



انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی



موسسه تحقیقات خاک و آب

پژوهش‌های خاک

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

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۷ / شماره ۳ سال ۱۴۰۲

صفحه

فهرست

عنوان

مدیریت یکپارچه خاک و آب در مقیاس مزرعه در زیر حوضه هنام (قسمت اول: تعیین واحدهای

همگن مدیریت خاک و آب)..... ۱۹۹

محمدرضا بلالی، سینا ملاح، کامران افتخاری، حامد رضایی، کامبیز بازرگان، وینای نانجیا، فرهاد مشیری، سعید غالبی، میر ناصر نویدی، بهاره دلسوز خاکی، علیرضا ضیایی جاوید، مهدی پناهی، محمدرضا امداد، ناصر دواتگر، شهرام امیدواری، محمدحسین داوودی، اشرف اسمعیلی زاد، فرهاد رجالی، زهرا محمداسماعیل، مراد سپهوند، مرادعلی قنبرپوری، صمد عبدی، معصومه متین کیا، مهناز سپهوند و مراد عزیزالهی

اثر رطوبت خاک و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در اراضی شور ماهشهر..... ۲۲۹

سپیده ریسمان باف، سید کیوان مرعشی و تیمور بابایی نژاد

تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی ذرت علوفه‌ای رشد یافته در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب..... ۲۴۳

یوسف رضا باقری، احمد گلچین، حامد رضایی و لیلا اسماعیل نژاد

بررسی رابطه اسیدیته خاک با برخی از ویژگی‌های کیفی برگ سبز چای در چای‌کاری‌های استان گیلان..... ۲۵۹

احمد شیرین‌فکر، شاهین اوستان، نصرت اله نجفی و عادل ریحانی تبار

اثر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریزی بر زی‌توده و جذب عناصر غذایی نهال‌های فندق در شرایط عرصه..... ۲۷۷

یونس رستمی کیا، محمد متینی زاده و احمد رحمانی

اثر خاک اره صنوبر و بیوپارهای آن بر روند واجذب کادمیم در یک خاک آهکی..... ۲۹۱

فهمیه بهاروندی، محمد فیضیان، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی و صمد عبدی

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

انجمن علوم خاک ایران

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی
پژوهش‌های خاک

جلد ۳۷ شماره (۳)

۱۴۰۲

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

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

استاد و رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

مدرس دانشگاه
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دانشیار دانشگاه تهران
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دانشیار پژوهش سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
استاد دانشگاه تهران
دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد دانشگاه تبریز

دکتر محمد بای بوردی
دکتر حسین بشارتی
دکتر محمدرضا بلالی
دکتر کامبیز بازرگان
دکتر حسن توفیقی
دکتر غلامحسین حق نیا
دکتر کاظم خاوازی
دکتر محمدحسن روزیطلب
دکتر امیر فتوت
دکتر منوچهر گرجی
دکتر عزیز مؤمنی
دکتر محمدرضا نیشابوری

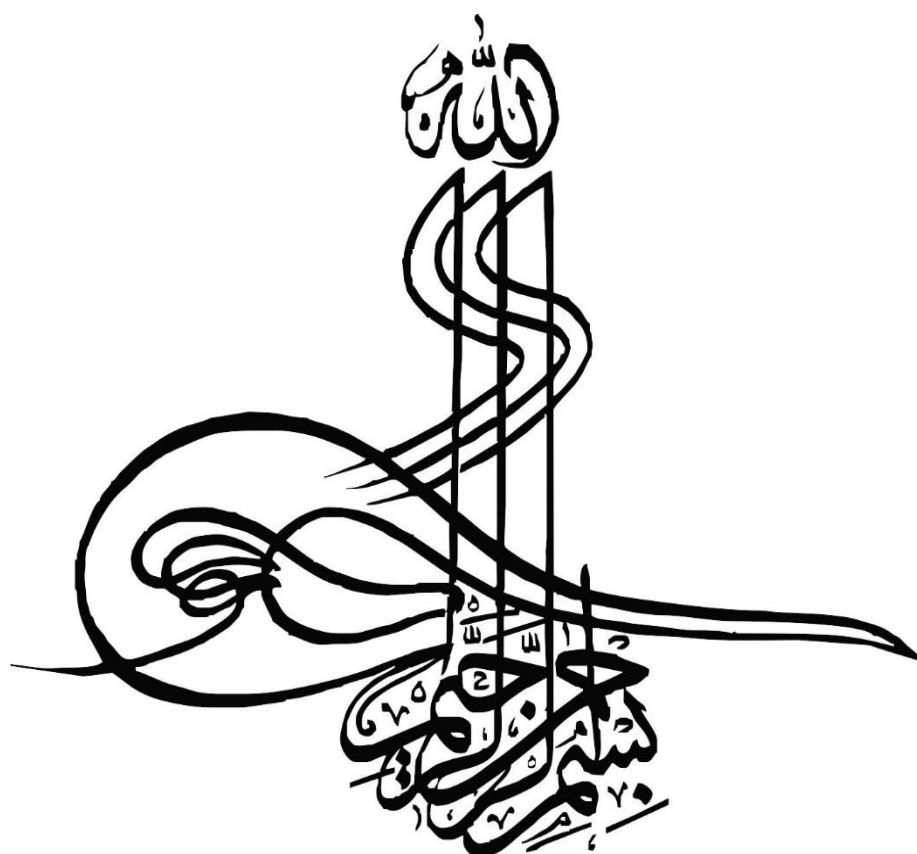
دکتر حمید سیادت
مهندس کیانا خامه‌چی
چهار شماره

