیز با محلول‌پاشی در دو مرحله (یکی در خروج از روزت (مرحله‌ی57 بر اساس مقیاس زادوکس) و دیگری، دو هفته پس از اولین محلول‌پاشی (مرحله ی59 بر اساس مقیاس زادوکس) انجام شد. کود اوره در سه مرحله شامل: آبیاری سوم، انتهای روزت و انتهای ساقه دهی استفاده شد. رقم کلزای هایولا-50 در کرت‌هایی به ابعاد 1/5×9 متر (13/5 مترمربع) با دستگاه بذرکار، در منطقه قمرود استان قم کاشته شد. این منطقه در 20 کیلومتری شمال شرق شهرستان قم واقع شده است. ارتفاع مزرعه های 1 و 2 از سطح دریا به ترتیب حدود 880 و 885 متر و مختصات جغرافیایی آنها در سال اول 507049 شرقی و 3840484 شمالی (39S) و در سال دوم 506097 شرقی و 3840833 (39S) با رده‌بندی فامیل خاک Fine- Loamy, Mixed, Thermic, Typic Haplocalcids (Soil Survey Staff, 2014) بود. نتایج تجزیه خاک و آب آبیاری قبل از انجام آزمایش در این منطقه در جدول‌های دو و سه، ارائه شده است. بخش قمرود، طبق تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم خشک بسیار گرم با تابستان‌های گرم و خشک است (کریمی، 1366). همچنین، بررسی داده‌های هواشناسی منطقه در دو سال آزمایش نشان دهنده‌ی پراکنش مناسب بارندگی بود (جدول 1).

جدول 1– برخی داده‌های هواشناسی بخش قمرود قم در سال اول و دوم اجرای پژوهش

ویژگی-اقلیمی	بیشینه رطوبت نسبی (درصد)		کمینه رطوبت نسبی (درصد)		میزان بارش (میلی‌متر)		بیشینه دما (درجه سلسیوس)		کمینه دما (درجه سلسیوس)		میانگین دمای روزانه (درجه سلسیوس)	
ماه	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
مهر	73/5	75/6	28/3	25/5	11/5	6/7	28/8	26/4	10/2	11/2	19/5	18/9
آبان	80	82/9	40/6	36/6	26/9	22/6	23/2	18/2	8/4	6/2	15/3	12/1
آذر	77/7	85/7	48/3	52/3	27	57/5	16	13/7	4/2	3/3	10/1	8/5
دی	83/8	82/3	44/3	55/5	18	59/4	10	9/6	-0/6	-0/3	4/7	4/6
بهمن	80/8	80/5	39/2	44/4	21	28/0	12/2	11/2	0	-0/1	6/1	5/6
اسفند	74/8	76/7	31/8	26/4	19	0/7	15/5	14/4	1	1/1	8/2	7/7
فروردین	81/6	87/9	32/4	58/6	21	104/0	22/2	22/4	5/5	6/0	13/8	14/0
اردیبهشت	75/5	73/3	23/6	20/5	15	10/3	29/9	27/7	9/4	8/3	19/6	18/1

جدول 2- نتایج آزمون خاک مزرعه در سال اول و دوم منطقه قمرود قم

سال	عمق	SP %	EC_e $dS.m^{-1}$	pH	T.N.V %	O.C %	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
							mg.kg^{-1}					
اول	0-	33	13/57	7/5	20/5	1	12	468	3	0/8	0/51	24
دوم	0-	32	10/11	7/3	22/5	1	10	600	2/76	0/75	0/54	15

جدول 3 - نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری (میلی اکی‌والان در لیتر) در سال اول و دوم منطقه قمرود قم

سال	EC $dS.m^{-1}$	pH	CO_3^{--}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SAR
اول	7/5	7/6	-	2/1	51/7	23/2	17/4	9/3	50/2	0/10	13/7
دوم	7/7	7/5	-	2/2	52/7	23/2	18/1	9/3	51/2	0/10	13/8

در طول فصل رشد، مراقبت های زراعی لازم از جمله وجین علف های هرز، مبارزه با آفات و آبیاری زمین (بر اساس نیاز آبی منطقه) صورت گرفت. در زمان 50 درصد گلدهی (مرحله‌ی65 بر اساس مقیاس زادوکس) (جلیلی و همکاران، 1382)، به‌منظور بررسی میزان جذب عناصر غذایی، ده بوته از هر کرت انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد و پس از توزین و شستشو، وزن خشک، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز، کلسیم و نیز سدیم آن‌ها اندازه‌گیری گردید (امامی، 1375). آن‌گاه از حاصل‌ضرب غلظت عناصر فوق در وزن خشک اندام هوایی، میزان جذب هر کدام به‌دست آمد.

تعداد10 بوته در دو ردیف وسط داخل هر کرت برای اندازه‌گیری ارتفاع، تعداد خورجین در هر بوته، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین، وزن هزار دانه، تعداد خورجین در شاخه اصلی و فرعی انتخاب شدند. برداشت هر کرت، از دو ردیف وسط کرت ها و با حذف حاشیه ها و نیم متر از بالا و پایین کرت ها انجام شده و سپس عملکرد کاه (شاخساره) و دانه در سطح برداشتی محاسبه و به هکتار تبدیل گردید.

درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه استخراج سوکسله و زیر سامانه‌ی برگشت (رفلاکس) و حلال هگزان، استحصال و مقدار روغن به شکل کاهش وزن نمونه محاسبه شد (هرلیچ، 1990).

برای اطمینان از غلظت ترکیبات مواد محرک رشد استفاده شده، این مواد مجدداً در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب مورد تجزیه و بررسی قرار گرفتند (شهبازی و همکاران، 1397). بر این اساس، نمونه اسید هیومیک استفاده شده دارای 52/95 درصد اسید هیومیک، اسیدآمینه حاوی 36/79 درصد اسیدآمینه آزاد، اسید فولویک استفاده شده دارای 22/1 درصد اسید فولویک و عصاره جلبک (*Ascophyllum nodosum*) استفاده شده دارای 10 درصد اسید آلجینیک بود.

اسیدآمینه مصرفی در این آزمایش، حاصل تخمیر پودرکنجاله سویا در دستگاه فرمانتور و متاثر از آنزیم‌های شکننده پروتئین تولید می‌شود. اسیدآمینه مورد استفاده ازمحصولات شرکت پارس فروغ زاگرس بود نوع جلبک مورداستفاده اسکوفیلوم نودوزوم (*Ascophyllum nodosum*) مربوط به آب‌های سرد کانادا است. شرکت آکادین سی پلنت[1] این جلبک‌ها را برداشت و با روش‌های شیمیایی عصاره‌گیری می‌کند. سپس این عصاره، خشک و تجاری می‌شود. ماده اولیه‌ی اسید فولویک و اسید هیومیک، ازمعادن لئوناردیت استخراج می‌گردد. برای استحصال اسیدفولویک، عصاره اسیدهای هیومیک و فولویک را اسیدی تا هیومیک رسوب کند و مایع رویی را برداشت می‌کنند. اسیدفولویک و اسید هیومیک، محصول

1. Acadian Seaplant

شرکت بلک ارت کانادا[1] بود. داده‌های پژوهش، پس از مرتب و استاندارد سازی، با استفاده از نرم افزار SASمورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند (SAS, 2009). و به این ترتیب اثرات تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه، کاه، اجزای عملکرد، درصد روغن دانه و غلظت و جذب عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس، منگنز و نیز سدیم و کلسیم در برگ گیاه مورد بررسی قرار گرفته شد.

نتایج

عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های زراعی

بر اساس نتایج جدول تجزیه‌ی واریانس مرکب دوسالانه داده‌های آزمایش (جدول 4)، مصرف کلیه مواد محرک رشد، تأثیر معنی‌داری (در سطح 5 درصد آزمون دانکن) بر عملکرد دانه، کاه و ویژگی‌های، تعداد خورجین در شاخه فرعی، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه کلزا رقم هایولا-50 نسبت به شاهد داشتند. براین‌اساس، بالاترین عملکرد دانه و کاه از تیمار هفت (ترکیبی) به ترتیب 4565 و 1066 کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول 5). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌های مرکب (جدول 5)، بالاترین مقادیر میانگین ویژگی‌های ارتفاع بوته، تعداد خورجین در شاخه فرعی، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و عملکرد روغن دانه در هکتار در تیمار هفت به دست آمد.

شوری به علت اختلال در جذب عناصر غذایی و کاهش جذب آب، باعث کاهش مقادیر مؤلفه‌های رشد، از جمله طول ریشه و اندام هوایی و نیز وزن خشک اندام هوایی می‌گردد (نیمیر و همکاران، 2015؛ ابراهیم و همکاران، 2016). در تحقیق حاضر، مصرف خاکی اسید هیومیک به همراه محلول‌پاشی برخی محرک‌های رشدی، باعث افزایش مقادیر مؤلفه‌های فوق گردید. نتایج پژوهش حاضر با سایر گزارش‌ها هم‌خوانی دارد (کوردی‌یرو و همکاران، 2011؛ حیدری و مینایی، 2014). بررسی نتایج محققان نشان داده مصرف خاکی اسید هیومیک در شرایط شور، باعث افزایش محتوای پروتئین گیاه می‌شود.

به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر، با مصرف اسید هیومیک، احتمالاً افزایش سنتز پروتئین، افزایش رشد و اجزای آن اتفاق افتاده باشد (فرناندز و همکاران، 2018).

در اثر شوری، محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد که این امر به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی آهن و منیزیم، اثر ممانعت یونی گونه‌ها، کاهش کارآیی جذب کربن، افزایش اتانول و لاکتات بوده که منجر به کاهش سنتز کلروفیل و فتوسنتز می‌گردد (آکالدیوس و محمد، 2018؛ لطیف و محمد، 2016). در این شرایط، مصرف خاکی اسید هیومیک می‌تواند باعث کاهش pH و یا افزایش فعالیت ریز جانداران خاک شده و درنتیجه، رهاسازی عناصر غذایی همچون آهن، باعث تحریک افزایش تولید رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و بهبود رشد گیاه شود (آکالدیوس و محمد، 2018؛ لطیف و محمد، 2016؛ عامر و الرمادی، 2015). اگرچه، مطالعات لطیف و محمد (2016) نشان داده محلول‌پاشی اسید هیومیک قادر است فعالیت فتوسنتزی گیاه و آنزیم *Rubisco* را افزایش دهد و درنتیجه تحمل به شوری را در گیاه بالا ببرد، در تحقیق حاضر، محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌تنهایی، اثر معنی‌داری نسبت به شاهد (مصرف عناصر غذایی بر اساس آزمون خاک) بر عملکرد ماده خشک اندام هوایی و دانه نداشت اما زمانی که در ترکیب با سایر مواد محرک رشد و مصرف خاکی اسید هیومیک قرار گرفت، عملکردهای فوق را افزایش معنی‌داری داد (جدول 5). احتمالاً، یکی از دلایل عدم کارآیی محلول-پاشی اسید هیومیک و سایر محرک‌های مورداستفاده در تحقیق حاضر، غلظت و یا زمان مصرف نامناسب باشد (آکالدیوس و محمد، 2018)؛ لذا، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی، محلول‌پاشی غلظت‌های بالاتر از نیم درصد این محرک‌ها در نظر گرفته شود و یا روش بذرمال و یا زمان‌های دیگر برای محلول‌پاشی این محرک‌ها مورد توجه قرار گیرد.

1. Blackearth

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس اثر مواد محرک رشد بر عملکرد دانه، کاه و برخی ویژگی‌های زراعی کلزا (هایولا-50) در منطقه قم (مرکب)

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد کاه	ارتفاع بوته	تعداد خورجین در شاخه اصلی	تعداد خورجین در شاخه فرعی	طول خورجین	تعداد دانه در خورجین	درصد روغن دانه	وزن هزار دانه	عملکرد روغن
سال	1	688896**	30834**	1050**	6/9	2393**	1/8**	0/38	0/006	0/001	94473**
بلوک (سال)	4	42367	3030	108	2/3	37	0/02	0/09	0/92	0/007	10945
محرک رشد	6	1223252**	49694**	385**	133**	4496**	0/73**	3/4**	48/6**	0/2**	111042**
محرک رشد× سال	6	106144**	4481*	242**	48	606	0/32	0/38	7/4**	0/008**	28556**
خطای آزمایش	24	19978	1370	33/5	20/4	238	0/11	0/34	0/46	0/001	3628
ضریب تغییرات	-	3/9	4/2	4/8	9/4	9/1	6/2	4/7	1/8	1/01	4/4

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح 1% و 5% آزمون دانکن.

جدول 5- نتایج مقایسه میانگین اثر مواد محرک رشد بر عملکرد دانه، کاه و برخی ویژگی‌های زراعی کلزا (هایولا-50) در منطقه قم (ترکیب دو سال)

شماره تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	ارتفاع (سانتیمتر)	تعداد خورجین در شاخه اصلی	تعداد خورجین در شاخه فرعی	طول خورجین (سانتیمتر)	تعداد دانه در خورجین	درصد روغن دانه	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
1	3392^{c}	816^{c}	110/8^{d}	41/7^{d}	137/3^{c}	4/8^{d}	11/7^{d}	37/7^{c}	3/6^{e}	1279/3^{c}
2	3927^{b}	953^{b}	123/7^{ab}	55/3^{a}	196/8^{a}	5/3^{bc}	13^{b}	37/1^{cd}	3/93^{c}	1455/2^{b}
3	3335^{c}	836^{c}	115/8^{cd}	42/5^{cd}	152/7^{c}	5/3^{bc}	12/3^{bcd}	36/6^{d}	3/7^{d}	1219/9^{c}
4	3423^{c}	861^{c}	129/2^{a}	50^{ab}	175^{b}	5/5^{ab}	12/7^{bc}	42/1^{a}	4/05^{ab}	1441/8^{b}
5	3377^{c}	828^{c}	108/7^{d}	47/5^{bc}	154/5^{c}	5/1^{bcd}	12^{cd}	41/3^{b}	3/94^{c}	1395/3^{b}
6	3520^{c}	849^{c}	120/8^{bc}	50/2^{ab}	155^{c}	4/9^{cd}	12/7^{bc}	35/1^{e}	4/07^{a}	1237/6^{c}
7	4565^{a}	1066^{a}	127/7^{ab}	48/3^{b}	213/8^{a}	5/8^{a}	14^{a}	34/8^{e}	4/02^{b}	1593/2^{a}

1- شاهد 2- اسید هیومیک مصرف خاکی 3- اسیدآمینه 4- اسید هیومیک محلول‌پاشی 5- اسید فولویک 6- عصاره جلبک 7- تیمار ترکیبی

در هر ستون، مقادیر با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند.

جدول 6- اثر برخی مواد محرک رشد بر غلظت بعضی از عناصر غذایی شاخساره کلزا (هایولا-50) در منطقه قم (مرکب)

نوع مواد محرک رشد	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	نسبت پتاسیم به سدیم	آهن	روی	منگنز	مس	کسر مولی کلسیم*
	درصد ماده خشک					میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک				
1	2/02^{b}	1/34^{a}	0/87^{d}	0/26^{a}	1/75^{d}	67^{c}	39/8^{b}	53^{a}	7/6^{a}	0/19^{d}
2	1/84^{c}	0/54^{d}	0/96^{bcd}	0/25^{a}	3/62^{a}	55/3^{d}	33/2^{c}	34^{b}	8^{a}	0/27^{ab}
3	1/69^{d}	0/78^{c}	0/72^{e}	0/17^{b}	2/85^{c}	85^{a}	33/7^{c}	26^{e}	6/3^{b}	0/21^{cd}
4	1/98^{b}	1/04^{b}	0/92^{cd}	0/25^{a}	2/69^{c}	53/2^{d}	29/7^{d}	31^{c}	5/1^{c}	0/22^{c}
5	2/24^{a}	0/82^{c}	0/98^{bc}	0/26^{a}	3/35^{ab}	70^{c}	38/8^{b}	28^{d}	5^{c}	0/23^{c}
6	1/59^{e}	0/95^{b}	1/15^{a}	0/27^{a}	1/89^{d}	69/3^{c}	58/2^{a}	30^{c}	7/9^{a}	0/29^{a}
7	2/05^{b}	0/74^{c}	1/04^{ab}	0/27^{a}	2/99^{bc}	79/5^{b}	29/1^{d}	27/5de	5/1^{c}	0/25^{b}

1- شاهد 2- اسید هیومیک مصرف خاکی 3- اسیدآمینه 4- اسید هیومیک محلول‌پاشی 5- اسید فولویک 6- عصاره جلبک 7- تیمار ترکیبی

در هر ستون، مقادیر با حروف مشابه، اختلاف معنی داری در سطح 5% آزمون دانکن ندارند

- کسر مولی کلسیم برابر است با نسبت غلظت کلسیم به مجموع غلظت کل کاتیون‌ها (سدیم+پتاسیم+کلسیم+منیزیم)

جدول 7- اثر مواد محرک رشد بر جذب کل برخی عناصر غذایی اندام هوایی کلزا (هایولا-50) در منطقه قم (ترکیب دو سال)

نوع مواد محرک رشد	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	آهن	روی	منگنز	مس
	(کیلوگرم در هکتار)				(گرم در هکتار)		
1	15/6^{c}	6/8^{d}	1/98^{c}	53^{d}	31^{c}	41^{a}	5/9^{c}
2	17/2^{d}	9/3^{c}	2/4^{b}	54^{d}	31^{c}	32^{c}	7/6^{a}
3	14/7^{e}	6/3^{d}	1/49^{d}	75/1^{b}	30^{c}	23^{e}	5/5^{cd}
4	20/3^{c}	9/4^{c}	2/5^{b}	53^{d}	30^{c}	31^{c}	5/1^{d}
5	21/9^{b}	9/6^{c}	2/6^{b}	67/5^{c}	38^{b}	27^{d}	4/9^{d}
6	15/6^{e}	11/4^{b}	2/63^{b}	69^{c}	57^{a}	30^{c}	7/8^{a}
7	27/5^{a}	14/05^{a}	3/62^{a}	105/2^{a}	39^{b}	37^{b}	6/8^{b}

1- شاهد 2- اسید هیومیک مصرف خاکی 3- اسیدآمینه 4- اسید هیومیک محلول‌پاشی 5- اسید فولویک 6- عصاره جلبک 7- تیمار ترکیبی

در هر ستون، مقادیر با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد آزمون دانکن ندارند

نتایج مطالعات برخی پژوهشگران نشان داده مصرف خاکی اسید هیومیک، تأثیر مثبتی بر آنزیم آسکوربات پراکسیداز داشته است (کایا و همکاران، 2018). این آنزیم در مهار رادیکال‌های سوپر اکسید هیدروژن و گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) نقش بسزایی ایفاد می‌کند؛ لذا، به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر، مصرف خاکی اسید هیومیک، باعث افزایش فعالیت این آنزیم و در آخر، افزایش تحمل گیاه به شوری شده باشد. اگرچه در آزمایش اخیر، این تیمار پس از تیمار ترکیبی در خصوص عملکرد ماده خشک و دانه قرار داشت که نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت برهمکنش سایر محرک‌های رشد علاوه بر مصرف خاکی اسید هیومیک بر عملکرد و اجزای آن در کلزا بوده است.

بر اساس نتایج پژوهش‌ها، مصرف برخی اسیدهای آمینه از جمله مصرف توأمان متیونین و پرولین و یا گلوتامیک اسید به همراه متیونین و تریپتوفان به شکل محلول‌پاشی، سبب افزایش عملکرد ماده خشک گیاهی و تحمل به شوری گوجه‌فرنگی شد (آلفوسا-سیمون و همکاران، 2020). در تحقیق حاضر، محلول‌پاشی اسیدآمینه، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و ماده خشک گیاهی نداشت. باتوجه به این‌که نتایج تحقیقات نشان داده تنها برخی اسیدهای آمینه بر تحمل گیاه به شوری اثرگذار است، لذا، احتمالاً درصد اسیدهای آمینه مؤثر بر تحمل به شوری در نمونه‌ی مورداستفاده در آزمایش پایین بوده و احتمالاً نتوانسته تأثیر معنی‌دار و قابل‌توجه بر عملکرد داشته باشد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود در آزمایش‌های تکمیلی احتمالی، اثر خالص و یا تومان اسیدهای آمینه‌ی مؤثر بر تحمل گیاه به شوری مورد بررسی قرار گیرد.

در خصوص عدم تأثیر معنی‌دار اسید فولویک بر عملکرد نیز تحقیقات نشان داده مصرف خاکی این ماده به همراه بیوچار توانسته تحمل به شوری را در گیاه افزایش دهد و اصولاً این ماده با کاتیون‌های غذایی پیوند برقرار کرده و جذب آنها را تسهیل می‌کند (سان و همکاران، 2020). نکته‌ی مهم آن است که با توجه به حلالیت بالای این ماده، حتماً باید با ماده‌ای محافظت‌کننده مانند بیوچار مصرف شود تا توسط آن تثبیت و از شستشو ممانعت حاصل شود. از آن‌جا که یکی از کاربردهای خاکی محرک‌های رشد، ممانعت از جذب و انتقال کلر به اندام-های هوایی است که جهاز فتوسنتزی را در برابر شوری محافظت و تعادل تغذیه‌ای و اسمزی را در گیاه حفظ و از فعالیت گونه‌های اکسیژن فعال می‌کاهد، لذا مصرف محلول‌پاشی این ماده نتوانسته مانع از جذب و انتقال کلر از خاک شود و بنابراین، اثر معنی‌داری بر عملکرد و رشد نداشته است (سان و همکاران، 2020).

غلظت و جذب برخی عناصر غذایی

بررسی جدول تجزیه مرکب واریانس اثر مواد محرک رشد بر غلظت و جذب عناصر پتاسیم، سدیم، کلسیم، آهن، روی، مس و منگنز نشان داد که مصرف محرک‌های رشد، اثر معنی‌داری بر غلظت این عناصر در مقایسه با تیمار شاهد داشت (جدول‌های 6 و 7). بالاترین مقدار میانگین غلظت پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس به ترتیب در تیمار هفت، یک، هفت، هفت، سه، چهار، یک و شش حاصل شد. به‌علاوه، بیشترین مقدار جذب پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن در تیمار هفت و از آنِ روی و مس در تیمار شش و در خصوص مس، در تیمار یک مشاهده شد. (جدول‌های 6 و 7).

این نتایج با یافته‌های سایر محقان هم‌خوانی دارد که نشان دادند با مصرف خاکی اسید هیومیک، جذب پتاسیم، کلسیم و نیتروژن در شرایط شور افزایش داشته و از سوی دیگر، جذب فسفر، منیزیم، آهن و روی نیز به طور مثبتی متأثر از مصرف هیومیک اسید شد (تورهان و همکاران، 2020). به نظر می‌رسد مواد محرک رشد استفاده شده اثر متفاوتی بر غلظت و جذب عناصر گیاه داشته‌اند. بالاترین مقدار جذب پتاسیم (27/5 کیلوگرم در هکتار)، کلسیم (14/05 کیلوگرم در هکتار) و منیزیم (3/62 کیلوگرم در هکتار) در تیمار هفت به‌دست آمد که با شاهد (تیمار یک)، اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد آزمون دانکن داشت (جدول 7).

از لحاظ نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی کلزا، تیمار دو (مصرف خاکی اسید هیومیک) بیشترین نسبت را داشت (3/62) که با تیمار پنج (محلول‌پاشی اسید فولویک) اختلاف معنی‌داری نداشته ولی نسبت به شاهد، این اختلاف معنی‌دار بود. همچنین، کسر مولی کلسیم (نسبت کلسیم به مجموع کاتیون‌های کلسیم، سدیم، پتاسیم و منیزیم) در تیمار شش (عصاره جلبک دریایی) بالاترین مقدار بود (0/29). مقدار بالاتر این کسر در تیمارهای دو و هفت، نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول). یافته‌های محققان نشان داده شاخص انتخاب پذیری پتاسیم نسبت به سدیم (K^+/Na^+)، یکی از شاخص‌های مهم نشان دهنده‌ی تحمل گیاه به شوری می‌باشد (کرامر و همکاران، 1987). در پژوهش حاضر، این نسبت در تیمار مصرف خاکی بالاترین مقدار بود که با نتایج محققان دیگر هم‌خوانی داشت (کرامر و همکاران، 1987)

تحلیل اقتصادی کاربرد تیمارهای محرک رشد گیاهی نسبت به شاهد

اثر تیمارهای محرک رشد بر نسبت سود به هزینه در جدول 8 نشان داده شده است. در شرایط تنش شوری کاربرد خاکی اسید هیومیک بیشترین نست سود به هزینه را داشت و تیمار هفت (ترکیبی)، با نسبت سود به هزینه معادل 3/27 در اولویت بعد قرار گرفت. سایر محرک‌های رشد گیاهی به ترتیب عصاره جلبک دریایی و محلول‌پاشی اسید هیومیک در مرتبه‌ی بعدی قرار داشتند. مصرف اسید آمینه و اسید فولویک، اثر منفی بر نسبت سود به هزینه داشته‌اند (به علت پایین بودن عملکرد دانه این دو تیمار نسبت به شاهد). در تیمار ترکیبی، علی‌رغم این که افزایش عملکرد قابل توجهی نسبت به شاهد حاصل شد اما کمترین صرفه اقتصادی در این تیمار بدست آمد.

جدول 8- نسبت سود به هزینه ناشی از کاربرد محرک‌های رشد گیاهی در شرایط تنش شوری در سال دو سال آزمایش

شماره تیمار	افزایش عملکرد نسبت به شاهد	افزایش سود تیمار نسبت به شاهد	افزایش هزینه تیمار نسبت به شاهد	نسبت سود به هزینه
	کیلوگرم در هکتار	ریال		
2	535	41730000	2000000	20/86
3	-57	-4446000	4000000	-1/11
4	31	2418000	3500000	0/69
5	-15	-1170000	9000000	0-/13
6	128	9984000	14000000	0/71
7	1173	91494000	28000000	3/27

قیمت هر لیتر/کیلوگرم اسید آمینه، اسید هیومیک، اسید فولویک، عصاره جلبک دریایی، هزینه محلولپاشی و کلزا به ترتیب500000 ،400000 ، 1500000، 2500000، 1500000و 78000 ریال

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، تیمار هفت (مصرف خاکی اسید هیومیک به‌همراه محلول‌پاشی اسیدآمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک)، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای آن و نیز درصد و عملکرد روغن دانه در هکتار در مقایسه با شاهد (عدم مصرف این محرک‌های رشد) و سایر محرک‌های رشدی شد. همچنین، بین مصرف سایر محرک‌های رشد (محلول‌پاشی اسیدآمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک و مصرف خاکی اسید هیومیک) با شاهد در خصوص عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری دیده نشد ولی مصرف آنها باعث بهبود برخی ویژگی‌های رشدی گردید. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی، محلول‌پاشی غلظت‌های بالاتر از نیم درصد این محرک‌ها در نظر گرفته شود و یا روش بذرمال

و یا زمان‌های دیگر برای محلول‌پاشی این محرک‌ها موردتوجه قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره 182، چاپ اول، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج، ایران.
2. بدون نام. 1399. آمارنامه کشاورزی. جلد اول. محصولات زراعی و باغی سال زراعی 98-1397. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، معاونت برنامه ریزی و امور اقتصاد. وزارت جهاد کشاورزی.
3. جلیلی، ف.، م. ج. ملکوتی و رحیم کسرایی. 1382. نقش تغذیه بهینه در عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در کشت پاییزه و بهاره در خوی. در کتاب تغذیه بهینه دانه های روغنی، گامی مؤثر در نیل به خودکفایی روغن در کشور. انتشارات خانیران. تهران. ایران. 452 صفحه.
4. جلالی، م. 1386. شوری آب های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک: مطالعه‌ی موردی: تجرک، غرب ایران. زمین شناسی محیط زیست. 52، 1133-1149.
5. دهقانی، ف؛ و س. سعادت. 1397. دستورالعمل استفاده از گچ برای اصلاح خاک‌های سدیمی. نشریه فنی 556. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
6. شهبازی، ک.، م. ح. داوودی و م. فیض‌اله‌زاده اردبیلی. 1397. روش‌های تجزیه کود. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
7. طهرانی، م. م.1394. مدیریت تغذیه گیاه گندم در شرایط تنش سرما. موسسه تحقیقات خاک و آب.
8. غفاری نژاد، س. ع. ، ف. نورقلی پور و م. ن. غیبی. 1399. محرک¬های رشد گیاهی، نقش آنها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی. دو فصلنامه مدیریت اراضی، شماره 1 دوره 8.
9. غیبی، م. 1399. اصول عملی تغذیه گندم (مقابله با تنش های محیطی). توانگران، تهران، ایران، 68 ص.
10. کریمی، م. 1366. آب و هوای منطقه مرکزی ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان، 97صفحه.
11. مومنی، ع. 1389. توزیع جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله تحقیقات خاک (علوم خاک و آب). 24 (3)، 203-215.
12. همایی، م. 1381. واکنش گیاه به شوری.کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران، ایران، 88 ص.
13. Akladious, S.A., and H.I. Mohamed. 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants grown under salt stress. Scientia Horticulturae (Amsterdam), 236, 244–250.
14. Alley, M.M., D.E. Brann, E.L. Stromberg, E.S. Hagood, A. Herbert, E.C. Jones, and W.K. Griffith. 1993. Intensive soft red winter wheat production: a management guide. Virginia Tech Cooperative Extension Publication. 424-803.
15. Alfosea-Simón, M.E., A. Zavala-Gonzalez, J.M. Camara-Zapata, J.J. Martínez-Nicolás, I. Simón, S. Simón-Grao, and F. García-Sánchez. 2020. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. Scientia Horticulturae. 1-9.
16. Amer, M. M. and H. R. El-Ramady.2015. Alleviation soil salinity and sodicity hazard using some bio-chemical amendments for production of canola (*Brassica napus* L.) in North Delta region. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 6(4): 415- 432.
17. Bandehagh, A., Z. Dehghanian, R. Henry, and M.A. Hossain. 2021. Salinity Tolerance in Canola: Insights from Proteomic Studies. In Brassica Breeding and Biotechnology. IntechOpen.