ویراستار انگلیسی:
تایپ و صفحه آرایی:
تعداد انتشار در سال:

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

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

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



- مدیریت یکپارچه خاک و آب در مقیاس مزرعه در زیر حوضه هنام
(قسمت اول: تعیین واحدهای همگن مدیریت خاک و آب)..... ۱۹۹
- محمدرضا بلالی، سینا ملاح، کامران افتخاری، حامد رضایی، کامبیز بازرگان، وینای نانجیا، فرهاد مشیری، سعید غالبی،
میر ناصرنویدی، بهاره دلسوز خاکی، علیرضا ضیایی جاوید، مهدی پناهی، محمدرضا امداد، ناصر دواتگر، شهرام امیدواری،
محمدحسین داوودی، اشرف اسمعیلی زاد، فرهاد رجالی، زهرا محمداسماعیل، مراد سپهوند، مرادعلی قنبرپوری، صمد عبدی،
معصومه متین کیا، مهناز سپهوند و مراد عزیزالهی
- اثر رطوبت خاک و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در اراضی شور ماهشهر..... ۲۲۹
- سپیده ریسمان باف، سید کیوان مرعشی و تیمور بابایی نژاد
- تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی ذرت علوفه‌ای رشد یافته در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب..... ۲۴۳
- یوسف رضا باقری، احمد گلچین، حامد رضایی و لیلا اسماعیل نژاد
- بررسی رابطه اسیدپتیکه خاک با برخی از ویژگی‌های کیفی برگ سبز چای در چای‌کاری‌های استان گیلان..... ۲۵۹
- احمد شیرین‌فکر، شاهین اوستان، نصرت اله نجفی و عادل ریحانی تبار
- اثر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریزی بر زی‌توده و جذب عناصر غذایی نهال‌های فندق در شرایط عرصه..... ۲۷۷
- یونس رستمی کیا، محمد متینی زاده و احمد رحمانی
- اثر خاک اره صنوبر و بیوچارهای آن بر روند واجذب کادمیم در یک خاک آهکی..... ۲۹۱
- فهیمة بهاروندی، محمد فیضیان، افسانه عالی نژادیان پیدآبادی و صمد عبدی

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

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

الف) اصول کلی

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

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

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

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

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

۱- مقاله حداکثر در ۱۵ صفحه A4 با فاصله خطوط ۱/۵ و حاشیه‌های ۳ سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک

ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.

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

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

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

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی، موقعیت شغلی نگارنده(گان)، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نگارنده(گان) در آن اشتغال دارند، نشانی کامل نگارنده(گان) و نام و مشخصات نگارنده مسئول مکاتبات (به هر دو زبان فارسی و انگلیسی) و پست الکترونیکی همه نویسندگان در صفحه چکیده ها تایپ و در قسمت فایل‌های با نام نویسنده (گان) بارگذاری نمایند و در قسمت بدون نامه نویسنده(گان) مقاله بدون نام بارگذاری گردد. * نگارنده مسئول باید فرم تعهدنامه را که با امضای کلیه نگارندگان و الزامی می باشد در قسمت فایل‌های پیشیناز بارگذاری نماید.

عنوان مقاله

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

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

واژه‌های کلیدی:

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

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

مقدمه

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

مواد و روش‌ها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

– در صورت عدم رعایت دقیق مطالب 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.

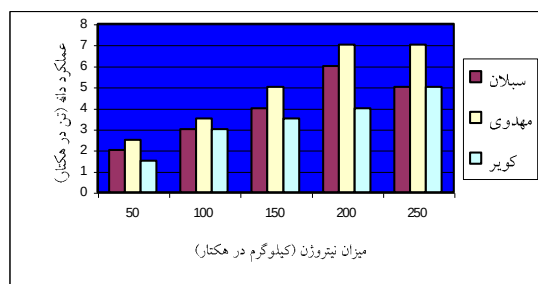
جدول نامناسب

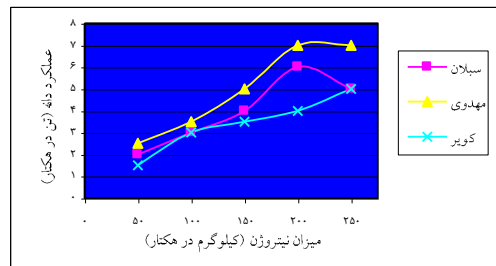
عمق (cm)	pH	EC (dS. m ⁻¹)	TNV (%)	OC (%)	Pava il	Kavail .	Mge xch	بافت
۰-۳۰	۸/۲	۷/۶	۲۸	۰/۶۲	۳/۶	۲۹۰	۳۰۰	لومی رسی
۳۰-۶۰	۸/۲	۷/۲	۳۰	۰/۵۰	۰/۶	۲۹۵	۳۰۵	لومی رسی
۶۰-۹۰	۷/۸	۹/۵	۳۳	۰/۲۱	۰/۵	۳۳۲	۲۸۶	لومی شنی