18. Bybordi, A. 2010. Effects of salinity on yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 81-83.
19. Bouyoucos, G.H. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of Soils. Agronomy Journals. 43, 434-438.
20. Brown, P. and S. Saa. 2015. Biostimulants in agriculture. Frontiers in plant science, 6, 1-3.
21. Brown, E., M.W. Skougstad, and M.J. Fishman. 1970. Methods for Collection and Analysis of Water Samples for Dissolved Minerals and Gases. Laboratory analysis. Book 5. Washington, D.C. USA.
22. Calvo, P., L. Nelson, and J.W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil. 383, 3–41.
23. Cordeiro, F.C., C. Santa-Catarina, V. Silveira, and S.R. De Souza. 2011. Humic acid effect on catalase activity and the generation of reactive oxygen species in corn (*Zea mays* L.). Bioscience, biotechnology, and biochemistry. 75(1), 70-74.
24. Craigie, J.S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. Journal of applied phycology, 23(3), pp.371-393.
25. Cramer, R., Y. Haly, A. Lauchli, and E. Epstein. 1987. Influx of Na^{+}, K^{+}, Ca^{++} into roots of salt-stressed cotton seedling. Journal of Plant Physiology. 510-516.
26. Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae, 196:3-14.
27. El-Bassiouny, H.M.S., and M.A. Bekheta.2005. Effect of salt stress on relative water content lipid peroxidation, polyamines, amino acids and ethylene of two wheat cultivars. International Journal of Agriculture and Biology. 3, 363-368.
28. Emami, A. 1996. Methods of Plant Analysis. Technical Journal No. 182, First Edition, Soil and Water Research Institute. Karaj, Iran.
29. Ertani, A., M. Schiavon, A. Muscolo, and S. Nardi. 2013. Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. Plant and soil. 364(1), 145-158.
30. Fan, D., A.T. Hodges, and B. CritchleyPrithiviraj. 2013. A commercial extract of BrownMacroagla (Ascophyllum nodosum) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. Communications in soil science and plant analysis. 44,1873–1884.
31. Fernández, M.B.M., L.E. Cosio-Vargas, D.C. Montero, A.C. García, and D.M. López. 2013. Potentiality of vermicompost humic acids in banana in vitro micro propagation clone. Enano Guantanamero. Journal of Environmental Science and Engineering. 2, 677–685.
32. Heidari, M., and A. Minaei. 2014. Effects of drought stress and humic acid application on flower yield and content of macroelements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Plant Production Research. 21, 167–182.
33. Helrich, K. 1990. Official methods of analysis association of official analytical chemists. 15th Edn. AOAC Inc. Arlington, USA.
34. Ibrahim, M.E.H., X. Zhu, G. Zhou, and E.H.M.A. Abidallhaa. 2016. Effects of nitrogen on seedling growth of wheat varieties under salt stress. Journal of Agricultural Science. 8, 131–146.
35. Jamil, A., S. Riaz, M. Ashraf, and M.R. Foolad. 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. Critical Review of Plant Science. 30(5),435–458.
36. Kaya, C., N.A. Akram, M. Ashraf, and O. Sonmez. 2018. Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving some key physicobiochemical attributes. Cereal Research Communications. 46, 67–78.
37. Keutgen, A., and E. Pawelzik. 2008. Contribution of amino acids to straw berry fruit quality and the irrelevance as stress indicators under NaCl salinity. Food Chemistry. 111, 642–647.

38. Khalil, A.A., E.A.M. Osman, and F.A.F. Zahran. 2008. Effect of amino acids and micronutrients foliar application on growth, yield and its components and chemical characteristics. The Journal of Agricultural Science. Mansoura University. 33, 3143-3150.
39. Khan, W., U.P. Rayirath, S. Subramanian, M.N. Jithesh, P. Rayorath, D.M. Hodges, A.T. Critchley, J.S. Craigie, J. Norrie, and B. Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulation. 28(4), 386-399.
40. Knudsen, D., and G.A. Peterson. 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. p. 225-246. In A.L. Page et al., (eds.) Methods of Soil Analysis. *Agronomy* No. 9, Part 2, 2nd ed. Am. Soc. of Agronomy, Madison, WI.
41. Latif, H.H., and H.I. Mohamed. 2016. Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. South African Journal of Botany. 106.
42. Lindsay, W.L., and W.A. Norvell.1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society American Journal. 42, 421-428.
43. Marosz, A. 2009. Effect of fulvic and humic organic acids and calcium on growth and chlorophyll content of tree species grown under salt stress. Dendrobiology. 62, 47–53.
44. Moghaddam, A.R.L., and A. Soleimani. 2012. Compensatory effects of humic acid on physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress. Acta Horticulturae 940:252–255.
45. Mohamed, W.H. 2012. Effects of humic acid and calcium forms on dry weight and nutrient uptake of maize plant under saline condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 6,597–604.
46. Nimir, N.E.A., S. Lu, G. Zhou, W. Guo, B. Ma, and Y. Wang. 2015. Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defense system of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under salinity and temperature stresses. Crop Pasture Science. 66, 145–157.
47. OECD/FAO .2019. OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2019-2028. Paris, OECD.
48. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with NaHCO3, USDA Cir.939. U.S. Washington.
49. Parađiković, N., T. Vinković, I. Vinković Vrček, I. Žuntar, M. Bojić, and M. Medić-Šarić. 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91(12), 2146-2152.
50. SAS Institute .2009. SAS/STAT user's guide. Version 9. SAS Institute. Cary, NC.
51. Shah, S., Hhookway, S., Wilkinson, S., Fletcher, J., 2017. The effect of biostimulants on crop vigour, disease incidence and grain yield of winter wheat and winter oilseed rape. Asp. Appl. Biol. 134, 59–69.
52. Simon-Grao, S., F. Garcia-Sanchez, , M. Alfosea-Simon, I. Simon, V. Lidon, and W.M.R. Ortega.2016. Study on the foliar application of fitomare® on drought tolerance of tomato plants. International Journal of Plant Animal and Environmental Sciences. 6, 15-21.
53. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
54. Sun, Y., J. Yang, R. Yao, X. Chen, and X. Wang. 2020. Biochar and fulvic acid amendments mitigate negative effects of coastal saline soil and improve crop yields in a three year field trial. Scientific Reports. Nature Research. 10:8946.
55. Turhahn, A., B.B. Aşik, and H. Kuşçu. 2020. The Influence of Irrigation Water Salinity and Humic Acid on Nutrient Contents of Onion (*Allium cepa* L.). Journal of Agricultural Science. 26,147-153

56. Vasconcelos, A.C.F., X. Zhang, E.H. Ervin, and J.C. Kiehl. 2009. Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. Scientia Agricola. 66(3), 395-402.
57. Wally, O.S., A.T. Critchley, D. Hiltz, J.S. Craigie, X. Han, L.I. Zaharia, S.R. Abrams, and B. Prithiviraj. 2013. Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in Arabidopsis following treatment with commercial extract from the marine macroalga Ascophyllum nodosum. Journal of plant growth regulation, 32(2), 324-339.
58. Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37, 29–37.
59. Ziomek, A.S., Szczepanek, M., 2019. Soil extracellular enzyme activities and uptake of N by oilseed rape depending on fertilization and seaweed biostimulant application. Agronomy 9, 480. https://doi.org/10.3390/ agronomy9090480.

اثر ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر برخی ویژگی‌های ریحان سبز (*Ocimum basilicum L.*) و خاک پس از برداشت

مریم موسی‌پور، محمد فیضیان[1] و زهره بوالحسنی

دانشجوی دکتری علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان؛ maryam.mosapour8@gmail.com

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

دانشجوی دکتری علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان؛ z.bolhasani93@yahoo.com

ص: 177-191

دریافت: 1400/6/29 و پذیرش: 1401/2/21

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان تنش رطوبتی می‌باشد. هدف از اجرای این آزمایش بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر برخی ویژگی‌های رشد ریحان سبز و خاک پس از برداشت محصول بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل و سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. عامل اول شامل چهار سطح ورمی‌کمپوست (صفر، 10، 20 و 30 گرم در کیلوگرم خاک) و عامل دوم سه سطح رطوبت خاک (100%، 75% و 55% ظرفیت مزرعه) بود. بر پایه نتایج، بیشترین وزن تر (58/96 گرم در گلدان)، وزن خشک (5/9 گرم در گلدان) و غلظت فسفر اندام هوایی (0/42%) مربوط به تیمار بدون تنش رطوبتی و کاربرد 30 گرم ورمی‌کمپوست بود و کمترین مقدار وزن تر و خشک و فسفر اندام هوایی در بالاترین سطح تنش رطوبتی و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده گردید. همچنین، بیشترین غلظت نیتروژن (4/74%) و پتاسیم (3/90%) اندام هوایی در تیمار دارای بالاترین سطح تنش و کاربرد 30 گرم ورمی‌کمپوست مشاهده شد. در خاک پس از برداشت، بیشترین غلظت نیتروژن (0/2%) و فسفر قابل جذب (26/25 میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار 30 گرم درکیلوگرم ورمی‌کمپوست با تنش (55% ظرفیت مزرعه) و کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده گردید. با توجه به این نتایج، می‌توان گفت که ورمی‌کمپوست تأثیر مثبتی بر افزایش رشد گیاه ریحان در شرایط تنش رطوبتی، دارد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، کود آلی، عناصر پرمصرف

---

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

مقدمه

ریحان با نام علمی (*Ocimum basilicum L.*) یکی از گیاهان بومی آسیا است که در تیره نعنایان قرار می‌گیرد (پیوندی و همکاران، 1390). اسانس و عصاره استخراج شده از جنس‌های مختلف گیاه ریحان در صنایع دارویی، غذایی، عطرسازی و بهداشتی بکار می‌رود. گیاهان ممکن است در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی و رطوبتی مواجه شوند که براساس مرحله رشد آن‌ها و میزان حساسیت گیاه، رشد آن‌ها دچار تغییراتی از نظر مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، متابولیکی، بیوشیمیایی و مولکولی شود (امام و زوارهی، 2005). تنش خشکی از بحرانی‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان و کاهش تولید محصول شناخته شده است (بودن و همکاران، 2010). براساس مطالعات صورت گرفته در سطح جهان میزان کاهش عملکرد گیاه بر اثر تنش رطوبتی 50 درصد گزارش شده است (رهبریان و همکاران، 2011).

تنش خشکی از طریق کاهش فشار تورژسانس موجب کاهش رشد و نمو سلول‌ها و به طبع آن کاهش رشد برگ، سطح برگ و سطح تعرق گیاه می‌شود. در نتیجه سطح فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد و موجب کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه می‌گردد (شاوو و همکاران، 2008). کاهش رطوبت خاک با تأثیر بر رشد ریشه و تحرک عناصر غذایی خاک در جذب عناصر معدنی توسط گیاهان نقش دارد (فیجریا و همکاران، 2002). بنابراین رطوبت خاک با تأثیری که بر جذب عناصر غذایی دارد، ممکن است نقش مهمی در تحمل گیاهان به تنش رطوبتی داشته باشد (سمره و همکاران، 2004). مقدم و همکاران (1394) با بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش رطوبتی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سه رقم ریحان گزارش کردند، تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه‌فرعی، وزن‌تر، وزن خشک و درصد اسانس در ارقام مختلف ریحان شد. در گزارشی کاهش جذب عناصر غذایی توسط ریحان تحت تنش خشکی مشاهده گردید (حسنی و امیدبیگی، 1381). مطالعات شرفی و همکاران نشان داد (1400) که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دارشاخه‌های فرعی، وزن تر و وزن خشک گیاه آویشن باغی گردید.

افزودن موادآلی جهت افزایش حاصلخیزی خاک در مناطق خشک و نیمه خشک امری ضروری به‌نظر می‌رسد (احمد آبادی و قاجارسپانلو،1391). ورمی-کمپوست کودی بیوارگانیک است که از یک مخلوط بیولوژیکی بسیار فعال دارای باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی، کود حیوانی و کپسول‌های کرم خاکی تشکیل شده است که باعث ادامه عمل تجزیه مواد آلی خاک و پیشرفت فعالیت‌های میکروبی در بستر رشد گیاه می‌گردد (بریمنس، 1999). ورمی‌کمپوست گاوی فضولات کرم‌هایی است که از کودگاوی، تغذیه کرده باشند. کرم‌ها با خوردن محتویات عالی، زائدات آنها را تجزیه و دگرگون می‌نمایند.

فرآیند هضم این کرم‌ها به تغییر سریعتر مواد منتهی شده و کمپوست حاصله تثبیت می‌شود. نتیجه این عمل دستیابی به ورمی‌کمپوستی با کیفیت بالا است که با بالاترین استانداردهای جهانی برابری می‌کند (فرمحمدی، 1385). کود ورمی‌کمپوست به دلیل ساختار متخلخل، ظرفیت بالای ذخیره آب، داشتن هورمون‌های مختلف مانند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و مقادیر زیادی مواد مغذی می‌تواند در رشد و نمو گیاهان و همچنین در کاهش اثرات مضر تنش‌های مختلف محیطی روی گیاهان از جمله تنش رطوبتی مؤثر واقع گردد (حسین زاده و همکاران، 1396). استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست و ورمی‌کمپوست در خاک‌های مناطق خشک و آهکی با میزان ماده آلی کم، علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، می‌تواند نقش مؤثری در افزایش قابلیت جذب عناصری مانند فسفر و پتاسیم ایفا کند. مطالعات صورت گرفته توسط محمدی آریا و همکاران (1389) نشان داد مصرف کود ورمی‌کمپوست نقش موثری در کاهش pH خاک و افزایش میزان فسفر محلول در آب داشت. احمدپور و حسین زاده (2017) با مطالعه تأثیر کود ورمی-

کمپوست بر صفات مورفولوژیکی عدس تحت تنش خشکی گزارش کردند استفاده از ورمی‌کمپوست در خاک، به ویژه در مقادیر 15 و 25 درصد وزنی باعث افزایش معنی داری در کلیه صفات مورد مطالعه در شرایط بدون تنش شد، و در شرایط تنش زیاد افزایش سطح ورمی-کمپوست افزایش معنی داری بر ارتفاع گیاه، تعداد غلاف، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، سطح برگ و سطح ریشه داشت. باتوجه به اهمیت گیاه ریحان از نظر خوراکی و دارویی و اینکه بیش از 80 درصد زمین-های کشاورزی ایران جز خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک هستند که از نظر ماده آلی در سطح پایینی قرار دارند، در این تحقیق به بررسی اثرات سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی ویژگی‌های شیمیایی گیاه و خاک پس از برداشت گیاه ریحان تحت تنش رطوبتی پرداخته شد.

مواد و روش

در این پژوهش مقدار خاک مورد نیاز از افق سطحی (عمق 30-0 سانتی‌متری) از دانشکده کشاورزی لرستان که هیچ‌گونه سابقه کوددهی در آن وجود نداشت تهیه و پس از هوا خشک کردن با الک 4 میلی‌متری برای خاک گلدان‌های سه کیلوگرمی (به قطر 25 سانتی‌متر و ارتفاع 30 سانتی‌متر) غربال گردید. جهت تجزیه خاک پس از هواخشک کردن از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد. در مرحله بعدی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند کربنات کلسیم معادل با روش خنثی-سازی با اسید و تیترکردن با سود (ریچاردز، 1954)، pH به روش عصاره گل‌اشباع با استفاده از دستگاه pH متر (توماس، 1996)، EC عصاره گل‌اشباع توسط دستگاه هدایت الکتریکی (روداس، 1996)، درصد مواد آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامنر، 1982) و بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و بودر، 1986) تعیین گردید. نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر، 1996)، فسفر قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با بی‌کربنات‌سدیم (اولسن و همکاران، 1954) و پتاسیم قابل استفاده خاک با استفاده از عصاره‌گیر استات‌آمونیوم و قرائت با دستگاه شعله سنج استفاده شد (کنادسن و همکاران، 1982) (جدول 1).

کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این پژوهش از شرکت تولیدی کود ورمی‌کمپوست اریکه اراک تهیه گردید (از کود گاوی جهت تولید این نوع ورمی-کمپوست استفاده شده است). برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های ورمی‌کمپوست پس از هواخشک کردن و غربال با الک 2میلی‌متری، pH و EC در نسبت 1:5 کود به آب ، نیتروژن و ماده آلی مانند روش‌های صورت گرفته برای خاک، فسفر به روش کو (کو، 1966)، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز به روش خشک سوزانی و حل خاکستر در اسید کلریدریک دو نرمال و قرائت توسط دستگاه جذب اتمی انجام شد(جدول2). قابل ذکر است تمام آزمایش‌های فوق در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان صورت گرفت.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک مورد استفاده

pH	هدایت الکتریکی	پتاسیم	فسفر	آهن	روی	مس	منگنز	کلاس بافت خاک	سیلت	رس	شن	آهک	O.C	نیتروژن کل
-	$dS.m^{-1}$	قابل جذب($mg.kg^{-1}$)						-	(%)					
7/6	0/72	280	21	5/1	1/03	1/46	7/17	لوم	31/28	20/72	48	28/5	0/9	0/08

جدول 2- برخی خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده

pH	O.C	EC	نیتروژن کل	پتاسیم	فسفر	آهن	روی	مس	منگنز
	(%)	$dS.m^{-1}$	(%)			($mg.kg^{-1}$)			
7/61	13/2	1/7	1/6	1/2	0/85	4223	239/5	70/8	360/7

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف ورمی-کمپوست کودگاوی بر برخی ویژگی‌های گیاه و خاک پس از برداشت ریحان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل (3×4) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان صورت گرفت. فاکتورهای مورد استفاده شامل 4 سطح ورمی‌کمپوست (۰،۱۰، 20 و 30 گرم در کیلوگرم خاک) و سه سطح رطوبتی (100، 75 و 55 درصد ظرفیت مزرعه) بود. به منظور جلوگیری از کمبود احتمالی سایر عناصر غذایی و بر اساس نتایج آزمون خاک اولیه (جدول1) نیتروژن از منبع کود اوره (150میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) عناصر آهن، منگنز و روی هر کدام به میزان 5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و به‌ترتیب از منابع آهن سولفات آهن، سولفات منگنز و سولفات روی و عنصر مس به میزان 2/5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و از منبع سولفات مس و به‌صورت محلول به‌طور یکنواخت به خاک اولیه همه کیسه‌ها اضافه شدند. نیتروژن در دو نوبت به طور مساوی (75 میلی گرم در کیلوگرم خاک) قبل از کاشت و 4 هفته بعد از جوانه‌زنی بذرها به خاک گلدان‌ها اضافه شد. برای آماده سازی خاک گلدان‌ها، دو روز قبل از کشت، عناصر کم‌مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) و نیتروژن برای هر کیلوگرم خاک به مقدار محاسبه شده بصورت محلول اضافه گردید و پس از خشک شدن با خاک کاملا مخلوط گردید.

پس از مخلوط کردن مقادیر ورمی‌کمپوست با خاک (دو روز قبل از کشت) برای هر گلدان بذر ریحان به تعداد 10 عدد در عمق 1 سانتی متری قرار داده شد و سپس با آب شهری در حد ظرفیت مزرعه آبیاری گردید. در ابتدا برای تعیین رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، مقداری خاک به‌عنوان نمونه از توده اصلی برداشته و به حد اشباع رسانیده شد نمونه خاک در داخل آون جهت خشک شدن قرار گرفت. در انتها نمونه خشک شده وزن شد و از طریق رابطه زیر، ظرفیت زراعی خاک محاسبه گردید:

رابطه (1)

ظرفیت مزرعه= (وزن تر خاک -وزن خشک خاک/وزن خشک)×100

2 هفته پس از کشت، گیاهان تنک شدند و تعداد 5 شاخه در هر گلدان باقی ماند. در سه هفته اول رشد، رطوبت گلدان‌ها با توزین روزانه در حد ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. به طوری که هر روز وزن تمام گلدان‌ها اندازه‌گیری شد و با مقایسه وزن اولیه هر گلدان (وزن روز آبیاری) با وزن روزانه آن مقدار رطوبت موجود محاسبه شد و جهت جبران کمبود آب خاک، آبیاری (براساس تیمارها) انجام شد. در ماه دوم کشت تنش‌های رطوبتی مذکور به تیمارها اعمال گردید. به این صورت که سطوح 75 و 55 درصد ظرفیت مزرعه را بر اساس مقدار رطوبت 100 درصد ظرفیت مزرعه محاسبه و به گلدان‌ها اعمال گردید. 8 هفته پس از کاشت اندام هوایی گیاه برداشت شد و خاک هریک از گلدان‌ها هوا خشک و جهت تجزیه آزمایشگاهی به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان انتقال داده شد. پس از اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های رشدی (طول و تعداد شاخه جانبی) و وزن تر به منظور تعیین وزن خشک اندام هوایی نمونه‌ها به مدت 48 ساعت در آون 72 درجه سانتی گراد خشک شدند و سپس وزن آنها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت 0/001گرم تعیین شد. جهت اندازه‌گیری غلظت پتاسیم گیاه یک گرم از خاکستر نمونه های گیاهی در اسید کلریدریک دو نرمال حل و پس از صاف نمودن با آب مقطر به حجم رسانده شد و با دستگاه شعله‌سنج تعیین شد.

غلظت عناصر نیتروژن و فسفر گیاه نیز به‌ترتیب با روش‌های کجلدال (برمنر، 1996) و آمونیوم مولیبدات وانادات (چاپمن و پرات، 1962) اندازه‌گیری شدند. پس از انجام آزمایش‌های صورت گرفته برای بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر غلظت برخی ویژگی‌های گیاه و خاک پس از برداشت، تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین ها با استفاده از نرم افزارSPSS به روش دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

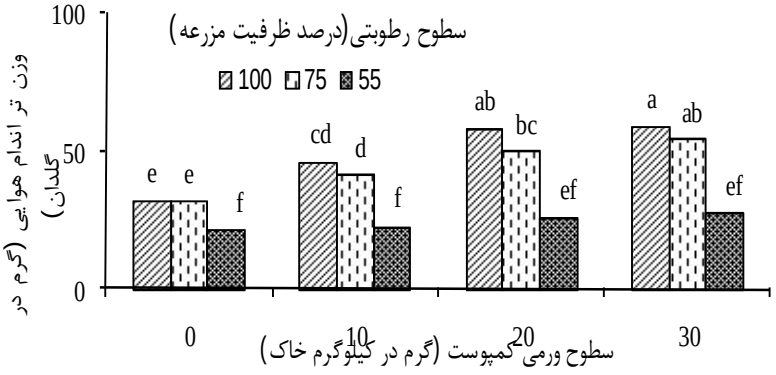
وزن تر و خشک اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول3) اثر اصلی سطوح ورمی‌کمپوست، تنش رطوبتی و اثر متقابل تیمارهای اعمال شده بر وزن تر و خشک اندام هوایی ریحان مثبت و معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر وزن تر اندام هوایی (شکل 1) نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار بدون تنش رطوبتی و 30 گرم ورمی‌کمپوست در کیلوگرم خاک بود. در حالیکه با تیمار بدون تنش و سطح 20 گرم ورمی‌کمپوست و تیمار 75 درصد ظرفیت مزرعه و سطح 30 گرم ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به سطح رطوبتی 55 درصد ظرفیت مزرعه و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست بود. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی سبب افزایش وزن تر اندام هوایی شد هرچند بین برخی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر برخی ویژگی های رشدی و غلظت عناصر غذایی ریحان

	میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	وزن تر	وزن خشک	تعداد شاخه جانبی	طول شاخه جانبی
تنش رطوبتی	2	9/012**	0/014**	1/549**	2046**	45/41**	2/34**	20/36**
ورمی‌کمپوست	3	1/498**	0/005**	1/398**	651/7**	7/020**	8/37**	45/87**
تنش رطوبتی*ورمی‌کمپوست	6	0/063*	0/000**	0/101*	83/20**	0/731*	0/238^{ns}	0/32^{ns}
خطا	24	0/029	0/000	0/028	19/18	0/264	0/368	1/66
ضریب تغییرات		0/41	0/01	0/47	11/25	7/23	7/10	35/04

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد.

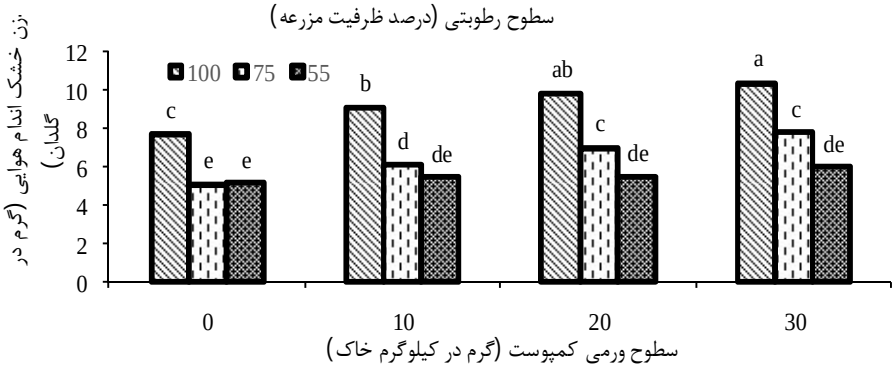


شکل 1- اثر متقابل سطوح رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر وزن تر اندام هوایی ریحان (گرم در گلدان)

نتایج نشان داد افزودن ورمی‌کمپوست به خاک سبب افزایش وزن تر اندام هوایی ریحان شد. به نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست از طریق فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاه (درزی و همکاران، 1389) و بهبود شرایط فیزیکی خاک (احمدیان و همکاران، 2010)

سبب افزایش رشد و وزن تر گیاه می‌گردد. گلدانی و همکاران (1395) با مطالعه تأثیر سطوح مختلف ورمی-کمپوست بر دو اکوتیپ ریحان (ریحان سبز و بنفش) گزارش کردند بیشترین وزن تر ریحان در اثر کاربرد 80 درصد حجمی خاک ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد. نتایج همچنین نشان داد (نمودار 1) افزایش تنش رطوبتی سبب کاهش وزن تر اندام هوایی گردید. رشد رویشی در گیاهان تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد که از مهمترین این عوامل میزان آب در دسترس است. زارعی (1396) کاهش وزن تر اندام هوایی ریحان در تنش رطوبتی 40 درصد ظرفیت زارعی را گزارش کرد که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

براساس نتایج (شکل 2) اعمال تنش رطوبتی موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی ریحان گردید. بطوری که بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (100درصد ظرفیت مزرعه) و سطح کودی 30 گرم ورمی‌کمپوست در کیلوگرم خاک و کمترین آن در شرایط تنش رطوبتی 55 درصد ظرفیت مزرعه و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده گردید.



شکل 2- اثر متقابل سطوح رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی ریحان (گرم در گلدان)

یکی از آثار تنش خشکی کاهش وزن مادهٔ خشک است. بصیری و همکاران (1399) گزارش کردند اثر کم آبیاری بر وزن خشک گیاه نعناع معنی‌دار بود. بطوریکه بیشترین و کمترین وزن خشک گیاه برای تیمارهای 100 و 60 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده گردید. رحمانیان و همکاران (1390) در گزارشی بیان کردند کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه ریحان نسبت به شاهد شد.