جدول مناسب

عمق (cm)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	TNV (%)	OC (%)	P _{av}	K _{av}	Mg _{ex}	بافت
۰-۳۰	۸/۳	۷/۶	۲۸	۰/۶۲	۳/۶	۲۹۰	۳۰۰	لومی رسی
۳۰-۶۰	۸/۲	۷/۲	۳۰	۰/۵۰	۶۰	۲۹۵	۳۰۵	لومی رسی
۶۰-۹۰	۷/۸	۹/۵	۳۳	۰/۲۱	۵۰	۲۳۲	۲۸۶	لومی شنی

نامناسب



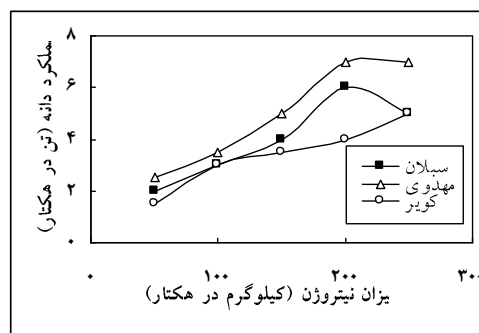


مناسب

نامناسب



مناسب



نشریه پژوهش‌های خاک

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

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

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

تعداد داوری	اسامی داوران
۲	دکتر الیاس دهقان
۲	دکتر علی چراتی
۱	دکتر نفیسه یغمائیان
۵	دکتر علیرضا جعفرنژادی
۴	دکتر سید علی اکبر موسوی
۱	دکتر حدیث حاتمی
۱	دکتر حمید ملاحسینی
۱	دکتر مژگان یگانه
۱	دکتر هوشنگ خسروی
۲	دکتر ناصر علی اصغر زاد

مدیریت یکپارچه خاک و آب در مقیاس مزرعه در زیر حوضه هنام

(قسمت اول: تعیین واحدهای همگن مدیریت خاک و آب)

محمدرضا بلالی^۱، سینا ملاح^۱، کامران افتخاری^۱، حامد رضایی^۱، کامبیز بازرگان^۱، وینای نانجیا^۲، فرهاد مشیری^۱، سعید غالبی^۱، میر ناصر نویدی^۱، بهاره دلسوز خاکی^۱، علیرضا ضیایی جاوید^۱، مهدی پناهی^۱، محمدرضا امداد^۱، ناصر دواتگر^۱، شهرام امیدواری^۱، محمدحسین داوودی^۱، اشرف اسمعیلی‌زاد^۱، فرهاد رجالی^۱، زهرا محمداسماعیل^۱، مراد سپهوند^۲، مرادعلی قنبرپوری^۲، صمد عبدی^۲، معصومه متین کیا^۲، مهناز سپهوند^۲ و مراد عزیزی^۲

^۱ محققان و اعضاء هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

^۲ محقق مؤسسه بین المللی تحقیقات مناطق خشک (ایکارد)

^۳ اعضاء هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان

^۴ مروجین پهنه تولیدی مرکز جهاد کشاورزی علی آباد

^۵ تسهیلگر محلی

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۵ و پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۷

چکیده

مقاله حاضر، بررسی مراحل دستیابی به چارچوب بومی-اجرایی مدیریت یکپارچه (تلفیقی) خاک و آب در مقیاس مزرعه است که از طریق طرح کلانی با ۱۹ پروژه از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۹ با مشارکت محققین، کارشناسان و کشاورزان از سطح بین‌المللی، ملی، و محلی در زیر حوضه هنام استان لرستان انجام شد. برای این منظور، زمین‌های کشاورزی براساس ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، دسته‌بندی شد تا با شناخت مسائل مدیریت خاک و آب برای کشاورزی در یک واحد همگن، تبدیل نقشه‌های خاکشناسی به نقشه‌های واحدهای مدیریت همگن امکان‌پذیر باشد. در این پژوهش، روش طبقه‌بندی استعداد حاصلخیزی خاک (FCC)^۱ به عنوان رویکردی یکپارچه که بافت خاک سطحی و عمقی و توصیف‌کننده‌های خاک را در بر می‌گیرد، استفاده شد. همچنین، تعریف چندین توصیف‌کننده برای مناطق نیمه خشک تغییر کرده و توصیف‌کننده‌های جدیدی برای طبقه‌بندی استعداد آبیاری (ICC)^۲ معرفی شد. اطلاعات مورد نیاز با حفر ۱۱۹ نیم‌رخ خاک و نمونه‌برداری از ۱۰۱ نقطه خاک سطحی در مقیاس مدیریت‌پذیر جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی نمونه‌ها، اندازه‌گیری شد. سپس، لایه‌های اطلاعاتی مختلف شامل نقشه نیمه تفصیلی دقیق خاک با استفاده از روش زمین‌خاکشناسی (ژئوپدولوژی)، محدودیت، طبقه‌بندی و تناسب اراضی، توان (پتانسیل) تولید محصولات عمده کشاورزی، تخریب خاک، محل‌های برداشت آب، کاربری اراضی و حدنگار (کاداستر) کشاورزی ۲۳۹۵ مزرعه، تهیه شد. تیم چندرشته‌ای با بازدید محلی و مصاحبه با ۸۴ کشاورز منتخب ۲۴ روستا از طریق پرسشنامه در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸، مسائل و وضعیت فعلی خاک و آب آن‌ها را بررسی نمود. بر پایه نتایج، تعداد ۲۳ واحد همگن مدیریت خاک و آب در اراضی آبی و ۳۰ واحد همگن در اراضی دیم تفکیک شد. این واحدهای همگن، ۹۳٪ از اراضی آبی و ۹۰٪ از اراضی دیم را می‌پوشاند. بررسی‌ها نشان داد که منطقه دارای مشکلاتی مانند سخت لایه شخم، کمبود عناصر غذایی فسفر و روی، برنامه-ریزی نامناسب آبیاری و سه دسته متفاوت بهره‌بردار بود. سرانجام، برای هر واحد همگن مدیریت خاک و آب، بسته مدیریتی تهیه شد و اعتبارسنجی گردید که نتایج آن در قسمت دوم مقاله ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت تلفیقی، مدیریت جامع آبخیز، شکاف عملکرد، بسته مدیریتی، تحقیق مشارکتی