تعداد و طول شاخه جانبی گیاه

نتایج جدول (4) نشان داد سطوح تنش رطوبتی سبب کاهش تعداد شاخه جانبی گردید. به طوریکه این تعداد در سطح 75 و 55 درصد ظرفیت مزرعه به ترتیب نسبت به شاهد (100 درصد ظرفیت مزرعه) 8/08 و 21/56 درصد کاهش یافت. زارعی (1396) گزارش کرد در شرایط رطوبتی 100 و 80 درصد رطوبت ظرفیت مزرعه بیش ترین تعداد شاخه‌های جانبی در ریحان مشاهده شد و با افزایش سطح تنش خشکی تعداد شاخه‌های جانبی کاهش یافت به طوری که کمترین تعداد شاخه‌های جانبی درسطح 40 درصد رطوبت ظرفیت مزرعه مشاهده شد. با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست تعداد شاخه جانبی گیاه افزایش یافت. بطوریکه کاربرد 10، 20 و 30 گرم ورمی-کمپوست به ترتیب نسبت به شاهد تعداد شاخه جانبی را

11/91، 48/37 و 74/36 درصد افزایش داد، درحالیکه بین سطح شاهد و 10 گرم در کیلوگرم ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش تعداد شاخه جانبی در گیاهان از ویژگی‌های ژنتیکی آنها به‌شمار می‌رود، که می‌تواند تحت تأثیر عامل‌های محیطی نیز قرار بگیرد. کود ورمی‌کمپوست می‌تواند با افزایش فراهمی عناصر قابل استفاده گیاه از جمله پتاسیم موجب افزایش شیره پرورده در شاخه و کاهش غلظت هورمون چیرگی انتهایی (اکسین) در بخش‌های دارای مریستم فعال و در حال رشد گیاه از جمله جوانه‌های جانبی، سبب تحریک و افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گردد (خلیل زاده و همکاران، 2012). بر اساس نتایج (جدول 4) افزایش تنش رطوبتی موجب کاهش طول شاخه جانبی ریحان گردید. به این صورت که در سطح 75 و 55 درصد ظرفیت مزرعه نسبت به شاهد (عدم تنش) طول شاخه جانبی به ترتیب 15/6 و 25/85 درصد کاهش یافت که بین این دو سطح (75 و 55 درصد ظرفیت مزرعه) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد اثر اصلی کاربرد ورمی‌کمپوست بر طول شاخه جانبی سبب افزایش این صفت گردید. بطوری که در تیمارهای 10، 20 و 30 گرم در کیلوگرم ورمی‌کمپوست به ترتیب 34/69، 58/26 و 87/07 درصد طول شاخه جانبی افزایش یافت، هرچند بین سطوح 10 و 20 گرم در کیلوگرم ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کودهای آلی با افزایش فراهمی عناصر غذایی و همچنین بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک سبب افزایش شاخ و برگ و همچنین طول شاخساره‌های گیاه می‌شود (عزیز و همکاران، 2010). از طرفی با افزایش تنش رطوبتی و کاهش رشد ریشه و در نتیجه کاهش جذب عناصر غذایی، رشد اندام هوایی گیاه از جمله تعداد و طول شاخه جانبی کاهش می‌یابد.

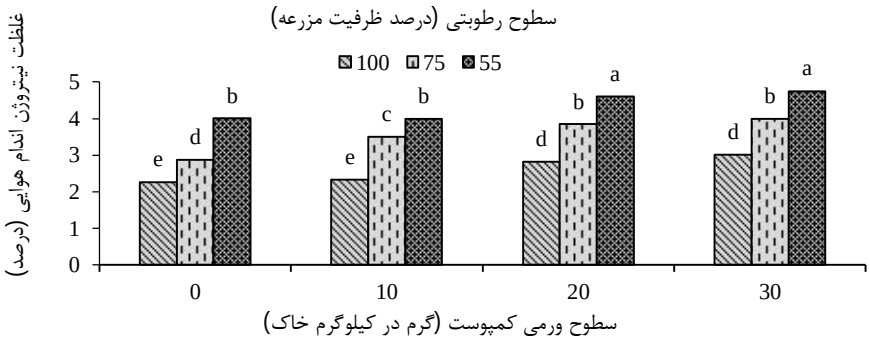
جدول 4- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر تعداد و طول شاخه جانبی ریحان

تیمار	سطح	تعداد شاخه جانبی	طول شاخه جانبی (سانتی متر)
تنش رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)	100	4/08a	10/25a
	75	3/75ab	8/65b
	55	3/2b	7/6b
ورمی‌کمپوست (گرم در کیلوگرم خاک)	0	2/77b	6/11c
	10	3/1b	8/23b
	20	4/11a	9/67b
	30	4/83a	11/43a

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

غلظت عناصر اندام هوایی

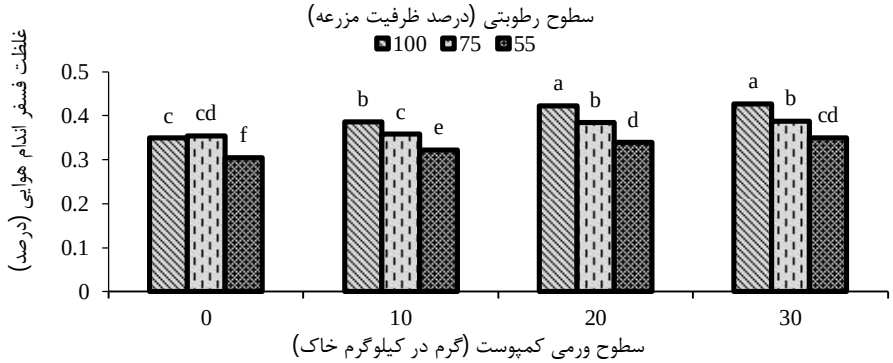
نتایج تجزیه واریانس (جدول 3) نشان داد اثر اصلی سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، تنش رطوبتی و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی ریحان مثبت و معنی‌دار گردید. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین غلظت نیتروژن اندام هوایی در سطح رطوبتی 55 درصد ظرفیت مزرعه و کاربرد 30 گرم ورمی‌کمپوست در کیلوگرم خاک رخ داد. که از نظر آماری با سطح 20 گرم ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین غلظت نیتروژن اندام هوایی در تیمار شاهد (بدون تنش و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست) مشاهده گردید. هر چند از لحاظ آماری با سطح 10 گرم ورمی‌کمپوست بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل 3).



شکل 3-اثر متقابل سطوح رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر غلظت نیتروژن اندام هوایی ریحان (درصد)

ورمی‌کمپوست حاوی مقادیر بالایی از عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم هستند که به راحتی به شکل‌های قابل استفاده گیاه تبدیل می‌شوند. افزایش غلظت نیتروژن با تنش خشکی موضوعی است که مطالعات متعددی روی آن صورت گرفته است (هابرل و رایمانوا، 2008). در واقع این افزایش غلظت به دلیل کاهش وزن خشک و افزایش غلظت و تجمع نیتروژن در گیاه می‌باشد. گزارش‌های متعددی افزایش غلطت نیتروژن با محدویت آبی را بیان کرده اند (عبدالرحمن، 1971؛ پیرزاد و همکاران، 2012). آرجنت و هممکاران (2004) افزایش نیتروژن در شرایط تنش رطوبتی در گیاهان به دلیل تجمع سریع اسیدآمینه‌هایی است که به پروتئین تبدیل نشده‌اند.

نتایج نشان داد بیشترین غلظت فسفر اندام هوایی در اثر کاربرد 30 گرم بر کیلوگرم خاک ورمی-کمپوست و سطح بدون تنش رطوبتی مشاهده شد که با کاربرد 20 گرم ورمی‌کمپوست بر کیلوگرم خاک و سطح بدون تنش رطوبتی اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین غلظت فسفر نیز مربوط به بدون کاربرد ورمی-کمپوست و بیشترین سطح تنش رطوبتی (55 درصد ظرفیت مزرعه) مشاهده گردید (نمودار 4).

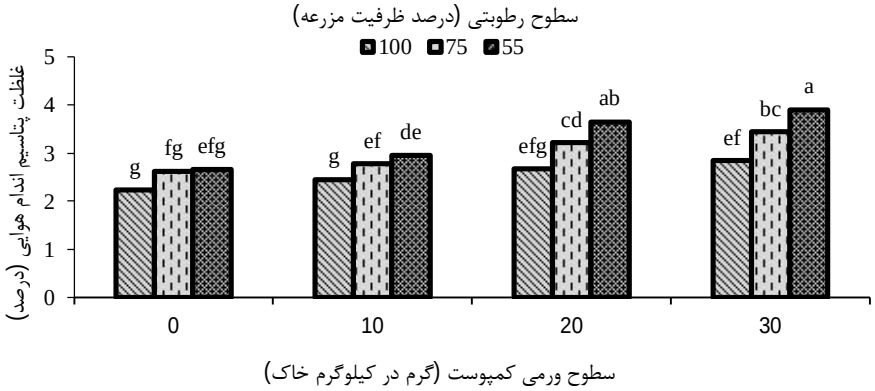


شکل 4-اثر متقابل سطوح رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر غلظت فسفر اندام هوایی ریحان (درصد)

با توجه به غیر متحرک بودن فسفر در خاک، در این تحقیق به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، رشد گیاه و فعالیت ریشه کاهش یافته و دسترسی به فسفر و جذب آن توسط گیاه کاهش یافته است. قلی‌نژاد و

همکاران (1395) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی غلظت فسفر در گیاه گاوزبان کاهش یافت. آنان اعلام کردند بالاترین غلظت فسفر در شرایط بدون تنش رطوبتی و کاربرد بیشترین سطح ورمی‌کمپوست مشاهده گردید. زارعی (1396) کاهش غلظت فسفر اندام هوایی گیاه ریحان را در اثر تنش رطوبتی گزارش کرد که با نتایج این گزارش مطابقت دارند .

اثرات متقابل ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی نشان داد (نمودار 5) بیشترین غلظت پتاسیم اندام هوایی مربوط به بیشترین سطح تنش رطوبتی (55 درصد ظرفیت مزرعه) و کاربرد 30 گرم ورمی‌کمپوست بر کیلوگرم خاک بود. که با سطح کودی 20 گرم ورمی-کمپوست بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین غلظت پتاسیم اندام هوایی در تیمار شاهد (عدم تنش رطوبتی و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست) مشاهده شد. هر چند از لحاظ آماری با برخی سطوح دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل 5-اثر متقابل سطوح رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر غلظت پتاسیم اندام هوایی ریحان (درصد)

افزایش غلظت پتاسیم در اندام هوایی با افزایش تنش رطوبتی را می‌توان به فاکتور رقت و کاهش رشد و نمو گیاه نسبت داد. به طور کلی نظر بر این است که در اثر تنش خشکی میزان جذب پتاسیم در گیاه افزایش می‌یابد و آن هم به دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه است. از دیگر دلایل افزایش جذب پتاسیم در گیاه تحت شرایط تنش خشکی، تر و خشک شدن متوالی و طولانی خاک است که موجب رها شدن پتاسیم از بین لایه‌های رسی می‌شود در نتیجه غلظت یون پتاسیم (K^+) خاک افزایش یافته و جذب پتاسیم را بیشتر می‌کند (لوگان و همکاران، 1997). حسین‌زاده و همکاران (1396) با مطالعه اثر سطوح ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر در گیاه نخود تحت تنش آبی گزارش کردند سطوح20و 30 درصد وزنی ورمی-کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه نخود در مقایسه با شاهد (عدم استفاده از کود ورمی‌کمپوست) شد. در حالیکه بین سطوح 10 درصد وزنی و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. دستبندان و همکاران (2010) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، میزان پتاسیم جذب شده 2 تا 3 برابر شرایط طبیعی است. آن‌ها همچنین گزارش کردند که علت افزایش جذب پتاسیم تحت تنش خشکی را می‌توان به مکانیسم جذب فعال این یون به‌وسیله گیاه نسبت داد که با این مکانیسم گیاه مقاومت خود را در برابر تنش بالا می‌برد.

غلظت عناصر در خاک

باتوجه به نتایج به‌دست آمده (جدول5)، کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر غلظت

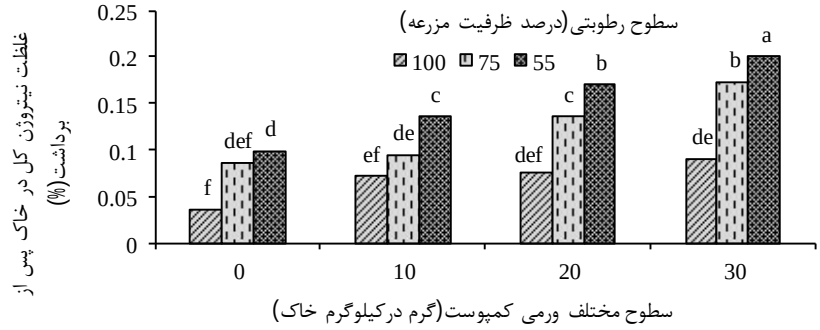
نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک پس از برداشت گیاه ریحان معنی‌دار بود. درحالیکه اثر متقابل تیمارهای کودی و تنش رطوبتی بر غلظت نیتروژن و فسفر خاک مثبت و معنی‌دار گردید اما بر مقدار پتاسیم خاک تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول 5).

جدول 5- نتایج تجزیه واریانس اثر کابرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی بر غلظت برخی عناصر خاک

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
تنش رطوبتی	2	0/018**	332/341**	39843/2**
ورمی‌کمپوست	3	0/009**	91/316**	32265/3**
تنش رطوبتی*ورمی‌کمپوست	6	0/001**	3/705**	174ns
خطا	24	0/000	0/313	282/9
ضریب تغییرات		0/35	0/85	58/4

** با استفاده از آزمون دانکن در سطح 1% معنی‌دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد.

مقایسه میانگین‌ها در اثرات متقابل تنش رطوبتی و سطوح ورمی‌کمپوست نشان داد بیشترین مقدار نیتروژن در خاک پس از برداشت در تیمار کودی 30 گرم در کیلوگرم تحت تنش خشکی شدید (55درصد ظرفیت مزرعه) مشاهده شد (نمودار 6). همچنین کم‌ترین مقدار نیتروژن، در تیمار شاهد بدون مصرف کود با سطح رطوبتی بدون تنش (100درصد ظرفیت مزرعه) مشاهده گردید که می‌توان علت آن را جذب بیشتر این عنصر توسط گیاه به دلیل داشتن شرایط بهینه رطوبتی دانست (شکل 6).

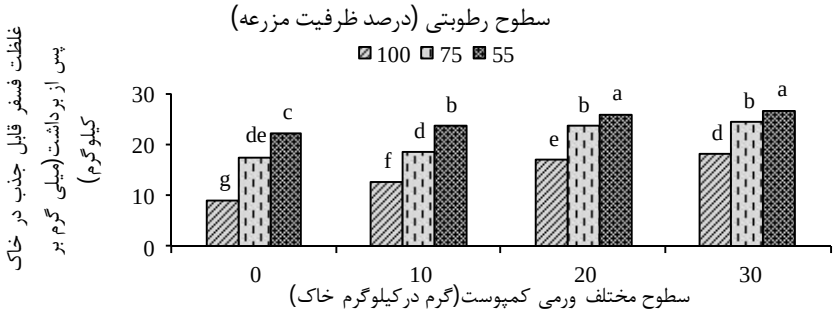


شکل6- اثرمتقابل تنش رطوبتی و سطوح ورمی کمپوست بر غلظت نیتروژن در خاک پس از برداشت

تنش رطوبتی با کاهش تراکم آب سلول‌های گیاهی موجب کاهش فرآیندهای بیولوژیک و فیزیولوژیک گیاه و کاهش رشد آن می‌گردد (لیانگ و همکاران، 2019). همین امر موجب کاهش تقاضای گیاه برای جذب عناصر غذایی از خاک می‌شود. بنابراین با کاهش جذب عناصر از خاک غلظت آن‌ها در خاک افزایش می‌یابد. از دیگر دلایل افزایش نیتروژن کل خاک با افزودن کود آلی همبستگی مثبت بین کربن آلی و نیتروژن خاک می‌باشد (آنجلوا، 2013). اسمعیلی و همکاران (1397) گزارش کردند اثر تنش خشکی بر مقدار نیتروژن خاک پس از برداشت معنی‌دار بود بطوری که بالاترین غلظت نیتروژن در بالاترین سطح تنش رطوبتی مشاهده گردید. نتایج

تحقیقات نشان می‌دهد در شرایط استفاده از کود آلی سرعت رها سازی و شست و شوی نیتروژن از خاک کاهش می‌یابد (جامی و همکاران، 1397).

شکل اثر متقابل تنش رطوبتی و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر غلظت فسفر پس از برداشت ریحان نشان داد بیشترین غلظت فسفر در تیمار کودی 30 گرم بر کیلوگرم خاک تحت تنش رطوبتی شدید (55 درصد ظرفیت مزرعه) مشاهده گردید. در حالیکه با سطح کودی 20گرم در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل 7). همچنین کمترین غلظت فسفر در شرایط بدون تنش رطوبتی و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده گردید (شکل7).



شکل 7- اثرمتقابل تنش رطوبتی و سطوح ورمی کمپوست بر غلظت فسفر در خاک پس از برداشت

به نظر می‌رسد کاهش رشد گیاه با افزایش تنش رطوبتی و کاهش جذب فسفر سبب افزایش غلظت آن در خاک پس از برداشت شده است. از طرفی چون آب فرآیندهای حلالیت، قابل دسترس بودن عناصرغذایی و سرعت انتشار مواد غذایی از محیط خاک به سطح جذب کننده ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد بنابراین با کاهش رطوبت خاک فرایند جذب نیز کاهش می‌یابد (الم، 1999؛ لویت، 1980). یان و همکاران (2018) گزارش کردند کود آلی باعث افزایش باکتری‌های فعال می‌شود این امر سبب حل شدن فسفر معدنی می‌شوند، علاوه براین مواد آلی و مشتقات آن با تشکیل کمپلکس‌هایی با آهن و آلومینیم منجر به کاهش تثبیت فسفرقابل استفاده در خاک می‌شود. ورمی‌کمپوست غنی از میکروارگانیسم‌های است که اسیدهای آلی مهم از جمله اسیداگزالیک را ترشح می‌کنند، این اسید نقش مهمی در آزادسازی عناصری مانند فسفر و پتاسیم دارند.

نتایج نشان داد (جدول 6) اثر اصلی تنش رطوبتی موجب افزایش پتاسیم در خاک پس از برداشت ریحان شد. بطوریکه در سطح 75 و 55 درصد ظرفیت مزرعه به ترتیب نسبت به شاهد (عدم تنش)19/81 و 66/35 درصد افزایش یافت. پتاسیم نیز با کاهش رشد ریشه و اندام هوایی در اثر تنش رطوبتی جذب آن توسط گیاه کاهش یافته و سبب افزایش غلظت آن در خاک شد.

جدول 6- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر غلظت پتاسیم در خاک پس از برداشت

تیمار	سطح	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
تنش رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)	100	169/1c
	75	202/6b
	55	281/3a
	0	144/17c
ورمی‌کمپوست (گرم در کیلوگرم خاک)	10	195/1b
	20	255/29a
	30	276/2a

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

اثر اصلی کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست سبب افزایش غلظت پتاسیم خاک شد. بطوری که کاربرد 10، 20 و 30 گرم در کیلوگرم ورمی‌کمپوست به ترتیب نسبت به شاهد غلظت پتاسیم خاک را 35/32، 77/07 و 91/57 درصد افزایش یافت (جدول 6). هر چند بین سطح 20 و 30 گرم ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشت. میزان پتاسیم فراوان در ورمی‌کمپوست مورد استفاده می‌تواند از دلایل افزایش پتاسیم در خاک پس از برداشت گیاه باشد. از دیگر دلایل افزایش غلظت عناصر خاک پس از افزودن کودهای آلی وجود اسیدهای آلی موجود در آن‌ها می‌باشد. اسیدهای آلی نقش مهمی در بهبود و فراهمی عناصر پرمصرف از جمله پتاسیم در خاک دارند (آداک و همکاران، 2014).

نتیجه‌گیری

ورمی‌کمپوست به دلیل داشتن غلظت بالای عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مثبتی بر افزایش غلظت این عناصر در گیاه و خاک داشت. همچنین اثرات سوء تنش رطوبتی را کاهش داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ورمی‌کمپوست کودی مناسب جهت افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش رطوبتی است. افزایش تنش رطوبتی بر غلظت نیتروژن و پتاسیم اندام هوایی گیاه اثری نداشت. باتوجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین غلظت عناصر در خاک پس از برداشت در تیمار 30 گرم در کیلوگرم تحت تنش رطوبتی 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد. با توجه به تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر افزایش رشد گیاه ریحان در شرایط تنش رطوبتی، می‌توان نتیجه گرفت کودی مناسب برای گیاه ریحان در شرایط تنش رطوبتی است. پیش از هرگونه توصیه کودی بهتر است نتایج این پژوهش در شرایط مزرعه مورد ارزیابی و تأیید قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. احمدآبادی، ز. و قاجارسپانلو، م. 1391 . تأثیر کاربرد کودهای آلی روی برخی خواص فیزیکی خاک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دوره 19 شماره 2، صفحه 110-99.
2. احمدیان، ا.، قنبری، ا.، گلوی، م.، سیاه‌سر، ب.، و آرزمجو، ا. 1389. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کود دامی بر میزان عناصر، درصد اسانس و ترکیبات شیمیایی آن در زیره سبز. مجله علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف-های هرز. سال چهارم. شماره16. صفحه 94-83.
3. اسمعیلی، م.، خراسانی، ر. و حلاج نیا، ا. 1397. اثر منابع مختلف نیتروژن (آمونیومی- نیتراتی) بر رشد و نمو و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی در گیاه ذرت تحت تنش خشکی. پایانامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
4. بصیری، م.، قمرنیا، ه. و قبادی.، م. 1399. اثر شدت های مختلف کم آبی و شوری بر رشد برگ، ساقه و ریشه گیاه نعناع فلفلی(*Mentha piperita* L.) . مدیریت آب و آبیاری دانشگاه تهران. جلد10 شماره 1، صفحه 14-1.
5. پیوندی، م.، پرنده، ه. و میرزا.، م. 1390. مقایسه تأثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم-های آنتی اکسیدانی ریحان (*Ocimum basilicum L.*). مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی- مولکولی. جلد 1 شماره 4، صفحه 90-86.
6. درزی، م.ت.، قلاوند، ا.، رجالی، ف. و سفیدکن، ف. 1389. بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill.*). فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد 22. شماره 4. صفحه‌های 276 تا 292.
7. جامی، م. ق.، قلاوند، ا.، س.ع.، مدرس ثانوی، ع.، مختصی بیدگلی، ا.، باغبانی آرانی. و نامداری، ا. 1397. اثر کود دامی، زئولیت و آبیاری بر ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه آفتابگردان(*Helianthus annuus L.*). نشریه علوم زراعی ایران. جلد20 شماره 2، صفحه 167-151.
8. حسنی، ع. و امیدبیگی، ر. 1381. اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان. مجلهٔ دانش کشاورزی. جلد 12 شماره 3، صفحه12-47.
9. حسین زاده، س.ع.، امیری، ح. و اسماعیلی، ا. 1396. اثر سطوح ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر در گیاه نخود(*Cicer arietinum L. cv. Pirouz*) تحت شرایط تنش آبی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد 10 شماره 4، صفحه 545-531.
10. رحمانیان، م.، حاتمی، ف.، اسماعیل پور، ب. و هادیان، ج. 1390. بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست بر عملکرد و صفات مورفولوژیکی مرزه و ریحان. هفتمین کنگره علوم باغبانی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
11. زارعی، ف. 1396. اثر محلول‌پاشی کود کلات پتاسیم و نانوکلات پتاسیم روی صفات کمی و کیفی ریحان (*Ocimum basilicum L.*) تحت تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گروه علوم باغبانی. دانشگاه خلیج فارس بوشهر. 128 صفحه.
12. شرفی، ق. ا.، چنگیزی، م.، رفیعی، م.، گماریان، م. و خاقانی، ش. 1400. اثر تنش خشکی و کود زیستی ورمی‌کمپوست بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک آویشن باغی(Thymus vulgaris L.). نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد 01 ، شماره 44، صفحه 159-147.
13. فرمحمدی، س. 1385. طراحی و راه‌اندازی کارگاه کرم خاکی، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

14. قلی‌نژاد، ر.، سیروس‌مهر، ع. و فاخری، ب. 1395. ارزیابی رژیم آبیاری و کودهای آلی بر عملکرد کمی و کیفی گاوزبان (*Borago officinalis* L.). نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد 10، شماره 3، صفحه 696-683.
15. گلدانی، م.، کمالی، م.، محتشمی، س. و غنی، ع. 1395. تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و شاخص‌های رشد دو اکوتیپ ریحان (*Ocimum basilicum L.*).
16. مقدم، م.، علیرضایی، ن. م. ی.، سلاحورزی. و گلدانی، م. 1394. تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیوشیمیایی سه رقم ریحان(*Ocimum basilicum L.*). نشریه علوم باغبانی. جلد 46 شماره 3، صفحه521-507.
17. محمدی آریا، م.، لکزیان، ا.، حق نیا، غ.م.، حسین بشارتی. ح.، و فتوت، ا. 1389 . تأثیر *Aspergillus* و*Thiobacillus* بر فراهمی فسفر از خاک فسفات غنی شده با گوگرد و ورمی‌کمپوست .نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 24 شماره 1، صفحه9-1.
18. Abdel Rahman, A. A., Shalaby, A.F. and Monayeri, M.O.E.I. 1971. Effect of moisture stress on metabolic products and ions accumulation, Plant Soil, 34: 65.
19. Adak, T., Singha, A., Kumar, K., Shukla, SK., Singh, and Kumar Singh, A. V. 2014. Soil organic carbon, dehydrogenase activity, nutrient availability and leaf nutrient content as affected by organic and inorganic source of nutrient in mango orchard soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2: 394-406.
20. Alam, S. M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress condition, In :M Pessarakli (ed), Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. pp. 285-315.
21. Argenta, G., P. Da Silva, R. F., and Sangoi, L. 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter. predicts nitrogen fertilization in maize. Crop Science 34: 1379-1387.
22. Angelova, V.R., Akova, V.I., Artinova, N.S. and Ivanov KI. 2013. The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. Bulgarian Journal of Agricultural Science 19: 958-971.
23. Azeez, J.O.,Van Averbeke, W. and Okorogbnond, A.O.M. 2010. Differential responses in yield of pumpkin *(Cucubita maxima L.)* and nightshade (Solanum retroflexum Dun) to the application of three animal manures. Bioresource Technology. 101:2499-2505.
24. Bremness, L. 1999. Herbs. Eyewitness Handbook, London.
25. Bowden, C.L., Evanylo, G. K., Zhang, X., Ervin, E. H. and Seiler, J. R. . 2010. Soil Carbon and Physiological Responses of Corn and Soybean to Organic Amendments. Compost Science & Utilization. 18, 162-173.
26. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-Total. PP: 1082-1122. In: D. L. Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd ed., Amer. Soc. Agron. J., Madison, WI.
27. Chapman, H. D, and Pratt, P. F. 1962. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Soil Science, 93(1): 60-62.
28. Dastbandan Nejad, S., Saki Nejad, T. and Lack, S. 2010. Effect of drought stress and different levels of potassium fertilizer on K^+ accumulation in corn. Nat. Sci. 8(5): 23-27.
29. Fageria, N.K., V.C. Baligar, and Clark, R.B. 2002. Micronutrients in crop production. PP. 185-268. In: Sparks, D.L. (Ed.), Advances in Agronomy. Vol. 77, Academic Press.
30. Gee, G. W., Bauder, J. W. and Klute, A. 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 383-411.
31. Hosseinzadeh, S. R, and Ahmadpour, R. 2017. Effect of vermicompost fertilizer on morphological traits of lentil under water stress. 3rd. International Conference on Agricultural Engineering and Natural Resources.