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: mrbalali68@gmail.com



¹ Fertility Capability Classification (FCC)

² Irrigation Capability Classification (ICC)

مقدمه

جنبه‌های سیاسی-اجتماعی-اقتصادی، نوسانات جمعیتی و جنبه زیست-فیزیکی سه نیروی محرکه هم‌زمان تخریب اراضی و کمبود آب در دوران مدرن و صنعتی بوده است. گذار به رویکرد فکری و اگرایی، سرعت گرفتن تخریب منابع و کاهش خاصیت کشش‌پذیری زیست‌بوم را به همراه داشته و این سؤال را به وجود آورده است که چگونه سه جنبه بیان شده را می‌توان به یکدیگر مرتبط نمود و با هم در نظر گرفت. این مسئله، نیازمند چارچوبی کل‌نگر است تا شرایط منطقه را مدنظر داشته و گذار به همگرایی جدید و مدیریت پایدار آب و اراضی را آسان نماید.

بشر تا به امروز راه‌حل را در مدیریت یکپارچه منابع آب و مدیریت پایدار اراضی جستجو نموده است. مدیریت یکپارچه منابع آب^۳، مدیریتی است که "مبتنی بر تلقی آب به‌عنوان جزء جداناپذیر زیست‌بوم و تلقی آب به عنوان خیر اجتماعی و اقتصادی است که کمیت و کیفیت آن نحوه استفاده‌اش را تعیین می‌نماید" و مدیریت پایدار اراضی^۴، به‌صورت "فناوری‌ها، سیاست‌ها و فعالیت‌ها را باهدف تلفیق اصول اجتماعی-اقتصادی همراه با دغدغه‌های محیط زیستی به گونه‌ای در نظر می‌گیرد تا سطح تولید را حفظ یا افزایش داده، مخاطرات تولید را کاهش، توان زیست‌بوم منابع طبیعی را حفظ و از تخریب خاک و آب جلوگیری نماید، از نظر اقتصادی قابل‌دوام و از جنبه اجتماعی قابل‌پذیرش باشد" تعریف می‌شود (اسمیت و دومانسکی، ۱۹۹۳). در دستور کار ۲۱ سازمان ملل متحد برای اجرایی شدن توسعه پایدار در کنفرانس جهانی ریودوژانیرو (۱۹۹۲)، سعی شد تا به این چالش پاسخ داده شود و این امکان را فراهم آورد تا با ایجاد ادبیات مشترک، انسجام و هم‌افزایی بین بخش‌های مختلف را تسهیل نمایند.

به دلیل چالش برانگیز بودن تلفیق بخش‌های مرتبط با مدیریت آب و اراضی از یک سو و منطقه‌ای بودن مسائل و امکان نداشتن تعمیم راه‌حل‌های مدیریت یکپارچه منابع آب و اراضی^۵ در سطح جهانی از سوی دیگر، بایستی این تعاریف با اهداف توسعه کشورها سازگار گردیده و با راهبردهای توسعه پایدار مرتبط شوند (رحمان و واریس، ۲۰۰۵). در اسناد بالادستی کشور، توسعه کشاورزی پایدار را بر بستر مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز و در مناطق کشاورزی، روستایی و عشایری بنا نهاده، بهره‌برداری پایدار منابع و مدیریت یکپارچه را با نگاه کل‌نگر از مزرعه تا سفره تعیین نموده و مسئولیت تهیه مدل‌های علمی-بومی آن را بر دوش نهادهای علمی گذاشته است (هدف کلان ۵ نقشه جامع علمی بخش کشاورزی، ۱۳۹۱؛ برنامه علم و فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان کشاورزی، آب و منابع طبیعی، ۱۳۹۶).