32. Haberle, J. and Raimanova, I. 2008. The effect of post-anthesis water supply on grain nitrogen concentration and grain nitrogen yield of winter wheat. Plant Soil and Environment. 54: 304-312.
33. Imam, Y. and Zavarehi, M. 2005. Drought tolerance in Higher plants (Genetically, Physiological and Molecular Biological Analysis). Academic Publishing Center of Tehran, Iran. 186 pp. (in Farsi)
34. Khalilzadeh, R., Tajbakhsh, M. and Jalilian, J. 2012. Growth characteristics of mung bean (Vigna radiata L.) affected by foliar application of urea and bio-organic fertilizers. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4(10): 642-647.
35. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. PP. 869-920.
36. Knudsen, D., Peterson, G.A. and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. Part 3. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 225-246.
37. Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. Vol.2, Press Academic, York New.
38. Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., Lin, L., Deng, Q. and Luo, X. 2019. Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. Sci. Hort. 246:34–43.
39. Logan, .T.J., Goins, L.E. and Jlindsay, B. 1997. Field assessment of trace element uptake by six vegetables from N-viro soil. Water Environmental Research. 69:28-33.
40. Nelson, D. W., and Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soilan 2). 539-579.
41. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Deam, L. A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cic, 939. U. S. Gov. Print. Office, Washington, D. C.
42. Pirzad, A., Darvishzadeh, R., Bernousi, I., Hassani, A., Sivritepe, N. 2012; Influence of water deficit on iron and zincuptake by Matricaria chamomilla L., Chil. J. Agric. Re s. 72(2): 232-236.
43. Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. R. and Najafi , F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (Cicer arietinum L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica. 53, 47-56.
44. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Salinity Laboratory Staff, Agriculture Handbook No. 60, USDA.
45. Rhoades, J. D., Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N. and Sumner, M. E. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods. 417-435.
46. Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., and Zhao, C. X. 2008 Water-deficit stress-induced anatomical changes in higherplants. Comptes rendus biologies 331: 215-225.
47. Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S. 2004. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. J. Plant Nutr. 27: 815-835.
48. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 475- 490.
49. Yan, Z., Chen, S., Dari, B., Sihi D. and Chen, Q. 2018. Phosphorus transformation response to soil properties changes induced by manure application in a calcareous soil. Geoderma. 322: 163-171.

بررسی اجمالی وضعیت عناصر پرمصرف، شوری و کربن آلی در خاک برخی اراضی شالیزاری استان گیلان

حسن شُکری[1] واحد، ناصر دواتگر، مسعود کاوسی، شهریار بابازاده، لیلا رضایی و مریم شکوری

مربی پژوهش موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت؛ **shokri_v@yahoo.com**

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج؛ **n_davatger@ yahoo.com**

دانشیار موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت؛ **masoud_kavoosi2@yahoo.com**

دانشجوی‌دکتری موسسه‌تحقیقات‌برنج‌کشور، سازمان‌تحقیقات، آموزش‌وترویج‌کشاورزی، رشت؛ **babazadeh50@yahoo.com**

دانشجوی دکتری موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت؛ **l.rezaee77@gmail.com**

دانشجوی دکتری موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش وترویج کشاورزی، رشت؛ **maryamshakouri@yahoo.com**

ص: **193-208**

دریافت: **1400/7/26** و پذیرش: **1401/2/21**

چکیده:

عدم آگاهی از تغییرات عناصر موجود در خاک مزارع مختلف و توصیه‌های یکسان کودی سبب می‌شود که برخی خاک‌ها بیشتر و برخی کمتر از حد نیاز خود کود دریافت کنند. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی و وضعیت عناصر پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و برخی ویژگی‌های مهم خاک از جمله کربن‌آلی، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در برخی شالیزارهای گیلان اجرا شد. به این منظور، در سال زراعی 1398 و قبل از آماده‌سازی زمین برای کشت، از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری خاک مزارع شالیزاری مناطق ماسال، رودبار، مقداد (خشکبیجار، لشت‌نشا، خمام) و سیاهکل در استان گیلان با فواصل حداقل 500 متر نمونه‌برداری بصورت مرکب انجام شد. با استفاده از نتایج تجزیه خاک، وضعیت ویژگی‌های مورد نظر بر پایه آمار توصیفی مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، محدوده مناطق بیش‌بود و کمبود عناصر غذایی در اراضی شالیزاری تعیین شد. بررسی داده‌ها نشان داد که در مناطق مورد بررسی عنصر فسفر یکی از محدودیت‌های عمده بود به طوری که بیشتر از 80% خاک‌های نمونه‌برداری شده منطقه سیاهکل، 72% خاک‌های منطقه رودبار، 65% خاک‌های منطقه ماسال و54% خاک‌های منطقه مقداد دچار کمبود فسفر قابل استفاده بودند. در مناطق یاد شده، پتاسیم شرایط بهتری نسبت به فسفر داشت به طوری که درمنطقه سیاهکل 51/3% خاک‌ها، در منطقه رودبار 31٪، در منطقه ماسال 66٪ و در منطقه مقداد 26٪ خاک‌های نمونه‌برداری شده دارای پتاسیم قابل استفاده کمتر از سطح بحرانی بود. همچنین در منطقه مقداد 19/4٪ خاک‌ها، در ساهکل 36/6٪ ، در ماسال 48/4٪ و در رودبار100٪ خاک‌های مزارع نمونه‌برداری شده دارای نیتروژن کمتر از سطح بحرانی بود. بررسی وضعیت خاک‌های شالیزاری نقاط نمونه‌برداری حاکی از آن بود که توزیع مکانی عناصر غذایی پرمصرف یکسان نبود. بر این اساس، توصیه‌های کودی یکسان برای اراضی مختلف شالیزاری مناسب نبوده و توزیع کود در شهرستان‌های مختلف استان باید با توجه به وضعیت خاک هر منطقه انجام شود

واژه‌های کلیدی: آمار توصیفی، اراضی برنج‌کاری، تغییرات مکانی، عناصر غذایی پرمصرف

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: مؤسسه تحقیقات برنج کشور، بخش تحقیقات خاک و آب، رشت، ایران

مقدمه

یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در افزایش تولیدات کشاورزی، مدیریت تغذیه گیاه و حاصلخیزی خاک است. کودهای شیمیایی مهمترین منبع تأمین عناصر غذایی گیاه بوده و استفاده درست و بهینه از آنها در حصول نتیجه مورد نظر، حفظ نظام اکولوژیکی محیط و تضمین سلامت مصرف‌کنندگان نقش اساسی دارند. برای اعمال مدیریت کودی صحیح لازم است تا از میزان عناصر غذایی خاک جهت حصول عملکرد بهتر اطلاع کاملی داشت. عدم آگاهی از تغییرات عناصر غذایی خاک در نقاط مختلف و کاربرد یکنواخت کودها سبب می‌شود که برخی خاک‌ها بیشتر و برخی کمتر از حد نیاز خود کود دریافت کنند. مصرف منطقی کودهای شیمیایی در خاک وابسته به آگاهی از چگونگی وضعیت و عرضه طبیعی عناصر غذایی در خاک می‌باشد که امکان دارد کشاورزان بدان دسترسی نداشته باشند.

بدیهی است که تجزیه خاک بهترین روش برای اطلاع از وضعیت عناصر غذایی خاک است. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اگرچه روش علمی، صحیح و متداول درکشورهای پیشرفته است، اما این روش در ایران از کاربرد و پیشرفت کمی برخوردار است. از علت‌های آن عدم استفاده از پهنه و بازنمایی عناصر غذایی (به علت کوچک بودن سطح زیرکشت هرکشاورز و در نتیجه نیاز به تعداد نمونه خاک بسیار زیاد و محدودیت تعداد و امکانات آزمایشگاهی خاک کشور) است (فلاح، 1378). از طرف دیگر برای کاهش هزینه تولید محصولات کشاورزی، افزایش عملکرد در واحد سطح ضروری است. یکی از رهیافت‌ها، استفاده از کشاورزی دقیق است. پیش‌نیاز استفاده از این تکنولوژی جدید، شناخت جامع و صحیح وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی است. براین اساس ارزیابی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک مرحله کلیدی درکاربرد کشاورزی دقیق است که براساس آن نهاده‌های کشت به صورت نظام‌دار برنامه‌ریزی، مدیریت و مصرف می‌گردد (روبرت، 1999). بررسی ویژگی‌های خاک این امکان را فراهم می‌کند که توصیه‌های کودی و مدیریت زراعی دقیقاً منطبق با گروه‌بندی‌های مختلف خواص و کیفیت خاک باشد. نادیده گرفتن نواحی غیرمتشابه منجر به مدیریت ناکارآمد زراعی می‌گردد. یکی از دلایل مهم که سبب عدم موفقیت کافی در پیش‌بینی عوامل مؤثر بر رشد گیاه می‌شود کمبود اطلاعات کافی از توزیع مکانی ویژگی‌های خاک می‌باشد(پان، 1998). در این ارتباط توصیه‌های کودی موجود نیز تغییرپذیری حاصلخیزی خاک و تنوع مزارع را از نظر وضعیت عرضه عناصر غذایی به گیاه و نیز پاسخ محصول در نظر نمی گیرند بنابراین تعیین شاخص کیفیت حاصلخیزی و بهره‌وری خاک می‌تواند راهگشا باشد (بابازاده و همکاران، 1400). ارزیابی کیفیت حاصلخیزی اراضی شالیزاری استان گیلان بیشتر در دشت فومنات واقع در غرب استان انجام شده است که نتایج نشان دهنده وجود تغییرات مکانی عناصرغذایی پرمصرف و غیریکنواختی در کیفیت حاصلخیزی خاک می باشد (دلسوز خاکی و همکاران، 2017 ; دواتگر و همکاران، 1398).

با توجه به شرایط خاص کشت برنج، عواملی مانند عملیات گلخرابی، از بین رفتن ساختمان و اشباع بودن خاک در فصل رشد برنج، تجزیه ناقص مواد آلی و متغیر بودن تعادل عناصرغذایی بسته به شدت متفاوت شرایط احیایی خاک می‌توانند به غیریکنواختی وضعیت خاک منجر شود (شکوری کتیگری و همکاران، 1399). بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که ارزیابی ویژگی‌های خاک اولین و مهمترین مرحله در تولید گیاهان زراعی است. امروزه مدیریت کودی بر اساس برآورد مقادیر میانگین عناصر تغذیه‌ای و سپس اعمال یکسان آنها به خاک مزارع، به دلیل عدم یکنواختی و تغییرپذیری مکانی و موضعی ویژگی‌های خاک و نیاز به دریافت نهاده‌ها و ورودی‌های مختلف، مدیریتی بهینه محسوب نمی‌شود زیرا این نوع مدیریت، عواقب زیست محیطی و اقتصادی نامطلوبی را به دنبال دارد (آدریانا، 2007). پیشرفت‌های

سریع تکنولوژی سبب افزایش راندمان استفاده از کودها از طریق استفاده از آنها مطابق با شرایط خاص در مزرعه (کمبود و یا بیش‌بود عناصر غذایی) شده است. کاربرد مؤثر این تکنولوژی به صحت تشخیص تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک که در استفاده از کودها مؤثرند، بستگی دارد (گاتوی و همکاران، 1996) (یانگ و همکاران، 2005).

دلی و همکاران (2018) در بررسی اثر ویژگی‌های شیمیایی خاک اراضی شالیزاری منطقه کینکی ژاپن بر عملکرد برنج گزارش کردند که در ناحیه مطالعه شده از تعداد نه ویژگی بررسی شده، تنها سیلسیم، پتاسیم قابل استفاده و نیتروژن آمونیومی تاثیر مثبتی برعملکرد برنج داشت. آنها همچنین اعلام کردند که عملکرد تحت تاثیر مدیریت کشت و نوع رقم برنج نیز قرار دارد.

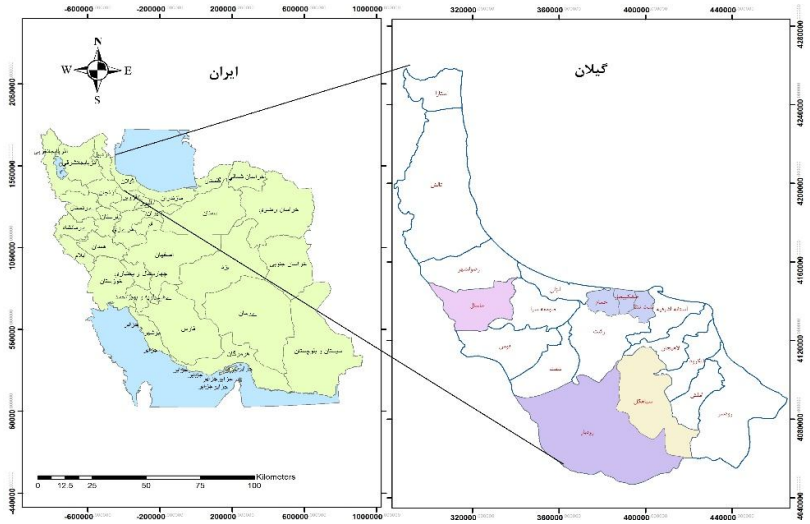
ارزیابی های انجام شده نشان داد که اراضی شالیزاری گیلان دارای محدودیت حاصلخیزی خاک هستند (دوات‌گر و همکاران، 1394) همچنین ارزیابی کیفیت حاصلخیزی خاک اراضی شالیزاری در غرب استان گیلان نشان داد که علاوه بر تغییرات مکانی درعناصر غذایی، غیریکنواختی نیز در کیفیت حاصلخیزی خاک وجود دارد (دلسوز خاکی و همکاران، 2017; دوات‌گر، 1398).

فرانزن وکیتچن (1999) از منابع داده‌های مختلفی به عنوان مثال توپوگرافی، عکس‌های ماهواره‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی خاک، نقشه محصولات و داده‌های ارزیابی خاک برای انواع مدیریت مزرعه و مدیریت کودهای نیتروژنه استفاده کردند. بالاساندرام و همکاران (2008) میان‌یابی برخی از خصوصیات شیمیایی خاک را در منطقه شالیزاری سلانگور مالزی با استفاده از 138 نمونه انجام دادند و گزارش کردند که بخش وسیعی از منطقه دارای نیتروژن اضافی است. آهن و همکاران (2004) با مطالعه‌ی تغییر پذیری مکانی و ویژگی‌های شیمیایی خاک در مزارع برنج کره‌جنوبی، نتیجه گرفتند که متغیرهای خاک نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، ماده‌آلی و سیلیسیم همبستگی معنی‌داری با تغییرپذیری تولید محصول برنج دارند. آهن و همکاران (2005) به بررسی آنالیز تغییرپذیری مکانی رشد و محصول برنج از طریق ویژگی‌های خاک در مقیاس مزرعه‌ای پرداختند و دریافتند که بسیاری از متغیرهای اندازه‌گیری شده اعم از ویژگی-های خاک، رشد گیاه و محصول برنج تحت شرایط آب و هوایی متفاوت، شخم و مصرف کود، تغییرپذیری نسبتاً زیادی دارند. تغییرات رشد گیاه و محصول برنج، تاثیرپذیری زیادی با نوع و روش شخم دارد. رشد گیاه برنج در مرحله‌ی خوشه‌دهی نیز وابستگی زیادی با ویژگی‌های خاک نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل، ماده آلی و بافت دارد. آنها همچنین بیان کردند که ویژگی‌هایی نظیر ظرفیت تبادل‌کاتیونی، ماده‌ی آلی، میزان رس، نیتروژن کل و سیلیسیم در دسترس، همبستگی معنی‌داری با عملکرد برنج دارند. با توجه به اینکه درصد قابل توجهی از اراضی شالیزاری استان‌گیلان به علت پاره‌ای از محدودیت‌ها از جمله محدودیت‌های خاکی کم بازده می‌باشد بنابراین لازم است تا با بازنمایی خواص شیمیایی و حاصلخیزی خاک نسبت به بهینه کردن مدیریت زراعی کاشت، داشت و برداشت و همچنین نزدیک نمودن عملکرد ارقام بومی به پتانسیل عملکرد واقعی آنها اقدام به اجرای پژوهش‌هایی در زمینه شناسایی خاک‌های منطقه نمود. در این رابطه این پژوهش با هدف بررسی وضعیت و چگونگی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌ها و عناصر تغذیه‌ایی مهم خاک‌های شالیزاری در چهار منطقه تولید برنج استان گیلان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور اجرای آزمایش نمونه‌برداری بصورت مرکب از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری خاک مزارع شالیزاری در مناطق ماسال (124 نمونه)، رودبار(58 نمونه)، مقداد شامل خشکبیجار، لشت‌نشا، خمام (134 نمونه) و سیاهکل (80 نمونه) در زمستان1397 قبل از شخم و آماده‌سازی زمین برای کشت سال بعد انجام شد. نقاط نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شدند که تقریباً مناطق شرقی (سیاهکل)، مرکزی (مقداد)، غربی (ماسال) و

جنوبی (رودبار) استان را پوشش داده و پراکنش لازم از نظر عناصر غذایی خاک داشته باشند. مختصات نقاط نمونه‌برداری با دستگاه GPS ثبت و پس از جمع‌آوری، نمونه‌ها هوا خشک شده و با عبور از الک 2 میلی‌متری، نیتروژن کل خاک با روش کجلدال و استفاده از دستگاه کجلتک (برمنر،1996) و فسفر قابل استفاده با روش اولسن (کیو، 1996) و پتاسیم قابل استفاده با روش استات آمونیم نرمال (هیلمکه و اسپارکس، 1996) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری کربن آلی به روش اکسیدکردن با اسید سولفوریک غلیظ در مجاورت دی کرومات پتاسیم (نیلسون و سامرز، 1996) انجام شد. پس از آماده شدن نتایج تجزیه خاک وضعیت ویژگی‌ها بر پایه آمار توصیفی با استفاده از نرم افزار SPSS ارزیابی شد و در مراحل بعدی محدوده مناطق بیش‌بود وکمبود عناصرغذایی در اراضی شالیزاری تعیین گردید.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی مناطق چهارگانه اراضی شالیزاری مطالعه شده

نتایج و بحث

آنالیزهای آمار توصیفی داده‌ها با استفاده ازآماره-های حداقل، حداکثر، میانگین، میانه، واریانس، چولگی و ضریب تغییرات برای هرکدام از مناطق مورد بررسی انجام شد (جداول1 تا 4). میانگین ECe در منطقه مقداد، سیاهکل، رودبار و ماسال به ترتیب 1/25، 0/86، 0/94 و 0/78 دسی زیمنس بر متر بود که از نظر شوری مناطق بی‌خطر را نشان می‌دهند و محدودیتی برای رشد گیاهان از جمله برنج ندارد. برنج گیاه نسبتاً متحمل به شوری می‌باشد و ارقام مختلف گیاه برنج حساسیت‌های متفاوتی به شوری دارند. معمولاً خاک‌هایی با ECe کوچکتر از 2 دسی‌زیمنس برمتر رشد گیاه برنج را محدود نمی‌سازد (آسچ و وپیریس، 2001). درگیلان درتعداد محدودی از مکان‌ها (مانند بخشی از روستای پیربازار) خاک‌هایی با ECe بزرگتر از 4 دسی‌زیمنس‌برمتر مشاهده گردید. درخاک‌های شور روستای پیربازار گیاه زراعی یا باغی کشت نمی‌گردد. از دلایل شوری این منطقه می‌توان به وجود لایه‌های زیرزمینی فسیلی دارای آب شور تحت فشار اشاره نمود که با احداث چاه‌های عمیق آرتزین، این آب‌های شور در بخش‌های سطحی جریان یافته و عامل شور شدن اراضی هستند که با این آب‌ها آبیاری می‌شوند. برخی منابع علت بالا بودن ECe در بعضی از خاک‌ها را با بالا بودن مواد آلی مرتبط دانسته که با ایجاد ترکیبات و ماکرومولکول‌های دارای بار الکتریکی در هدایت الکتریکی نقش دارند (نئو و ماماریل، 1985). با این حال

بیشتر خاک‌ها در اکثر شهرستان‌های این استان دارای هدایت الکتریکی کمتر از2 دسی‌زیمنس بر متر هستند که از سطح بحرانی شوری کمتر است. در استان گیلان احتمال وجود املاح زیاد به علت بارش زیاد سالیانه کم است.

جدول 1- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های منطقه مقداد

نوع متغیر	واحد	تعداد نمونه	میانگین	میانه	واریانس	حداقل	حداکثر	چولگی	ضریب تغییرات (%)
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe)	$dS.m^{-1}$	134	1/252	1/24	0/130	0/21	2/19	0/305	28
pH گل اشباع	-	134	7/37	7/39	0/056	6/57	7/98	-0/586	3
کربن آلی	%	134	2/88	2/70	1/494	0/76	8/89	1/153	42
نیتروژن کل	%	134	0/288	0/27	0/015	0/08	0/89	1/161	42
فسفرقابل استفاده	mg/kg	134	14/43	11/3	129/83	0/30	92/7	3/052	79
پتاسیم قابل استفاده	mg/kg	134	188/22	175	4583/49	75	506	1/097	36

جدول 2- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های شهرستان سیاهکل

نوع متغیر	واحد	تعداد نمونه	میانگین	میانه	واریانس	حداقل	حداکثر	چولگی	ضریب تغییرات (%)
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe)	$dS.m^{-1}$	80	0/864	0/81	0/069	0/31	1/47	0/251	30
pH گل اشباع	-	80	6/96	7/03	0/126	5/88	7/50	-0/723	5
کربن آلی	%	80	2/41	2/65	1/137	0/28	4/38	-0/255	44
نیتروژن کل	%	80	0/229	0/25	0/011	0/03	0/40	-0/218	44
فسفرقابل استفاده	mg/kg	80	9/06	7/8	55/96	0/20	45/10	2/283	82
پتاسیم قابل استفاده	mg/kg	80	151	134/4	4465/75	37	376	1/263	44

جدول 3- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های شهرستان ماسال

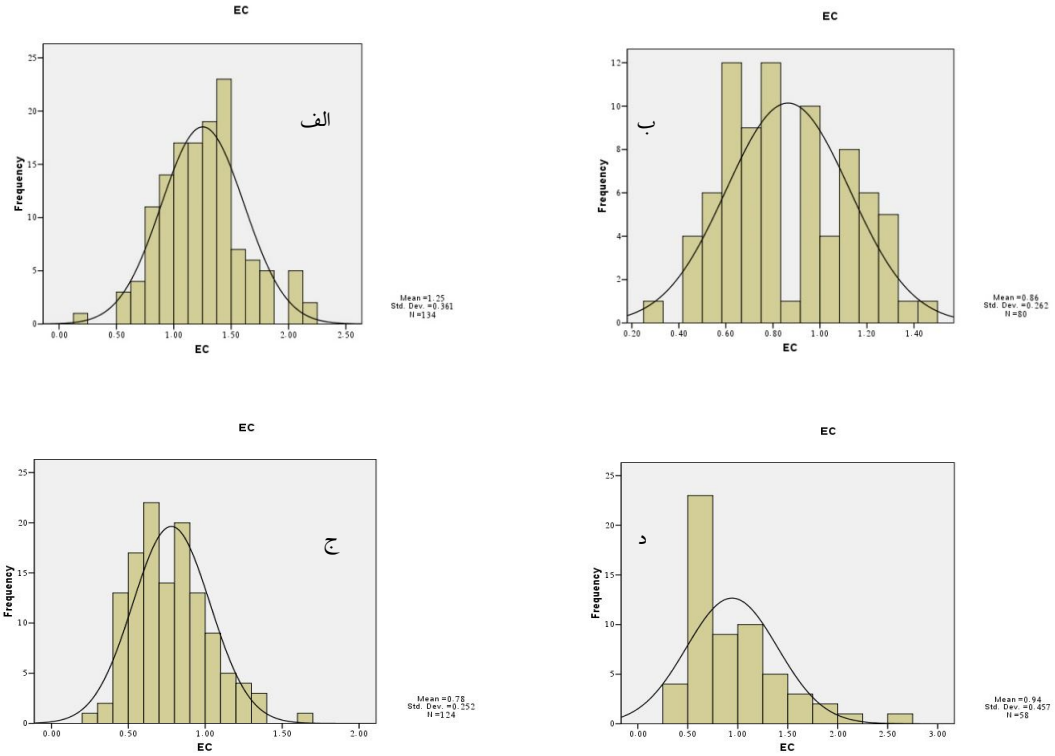
نوع متغیر	واحد	تعداد نمونه	میانگین	میانه	واریانس	حداقل	حداکثر	چولگی	ضریب تغییرات (%)
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe)	$dS.m^{-1}$	124	0/780	0/75	0/063	0/25	1/69	0/684	32
pH گل اشباع	-	124	7/43	7/43	0/048	6/47	7/84	-0/871	3
کربن آلی	%	124	2/24	1/98	1/08	0/68	5/24	0/962	46
نیتروژن کل	%	124	0/224	0/20	0/011	0/07	0/52	0/964	46
فسفرقابل استفاده	mg/kg	124	12/93	9/2	182/81	0/40	119/40	4/537	104
پتاسیم قابل استفاده	mg/kg	124	156/78	143	8363/70	56	971	5/85	58

جدول 4- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های شهرستان رودبار

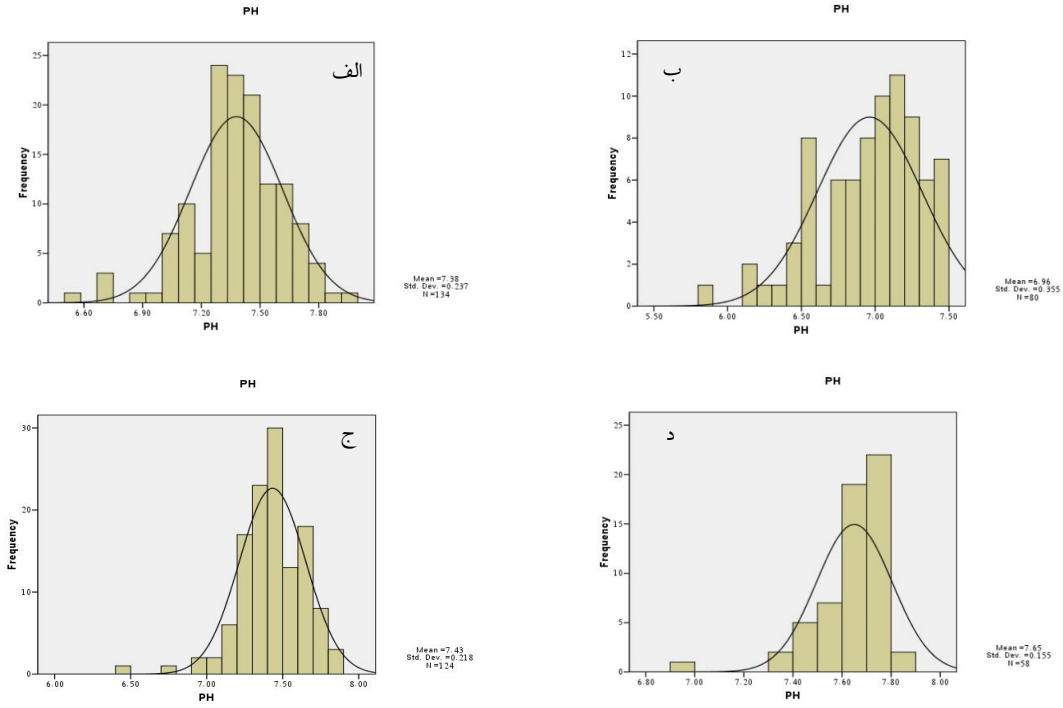
نوع متغیر	واحد	تعداد نمونه	میانگین	میانه	واریانس	حداقل	حداکثر	چولگی	ضریب تغییرات (%)
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe)	$dS.m^{-1}$	58	0/942	0/75	0/209	0/42	2/68	1/629	48
pH گل اشباع	-	58	7/64	7/7	0/024	6/91	7/82	-2/227	2
کربن آلی	%	58	0/899	0/83	0/131	0/32	1/87	0/966	40
نیتروژن کل	%	58	0/089	0/08	0/001	0/03	0/19	0/958	39
فسفرقابل استفاده	mg/kg	58	8/88	7/55	39/62	1/6	27/20	1/152	70
پتاسیم قابل استفاده	mg/kg	58	183/91	175	5577/65	56	323	0/241	40

برای تولید برنج pH محیط کشت باید بین 6/8 تا 7/2 باشد (نئو و ماماریل، 1985). میانگین pH در منطقه مقداد، سیاهکل، رودبار و ماسال به ترتیب 7/37 ، 6/96، 7/64 و7/43 بوده که برای رشد گیاه برنج به عنوان کشت غالب مناسب می‌باشد (جداول 1 تا 4). پایین‌ترین مقدار pH در خاک‌های شهرستان ماسال (6/47) و بالاترین مقدار آن در منطقه مقداد (7/98) دیده شد (جداول 1 و3). با توجه به دامنه مطلوب pH خاک برای رشد برنج، در منطقه مقداد 81 درصد خاک‌ها، در سیاهکل23 درصد خاک‌ها، در ماسال 79/4 درصد خاک‌ها و در رودبار 98/3 درصد خاک‌های مزارع نمونه‌برداری شده دارای pH خاک بالاتر از دامنه بحرانی بهینه بودند (شکل 7). پایین بودن pH خاک می‌تواند از طریق افزایش حلالیت آهن و منگنز و ایجاد سمیت این عناصر مشکلات متعددی برای گیاه برنج به همراه داشته باشد. استان گیلان مرطوب‌ترین استان کشور و همچنین مرطوب‌ترین منطقه از سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشد. ارتفاعات البرز مانند یک سدکوهستانی از انتقال رطوبت دریای‌خزر به سمت فلات داخلی ایران جلوگیری می‌کنند و موجب افزایش رطوبت و بارندگی در این ناحیه می‌شوند. بارندگی زیاد سالانه می‌تواند بر میزان آبشویی و انتقال کاتیون‌های بازی به افق‌های زیرین و در نتیجه کاهش pH خاک‌های سطحی تأثیر زیادی داشته باشد (دوات‌گر و همکاران، 1398).

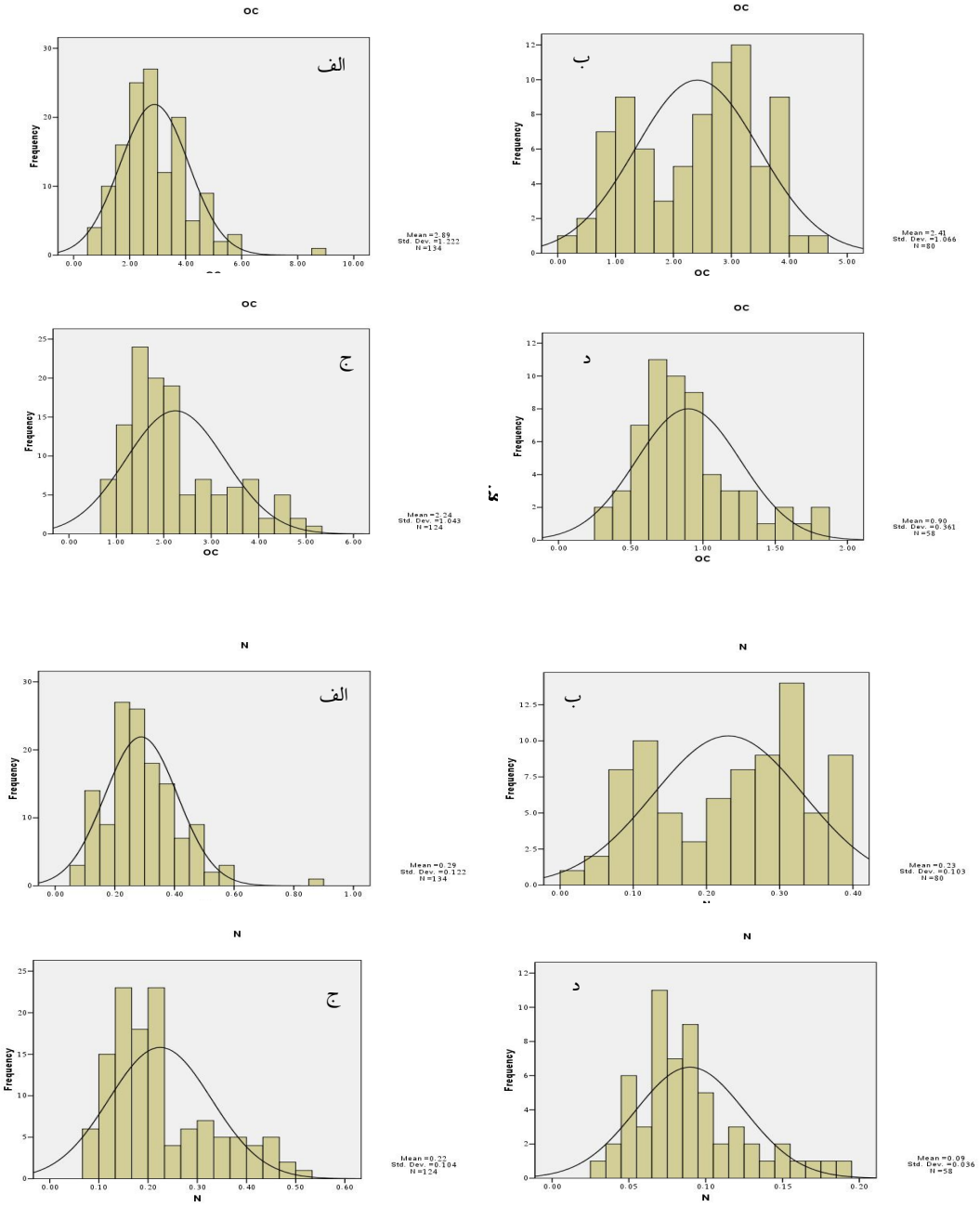
میانگین نیتروژن کل خاک در منطقه مقداد 0/28 درصد، سیاهکل 0/22 درصد، رودبار 0/08 درصد و ماسال 0/22 درصد می‌باشد (جداول 1تا 4). مقدار مناسب نیتروژن کل خاک برای رشد مناسب برنج 0/2 درصد گزارش شده است (نئو و ماماریل، 1985) بنابر این با توجه به نتایج میانگین نیتروژن کل بدست آمده از خاک‌های مورد بررسی، اراضی مناطق مقداد، سیاهکل و ماسال دارای محدودیت نیتروژن نبوده ولی منطقه رودبار دچار کمبود این عنصر است. نتایج بدست آمده از تک تک نقاط نمونه‌برداری نیز نشان داد که در منطقه مقداد 19/4 درصد خاک‌ها ، در سیاهکل 36/6 درصد خاک‌ها، در ماسال 48/4 درصد خاک‌ها و در رودبار 100 درصد خاک‌های مزارع نمونه‌برداری شده دارای نیتروژن کمتر از سطح بحرانی هستند (شکل9). برای آگاهی بهتر از وضعیت نیتروژن کل هیستوگرام توزیع فراوانی نیتروژن برای منطقه مقداد با بیشترین میانگین (0/28درصد) و شهرستان رودبار با کمترین میانگین (0/08درصد) در شکل5 نشان داده شده است. نیتروژن در شهرستان رودبار (شکل5) دارای چولگی به سمت راست می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی تمایل شاخص‌های مرکزیت آماری آنها به مقادیر پایین می‌باشد، از سوی دیگر منطقه کوهستانی رودبار یک منطقه دور از تاثیر رژیم اقلیمی خزری بوده و به دلیل کمبود مواد آلی بومی، بیشتر خاکهای این منطقه دارای ذخیره نیتروژن ناچیزی هستند.



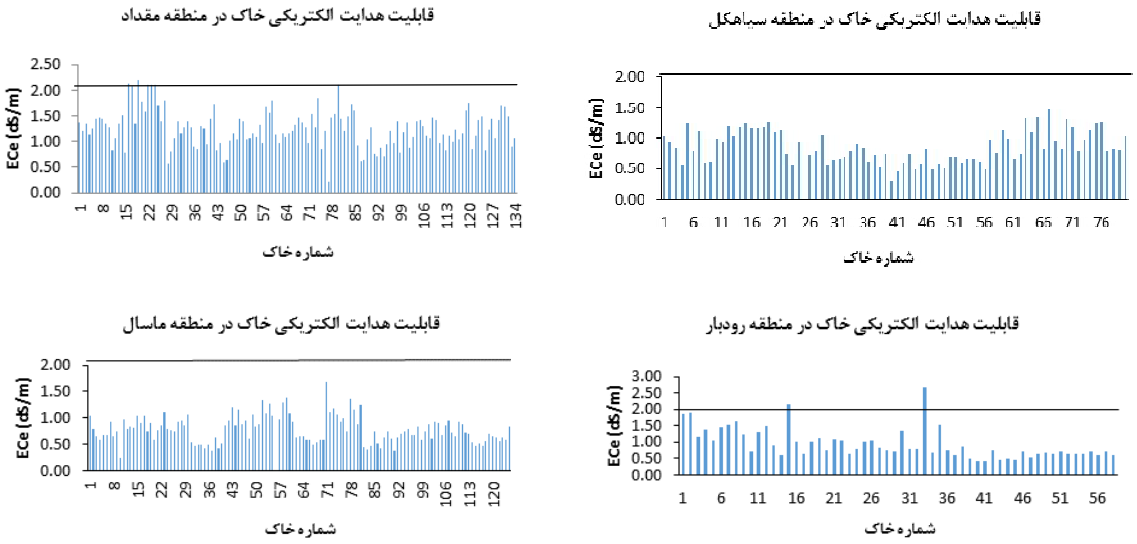
شکل 2- توزیع فراوانی ECe خاک در مقداد (الف)، سیاهکل (ب)، ماسال (ج) و رودبار(د)



شکل 3- توزیع فراوانی pH خاک در مقداد (الف)، سیاهکل (ب)، ماسال (ج) و رودبار(د)

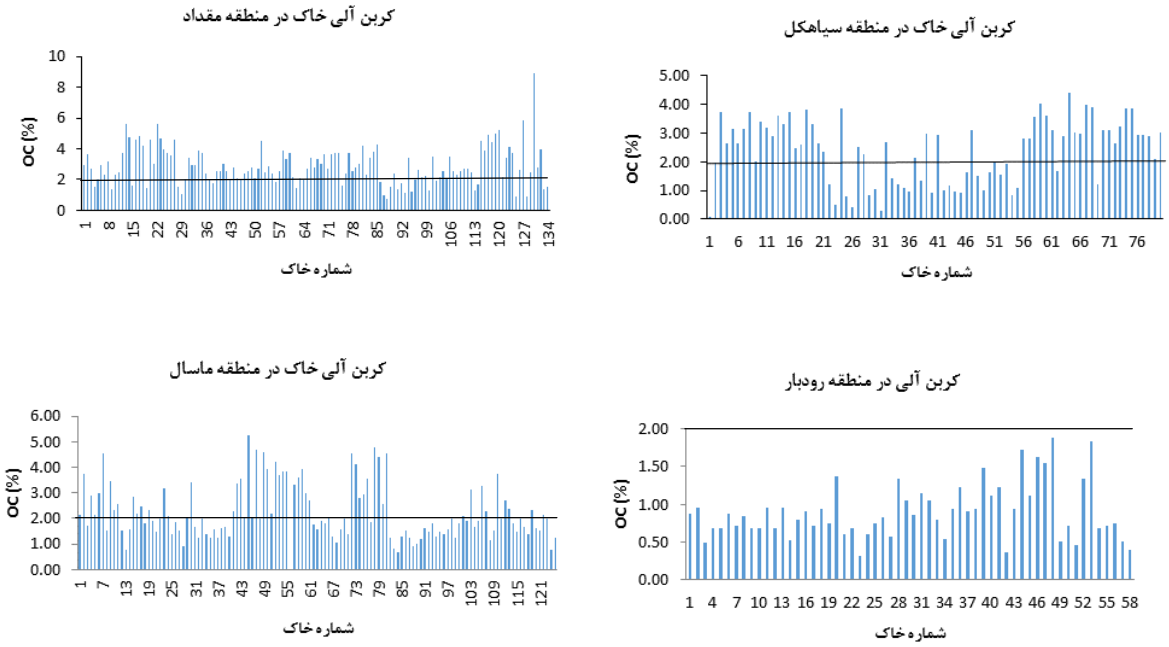


شکل 5- توزیع فراوانی نیتروژن خاک (%) در مقداد (الف)، سیاهکل (ب)، ماسال (ج) و رودبار(د)

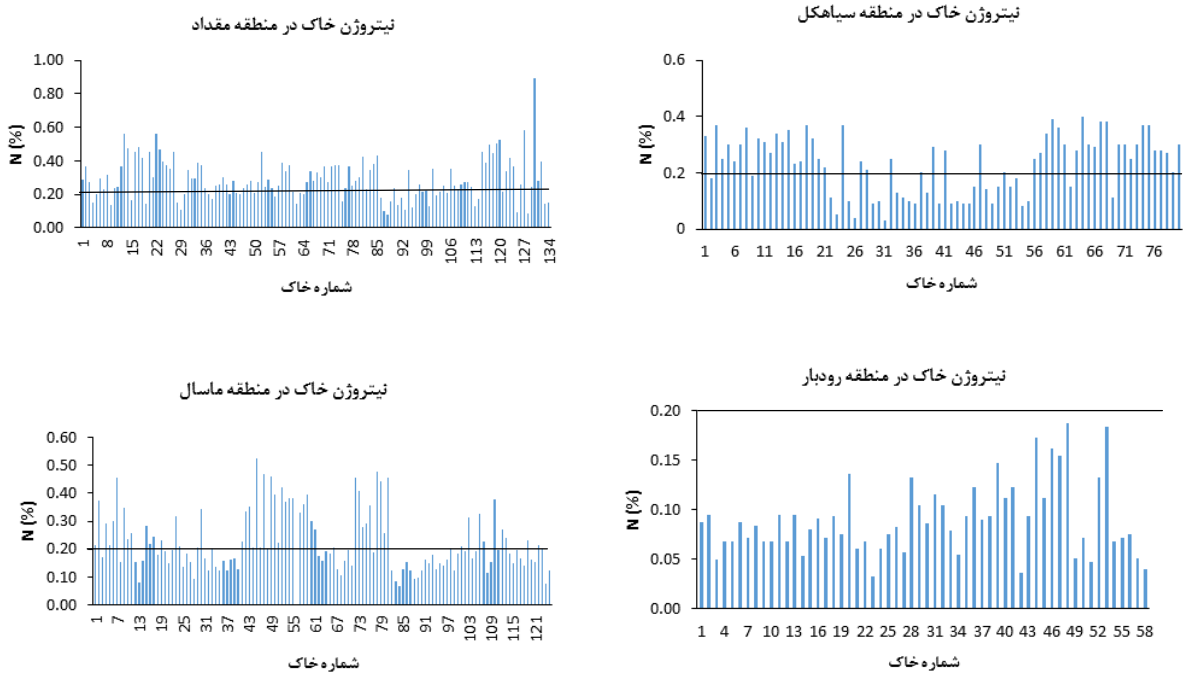


شکل 6- وضعیت ECe خاک (dS/m) در مقداد، سیاهکل، ماسال و رودبار

شکل 7- وضعیت pH خاک در مقداد، سیاهکل، ماسال و رودبار



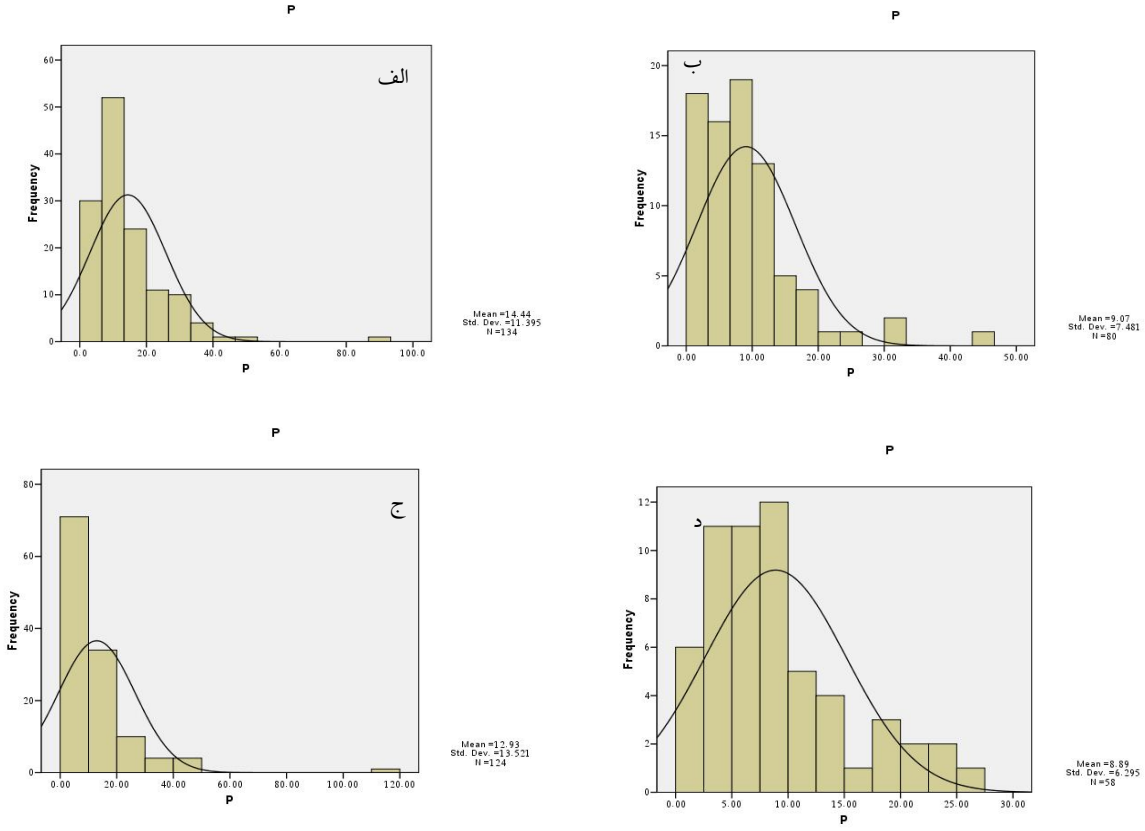
شکل 8- وضعیت کربن آلی خاک (%) در مقداد، سیاهکل، ماسال و رودبار



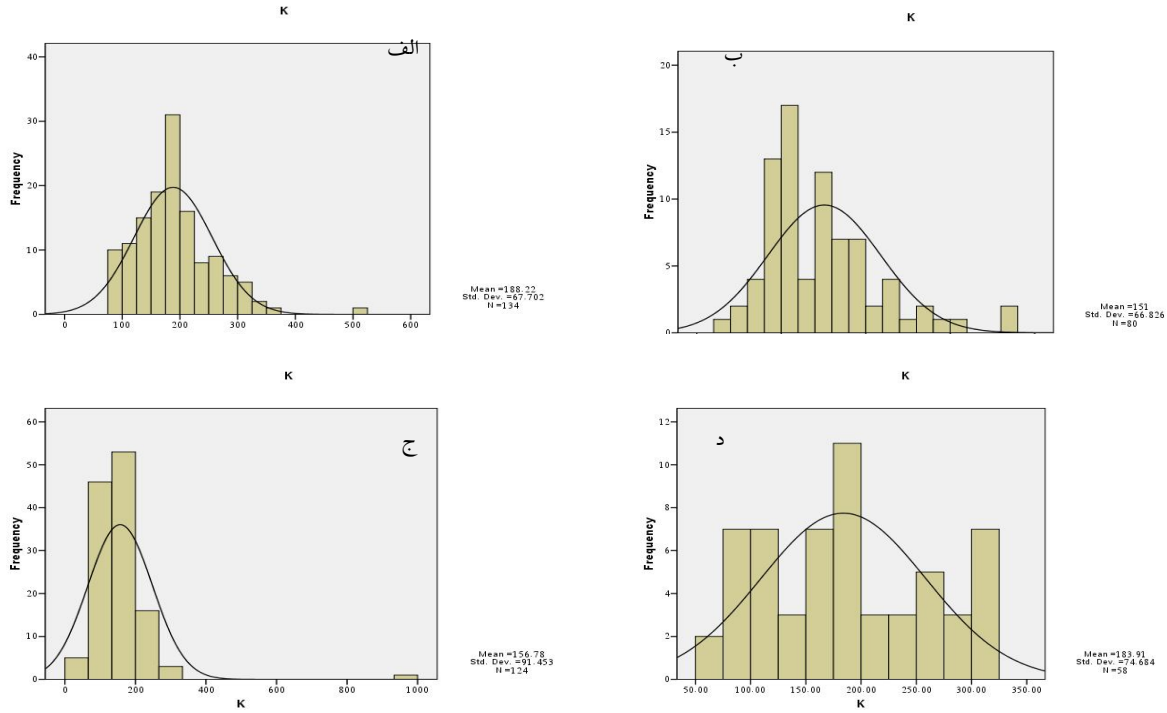
شکل 9- وضعیت نیتروژن خاک (%) در مقداد، سیاهکل، ماسال و رودبار

میانگین فسفر قابل استفاده در منطقه مقداد، سیاهکل، ماسال و رودبار به ترتیب 14/4، 9/1، 12/9 و 8/9 میلی‌گرم درکیلوگرم بودکه در مقداد و ماسال از سطح بحرانی12میلی‌گرم درکیلوگرم برای گیاه برنج (کریمی و همکاران، 2013) بالاتر بود (جداول 1و3). با توجه به نتایج تک‌تک نقاط نمونه‌برداری 54/5 درصد خاک‌ها در منطقه مقداد، 80 درصد خاک‌ها در سیاهکل، 65/8 درصد خاک‌ها در ماسال و 72 درصد خاک‌ها در رودبار دارای فسفر قابل استفاده کمتر از سطح بحرانی بودند (شکل 12). با بررسی بیشتر در هیستوگرام توزیع فراوانی فسفر قابل قابل استفاده (شکل 10) می‌توان مشاهده نمود هر چند میانگین فسفر در شهرستان ماسال مناسب است اما این حالت به علت وجود تعداد محدودی داده با غلظت بالای فسفر قابل استفاده و اثر آن بر افزایش معنی‌دار میانگین می‌باشد. در واقع با حذف این نمونه‌های استثنایی وضعیت نامطلوب فسفر قابل استفاده و کمبود آن دراین منطقه نیز بیشتر معلوم می‌گردد. کمترین و بیشترین میانگین پتاسیم قابل استفاده برای مناطق مورد بررسی بین 151 تا 188 میلی‌گرم درکیلوگرم به ترتیب در شهرستان سیاهکل و مقداد مشاهده گردید. نتایج تک‌تک نقاط نمونه‌برداری نشان داد 26 درصد خاک‌ها در منطقه مقداد، 51 درصد خاک‌ها در سیاهکل، 66 درصد خاک‌ها در ماسال و31 درصد خاک‌ها در رودبار دارای پتاسیم قابل استفاده کمتر از سطح بحرانی (140میلی‌گرم درکیلوگرم) (کاوسی و کلباسی، 2000) بودند (شکل 13). هیستوگرام توزیع فراوانی پتاسیم در دو شهرستان سیاهکل و مقداد نشان داد (شکل11) که توزیع جامعه گرایش بیشتر به سمت داده‌های پایین دارد و وجود چند نمونه با غلظت بالا، میانگین غلظت پتاسیم قابل استفاده را به مقدار زیادی افزایش داده است که در صورت عدم وجود این چند نمونه معدود شرایط واقعی‌کمبود این عنصر نمایان‌تر می‌گردد. بعد از مقداد، شهرستان رودبار دارای بالاترین غلظت پتاسیم می‌باشد. اراضی زراعی و باغی شهرستان رودبار در محدوده رودخانه سپیدرود قرار دارند و متاثر از آورد رسوبات و پتاسیم محلول در این رودخانه هستند. با توجه به هیستوگرام‌های ارائه شده منطقه مقداد و رودبار از نظر عناصر غذایی پرمصرف فسفر و پتاسیم قابل استفاده وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سایر مناطق دارند. در میان مناطق مورد بررسی تنها شهرستان رودبار دارای میانگین کربن آلی کمتر از 2 درصد بود. منطقه مقداد با میانگین 2/8 درصد، بالاترین مقدار کربن‌آلی را دارا بود (جداول 4 و1).

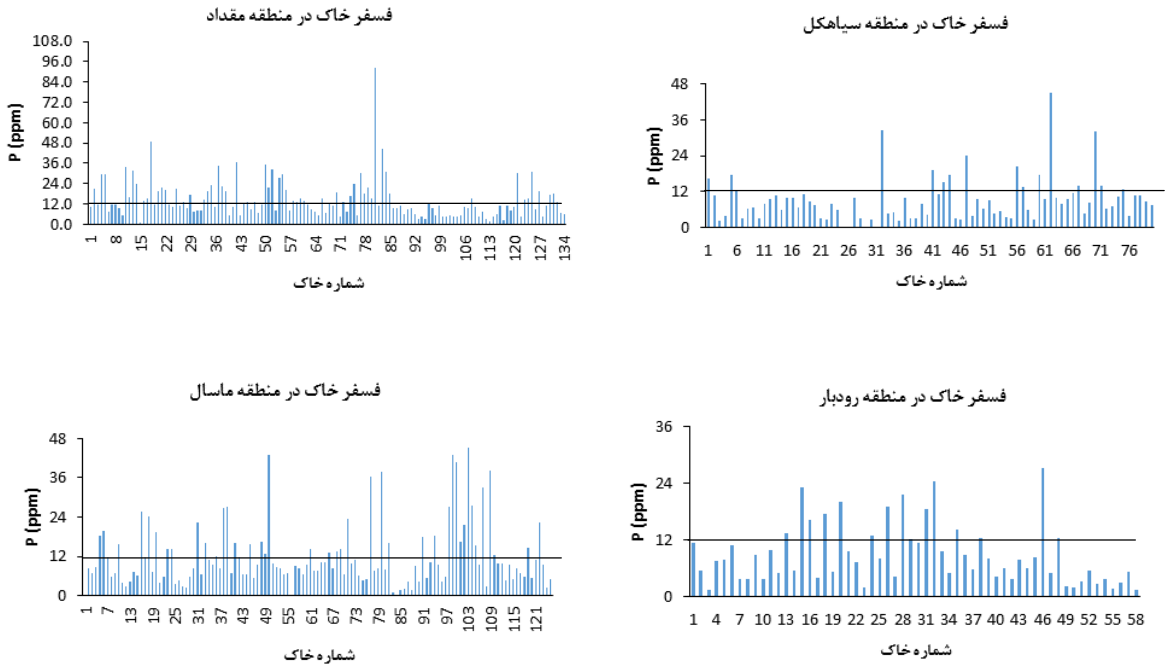
پارامتر ضریب تغییرات (CV) بدون بعد بوده، و می‌توان از آن برای مقایسه تغییرات یک صفت در بین واحدهای نمونه‌برداری دو یا چند جامعه متفاوت آماری (مانند شهرستان‌های مختلف) با مشاهدات ناهمگون یا نامتجانس و یا مقایسه تغییرات بین ویژگی‌های مختلف (با واحدهای متفاوت متر و کیلوگرم) دریک واحد نمونه‌برداری که بزرگی مشاهدات آن به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تفاوت دارد، استفاده کرد (رضایی، 1374). بر پایه تقسیم‌بندی ویلدینگ و درس(1983) پارامتر ضریب تغییرات (CV) کمتر از 15درصد تغییرات کم، بین 15 تا 35 درصد تغییرات متوسط و بیش از 35 درصد تغییرات زیاد را نشان می‌دهد. براین اساس ضریب تغییرات تقریباً در تمام ویژگی‌های مطالعه شده به جز pH زیاد است. این افزایش غیریکنواختی به دلایل متفاوت مانند تفاوت در واحد فیزیوگرافی، تفاوت در اقلیم، تفاوت درکاربری اراضی، تیپ خاک‌های متفاوت، تفاوت در مدیریت کاشت، داشت و برداشت گیاهان زراعی و باغی خاک است.