برای دستیابی به چارچوب بومی مدیریت یکپارچه خاک و آب، بسته‌های مدیریتی تلفیقی در مقیاس مزرعه و تعمیم آن در مناطق کشاورزی کشور، اولین تلاش بومی ذیل برنامه چالش آب و غذا^۶ در حوزه آبخیز کرخه از سال ۱۳۸۳-۱۳۸۸ با مشارکت گروه مشورتی بین‌المللی کشاورزی (CGIAR)^۷ و موسسه تحقیقات بین‌المللی مناطق خشک (ICARDA)^۸ در مقیاس حوضه^۹ انجام شد (غفوری و همکاران، ۲۰۱۲). در این سطح از مطالعه، دو منطقه آزمایشی شامل زیر حوضه هنام و مرک در بالادست حوزه بر اساس شاخص مشابهت^{۱۰} انتخاب شدند تا نتایج آن به مناطق مشابه، تعمیم یابد. در ادامه، طرح کلان "تلفیق عوامل خاکی-آبی در راستای نیل به تولید پایدار محصولات کشاورزی در زیر

^۶ Challenge Program on Water and Food (CPWF)

^۷ Consultative Group on International Agricultural Research

^۸ International Center for Agricultural Research in the Dry Areas

^۹ Basin Level

^{۱۰} Similarity Index

^۳ Integrated Water Resource Management (IWRM)

^۴ Sustainable Land Management (SLM)

^۵ Integrated Land and Water Resource Management (ILWRM)

آب و خاک، بالا بودن فرسایش و خطر تخریب خاک، و ضعف در عملیاتی کردن توصیه‌های مدیریتی به عنوان مهم‌ترین مسائل فنی خاک و آب زیر حوضه هنام نام برده شد. همچنین، تعیین اولویت‌های مدیریت جامع آبخیز منطقه با رویکرد مشارکتی نشان داد، کل‌نگری، نحوه مشارکت ذی‌نفعان، مطالعات فنی، اشتغال، توجه به امور مذهبی و به کارگیری بخش خصوصی از جمله مهم‌ترین اصول چهارده- گانه‌ای هستند که توسط ذی‌نفعان مختلف برشمرده شدند (حیدری، ۲۰۰۹)؛ بنابراین با تجربیات منتقل شده از فاز اول، بازدیدها و مصاحبه‌های انجام شده در فاز دوم، پرواضح است که آینده حوزه کرخه و معیشت مردم آن به یک مدیریت جامع و وسیع‌تر از حوضه و پایش منابع طبیعی شامل آب، خاک، گیاه و حیوانات وابسته است؛ اما همان‌طور که مطرح شد، سوال آن است که چگونه جنبه‌های مختلف توانان در نظر گرفته شده و چگونه رشته‌های مختلف علمی در یک رویکرد بین‌رشته‌ای پاسخگوی مسئله باشند.

مدیریت مسائل مختلف برشمرده شده، نیازمند واحدهای همگن مدیریتی است تا مسائل مشابه را دسته‌بندی کرده و برای آن‌ها بسته‌های مدیریتی جامع را ارائه نماید، زیرا واحدهای همگن خاک و آب می‌توانند پایه‌ای برای شناخت و تهیه بسته‌های مدیریتی تلفیقی و تعمیم‌عرضی^{۱۲} و طولی^{۱۳} در نظر گرفته شوند. روش‌های مختلفی در دنیا برای تهیه واحدهای همگن مدیریتی خاک استفاده شده است که مهم‌ترین آن طبقه‌بندی استعداد حاصلخیزی است. این روش، ابزاری برای مرتبط نمودن محدودیت‌های حاصلخیزی خاک مناطق حاره و نیمه حاره‌ای با عملکرد و واکنش گیاه به نحوه مدیریت محدودیت‌های خاک محسوب می‌شود که اطلاعات مناسبی را در زمینه‌ی ویژگی‌های حاصلخیزی سطحی و عمقی خاک که در ارتباط مستقیم با تولید محصول هستند، در اختیار کاربران قرار می‌دهند (بیول و همکاران، ۱۹۷۵). استفاده از

حوضه هنام از حوضه کرخه" در مقیاس مزرعه^{۱۱} شامل سه طرح و ۱۶ پروژه از سال ۱۳۹۲ به مدت ۷ سال با همکاری محققین و کارشناسان اجرایی، ترویجی، بین‌المللی، ملی، استانی و مرکز جهاد کشاورزی مستقر در پهنه تولیدی و مشارکت فعال کشاورزان محلی زیر حوضه هنام در پاسخ به دو سوال اساسی شامل "وضعیت منابع خاک و آب و تولید کشاورزی حوضه چگونه است" و "چگونه می‌توان ضمن بهبود تولید زیر حوضه، چالش‌های موجود و آینده را در مقیاس مزرعه مدیریت نمود؟"، انجام شد (بلالی و همکاران، ۱۳۹۸).

نتایج به‌دست‌آمده از فاز اول طرح حوزه کرخه در مقیاس آبخیز (غفوری و همکاران، ۲۰۱۲) و بررسی‌های میدانی و گزارش‌های استانی و بازدیدهای منطقه‌ای فاز دوم در مقیاس مزرعه (رضایی، ۱۳۹۹) نشان داد، حوزه کرخه دچار مسائل کلان شامل: الف) تغییر الگوی بهره‌برداری اراضی به ویژه چرای بی‌رویه و تبدیل مراتع طبیعی به کشت دیم، ب) تخریب ۹۰ درصدی مراتع در بالادست حوزه و ۷۰ درصد از جنگل‌های منطقه، ج) فرسایش و رسوب، د) آسیب‌پذیری وضعیت معیشتی، ه) بهره‌برداری ناپایدار آب زیرزمینی در بالادست حوضه و) مسئله توسعه منابع آب، ز) بهره‌برداری ناپایدار از اراضی پایین‌دست حوزه، شوری و ماندابی شدن اراضی، ح) بهره‌وری پایین آب در کل حوزه، ط) رقابت مصرف آب به دلیل رشد سریع جمعیت، صنعت و شهری شدن، ی) مصرف نامتعادل کود، سموم و بروز آلودگی‌های ناشی از آن‌ها در آب‌های سطحی و به خطر افتادن سلامت جامعه که خود نشان از نامناسب بودن فعالیت‌های کشاورزی دارد، می‌باشند. در حالی‌که در مطالعات مقیاس مزرعه، از نبود تناسب اراضی با کاربری فعلی آن، مدیریت نامناسب حاصلخیزی خاک و توازن نداشتن عناصر غذایی در مزارع و باغات، مدیریت نادرست پسماندهای دامی، بهره‌وری پایین

¹³ Up-scaling

¹¹ Farm Level

¹² Out-scaling

مدیریتی، ج) تحلیل شکاف رفتار فعلی بهره‌برداران و وضع مطلوب واحد همگن مدیریت خاک و آب، و د) تهیه بسته های مدیریتی برای هر واحد همگن مدیریت خاک و آب (موضوع مقاله دوم) انجام شد.

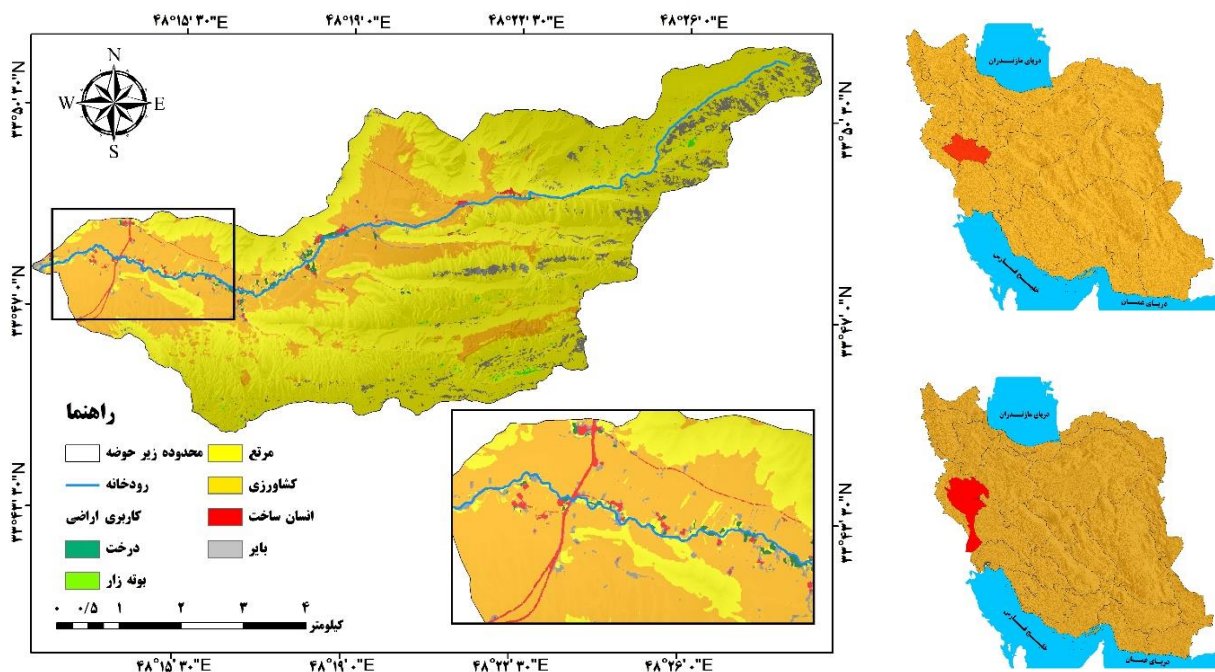
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه طرح

زیر حوضه هنام از حوزه آبخیز کرخه در استان لرستان (شکل ۱) با مساحت ۱۴۲۰۰ هکتار در جنوب شهر الشتر (مرکز شهرستان سلسله) قرار گرفته است که ۳۴۱۱ هکتار از آن را اراضی زراعی شامل می‌شود (ملاح و همکاران، ۲۰۲۳) که حدود ۱۱۰۰ هکتار اراضی آبی و بقیه اراضی دیم هستند. اراضی زراعی در بخش میانی زیر حوضه و به صورت یک دشت کوچک از روستای پرسک (شرق حوضه) تا روستای زیر طاق (در غرب) گسترش دارد.

این روش، ظرفیت‌های جدیدی را در زمینه‌ی افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و راندمان آبیاری تا سطح مطلوب و اقتصادی فراهم آورده و مبنای مناسبی را برای تولید پایدار و تهیه محصول گواهی شده ایجاد می‌کند. همچنین، از جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی نیز نقش بارزی در کاهش هزینه‌های تولید و حفظ محیط‌زیست دارد.