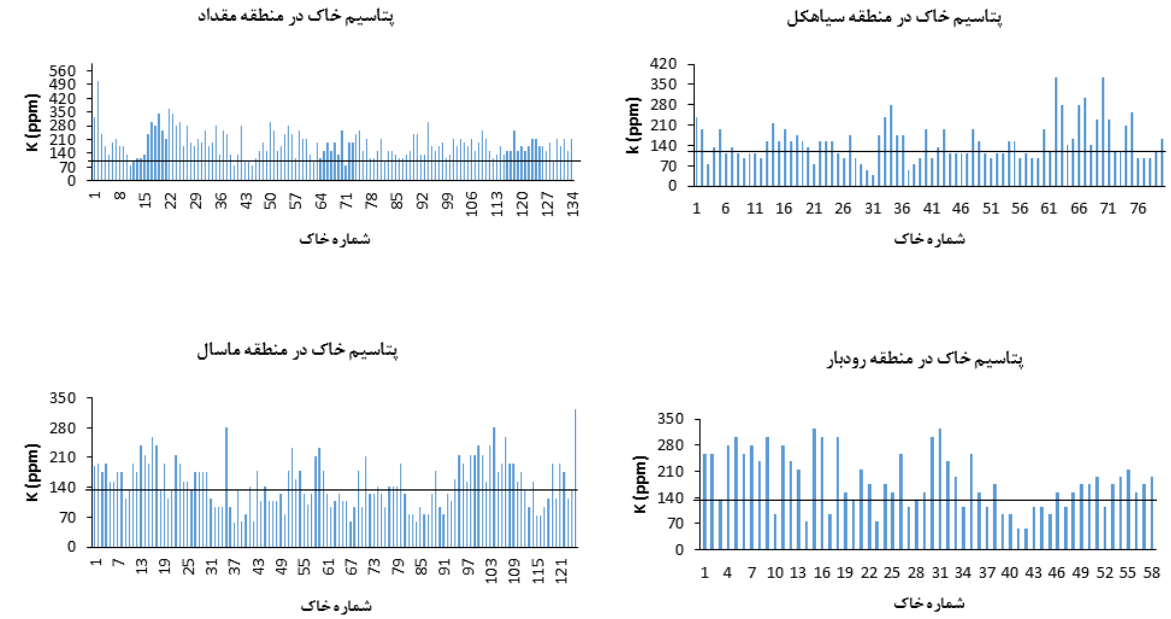
شکل 10- توزیع فراوانی فسفر قابل استفاده خاک (mg/kg) در مقداد (الف)، سیاهکل (ب)، ماسال (ج) و رودبار(د)



شکل 11- توزیع فراوانی پتاسیم قابل استفاده خاک (mg/kg) در مقداد (الف)، سیاهکل (ب)، ماسال (ج) و رودبار(د)



شکل 12- وضعیت فسفر قابل استفاده خاک (mg/kg) در مقداد، سیاهکل، ماسال و رودبار



شکل 13- وضعیت پتاسیم قابل استفاده خاک (mg/kg) در مقداد، سیاهکل، ماسال و رودبار

در تمامی نقاط، فسفر قابل جذب دارای بیشترین مقدار ضریب تغییرات (بالای 50 درصد) و pH کمترین ضریب تغییرات (کمتر از 22 درصد) را داشت در حالی‌که بقیه ویژگی‌ها دارای ضریب تغییرات بین 20% تا 70% بودند. تسگی و هیل (1998) نیز نشان دادند که pH ضریب تغییرات کمتری نسبت به دیگر ویژگی‌های شیمیایی داراست، زیرا مقادیر pH بر پایه یک مقیاس لگاریتمی از فعالیت پروتون در محلول خاک می‌باشد، پس برای یک تغییر کوچک در pH بایستی فعالیت پروتون در محلول خاک به مقدار زیادی تغییرکند (سان و همکاران، 2003). داهیا و همکاران (1984) نشان دادند که متغیرهای با ضریب تغییرات بالا، بیشتر تحت اثر عملیات مدیریتی قرار دارند. در این شرایط به تعداد نمونه بیشتری نیاز است تا برآوردها از صحت و دقت مطلوب برخوردار شود. ژونگ و همکاران (2008) نیز اعلام کردند که بالا بودن ضریب تغییرات در متغیرهای حاصلخیزی خاک نشان‌دهنده تغییرات مکانی شدید است و در این شرایط استفاده از الگوی نرخ متغیر در مصرف کود می‌تواند در بهبود عملکرد مؤثر باشد. ضریب تغییرات بالای فسفر قابل استفاده را می‌توان به تحرک پایین این عنصر و در نتیجه تغییرات نقطه‌ای آن مرتبط ساخت (بری و همکاران، 2003). در بررسی انجام شده ضریب تغییرات کربن‌آلی بین 20 تا 40 درصد بود که براساس تقسیم‌بندی ویلدینگ و درس (1983) دارای تغییرات متوسط تا زیاد است که می‌توان از دلایل عمده آن برقراری شرایط غیرهوازی در اراضی شالیزاری و کند شدن تجزیه‌ی ماده‌ی آلی، شرایط اقلیمی مناسب برای افزایش زیست‌توده مانند بارش فراوان و دمای متعادل نام برد.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی وضعیت و ارزیابی برخی ویژگی‌های تأثیرگذار در حاصلخیزی خاک اراضی شالیزاری و مشخص نمودن محدودیت‌های موجود خاک ابزار مهمی برای جبران خلا عملکرد و تولید پایدار می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد در مناطق مورد مطالعه سه عنصر ضروری پتاسیم، فسفر و نیتروژن مورد نیاز گیاه برنج در خاک دارای محدودیت کم تا بسیار زیاد بوده و تعداد قابل توجهی از اراضی دارای غلظت کمتر از سطح بحرانی پتاسیم، فسفر و نیتروژن قابل استفاده هستند که این مسئله می‌تواند درکاهش عملکرد تاثیر بسزایی داشته باشد. با توجه به غیریکنواختی در توزیع مکانی این عناصر و کمبود آنها در خاک‌های مورد مطالعه ضروری است توصیه‌های کودی بصورت ویژه مکان و متناسب با وضعیت عناصر غذایی خاک انجام شود و مدیریت توزیع و مصرف کودهای شیمیایی حاوی این عناصر مورد توجه ویژه قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. بابازاده جعفری، ش.، فیضیان، م.، دوات گر، ن. 1400. درجه بندی نمایه کیفیت حاصلخیزی خاک بر مبنای عملکرد برنج در شالیزارهای بخش کوچصفهان استان گیلان. نشریه پژوهش های خاک .جلد 35 شماره3
2. دوات گر، ن.، شکوری کتیگری، م.، رضائی .ل.، دلسوز خاکی، ب.، شکری واحد، ح.، و کاووسی، م .1398 . تغییرات مکانی وضعیت حاصلخیزی خاک شالیزارهای بخش جنوبی دشت فومنات .نشریه پژوهش های خاک . جلد 33 شماره2: 141-155
3. دوات گر، ن.، کاووسی، م .یزدانی، م.ر.، رضایی، م .شکوری کتیگری، م .رضائی، ل .رودپیما، م .دریغ گفتار، ف. پیکان، م .احمدزاده، س .کشتکار، ف .و عطار، ا .1394 . شناسایی و ارزیابی منابع آلاینده و کیفیت آب های فاز اول دشت مرکزی گیلان .گزارش نهایی پروژه GIS سطحی کشاورزی دشت گیلان با استفاده از سامانه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور

4. رضایی، ع. 1374. مفاهیم آمار و احتمالات. نشر مشهد،476 صفحه.
5. شکوری کتیگری، م.، شعبانپور، م.، دوات گر، ن.، وظیفه‌دوست، م. 1399. ارزیابی کیفیت خاک در خاک‌های شالیزاری با عملکردهای متفاوت(مطالعه موردی: کوچصفهان استان گیلان). تحقیقات آب و خاک دوره 51 شماره 12
6. فلاح، ولی محمد.1378. پلات شاهد، توصیه علمی کود نیتروژنه بدون انجام آزمون خاک (نشریه ترویجی) شماره ثبت 79/4/27-79/215 ، موسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران
7. Adriana, L.D. 2007. On the use of soil hydraulic conductivity functions in the field. Soil Science. 93: 162-170
8. Ahn, N. T., Shin, J. C. and Lee, B. W. 2004. Analysis of rice grain yield and soil chemical properties. Proceeding for the 12th International Crop Science Congress, September 26, Brisbane, Australia.
9. Ahn, N. T., Shin, J. C. and Lee, B. W. 2005. Analysis of within-field spatial variation of rice growth and yield in relation to soil properties. Korean Journal Crop Science, 50(4):221-237.
10. Asch, F. and M.C.S. Wopereis, 2001. Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity in a semi-arid environment. Field Crop Research., 70: 127-137
11. Balasundram, S. K., M. H. A. Husni and O.H. Ahmad. 2008. Application of geostatistics tools to quantify spatial variability of selected soil chemical properties from a cultivated tropical peat. Journal of agronomy. 7(1): 82-87.
12. Bremner, J.M.1996. Nitrogen total. P. 1058-1121. In D.W. Nelson, et al.(Eds) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison. WI
13. Brye, K. R., N. A. Slaton, M. C. Stavin, R. J. Norman, and D. M. Miller. 2003. Short-torm effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass. Soil Science Society of American Journal. 67: 1405- 1417.
14. Dahiya, I. S., J. Richter, and R. S. Malik. 1984. Soil spatial variability: A review. Intern. Tropical Agriculture., Vol. 11, no. 1, PP: 1-102.
15. D Li, T Nanseki, Chomei, Y and Fukuhara, Y .2018. Impact of soil chemical properties on rice yield in 116 paddy fields sampled from a large-scale farm in Kinki region, Japan. 4th International Conference on Agricultural and Biological Sciences., Hangzhou, China.
16. Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A., Torabi Golsefidi, H., 2017. Assessment of two soil fertility indices to evaluate paddy fields for rice cultivation. Sustainability 9: 1–1.
17. Franzen, D.W., Kitchen, N.R., 1999. Developing management zones to target nitrogen applications. SSMG-5. In: Site-specific Management Guidelines Series. Potash Phosphate Institute, http://www.ppi-far.org/ssmg.
18. Gotway, C. A., Ferguson, R. B., Hergert, G. W., and Peterson, T. A., 1996. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. American Journal of Soil Science. 60, 1237–1247.
19. Helmke, P.A., and D.L. Sparks. 1996.Lithium, Potassium, Rubidium and Cesium. P. 551-574. In D.W. Nelson, et al.(Eds) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison. WI
20. Karimi Amir Kiasar, M. Kavossi, M. Shokri vahed, H., 2013.Phosphorus Critical Concentration in Paddy Soils of Guilan Province. Water and Soil Science. University of Tabriz.
21. Kavossi, M. Kalbasi, M., 2000. Comparison of soil potassium extracting methods to determine suitable extractants for sepeedrood rice variety in some Guilan rice paddy fields. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources.; 3 (4) :57-70

22. Kuo, S.1996. Phosphorous. P. 869-919. In D.W. Nelson, et al.(Eds) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison. WI
23. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P.961-1010. In D.W. Nelson, et al.(Eds) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison. WI
24. Neue, H. U., Mamaril, C.P. 1985. Zinc, sulfur and other micronutrients in wetland soils. In. Wetland soils: characterization, classification and utilization. Manila, Philippines: International Rice Research Institute. P 307-319.
25. Pan XB. 1998. Development and application of Netherlandish crop model. Word Agriculture 223: 17-19.
26. Robert, P. C. 1999. Status and research needs. In precision Agriculture 99: proc. 2nd European conference on precision Agriculture, 12- 15. J. V. Stafford, ed. Oxford, U. K. : BIOS scientific publishers.
27. Sun, B., Sh. Zhou, and Q. Zhao. 2003. Evaluationof spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of suberopical china. Geoderma, 115: 85-99.
28. Tsegaye, T., Hill, R.L., 1998. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurement. Soil Science. 163, 155– 165.
29. Wilding, L.P., and L.R. Dress. 1983. Spatial variability and pedology. In: L.P. Wilding, N.E. Smeckand and G.F. Hall (eds.), Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions. Elsvier Science Pub., pp. 83-116.
30. Xiong, W., I. Holman, D. Conway, E. Lin and Y. Li. 2008. A crop model cross calibration for use in region climate impacts studies. Ecological Modeling. 213: 365-380.
31. Young, J., L. Wenju, W. Wen and Z. Yuge. 2005. Spatial heterogeneity of DTPA-extractable zinc in Cultivated soils indused by city pollution and land use. Journal of Science in China Ser. C life Sciences. 15:75-80.

اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خود به‌خودی و مکانیکی در خاک‌های با بافت مختلف

راضیه دریایی، سید علی اکبر موسوی[1]، رضا قاسمی و مسعود ریاضی

دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ raziyeh.daryaee@shirazu.ac.ir

استاد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ aamousavi@gmail.com

استاد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ ghasemif@gmail.com

دانشیار بخش مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ mriazi180@gmail.com

ص: 209- 224

دریافت: 1401/2/7 و پذیرش: 1401/6/6

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد سطوح صفر، 1/5%، 3% و 4/5% نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر رس قابل پراکنش خود به‌خودی و مکانیکی در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی انجام شد. نتایج نشان داد که درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری به‌ترتیب در حدود 34% و 44% و رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری و در حدود 200% بیشتر بود. نتایج در انتهای آزمایش نشان داد به طور کلی میانگین درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک شن لومی نسبت به خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به طور معنی‌داری به ترتیب در حدود 21% و 57% بیشتر بود، در حالی که رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک شن لومی به طور معنی‌داری حدود 31% کمتر از خاک لوم رسی و حدود 32% بیشتر از خاک لوم شنی بود. به طور کلی افزایش سطوح مواد نفتی سبب افزایش درصد رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی در سطوح اولیه و کاهش آن‌ها در سطوح بالاتر شد. نتایج نشان داد سطوح مختلف مواد نفتی اثرات معنی‌داری بر رس قابل پراکنش داشتند. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات لازم در خصوص اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خاک (به عنوان یکی از معیارهای استحکام و انسجام خاک و سایر ویژگی‌های مرتبط با آن) را فراهم کرده و در تصمیم‌گیری‌های لازم برای مدیریت و اصلاح خاک‌هاِ آلوده به نفت و همچنین استفاده از ترکیبات نفتی برای حفاظت از خاک در برابر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شن لومی، گازوئیل، لوم رسی، لوم شنی، نفت خام، نفت سفید

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه، دانشکده کشاورزی- دانشگاه شیراز، بخش علوم و مهندسی خاک

مقدمه

امروزه نفت خام و مشتقات هیدروکربنی آن عمده ترین و مهمترین منبع انرژی برای صنایع و زندگی روزانه هستند (داس و چاندران، 2011). نشت و ریزش هیدروکربن‌ها از بزرگترین نگرانی‌ها در کشورهای تولید-کننده نفت خام می‌باشد. استخراج، تصفیه و فرآوری، انتقال و به کارگیری نفت احتمال خطر آلودگی محیط را با نشت تصادفی به خصوص در کشورهای تولیدکننده نفت افزایش می‌دهد (تاهان و همکاران، 2011). تخریب مکرر لوله‌های نفتی توسط افراد اخلال‌گر یا اتفاقات غیرقابل پیش‌بینی نیز سبب می‌شود که آلودگی‌های نفتی در هوا، آب و خاک پراکنده شوند. همچنین،، نشت قابل توجه نفت خام و مشتقات آن می‌تواند به آتش سوزی‌های مهیب منتهی شود (بنیاهیا و همکاران، 2005). رهاسازی نفت خام و مشتقات آن در مخازن بزرگ سبب می‌شود که مساحت بزرگی از زمین و خاک منطقه آلوده شده و در اعماق خاک نیز نفوذ کنند. همچنین، نشت مواد نفتی از مخازن فرسوده ذخیره‌سازی در پالایشگاه‌های نفتی و نیز به دلیل فرایندهای تخلیه و بارگیری، موجب آلودگی در سطح گسترده‌ای از خاک‌های اطراف می‌شود (روشن قیاس و همکاران، 1398). نشت نفت خام در محیط به لحاظ زیست محیطی قابل چشم پوشی نیست و نمی‌توان آن را نادیده گرفت. علاوه بر این، نشت و افزوده شدن نفت خام و مشتقات آن به خاک، یکی از عواملی است که سبب تغییر ویژگی‌های مهندسی و رفتار خاک‌ها می‌شود (اکینوومی و همکاران، 2014).

متداول‌ترین آلاینده‌های نفتی در خاک شامل نفت خام، نفت سفید، گازوئیل، حلال‌های کلر دار، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه (PAHs)، ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن (BTEX) و غیره می‌باشند (مومنی و همکاران، 1396؛ چاتوپادیای و همکاران، 2019). ایران با تولید 1/82 میلیون بشکه در روز (در مدت زمان 5 سال) به عنوان یکی از تولیدکننده‌های مهم نفت خام شناخته می‌شود (هافید، 2016). علاوه بر نفت خام، گازوئیل یکی از پرمصرف‌ترین و کاربردی‌ترین محصولات نفتی در دنیا و به خصوص در ایران می‌باشد (فرزادکیا و همکاران، 1398). گازوئیل یک ترکیب نفتی با جرم متوسط، نقطه جوش بین 175 تا 355 درجه سانتی‌گراد و دارای بیش از 200 ترکیب هیدروکربنی نفتی با محدوده جرمی آلکان‌های $C_{10} - C_{28}$ است و معمولاً شامل 30 درصد آلکان، 45 درصد سیکلو آلکان و 24 درصد ترکیبات آروماتیک می‌باشد (فرزادکیا و همکاران، 1398). همچنین سامانه اطلاع‌رسانی واکنش اضطراری گارد ساحلی ایالات متحده، نفت سفید را به دلیل داشتن ترکیبات سمی فراوانی از قبیل هیدروکربن‌های پلی آروماتیک، بنزن، تولوئن و زایلن در رده مواد آلوده‌کننده محیط زیست بر شمرده است (مجرد و همکاران، 1396). از طرفی نفت سفید عمدتا دارای 9 تا 16 اتم کربن و بیش از 80 درصد مواد و ترکیبات آلکانی می‌باشد (نوری و همکاران، 1391) و به دلیل داشتن ترکیباتی از قبیل آلکان-ها، آلکان‌های حلقوی، آلفین‌ها با طول تقریبی زنجیره‌ی 9 تا 20 کربن (مجرد و همکاران، 1396) می‌تواند به عنوان یک ترکیب نفتی عمومی تلقی شود، به علاوه این ماده هیدروکربنی اغلب به عنوان حلال، سوخت هیدروکربنی و ماده گرمابخش در کارخانه‌ها و خانه‌های روستایی به کار می‌رود (نوری و همکاران، 1391).

در نتیجه با توجه به اینکه ایران یکی از کشورهای نفت‌خیز است بنابراین آلوده شدن خاک با آلاینده‌های نفتی به ویژه موارد پرکاربرد و متداول آن که پیش‌تر ذکر شد، در ایران امری نسبتاً شایع می‌باشد و شناسایی و بررسی رفتار خاک در مواجه با این مشکل و مدیریت آن امری ضروریست (کامل و همکاران، 1397). رس قابل پراکنش از جمله شاخص‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک می‌باشد و کاهش آن به مفهوم افزایش پایداری، انسجام و استحکام بیشتر ساختمان خاک می‌باشد (بسالت‌پور و همکاران، 2013؛ حسینی و همکاران، 2015). نوع و میزان ماده آلی یکی از مهم‌ترین عوامل

مؤثر بر پراکنش ذرات رس می‌باشد. تأثیر ماده آلی بر پراکنش رس‌ها بستگی به عواملی از جمله درجه سدیمی بودن[1]، طبیعت ماده آلی، درجه تخریب مکانیکی و مهمترین ویژگی‌های خاک مانند مقدار رس، اندازه رس، نوع رس و خصوصیات بار سطحی آن، کاتیون‌های تبادلی، غلظت الکترولیت و پ‌هاش خاک، وجود عوامل پراکنده کننده مانند آنیون‌های آلی و همچنین عوامل متصل کننده ذرات یا تشکیل دهنده خاکدانه مانند مواد آلی، کربنات-های کلسیم و منیزیم و اکسیدها و هیدروکسیدهای سیلسیم، آلومینیوم و آهن و برهمکنش این عوامل با هم دارد. مواد آلی ممکن است سبب پراکنش و یا مانع پراکنش رس‌ها شود به طوری‌که آنیون‌های آلی با افزایش بار منفی سطح ذرات رس و همچنین با کمپلکس کردن کاتیون کلسیم و دیگر کاتیون‌های چند ظرفیتی مانند آلومینیوم و در نتیجه کاهش فعالیت آن‌ها در محلول خاک سبب پراکنش رس‌ها می‌شوند (تقدیسی حیدریان و همکاران،1397؛ نلسون و همکاران، 1999).

از طرف دیگر پلی‌آنیون‌های بزرگ می‌توانند با اتصال به محل‌های دارای بار مثبت، ذرات رس را به یکدیگر متصل کرده و خاکدانه‌های کوچک و پایدار را به وجود آورند و اثر تخریبی سدیم تبادلی بر ساختمان خاک را کاهش دهند (گرینلند، 1965) در صورتی‌که سدیم ماده آلی و یا زئولیت زیاد میزان رس قابل پراکنش را افزایش و متقابلا پایداری خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهد. زمانی که میزان سدیم در مقایسه با یون‌های مثبت دوظرفیتی زیاد باشد، ذرات رس خاک دچار تورم و پراکنش شده و خاکدانه‌ها شروع به فروپاشی می‌نمایند و هدایت هیدرولیکی خاک نیز کاهش می‌یابد. این حالت به ویژه در شرایطی که غلظت نمک کم و میزان پ‌هاش زیاد باشد بیشتر روی می‌دهد (پاسکال و باربیر، 1995). در حالی‌که هماوری و پراکنش رس‌ها عمدتاً پدیده‌ای الکتروستاتیک به نظر می‌رسند، پایداری خاکدانه‌های بزرگتر مستلزم وجود عوامل پیوند دهنده‌است که این عوامل می‌توانند معدنی، آلی و یا هر دو باشند. مواد آلی هیومیکی حلقوی همراه با ترکیبات بی‌شکل آهن و آلومینیم و یا کاتیون‌های فلزی چند ظرفیتی از عوامل پایداری خاکدانه‌های کوچک خاک می‌باشند. پایداری خاکدانه‌ها در بسیاری از خاک‌ها بستگی به ویژگی‌های ماده آلی، رس و اکسیدها دارد، ولی همه ترکیبات آلی اثر یکسانی بر پایداری خاک ندارند. به عبارتی تقویت پوشش سطحی خاک با کاربرد تثبیت‌کننده-های خاک نظیر مالچ‌های نفتی، مواد پلیمری و غیره می‌تواند سبب افزایش پایداری، کاهش رس قابل پراکنش و حفاظت خاک در برابر فرسایش‌های آبی و بادی شود. از سوی دیگر با بررسی و مطالعه منابع گذشته، مشاهده می‌شود افزودن آلاینده‌های آلی، بسته به نوع آنها اثرات متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها خواهند داشت. آب‌گریزی یک ویژگی کلیدی در پایداری خاک است و در پی افزایش شدت آب‌گریزی، پایداری ساختمان خاک نیز افزایش می‌یابد، زیرا لایه آب‌گریز مانند یک پوشش بر روی خاکدانه‌ها از متلاشی شدن ذرات خاک در برابر نیروی آب و باد محافظت می‌کند و در نتیجه می‌تواند تا حدودی فرسایش را از طریق کاهش فرسایش‌پذیری خاک، کنترل کند. از نظر نوع ماده آلی مؤثر در پایداری خاکدانه‌ها نیز نشان داده شده وجود اسیدهای آروماتیک موجود در ترکیبات نفتی در خاک سبب هم آور شدن ذرات خاک و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (کرمانپور و همکاران، 1394). در سایر پژوهش‌ها بیان شده که ترکیبات آب‌گریز در دراز مدت سبب ایجاد کمپلکس‌های رس- هیومین و در نتیجه افزایش پایداری خاک شده است (پیکولو و امباگو، 1999). همچنین در این مطالعات گزارش شد که حضور و افزایش آلاینده‌های آلی- آروماتیکی در خاک سبب پایداری خاکدانه‌ها و به دنبال آن کاهش میزان رس قابل پراکنش می‌شود (دکستر و همکاران، 2008). کرمانپور و همکاران (1394) در بررسی‌های خود گزارش کردند که با افزایش آلودگی نفتی تا 6 درصد مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی کاهش یافت. آنان همچنین بیان کردند که با افزایش غلظت

[1] Sodicity

هیدروکربن‌های نفتی، پایداری ساختمان خاک افزایش یافت. مالکی شهرکی نیز (1395) گزارش کرد که با افزایش سطح نفت خام، رس قابل پراکنش مکانیکی به طور معنی‌دار کاهش یافت که دلیل آن را به تشکیل خاکدانه‌های بزرگ توسط ترکیبات آلکانی با زنجیره‌های بلند مواد هیدروکربنی و افزایش پایداری ساختمان خاک حاصل از آن نسبت داد.

با توجه به اینکه ایران کشوری نفت‌خیز است و آلودگی‌های نفتی خاک امری شایع است، بنابراین شناسایی رفتار خاک در مواجهه با این مشکل به منظور دستیابی به روش مدیریتی مناسب، ضروری می‌باشد. از طرفی تاکنون اثر ترکیبات نفتی مختلف بر رس قابل پراکنش به عنوان یکی از معیارهای پایداری در خاک‌های با بافت‌های مختلف کمتر بررسی شده است، بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به عنوان سه ماده نفتی پر مصرف بر رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی در سه خاک آهکی با بافت مختلف (کلاس‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال 1398 و در بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه (طول جغرافیایی 29 درجه و 50 دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی 54 درجه و 46 دقیقه شرقی و ارتفاع 1810 متر از سطح دریا) انجام شد. پژوهش در قالب آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح صفر، 1/5، 3 و 4/5 درصد وزنی از سه نوع آلاینده آلی نفت خام، نفت سفید و گازوئیل و سه نوع کلاس بافت خاک مختلف شامل کلاس‌های بافت‌لوم رسی، شن لومی و لوم شنی بودند. لازم به ذکر است سطوح انتخابی آلاینده‌های نفتی با بررسی مقالات متعدد (مالکی شهرکی، 1395؛ صبور و همکاران، 1396؛ خبازی و حسنلوراد، 1397؛ کامل و همکاران، 1397؛ روشن قیاس و باقری پور، 1398 و ...)، انجام آزمایش و همچنین با لحاظ جلوگیری از روانی بیش از حد نمونه‌های خاک انتخاب شدند. خاک با بافت لوم رسی به صورت طبیعی از خاک سری دانشکده واقع در منطقه باجگاه و دو بافت دیگر به صورت مصنوعی و دست ساز تهیه شد. به‌این ترتیب که برای تهیه 3 کیلوگرم از نمونه‌های خاک مورد نظر، به مقدار لازم از دو نوع بافت خاک رس لومی و شنی به عنوان بافت پایه که به ترتیب از سری کوی اساتید دانشکده کشاورزی شیراز و منطقه سیوند استان فارس تهیه شده بودند استفاده شد. در نمونه‌هایی از خاک‌های مورد مطالعه، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه با استفاده از روش‌های استاندارد معمول به شرح زیر اندازه-گیری شد (جدول 1): پ‌هاش خمیر اشباع با استفاده از پ‌هاش‌متر، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، درصد ماده آلی خاک به روش تر سوزانی (والکی و بلک، 1934) و درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (لوپرت و سوارز، 1996) و بافت خاک‌های تهیه شده نیز با روش هیدرومتر (جی و اور، 2002) اندازه‌گیری شد.

برای آشنایی بیشتر با ترکیب شیمیایی و ساختار آلاینده‌های نفتی مورد مطالعه نیز آزمایش‌هایی در آزمایشگاه مرکزی دانشکده نفت دانشگاه شیراز انجام و نتایج گزارش شد (جدول 2). مهمترین ویژگی مورد آزمایش مواد نفتی در جدول 2 ویسکوزیته (گرانروی یا لزوجت) سیالات مورد مطالعه است. به طور کلی ویسکوزیته از مهمترین ویژگی‌های یک سیال و برابر با مقاومت یک سیال در برابر جریان و برش است. این مقاومت با دو روش مختلف اندازه‌گیری می‌شود. سیالات مختلف دارای یک اصطکاک داخلی هستند که برای جاری شدن باید توسط یک نیروی خارجی بر آن غلبه کرد. این اصطکاک داخلی که با نیروی خارجی مورد نیاز برای به جریان انداختن سیال اندازه‌گیری می‌شود توسط پواز و تحت عنوان ویسکوزیته دینامیکی یا مطلق معرفی شده و با واحد سانتی‌پواز بیان می‌شود. در مقابل

ویسکوزیته سینماتیکی که توسط استوکس معرفی شده و با واحد سانتی‌استوک بیان می‌شود برابر با مدت زمان لازم برای داشتن مقدار مشخصی از جریان سیال در یک فاصله معین است و هیچ نیروی خارجی برای اعمال فشار به سیال وجود ندارد و تنها از نیروی جاذبه استفاده می‌شود. به عبارتی وزن یا چگالی مایع به جریان آن کمک کرده و ویسکوزیته سینماتیکی چگالی سیال را به عنوان بخشی از اندازه‌گیری در بر می‌گیرد. بنابراین به طور کلی ویسکوزیته دینامیکی معیاری از نیرو و ویسکوزیته سینماتیکی معیاری از سرعت می‌باشند (ملکیان و عطیفه کمال آباد، 1401؛ کوری، 2003).