از آنجایی که توصیف‌کننده‌های^{۱۴} روش طبقه‌بندی حاصلخیزی خاک (FCC) برای مناطق حاره و زیرحاره‌ای تعریف شده است و در این مناطق، محدودیت آب وجود ندارد، این مطالعه با هدف کلی دستیابی به چارچوب بومی - اجرایی مدیریت یکپارچه خاک و آب برای تهیه بسته‌های توصیه مدیریتی در مقیاس مزرعه و تعمیم آن در مناطق نیمه خشک کشور و اهداف جزئی‌تر الف) تبدیل نقشه‌های خاکشناسی به نقشه‌های موضوعی تلفیقی خاک و آب، ب) شناخت مسائل کشاورزان مشترک در یک واحد همگن



شکل ۱- موقعیت زیر حوضه هنام در ایران، استان لرستان و حوضه کرخه

الف- تشکیل تیم چندرشته‌ای محققین برای ایجاد ادبیات مشترک و فراهم نمودن بستر کار بین‌رشته‌ای
 ب- بررسی تجربیات فاز اول مطالعات آب و غذا در حوضه کرخه با حضور اعضاء و انجام مطالعات کتابخانه‌ای
 ج- بازدید از منطقه و وارد کردن محققین و کارشناسان منطقه و تسهیلگران محلی در تیم تحقیقاتی
 د- بررسی و جمع‌آوری مسائل منطقه با حضور اکثریت اعضاء
 ه- تعیین چارچوب مفهومی و اجرایی طرح (شکل ۲) با حضور گروهی اعضاء که در چهار فعالیت اصلی زیر انجام شدند:

شناخت منابع خاک و آب و تعیین واحدهای همگن مدیریت خاک و آب

چارچوب مفهومی-اجرایی واحدهای همگن مدیریت خاک و آب^{۱۵} به‌عنوان پایه‌ای که مبتنی بر توان زیست‌بوم خاک و آب، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و ویژگی‌های آبی مرتبط با خاک قابل دسته‌بندی بوده و مسائل مشابه کشاورزان قابل مدیریت باشد، استفاده شد. به این منظور، روش طبقه‌بندی قابلیت حاصلخیزی خاک (بیول و همکاران، ۱۹۷۵؛ سانچز و همکاران، ۱۹۸۲ و سانچز و همکاران، ۲۰۰۳)، به عنوان رویکردی تلفیقی که بافت خاک سطحی و عمقی (جزء اصلی) و توصیف‌کننده‌های خاک و آب (جزء فرعی) را در برمی‌گیرد، مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در این پژوهش، توصیف‌کننده‌ها با در نظر گرفتن شرایط ملی و محلی خاک و آب، اصلاح و تغییر یافتند. برای دستیابی به لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در مقیاس مدیریت‌پذیر خاک (۱:۲۵۰۰۰)، ۱۱۹ نیم‌رخ خاک حفر و ۱۰۱ نمونه خاک سطحی برای طبقه‌بندی استعداد اراضی (حاصلخیزی خاک و آبیاری) برداشت شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی افق‌های مختلف نیم‌رخ‌ها و نمونه‌های خاک سطحی در آزمایشگاه

منطقه مورد مطالعه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل بوده و بر اساس مطالعات انجام گرفته، اقلیم منطقه بر اساس سیستم دوماترن از نوع مرطوب و مطابق سیستم آمبرژه از نوع ارتفاعات است. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۴۹۳/۱ میلی‌متر است که بیش‌ترین آن در اسفندماه با ۹۹/۱ میلی‌متر و کم‌ترین آن در شهریورماه با ۰/۲ میلی‌متر رخ می‌دهد (دپائو، ۲۰۰۸). در فصل زمستان، به ویژه در ارتفاعات، بیشتر نزولات آسمانی به صورت برف است. میانگین دمای سالانه منطقه ۸/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال به ترتیب بهمن و مرداد با ۴- و ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. میانگین رطوبت نسبی ۴۶ درصد و متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه برابر با ۱۱۳۶/۶۱ میلی‌متر است.

بر اساس آخرین سرشماری، زیر حوزه هنام دارای ۲۳ روستا و بیش از ۳۵۰۰ کشاورز است. دهستان هنام دارای جمعیتی حدود ۶۴۷۷ نفر و ۱۶۴۰ خانوار است که ۳۳۵۴ نفر آن مردان و ۳۱۲۳ نفر آن زنان هستند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷). کشاورزی منطقه عموماً معیشتی بوده و برای برخی از بهره‌برداران به دلیل سهم محدود در درآمد خانوار، اهمیت چندانی نداشته و در بسیاری از مواقع صرفاً با هدف حفظ مالکیت زمین انجام می‌گیرد.