پس از تهیه و آماده‌سازی بافت‌های خاک مورد نظر، تیمارهای نفتی با درصدهای ذکر شده و در سه تکرار به خاک‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌های 3 کیلوگرمی تیمار شده به گلدان‌های استوانه‌ای شکل پلاستیکی (با قطرهای پایین و بالای به ترتیب برابر با 12/5 و 19 سانتی‌متر، ارتفاع برابر با 15/5 سانتی‌متر و حجم حدود 4/6 لیتر) منتقل شد و به مدت 72 ساعت در یک محیط در بسته و در داخل پاکت، به منظور اثرگذاری بهتر و بیشتر آلاینده بر خاک و جلوگیری از تبخیر آنها نگهداری شدند. پس از گذشت 72 ساعت، نمونه‌ها توزین و سپس به مدت ده هفته و هر هفته یک بار در حد رطوبت ظرفیت مزرعه برای هر بافت (که از قبل به روش گلدانی اندازه‌گیری شده بود)، با آب مقطر آبیاری شدند. در پایان مدت آزمایش (پس از ده هفته)، رس قابل پراکنش خود به خودی و رس قابل پراکنش مکانیکی به شرح زیر در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند:

رس قابل پراکنش خود به خودی: ابتدا مقدار یک گرم از خاکدانه‌های 2 تا 4 میلی‌متری در لیوان‌های پلاستیکی ریخته و 20 میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و در آزمایشگاه به مدت یک شبانه روز به صورت ثابت نگهداری شد. سپس به وسیله پیپت 4 میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و میزان جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج 620 نانومتر قرائت و با رسم منحنی واسنجی، مقدار رس پراکنده-شده خود به خودی بر حسب گرم در صد گرم خاک تعیین شد (رنگاسمی، 1984).

رس قابل پراکنش مکانیکی

برای انجام این آزمایش از روش کدورت‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر مطابق دستورالعمل پیشنهادی پوجاسوک و کای (1990) که بر مبنای اندازه‌گیری همزمان پایداری خاکدانه‌های تر و رس پراکنده شده است، استفاده شد. بدین صورت که 20 گرم از خاکدانه-های 2 تا 4 میلی‌متری وزن شده و به مدت 24 ساعت در دمای 105 درجه سانتی‌گراد در آون خشک و به لوله‌های پلاستیکی 100 میلی‌لیتری منتقل شد. سپس 40 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شده و به مدت 10 دقیقه با سرعت 100 دور در دقیقه تکان داده شد. سپس محتوی ظرف روی الک 0/25 میلی‌متر تخلیه و طی دو نوبت با 80 میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد. تعلیق زیر الک به ظرف دیگری منتقل شده و بعد از 3 ساعت برای تعیین مقدار رس پراکنده شده (DC)[1]، 4 میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و مقدار جذب نور با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج 620 نانومتر قرائت شد. پیش از قرائت، دستگاه برای جذب نور صفر درصد با آب مقطر تنظیم شد. سپس منحنی واسنجی که نشان‌دهنده قرائت دستگاه در مقابل رس پراکنده شده بود، ترسیم شد. با داشتن قرائت دستگاه برای هر تیمار و با استفاده از منحنی واسنجی، مقدار رس پراکنده شده به دست آمد و با در نظر گرفتن جرم اولیه خاک مورد استفاده به صورت گرم رس پراکنده شده در صد گرم خاک محاسبه شد.

[1] Dispersed Clay

جدول 1- برخی ویژگی‌های اولیه خاک‌های مورد استفاده در پژوهش

ویژگی‌ها	نمونه‌های خاکی		
	خاک اول	خاک دوم	خاک سوم
رس (درصد)	30	4	9
سیلت (درصد)	33	9	28
شن (درصد)	37	87	63
کلاس بافت	لوم رسی	شن لومی	لوم شنی
کربنات کلسیم معادل (درصد)	36/85	39/75	25/15
پ‌هاش گل اشباع	7/63	7/38	7/68
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس در متر)	0/74	0/86	0/64
ماده آلی (درصد)	0/89	0/34	0/48

جدول 2- برخی ویژگی‌های مواد نفتی مورد استفاده در پژوهش

ویژگی (واحد)	مقدار			روش/ وسیله اندازه‌گیری
گازوئیل				
ویسکوزیته دینامیک[1] (سانتی پواز)	4/26			ویسکومتر چرخشی
ویسکوزیته سینماتیک[2] (سانتی استوک)	4/93			ASTM D445-03
چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	0/8647			پیکنومتر (ISO 3838, 2004)
نفت سفید				
ویسکوزیته دینامیک (سانتی پواز)	1/61			ویسکومتر چرخشی
ویسکوزیته سینماتیک (سانتی استوک)	1/94			ASTM D445-03
چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	0/8300			پیکنومتر (ISO 3838, 2004)
نفت خام				
	ویسکوزیته دینامیک	دور در دقیقه[3]	گشتاور[4] (%)	
ویسکوزیته دینامیک (سانتی پواز)	50/8	30	25/4	ویسکومتر چرخشی
	50/9	50	42/3	
	52/2	70	60/8	
	53/6	90	80/3	
چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	0/9231			پیکنومتر (ISO 3838, 2004)

تمام ویژگی‌های فوق در فشار 640 میلی‌متر جیوه و دمای 26/5 درجه سانتی‌گراد (دما و فشار معمول آزمایشگاه) اندازه‌گیری شده‌اند.

1. Dynamic viscosity
2. Kinematic viscosity
3. Revolution per minute (RPM)
4. Torque

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای آماری EXCEL و SAS تجزیه و تحلیل شد و میانگین‌های مربوط به اثر هر تیمار و برهمکنش‌های آنها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

رس قابل پراکنش خود به خودی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود. اثر بافت خاک، تیمار نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و همچنین اثرات متقابل دوتایی و سه تایی نیز در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جداول 3 و 4).

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس (دو عاملی) اثر سطوح مواد نفتی، بافت خاک و اثر متقابل آنها بر رس قابل پراکنش خود به خودی (ADC) و مکانیکی (MDC) برحسب گرم در صد گرم خاک در بافت‌های مختلف خاک

		میانگین مربعات					
		نفت خام		نفت سفید		گازوئیل	
منابع تغییر	درجه آزادی	ADC	MDC	ADC	MDC	ADC	MDC
بافت	2	0/160**	0/210**	0/231**	3/81**	0/268**	0/726**
سطوح مواد نفتی	3	0/394**	0/552**	0/878**	2/06**	0/314**	0/750**
اثر متقابل بافت خاک و سطوح مواد نفتی	6	0/095**	0/112**	0/092**	0/546**	0/078**	0/172**
خطا	24	0/00014	0/0002	0/001	0/001	0/001	0/001

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال 5 و 1 درصد را نشان می‌دهند.

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس (سه عاملی) اثر مواد نفتی، سطوح مواد نفتی، بافت خاک و اثرات متقابل آنها بر رس قابل پراکنش خود به خودی، ADC و مکانیکی، MDC (گرم بر صد گرم) در خاک‌های با بافت مختلف

		میانگین مربعات	
منابع تغییر	درجه آزادی	ADC	MDC
بافت خاک	2	0/271**	2/57**
نوع ماده نفتی	2	0/189**	3/09**
سطوح مواد نفتی	3	1/44**	2/51**
اثر متقابل بافت خاک و نوع ماده نفتی	4	0/194**	1/09**
اثر متقابل بافت خاک و سطوح مواد نفتی	6	0/089**	0/397**
اثر متقابل نوع و سطوح مواد نفتی	6	0/071**	0/425**
اثر متقابل بافت خاک، نوع و سطوح مواد نفتی	12	0/088**	0/217**
خطا	72	0/001	0/001

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال 5 و 1 درصد را نشان می‌دهند.

نتایج نشان داد به طور میانگین در هر سه بافت خاک مورد مطالعه میزان رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام روند تغییرات تقریباً مشابهی داشت. به طوری که در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی درصد رس قابل پراکنش خود به خودی به طور معنی‌داری و به میزان حدود 137 و 26 درصد در اثر کاربرد نفت سفید و به میزان حدود 53 و 44 درصد در اثر کاربرد گازوئیل افزایش یافت. در خاک شن لومی نیز کاربرد گازوئیل، رس قابل پراکنش خود به خودی را به طور معنی‌داری به میزان حدود 40 و 68 درصد به ترتیب در مقایسه با نفت خام و نفت سفید افزایش داد (جدول 5).

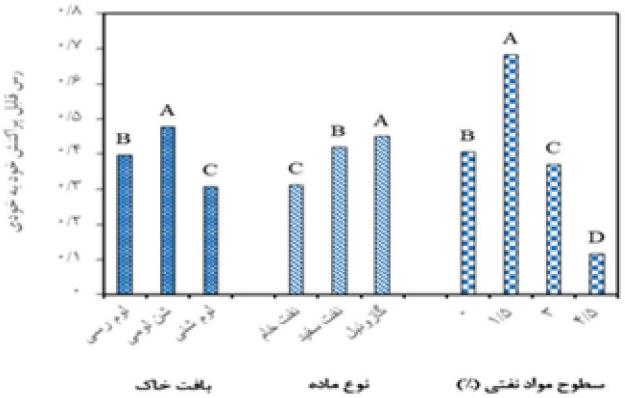
به طور میانگین کاربرد سطوح تیمارهای نفتی در خاک‌های مورد مطالعه اثر مشابهی بر رس قابل پراکنش خود به خودی نداشت. به طوری‌که کاربرد 1/5 درصد از مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی به میزان حدود 90 درصد در مقایسه با شاهد در خاک لوم رسی شد. در حالی که در خاک لوم رسی کاربرد سطوح 3 و 4/5 درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان حدود 6 و 87 درصد در مقایسه با شاهد شد (هر چند این کاهش تنها در اثر کاربرد 4/5 درصد مواد نفتی معنی‌دار بود) و در خاک شن لومی کاربرد سطوح 1/5 و 3 رصد تیمارهای نفتی به طور میانگین سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان حدود 111 و 21 درصد در مقایسه با شاهد شد. در حالی که کاربرد 4/5 درصد مواد نفتی در خاک شن لومی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی به میزان حدود 47 درصد در مقایسه با شاهد شد. در خاک لوم شنی نیز کاربرد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش خود به خودی در سطح 1/5 درصد به میزان حدود 7 درصد و کاهش معنی-دار آن در سطوح 3 و 4/5 درصد به ترتیب به میزان حدود 40 و 79 درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول 5). بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان 1/19 و 0/027 گرم در صد گرم و به ترتیب در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد گازوئیل مشاهده شد. در حالی‌که بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک شن لومی به ترتیب به میزان 0/930 و 0/007 گرم در صد گرم و در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت خام و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد. در خاک لوم شنی نیز بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان 0/516 و 0/031 گرم در صد گرم و در شرایط تیمار با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 5). همچنین لازم به ذکر است که در بین تمام نمونه‌های موجود بیشترین و کمترین مقدار رس قابل پراکنش خود به خودی به ترتیب به میزان 1/19 و 0/007 گرم در صد گرم و در خاک با بافت لوم رسی تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و در خاک با بافت شن لومی تیمار شده با 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 5).

نتایج نشان داد به طور کلی درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های شن لومی نسبت به لوم رسی و لوم شنی به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود 21 و 57 درصد بیشتر بود (شکل 1). به طور کلی میزان درصد رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک-های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل نیز در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود 34 و 44 درصد بیشتر بود (شکل 1). همچنین به طور کلی کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد تیمارهای نفتی مورد نظر سبب افزایش معنی‌دار میانگین رس قابل پراکنش خود به خودی در سطح 1/5 درصد به میزان حدود 68 درصد و کاهش معنی‌دار آن در سطوح 3 و 4/5 درصد به ترتیب به میزان حدود 9 و 71 درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل 1).

جدول 5- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر رس قابل پراکنش خود به خودی (گرم در صد گرم خاک) در خاک‌های با بافت مختلف

سطوح (درصد وزنی)	مواد نفتی			میانگین
	نفت خام	نفت سفید	گازوئیل	
	بافت لوم‌رسی (میانگین= B 0/397)			
صفر	0/416* hi	0/399 hi	0/387 ij	0/401 B
1/5	0/284 mn	1/19 a	0/803 c	0/760 A
3	0/197 o	0/659 e	0/267 mn	0/375 B
4/5	0/073 p	0/054 pq	0/027 qr	0/051 C
میانگین	0/243 C	0/576 A	0/371 B	
	بافت شن لومی (میانگین= A 0/479)			
صفر	0/401 hi	0/387 ij	0/397 i	0/395 C
1/5	0/930 b	0/747 d	0/819 c	0/832 A
3	0/442 h	0/300 lm	0/696 e	0/479 B
4/5	0/007 r	0/046 pqr	0/577 f	0/210 D
میانگین	0/445 B	0/370 C	0/622 A	
	بافت لوم‌شنی (میانگین= C 0/306)			
صفر	0/425 hi	0/419 hi	0/423 hi	0/423 B
1/5	0/350 jk	0/516 g	0/497 g	0/454 A
3	0/186 o	0/247 n	0/333 kl	0/255 C
4/5	0/031 pqr	0/066 pq	0/173 o	0/090 D
میانگین	0/248 C	0/312 B	0/356 A	

*. میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل 1- اثر سطوح تیمارهای نفتی بر رس قابل پراکنش خود به خودی (گرم در صد گرم خاک) در خاک-های با بافت مختلف (ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

رس قابل پراکنش مکانیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر درصد رس قابل پراکنش مکانیکی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج نشان داد که اثر بافت خاک، تیمار نفتی و سطوح مختلف آنها و همچنین اثرات متقابل آنها در سطح 1 درصد معنی‌دار است (جدول‌های 3 و 4). به طور میانگین در هر سه بافت خاک مورد مطالعه میزان رس قابل پراکنش مکانیکی

در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به طور معنی‌داری بیشتر بود. به طوری که در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی تیمار شده با نفت سفید میزان رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 275، 34 و 57 درصد و در خاک‌های تیمار شده با گازوئیل به ترتیب به میزان حدود 161، 22 و 80 درصد بیشتر از خاک‌های تیمار شده با نفت خام بود (جدول 6). همچنین نتایج نشان داد به طور میانگین اثر کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد تیمارهای نفتی بر رس قابل پراکنش مکانیکی دارای روند تغییرات مشابهی نبود. به طوری‌که کاربرد سطوح مذکور در خاک لوم رسی سبب افزایش معنی‌دار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 3، 2 و 1/5 برابر در مقایسه با شاهد شد. در حالی‌که در خاک شن لومی کاربرد سطوح 1/5 و 3 درصد تیمارهای نفتی سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 75 و 14 درصد در مقایسه با شاهد شد وکاربرد 4/5 درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به میزان حدود 32 درصد در مقایسه با شاهد شد. در خاک‌های لوم شنی نیز کاربرد 1/5 درصد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی به میزان حدود 35 درصد شد. درحالی که کاربرد سطوح 3 و 4/5 درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 4 و 37 درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول 6). بیشترین و کمترین مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان 2/75 و 0/274 گرم در صد گرم و در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد. در حالی‌که بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک شن لومی به ترتیب به میزان 1/40 و 0/112 گرم در صد گرم و در خاک تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد. در خاک لوم شنی نیز بیشترین و کمترین مقدار درصد رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان 0/963 و 0/154 گرم در صد گرم و در شرایط تیمار با 1/5 درصد گازوئیل و 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 6). همچنین لازم به ذکر است که در بین تمام نمونه‌های موجود بیشترین و کمترین مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان 2/57 و 0/112 گرم در صد گرم و در خاک با بافت لوم رسی تیمار شده با 1/5 درصد نفت سفید و در خاک با بافت شن لومی تیمار شده با 4/5 درصد نفت خام مشاهده شد (جدول 6).

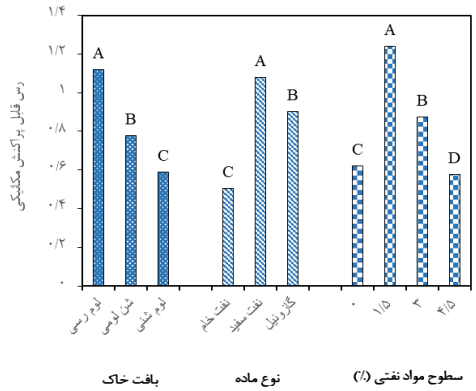
نتایج نشان داد به طور کلی رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود 31 و 47 درصد کمتر از خاک لوم رسی می‌باشد (شکل 2). به طور کلی میزان رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری و به میزان حدود 2 برابر در همه موارد بیشتر بود (شکل 2). همچنین به طور کلی کاربرد سطوح 1/5 و 3 درصد تیمارهای نفتی مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به ترتیب به میزان حدود 99 و 41 درصد در مقایسه با شاهد شد درحالی که کاربرد 4/5 درصد تیمارهای نفتی سبب کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش مکانیکی به میزان حدود 7 درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل 2).

جدول 6- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر رس قابل پراکنش مکانیکی (گرم در صد گرم خاک) در خاک‌های با بافت مختلف

سطوح (درصد وزنی)	مواد نفتی			میانگین
	نفت خام	نفت سفید	گازوئیل	
	بافت لوم‌رسی (میانگین= A 1/12)			
صفر	0/604* lm	0/584 lm	0/570 mno	0/586 D
1/5	0/524 o	2/75 a	1/91 c	1/72 A
3	0/422 p	2/12 b	1/27 e	1/27 B
4/5	0/274 r	1/40 d	0/922 g	0/890 C
میانگین	0/456 C	1/71 A	1/19 B	
	بافت شن لومی (میانگین= B 0/778)			
صفر	0/688 k	0/671 k	0/684 k	0/681 C
1/5	1/20 f	1/40 d	0/980 gh	1/19 A
3	0/625 l	0/874 i	0/834 i	0/778 B
4/5	0/112 s	0/575 lmn	0/695 k	0/461 D
میانگین	**0/656 C**	**0/880 A**	**0/799 B**	
	بافت لوم‌شنی (میانگین= C 0/591)			
صفر	0/604 lm	0/597 lm	0/601 lm	0/600 B
1/5	0/529 no	0/934 h	0/963 gh	0/809 A
3	0/337 q	0/617 lm	0/770 j	0/574 C
4/5	0/154 s	0/403 p	0/582 lm	0/380 D
میانگین	0/406 C	0/638 B	0/729 A	

*. میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

غلظت‌های کم هیدروکربن‌های نفتی احتمالاً به دلیل افزایش دافعهٔ آنیونی بین ذرات رس و گروه‌های عاملی هیدروکربن‌ها پایداری خاکدانه‌ها را کاهش داده (تقدیسی حیدریان و همکاران،1397؛ دوور و همکاران، 2000) و در نتیجه مقدار رس قابل پراکنش را افزایش می‌دهد. اما غلظت‌های بیشتر ترکیبات نفتی احتمالاً با تشدید آب‌گریزی و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش میزان رس قابل پراکنش شده است. کرمانپور و همکاران (1394) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. به عبارتی به نظر می‌رسد در غلظت‌های کم هیدروکربن‌های نفتی، افزایش دافعه آنیونی و کاهش پایداری خاکدانه‌ها غالب است درحالی که با افزایش غلظت هیدروکربن‌های نفتی، افزایش آب‌گریزی و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها غلبه پیدا می‌کند. لازم به ذکر است غلظت آستانه لازم برای ایجاد اثرات مذکور برای ترکیبات مختلف و در خاک‌های مختلف و در شرایط مختلف می‌تواند متفاوت باشد.



شکل 2- اثر سطوح تیمارهای نفتی بر رس قابل پراکنش مکانیکی (گرم در صد گرم خاک) در خاک‌های با بافت مختلف (ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

با بررسی منابع مختلف (پیکولو و امباگو، 1999؛ دوور و همکاران، 2000؛ آرسنگو و همکاران، 2008؛ دکستر و همکاران، 2008؛ کرمان پور و همکاران، 1394) که به بررسی تأثیر مواد نفتی پرداخته‌اند بسته به نوع خاک و روش اندازه‌گیری مورد مطالعه نیز عموماً مقدا رس قابل پراکنش خاک بین 0/5 تا 0/7 درصد متغیر بوده که با مقدار رس قابل پراکنش در تیمار شاهد پژوهش حاضر (حدود 0/6 درصد) مطابقت کامل دارد و با بررسی سطوح مختلف ماده نفتی نیز در برخی موارد نتایج مشابهی حاصل شده است (هرچند در هیچیک از پژوهش‌های مذکور اثر سطوح (چهار سطح) مختلف از سه ترکیب نفتی مختلف بر دو نوع رس قابل پراکنش و در سه بافت خاک متمایز و به صورت مقایسه‌ای مطالعه نشده است). به طور کلی ترکیبات هیدروکربنی موجود در خاک شامل آلکان‌ها با زنجیرهٔ طولانی و برخی ترکیبات حلقوی با جرم ملکولی زیاد هستند. این ترکیبات علاوه بر ایجاد آب‌گریزی به راحتی در آب حل نمی‌شوند و می‌توانند با ذرات معدنی خاک کمپلکس تشکیل دهند. بنابراین به هم‌آوری ذرات خاک کمک کرده و پایداری ساختمان خاک در شرایط مرطوب حفظ شده و پراکنده شدن رس در شرایط مرطوب کاهش می‌یابد. همانگونه که نتایج نیز نشان می‌دهد این ملکول‌های غیرقطبی که تنها در انتهای زنجیرهٔ هیدروکربنی دارای بارهای جزئی مثبت یا منفی هستند (تقدیسی حیدریان و همکاران،1397؛ دوور و همکاران، 2000)، در آب حل نشده و به صورت پوشش-های آب‌گریز روی سطوح خاکدانه‌ها را پوشانده و سبب افزایش زاویه تماس آب- خاک شده، بنابراین آب به آهستگی جذب شده و از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در اثر ورود سریع آب و فشار ناشی از هوای محبوس جلوگیری کرده و رس قابل پراکنش خاک را کاهش می‌دهد. در واقع یکی از پیامدهای مثبت آب‌گریزی در اثر آلودگی نفتی، پایداری واحدهای ساختمانی خاکدانه‌های خاک است که از این رو سبب کاهش فرسایش خاک نیز می‌شود. در نتیجه افزودن مواد آلی از منابع گوناگون (ازجمله منابع هیدروکربنی) به خاک می‌تواند یکی از راه‌های بهبود کیفیت خاک در مناطق مستعد به فرسایش باشد (درستکار و والی، 1396). به عبارتی افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها (و کربن آلی ناشی از آنها) در خاک سبب افزایش آب-گریزی در خاک، کاهش سرعت خیس شدن خاکدانه‌ها و کاهش حساسیت ساختمان خاک به تخریب و در نتیجه کاهش رس قابل پراکنش خاک می‌شود. افزایش غلظت نمک موجود در مواد آلی نیز می‌تواند با کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده الکتریکی رس‌ها سبب کاهش رس قابل پراکنش خاک شود. نکته قابل ذکر دیگر آن است که

حتی حضور مقادیر کم ذرات رس در خاک سبب کاهش تأثیر مواد آلی بر آب‌گریزی می‌شود و از آنجا که آب-گریزی یک پارامتر بسیار مهم و تأثیر گذار در پایداریست به نحوی‌که با افزایش آب‌گریزی تا میزان مشخصی، پایداری نیز افزایش می‌یابد (کرمانپور و همکاران، 1394). بنابراین تأثیر کمتر مواد آلی (از جمله هیدروکربن‌های نفتی) بر آب‌گریزی و متقابلا ایجاد پایداری کمتر و یا رس قابل پراکنش بیشتر در خاک‌های با رس بیشتر در اثر مواد آلی آب‌گریز توجیه پذیر می‌باشد. از میان عوامل مؤثر بر پایداری ساختمان خاک، مواد آلی (که شامل هیدروکربن‌های نفتی نیز می‌باشند) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. بر خلاف تصور کلی تنها بخشی از ترکیبات آلی در پایداری ساختمان خاک نقش دارد. حضور برخی از یون‌های آلی از ترکیبات اسید فولویک و اسید سیتریک رس قابل پراکنش را به میزان قابل توجهی افزایش و پایداری خاکدانه‌ها را به شدت کاهش می‌دهند، در واقع برخی آنیون‌های آلی مانند فولوات، سیترات، اگزالات، لاکتات و استات سبب افزایش رس قابل پراکنش و کاهش پایداری ساختمان خاک می‌شوند اما وجود اسیدهای آروماتیک در خاک سبب هم‌آوری ذرات رس شده و پایداری ساختمان خاک را افزایش می‌دهند (پیکولو و امباگو، 1999؛ آمزکتا، 1999). پژوهش‌ها نشان می‌دهد کل کربن آلی خاک و کل کربوهیدرات‌های موجود در خاک سبب پایداری ساختمان خاک نمی‌شود اما با افزایش کربن آلی خاک، رس قابل پراکنش کاهش می‌یابد (دکستر و همکاران، 2008).

از طرفی علاوه بر ترکیبات آلی، آهک نیز در پایداری ساختمان خاک نقش موثر دارد و به نظر می‌رسد وجود آلودگی نفتی اثر آهک را در پایداری ساختمان خاک افزایش می‌دهد که ممکن است به دلیل تشکیل کمپلکس-های قوی با یون کلسیم در خاک باشد (آرسنگو و همکاران، 2008) و این موضوع با توجه به آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش می‌تواند مؤثر و قابل توجه باشد. مقدار آهک موجود در خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش از حدود 25 تا 40 درصد متغیر است (جدول 1) هرچند بین مقدار آهک در دو خاک لوم رسی (با حدود 37 درصد آهک) و شن لومی (با حدود 40 درصد آهک) عملاً تفاوت خیلی زیادی وجود ندارد (حدود 8 درصد اختلاف) و این میزان تفاوت در مقدار آهک خاک در این مورد ممکن است در تفاوت نتایج چندان تأثیرگذار نباشد.

همچنین احتمال می‌رود بخشی از تفاوت در نتایج مربوط به ترکیبات نفتی مختلف مورد مطالعه در این پژوهش به دلیل چگالی بیشتر نفت خام در مقایسه با گازوئیل (و گازوئیل در مقایسه با نفت سفید) باشد. به این ترتیب که هر چه ماده چگال‌تر باشد قاعدتاً پوشش سنگین‌تری را بر روی خاک اعمال کرده که خود موجب کاهش پراکنش رس‌ها و متقابلاً افزایش پایداری شده است. نکته قابل ذکر دیگر آن است که کاربرد مواد نفتی در خاک با توجه به تفاوت در میزان آب‌گریزی و لزوجت (گرانروی) خود به طبع اثرات با درجات متفاوتی را در خاک به وجود می‌آورند. برای نمونه از نقطه نظر پایداری خاکدانه‌ها، هر قدر که ماده نفتی به کاربرده شده دارای آب‌گریزی و لزوجت بیشتری باشد، در مقادیر و درصد وزنی کمتری می‌تواند سبب ایجاد پایداری شده و غلظت آستانه و بحرانی را کاهش می‌دهد. بنابراین حداقل غلظتی از مواد نفتی که می‌تواند سبب ایجاد روانی بیش از حد و پاشش خاک شده (و همچنین از طرفی در کنار مقاومت به فرسایش بادی می‌تواند مانع نفوذ آب به خاک و ایجاد فرسایش آبی شود) نیز کمتر خواهد بود. همچنین بایستی بیان نمود که رس قابل پراکنش معیاری از پایداری و انسجام ذرات خاک می‌باشد و بیشترین مقدار رس قابل پراکنش حاکی از کمترین میزان پایداری و انسجام ذرات خاک است و بر این اساس بدیهیست که سبک‌ترین بافت خاک مورد بررسی با کمترین مقدار رس که عامل انسجام و چسبندگی ذرات خاک است، کمترین پایداری و بیشترین مقدار رس قابل پراکنش را دارا باشد. همچنین به نظر می‌رسد در خاک لوم رسی که محتوی رس بیشتر

است بخش زیادی از رس‌ها در اثر نیروی وارده در حین اندازه‌گیری رس مکانیکی پراکنده شده و در نتیجه مقدار رس پراکنده شده مکانیکی در این خاک در مقایسه با سایر خاک‌ها بیشتر است. اما مقدار اندک رس موجود در سایر خاک‌ها، به صورت خود به خودی و بدون وارد کردن نیروی اضافه پراکنده شده ولی در خاک لوم رسی محتوی رس بیشتر، رس‌ها در ساختار خاکدانه‌های پایدار دخالت داشته و به صورت خود به خودی قابل پراکنش نبوده است و بنابراین رس قابل پراکنش خودبه خودی در این بافت کمتر بوده است. قابل ذکر است که خواص میکروساختاری رس‌های موجود در خاک نیز می‌تواند سبب بروز تفاوت‌ها و روندهای عکس موجود میان خاک‌های رسی و شنی باشد. بعلاوه در حالت کلی تفاوت در نتایج به دست آمده در این پژوهش با سایر منابع مشابه، می‌تواند به سبب تفاوت در شرایط انجام آزمایش از جمله شرایط محیطی، رطوبتی، حجم نمونه، و ویژگی-های متفاوت مواد افزودنی باشد که خود می‌تواند سبب انجام واکنش‌های فیزیکو شیمیایی مختلف بین انواع خاک‌ها و ترکیبات افزودنی به خاک شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اثر کاربرد سطوح مختلف تیمارهای نفتی بر میزان رس قابل پراکنش خود به خودی و مکانیکی دارای روندی تقریبا یکسانی بود، به طوری که در سطوح کم، مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار ویژگی‌های نام برده شد. درحالی که سطوح بیشتر مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار آن‌ها شد. بیشینه مقدار رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های رسی تیمار شده با نفت سفید و خاک‌های شنی تیمار شده با گازوئیل مشاهده شد. درحالی که بیشینه مقدار رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های لوم رسی و شن لومی تیمار شده با نفت سفید و خاک‌های لوم شنی تیمار شده با گازوئیل مشاهده شد. رس قابل پراکنش خود به خودی و همچنین رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به طور معنی‌داری بیشتر بود. رس قابل پراکنش خود به خودی در خاک‌های شن لومی نسبت به لوم رسی و لوم شنی بیشتر ولی رس قابل پراکنش مکانیکی در خاک‌های شن لومی و لوم شنی کمتر از خاک لوم رسی بود. به طور کلی نتایج نشان داد سطوح مختلف مواد نفتی اثرات معنی‌داری بر رس قابل پراکنش داشتند. با توجه به اینکه امروزه آلودگی خاک‌ها به مواد نفتی به خصوص به مواد پر مصرف نفتی رو به افزایش بوده و این موضوع از نقطه نظر زیست محیطی و بر اساس نوع استفاده و کاربری‌های گوناگون زمین می‌تواند مضر و محدودکننده باشد. بنابراین قبل از هر گونه اقدام لازم است اثر این مواد بر ویژگی‌های مختلف خاک‌ها بررسی شود تا شناخت و اطلاعات لازم در خصوص این خاک‌های آلوده افزایش یابد. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند با فراهم آوردن اطلاعات لازم در خصوص اثر مواد نفتی بر میزان رس قابل پراکنش به عنوان یکی از معیارهای استحکام و انسجام خاک و سایر ویژگی‌های مرتبط با آن، در تصمیم‌گیری‌های لازم برای استفاده‌های مختلف از خاک‌های آلوده به نفت و به‌ویژه در مسائل مدیریت و اصلاح این خاک‌ها و همچنین در شرایط استفاده از ترکیبات نفتی برای حفاظت از خاک در برابر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. تقدیسی حیدریان، س. ز.، خراسانی، ر. و امامی، ح. 1397. تأثیر زئولیت و کود گاوی بر برخی پارامترهای فیزیکی خاک. *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، 25(5)، 149-166.
2. خبازی، ه. و حسنلوراد، م. 1397. اثر آلاینده‌های نفتی بر خاصیت واگرایی و مقاومت برشی خاک های رسی واگرا. *نشریه مهندسی عمران امیر کبیر*، *50*(2)، 401- 408.

3. درستکار، و. و والی، ر. 1396. بررسی پایداری ساختمان و آبگریزی خاک در پاسخ به افزودن بقایای برگ انگور و پوست انار در سطوح مختلف شوری. *مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)*، *40*(2)، 29-46.

4. روشن قیاس، س.م. و باقری پور، م. ح. 1398. تأثیر آلودگی نفت خام بر خصوصیات ژئوتکنیک خاک رس کائولینیت در بستر راه. *مهندسی زیر ساختهای حمل و نقل*، *5*(18)، 101- 112.

5. صبور، م. ر.، قدردان، م. و احمدی، م. خ. 1396. بررسی عدم قطعیت اثر آلاینده گازوئیل بر رفتار ژئوتکنیکی خاک ماسه ای بستر مخازن نفتی. *نشریه مهندسی عمران امیر کبیر*، *49*(4)، 813- 820.

6. فرزادکیا، م.، عبداللهی‌نژاد، ب.، جنیدی‌جعفری، ا. و اسرافیلی دیزجی، ع. 1398. زیست پالایی خاک‌های آلوده به گازوئیل در بیوراکتور حاوی لجن فعال خام و ورمی کمپوست. *مجله مهندسی بهداشت محیط*، 7(1)، 53- 68.

7. کامل، ا.، صفادوست، ا. و مصدقی، م. ر. 1397. اثر آلودگی نفتی بر آبگریزی و منحنی مشخصه رطوبتی دو خاک با بافت متفاوت. *نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*، *32*(1)، 85- 97.

8. کرمانپور، م.، مصدقی، م. ر.، افیونی، م. و حاج‌عباسی، م. ع. 1394. اثر آلودگی نفتی بر آب‌گریزی و پایداری ساختمان خاک در منطقه بختیار دشت اصفهان. *علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، *19*(73)، 139-148.

9. مالکی شهرکی، م. 1395. *اثر هیدروکربن‌های نفتی، خاکستر سبوس برنج و زغال سنگ بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران)*.

10. مجرد، م.، عالم‌زاده، ع.، قریشی، گ. و جواهری، م. 1396. ارزیابی توانایی رشد و تجزیه زیستی نفت سفید توسط چندین باکتری جداسازی شده از خاک و آب آلوده به ترکیبات نفتی. *مجله منابع طبیعی ایران*، *70*(1)، 161- 172.

11. ملکیان، ا. و عطیفه کمال آباد، س. م. 1401. مبانی ترمودینامیک، مکانیک سیالات و انتقال حرارت. ایران، تهران: انتشارات نوآور. 254 ص.

12. مومنی، م.، فرزادکیا، م.، اسرافیلی، ع. و کرمانی، م. 1396. زیست پالایی خاک‌های آلوده به گازوئیل به روش تحریک زیستی در بیوراکتورهای ورمی کمپوست و لجن فعال. *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، *27*(158)، 179- 192.

13. نوری، م.، همایی، م. و بای بوردی، م. 1391. بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در حضور آلاینده سفید. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، *2*(1)، 37- 48.

14. Akinwumi, I. I., Diwa, D. and Obianigwe, N. 2014. Effects of crude oil contamination on the index properties, strength, and permeability of lateritic clay. *International Journal of Application Sciences Engineering Research*, *3*(4), 816-824.
15. Amézketa, E. (1999). Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture, 14*, 83-151.
16. Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Gueuero, C., Zomoza, R., Malaix-Beneyto, J. & Garcia-Orenes, F. (2008). Intermediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena. 74*, 219-226.
17. Benyahia, F., Abdulkarim, M., Zekri, A., Chaalal, O. and Hasanain, H. 2005. Bioremediation of crude oil contaminated soils: A black art or an engineering challenge. *Process Safety Environment Protection*, 83(4), 364-370.
18. Besalatpour, A. A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M. A., Mosaddeghi, M. R. & Schulin, R. 2013. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena, 111*, 72-79.
19. Chattopadhyay, P., Karthick, A., & Roy, B. 2019. A review on the application of chemical surfactant and surfactant foam for remediation of petroleum oil contaminated soil. *Journal of Environmental Management, 243*, 187-205.

20. Currie, I. G. 2003. *Fundamental Mechanics of Fluids*. 3rd Ed. Marcel Dekker Inc. New York, USA, 542 p.
21. Das, N. & Chandran, P. 2011. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*, 2011, 1-13.
22. Dexter, A. R., Czyz, G. E. A., Davy, J., Hardy, M. & Duval, O. 2011. Clay dispersion from soil as a function of antecedent water potential. *Soil Science Society of America Journal*, *75*, 444-455.
23. Dexter, A. R., Richard, G., Arrouays, D., Czyż, E. A., Jolivet, C., & Duval, O. 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma, 144*(3), 620-627.
24. Doerr, S. H., R. A. Shakesby and R. P. D. Walsh. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth Science*, 51, 33-65.
25. Gee, G. W., & Or, D. (2002). Particle size Analysis. In: Jacob, H. et al. (Eds.). Methods of soil analysis. Part 4, Physical Methods. Soil Science Society of America, Book Series, Madison, WI. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12
26. Greenland, D.J. 1965a. Interaction between clays and organic compounds in soils. Part I. ecahanisms of interaction between clays and defined organic compounds. *Soils and Fertilizers*, 28, 415-425.
27. Hafidh, H., 2016. OPEC Annual Statistical Bulletin 2016. Organization of the Petroleum Exporting Countries, 125 p.
28. Hosseini, F., Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A. & Sabzalian, M. R. 2015. Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. *Geoderma*, 249(250), 87–99.
29. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474, *In*: Spark, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
30. Nelson, P.N., Baldock, A., Clarke, P., Oades, J.M., and Churechman, G.J. 1999. Dispersed clay and organic matter in soil: their nature and associations. *Australian Journal of Soil Research*, 37, 289-319.
31. Pascal, S., and Barbier, G. 1995. Effect of soil salinity from long-term irrigation with saline– sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 64, 145-157.
32. Piccolo, A. & Mbagwu, J. S. C. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal, 63*, 1801-1810.
33. Pojasok, T. & Kay, B. D. 1990. Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural of mist aggregates. *Canadian Journal of Soil Science, 70*, 33-42.
34. Rengasamy, P. 1984. Dispersion of calcium clay. *Australian Journal of Soil Research, 20*, 153-158.
35. Tahhan, R. A., Ammari, T. G., Goussous, S. J. A., & Shdaifat, H. I. 2011. Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *65*, 130-143.
36. Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29–38.

Effect of Petroleum Products on the Amount of Spontaneously and Mechanically Dispersible Clays in Soils with Different Textures

R. Daryaee, A. A. Moosavi[1], R. Ghasemi, and M. Riazi

Former MSc. Student, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University; E-mail: raziyeh.daryaee@shirazu.ac.ir

Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University; E-mail: aamousavi@gmail.com

Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University; E-mail: ghasemif@gmail.com

Associate Professor, Department of Petroleum Engineering, College of Chemical, Petroleum, and Gas Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: mriazi180@gmail.com

Received: April, 2022, and Accepted: August, 2022

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of application of 0, 1.5, 3, and 4.5% of crude oil, kerosene, and gasoline on spontaneously and mechanically dispersible clay in three texturally different soils of clay loam, loamy sand, and sandy loam. In general, the results showed that the percentage of spontaneously dispersible clay in soils treated with kerosene and gasoline was significantly higher than that treated with crude oil by, respectively, 34% and 44%. Mechanically dispersible clay in soils treated with kerosene and gasoline were significantly higher than that of the crude oil treaded soils by nearly two folds. The percentage of spontaneously dispersible clay in the loamy sand soils was significantly higher than that of the clay loam and the sandy loam soils by nearly 21% and 57%, respectively. While mechanically dispersible clay in loamy sand soil was significantly less by about 31% than that in clay loam soil and about 32% more than that in sandy loam soil. In general, increasing the application rates of petroleum products increased the percentage of spontaneously and mechanically dispersible clay at low levels, but decreased the mentioned attributes at higher levels. The results showed that different levels of petroleum products had significant effects on dispersible clay. Therefore, the results of this study can provide the necessary information about the effect of petroleum materials on the amount of dispersible clay, as one of the soil strength and cohesion criteria and other related characteristics. This information can be used in making the necessary decisions for management and reclamation of different types of oil-contaminated soils, and for using petroleum compounds to protect the soil against erosion.

Keywords: Clay loam, Crude oil, Gasoline, Kerosene, Loamy sand, Sandy loam

[1]. Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University

Overview of the Status of Macro Elements, Salinity, and Organic Carbon in Some Paddy Lands of Gilan Province

H. Shokri Vahed[1], N. Davatgar, M. Kavoosi, S. Babazadeh, L. Rezaee, and M. Shakouri

Scientific Board Member, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: shokri_v@yahoo.com

Assist. Profesoor., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: n_davatger@ yahoo.com

Assoc. Professor., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: masoud_kavoosi2@yahoo.com

PhD. candidate, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: babazadeh50@yahoo.com

PhD. candidate, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: l.rezaee77@gmail.com

PhD. candidate, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: maryamshakouri@yahoo.com

Received: October, 2021, and Accepted: May, 2022

Abstract

Lack of awareness of changes in soil content of nutrient elements in different farms and applying the same fertilizer recommendations cause some soils to receive more, and some less, than the required fertilizer. The aim of this study was to investigate the spatial changes and status of macro elements including N, P and K and some important soil properties such as OC, EC, and pH in some paddy fields of Gilan Province. To this end, in 2018, before preparing the land for cultivation, composite soil sampling was performed from 0 to 30 cm depth of paddy fields in Masal, Rudbar, Meqdad (Khoshkbijar, Lashtnashah, Khomam) and Siahkal areas, with spacings of at least 500 m. Using the results of soil analysis, status of the desired characteristics was evaluated based on descriptive statistics. Then, excess and deficiency of nutrients in paddy lands were determined. Data analysis showed that available phosphorus was one of the major limitations in the study areas, such that more than 80% of the sampled soils in Siahkal, 72% in Rudbar, 65% in Masal, and 54% in Meqdad were deficient in P. Potassium had better conditions than P, such that 51.3% of the soils in Siahkal area, 31% in Rudbar, 66% in Masal, and 26%in Migdad had available K lower than the critical level. Also, 19.4% of soils in Meqdad region, 36.6% in Siahkal, 48.4% in Masal, and 100% in Rudbar had total N lower than the critical level (0.2 %). Examination of the condition of paddy soils at the sampling points showed that the spatial distribution of nutrients was not the same. The findings of this study showed that using the same fertilizer recommendation is not suitable for different paddy lands; and distribution of fertilizer in different areas of the province should be done according to the soil analysis of each region.

Keywords: Descriptive statistics, Paddy fields, Rice, Spatial variability, Macro nutrients

[1] Corresponding author: Soil and Water Research Dept., Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran.

Effect of Vermicompost on Green Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water Stress and Soil Characteristics after Harvest

M. Mosapour, M. Feizian[1], and Z. Bolhasani
PhD candidate, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University;
E-mail: maryam.mosapour8@gmail.com
Associate Professor of Soil Chemistry and Fertility, Faculty of Agriculture, Lorestan University;
E-mail: feizian.m@lu.ac.ir
PhD candidate, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University;
E-mail: z.bolhasani93@yahoo.com
Received: September, 2021, and Accepted: May, 2022

Abstract

One of the most important factors limiting the growth and yield of plants is moisture stress. The purpose of this experiment was to investigate the effect of different levels of vermicompost and moisture stress on some plant and soil characteristics after harvesting basil. The experiment was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with two factors and three replications in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Lorestan University. Treatments consisted of four vermicompost levels (0, 10, 20, and 30 g kg^{-1}soil) and three moisture levels (no stress), 75%, and 55% of field capacity (FC). The results showed that the highest fresh weight (58.96 $g.pot^{-1}$), dry weight (5.9 $g.pot^{-1}$) and shoot phosphorus concentration (0.42%) were observed in the treatment without moisture stress and with application of 30 g of vermicompost, and the lowest amounts of fresh and dry weight and shoot phosphorus were observed in the highest level of moisture stress and non-application of vermicompost. The results also showed that the highest concentrations of nitrogen (4.74%) and potassium (3.90%) of shoots were observed at the highest level of moisture stress and application of 30 g of vermicompost. In the soil after harvest, the highest concentrations of nitrogen (0.2%) and available phosphorus (26.25 mg kg^{-1}) were observed in 30 $g.kg^{-1}$ treatment of vermicompost with moisture stress (55% FC), and the lowest was observed in the control treatment. Considering these results, it can be stated that vermicompost has positive effects on increasing the growth of basil under water stress.

Keywords: Moisture stress, Organic fertilizer, Macro elements

[1]. Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, I.R. Iran.

Effects of Some Plant Growth Biostimulants on Yield and Yield Components of Rapeseed (*Brasica napus* L.) in a Saline Calcareous Soil

M. H. Mirzapour[1] and F. Nour Gholipour

Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO);
E-mail: mhmirzap@yahoo.com
Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); E-mail: nourfg@yahoo.com

Received: January, 2022, and Accepted: Auguest, 2022

Abstract

The purpose of this study was to use some plant growth biostimulants to improve canola yield in calcareous saline conditions. Therefore, a two-year experiment was conducted in Qomroud section of Qom Province during two cropping years of 2018-20 in a soil with salinity of about 13 and 10 $dS.m^{-1}$, respectively, and irrigation water of 7.5-8 $dS.m^{-1}$. The study was carried out in field conditions with uniform and flat soil using a randomized complete blocks design, in three replications. Seeds of Hayola-50 cultivar were planted by hand. Experimental treatments were: 1) Control (application of chemical fertilizer based on soil test), 2) Soil application of humic acid (treatment 1+ soil application of 5 kg of humic $acid.ha^{-1}$), 3) Amino acid spraying (treatment 1+ spraying of amino acid with a concentration of 5 g per thousand), 4) Foliar spraying of humic acid (treatment 1+ spraying of humic acid with a concentration of 5 g per thousand), 5) Foliar spraying of folic acid (treatment 1+ foliar acid spraying with a concentration of 5 g per thousand), 6) Spraying of seaweed extract (treatment 1+ spraying of seaweed extract with a concentration of 5 g per thousand), and 7) Combined treatment (including treatment 1+ treatments 2, 3, 4, 5 and 6). Foliar application was done at two stages of 57 (after rosette) and 59 (before flowering). The biennial results showed that the combined treatment of growth biostimulants had a significant effect on grain and oil yield as well as some agronomic characteristics of rapeseed. The highest grain and straw yield was obtained from treatment 7 with an average of 4565 and 1066 $kg.ha^{-1}$, respectively. Also, the highest mean values of K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, and Cu were obtained in, respectively, treatments 7, 1, 7, 7, 3, 4, 1, and 6. In addition, the highest uptake of K, Ca, Mg, and Fe was observed in treatment 7, followed by Zn and Cu in treatment 6, and in the case of Cu, in treatment 1. Based on the results, the combined use of growth biostimulants, compared to the control treatment, had a significant effect on yield and some agronomic characteristics of rapeseed in saline conditions, indicating the effect of these substances on increasing rapeseed tolerance to saline conditions.

Keywords: Humic acid, Folic acid, Amino acid, Seaweed extract, Salinity

[1]. Corresponding author: Horticulture Crops Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Effect of Different Levels of Phosphorus on Growth, Yield, and Phosphorus Uptake Efficiency in Safflower Cultivars

M. A. Khodshenas[1], J. Ghadbeiklou, and F. Nourgholipour
Scientific Member , Soil and Water Department, Markazi Agricultural and Resources Research and Training Center, AREEO, Arak, Iran; E-mail: khodshenasm@gmail.com
Scientific Member , Soil and Water Department, Markazi Agricultural and Resources Research and Training Center, AREEO, Arak, Iran; E-mail: ghadbykloo@gmail.com
Scientific Member , Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran; E-mail: nourfg@yahoo.com
Received: February, 2022, and Accepted: May, 2022

Abstract

In order to determine the efficiency of different safflower (*Carthamus tinctorius L.*) cultivars in terms of their uptake and response to phosphorus fertilizer application, a 2-year (2016-2018) experiment was conducted in a randomized complete block design as 2 x 5 factorial with three replications at the Arak Agricultural Research Center Station. Treatments included two cultivars of Sina and Padideh and five levels of phosphorus (0, 25, 50, 75 and 100 $kg.ha^{-1}$) as triple superphosphate. The results of analysis of variance showed that grain yield, number of bolls, 1000-seed weight, phosphorus, nitrogen, and potassium uptake, and total phosphorus yield were affected by the effect of cultivar and phosphorus levels. Apart from the total dry matter weight and phosphorus concentration, other studied characteristics were affected by the year. Plant height and nitrogen concentration were affected only by cultivar, while total dry matter weight and phosphorus concentration were affected by phosphorus levels. Comparison of the mean effect of phosphorus levels on grain yield showed that the maximum grain yield in both cultivars was obtained in treatment of 25 kg P/ha. In terms of total phosphorus efficiency, the level of 50 and in terms of phosphorus grain uptake efficiency and phosphorus-stress factor the level of 25 kg P/ha were optimal. Phosphorus efficiency indices did not differ significantly between the two cultivars, but Sina cultivar showed higher phosphorus uptake than Padideh.

Keywords: Fertilizer application, Phosphorus efficiency, Safflower nutrition

[1]. Corresponding author: Markazi Agricultural and Resources Research and Training Center, Arak, Iran.

Assessing Land Suitability for Wheat Cultivation in Irrigated Plains of Iran

M. N. Navidi[1], J. Seyedmohammadi, S. A. R. Seyedjalali, A. Zeinadini, A. Farajnia, G. R. Zareain, N. R. Toomanian, S. Fatehi, M. Eskandari, and B. Delsooz

Assistant Professor., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: n.navidi@areeo.ac.ir
Assistant Professor., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: j.mohammadi@areeo.ac.ir
Assistant Professor., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: ajalali@areeo.ac.ir
Associate Professor., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: a.zeinadini@areeo.ac.ir
Research instructor of Soil and Water Research Department, East Azarbyjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran; E-mail: farajnia1966@yahoo.com
Assistant Professor., Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zarghan, Iran; E-mail: gh.zareian@areeo.ac.ir
Associate Professor., Soil and Water Research Department, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran; E-mail: norairtoomanian@gmail.com
Assistant Professor., Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran; E-mail: sh.fatehi@areeo.ac.ir
Assistant Professor., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: mahnazskandari@yahoo.com
Researcher of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: b_delsooz@yahoo.com
Received: May, 2022, and Accepted: August, 2022

Abstract

Land suitability studies of Iran have been scattered and few of them have investigated specifically land suitability for agriculture. Indeed, most of the studies have been conducted locally and, so far, comprehensive studies have not been done at the country level. Determining the suitability of Iran's agricultural lands for production of crops is one of the most important tools for the optimal use of soil resources. For this purpose, by consolidating, preparing and digitizing soil survey and classification studies in the country and according to satellite images and land use maps and considering agro-climatic zones, soil units were identified to determine the potential of land for irrigated wheat in the irrigated plains of the country. Then, by entering the climate, soil and topographic data in the prepared software based on the FAO approach and parametric square root method, the suitability of all soil units was assessed for irrigated wheat. The results show that, in the irrigated plains, 1.4 Mha of land is in S1 class, 2.08 M ha are in S2 class, 1.4 Mha in S3 class, and 524 thousand ha have currently unsuitable class (N1), with 503 thousand ha being permanently unsuitable (N2). Statistical analysis of the data showed that the separation of land suitability classes has acceptable accuracy. The main limiting characteristics of lands are the soil physical properties including texture, salinity and alkalinity, slope, drainage, and in some areas, climatic characteristics. Due to the comprehensive map of land suitability and differentiation of suitable lands from the unsuitable ones, application of the results obtained with ideal management and usage of irrigated lands in the country will lead to the conservation of land resources, especially soil and sustainable production. Notably, the above results are the basic information layer that along with other aspects including economic issues are needed for developing a suitable cropping pattern.

Keywords: Irrigated wheat, Land limitations, Land potential

[1.] Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Land Evaluation Research Department, Karaj, Iran.

Effect of Azotobacter Biofertilizer and Management of Urea Application Accompanied with Manure on Yield and Protein Content of Rained Wheat

M. H. Sedri[1], E. Roohi, and M. K. Bostani

Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran; E-mail: Sedri_mh@yahoo.com
Assistant Professor, Crop and Horticultural Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. AREEO, Sanandaj, Iran;
E-mail: roohiebrahim@yahoo.com
Researcher, Soil and Water Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran; E-mail: mkb1348@yahoo.com

Received: November, 2021, and Accepted: May, 2022

Abstract

In order to investigate the effect of seed inoculation with Azotobacter and, urea and manure on yield and protein content of rainfed wheat, an experiment was carried out with two levels of manure including M0 (without manure) and M15 (15 ton per hectare) and ten fertilizer treatments with different application methods of urea and seed inoculation with Azotobacter. Experimental treatments on Azar2 variety included T1=Check (without application of urea), T2=Total of urea in autumn, T3=Total of urea in spring, T4=Half of urea in autumn + Half of urea in spring, T5=Half of urea in autumn + spraying of urea in spring, T6=Inoculation of seed with Azotobacter, T7=(T2+T6), T8=(T3+T6), T9=(T4 +T6), T10= (T5+T6) as subplots. The experiment was carried out with three replications in fallow-wheat rotation as split-plot in a randomized complete block design at Ghamloo Research Station. Results showed that the effect of manure on biological yield, grain yield, and thousand kernel weight (TKW) was significant at 1%, 1%, and 5% probability levels, respectively. The effects of urea treatments on biological yield, grain yield, and TKW were all significant at 1% probability levels. Interaction effects of manure and fertilizer treatments on biological yield, grain yield, and TKW were not significant. Mean comparison of different traits on Duncan multiple range tests, indicated that grain yield of T4, T8, T3, T2, T5, T9, T7, and T10 compared with check increased significantly ($p<0.05$) as 845, 833, 759, 755, 678, 657, 670 and 622 kg. ha^{-1}, respectively, and all were in one statistical group. T6 did not differ relative to the check. Interaction effects of manure and fertilizer treatments on grain protein content were significant ($p<0.05$). Mean comparison of the main effect of different fertilizer treatments were indicated that except for treatment 6, other treatments compare with check were increased grain protein content but this increase was significant ($p<0.05$) only for T8. Generally, result indicated that for rainfed wheat, the best application time of total urea was in autumn; and in the conditions of using half of urea in autumn, foliar application of urea (5%) in spring (tillering stage) as a plant nitrogen supplement can be recommended.

Keywords: Nitrogen fertilizer, Wheat quality traits, Fertilizer application time

[1]. Corresponding author: Soil and Water Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Sanandaj, Iran

Contents

Subject **Page**

Effect of Azotobacter Biofertilizer and Management of Urea Application Accompanied with Manure on Yield and Protein Content of Rained Wheat **8**
M. H. Sedri, E. Roohi, and M. K. Bostani

Assessing Land Suitability for Wheat Cultivation in Irrigated Plains of Iran **9**
M. N. Navidi, J. Seyedmohammadi, S. A. R. Seyedjalali, A. Zeinadini, A. Farajnia, G. R. Zareain, N. R. Toomanian, S. Fatehi, M. Eskandari, and B. Delsooz

Effect of Different Levels of Phosphorus on Growth, Yield, and Phosphorus Uptake Efficiency in Safflower Cultivars **10**
M. A. Khodshenas, J. Ghadbeiklou, and F. Nourgholipour

Effects of Some Plant Growth Biostimulants on Yield and Yield Components of Rapeseed (*Brasica napus* L.**) in a Saline Calcareous Soil** **11**
M. H. Mirzapour and F. Nour Gholipour

Effect of Vermicompost on Green Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water Stress and Soil Characteristics after Harvest **12**
M. Mosapour, M. Feizian, and Z. Bolhasani

Overview of the Status of Macro Elements, Salinity, and Organic Carbon in Some Paddy Lands of Gilan Province **13**
H. Shokri Vahed, N. Davatgar, M. Kavoosi, S. Babazadeh, L. Rezaee, and M. Shakouri

Effect of Petroleum Products on the Amount of Spontaneously and Mechanically Dispersible Clays in Soils with Different Textures **14**
R. Daryaee, A. A. Moosavi, R. Ghasemi, and M. Riazi

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

Soil and Water Research Institute Soil Science Society of Iran

Research and Soientific Journal
Iranian Journal of Soil Research

Vol. 36, No. 2
2022

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

Editorial Board

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

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

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

Soil and Water Research Institute

Soil Science Society of Iran

Journal of
Soil Research

(Soil and Water Sciences)

http:// www.srjournal.areeo.ir

Volume 36 \ No. 2 \ 2022

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject — Page

Effect of Azotobacter Biofertilizer and Management of Urea Application Accompanied with Manure on Yield and Protein Content of Rained Wheat 8
M. H. Sedri, E. Roohi, and M. K. Bostani

Assessing Land Suitability for Wheat Cultivation in Irrigated Plains of Iran 9
M. N. Navidi, J. Seyedmohammadi, S. A. R. Seyedjalali, A. Zeinadini, A. Farajnia, G. R. Zareain, N. R. Toomanian, S. Fatehi, M. Eskandari, and B. Delsooz

Effect of Different Levels of Phosphorus on Growth, Yield, and Phosphorus Uptake Efficiency in Safflower Cultivars 10
M. A. Khodshenas, J. Ghadbeiklou, and F. Nourgholipour

Effects of Some Plant Growth Biostimulants on Yield and Yield Components of Rapeseed (*Brasica napus* L.) in a Saline Calcareous Soil 11
M. H. Mirzapour and F. Nour Gholipour

Effect of Vermicompost on Green Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water Stress and Soil Characteristics after Harvest 12
M. Mosapour, M. Feizian, and Z. Bolhasani

Overview of the Status of Macro Elements, Salinity, and Organic Carbon in Some Paddy Lands of Gilan Province 13
H. Shokri Vahed, N. Davatgar, M. Kavoosi, S. Babazadeh, L. Rezaee, and M. Shakouri

Effect of Petroleum Products on the Amount of Spontaneously and Mechanically Dispersible Clays in Soils with Different Textures 14
R. Daryaee, A. A. Moosavi, R. Ghasemi, and M. Riazi