چارچوب مفهومی و روش انجام کار

به علت متعدد بودن و پیچیدگی عوامل مؤثر در پایداری تولید از یک‌سو و تخریب اراضی و پایین بودن بهره‌وری منابع خاک و آب در منطقه از سوی دیگر، نیاز به چارچوبی کل‌نگر است. این چارچوب مفهومی باید طوری طراحی شود تا از ابتدا تا اجرا و نظارت، با مشارکت گروهی ذی‌نفعان مختلف انجام شود. از این‌رو، چارچوب پژوهش حاضر به‌صورت زیر طرح‌ریزی شد:

¹⁵ Homogeneous Soil and Water Management Units (HSWMUs)

تخریب خاک و توان تولید محصولات مهم زراعی منطقه تولید شوند. برای تعیین واحدهای همگن حاصلخیزی (FCC) و واحدهای قابلیت آبیاری (ICC)، تعداد ۹ معیار طبق جدول ۱ در نظر گرفته شدند. به دلیل انعطاف پذیری این سیستم، پایه تلفیق عملی بین رشته‌ای فراهم شده است، به گونه‌ای که کافی است ویژگی‌های مدنظر آن رشته مانند زراعت، گیاه‌پزشکی، اقتصاد و غیره در توصیف‌کننده‌ها وارد شده و خود را در واحد همگن مدیریتی، نمایان سازند.

مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند (داوودی، ۱۳۹۸) و مقدار کربن آلی خاک به عنوان نماینده زیستی خاک آنالیز آزمایشگاهی شد. نقشه نیمه تفصیلی دقیق خاک با روش زمین خاکشناسی (افتخاری، ۱۳۹۷، الف) تهیه شد تا لایه‌های مختلف اطلاعاتی مانند واحدهای استعداد حاصلخیزی (FCC) و آبیاری^{۱۶} (ICC)، طبقه‌بندی اراضی، تناسب اراضی،

جدول ۱- سطوح سلسله مراتبی و معیارهای انتخابی در نظر گرفته شده در منطقه مطالعاتی برای ایجاد واحدهای همگن خاک و آب (افتخاری، ۱۳۹۸)

معیار	نوع لایه سطحی (بافت خاک سطحی)		نوع لایه زیرین (بافت خاک زیرسطحی)		توصیف‌کننده‌ها	
	علامت	شرح علامت	علامت	شرح علامت	ویژگی	علامت
۱	S	بافت شنی	S	بافت شنی	شرایط خشک	(d)
	L	بافت لومی	L	بافت لومی	شرایط مرطوب	(w)
	C	بافت رسی	C	بافت رسی	خاک‌های دارای ویژگی‌های ورتیک	(v)
	O	خاک آلی	R	سنگ بستر	مقدار سنگریزه در افق سطحی	ts
۲					مقدار سنگریزه در مقطع کنترل بافت خاک	ss
					مقدار شیب	(s)
					مقدار آهک	(t)
					عمق لایه محدودکننده	(l)
۳					مقدار ماده آلی	(o)
					مقدار فسفر قابل دسترس	(p)
					مقدار پتاسیم قابل دسترس	(k)
					مقدار عناصر غذایی کم‌مصرف	(m)
۴					مقدار سنگریزه سطحی	(g)
						G
						s
						S
۵					مقدار سنگریزه زیرسطحی	b
						B
						g
						G
۶					مقدار شیب اصلی	A
						B
						C
						D
						E
						F

معیار	نوع لایه سطحی (بافت خاک سطحی)		نوع لایه زیرین (بافت خاک زیرسطحی)		توصیف‌کننده‌ها	
	علامت	شرح علامت	علامت	شرح علامت	ویژگی	علامت
۷					مقدار شیب فرعی	a
						b
						c
						d
						e
						f
۸					مقدار نفوذپذیری	.P
						۱P
						۲P
۹					نوع لایه محدودکننده	P۱
						P۲
						P۳
						P۴
						Z۱
						Z۲
						Z۳
						L۱
						L۲
						L۳

۱- گروه محدودیت ویژگی‌های بافت خاک سطحی و متوسط بافت خاک در مقطع کنترل بافت خاک، رطوبت و رده‌بندی خاک

۲- گروه محدودیت ویژگی‌های ریخت‌زایش

۳- گروه محدودیت ویژگی‌های عناصر غذایی

۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ گروه محدودیت ویژگی‌های آبیاری

(افتخاری، ۱۳۹۸) و نقشه خطر تخریب‌پذیری و پسرفت خاک به دست آمده از مدل گلاسود^{۱۷}، تولید شدند (امیدواری، ۱۳۹۵). برای تعیین خطر تخریب‌پذیری و پسرفت خاک از جدول ۲ استفاده شد.

در نهایت، واحدهای همگن مدیریت خاک و آب از تلفیق و ادغام (مساحت کمتر از ۱۲ و ۲۴ هکتار به ترتیب برای اراضی آبی و دیم)، واحدهای طبقه‌بندی استعداد حاصلخیزی (FCC)، طبقه‌بندی قابلیت آبیاری (ICC)

جدول ۲- خصوصیات تخریب خاک در واحدهای زمین ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی)

علامت	توضیحات
Hd	تخریب فرسایش آبی با کاهش عمق خاک سطحی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت زیاد، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت حاصلخیزی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت شدید، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت فیزیکی از نظر تراکم خاک در اثر چرای بی‌رویه دام، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت ناچیز و با تاریخ ۵۰ تا ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب
Hn	تخریب فرسایش آبی با کاهش عمق خاک سطحی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت شدید، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت کم و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت حاصلخیزی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت زیاد، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت فیزیکی از نظر تراکم خاک در اثر چرای بی‌رویه دام، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت کم و با تاریخ ۵۰ تا ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب
Md	تخریب فرسایش آبی با کاهش عمق خاک سطحی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت زیاد، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت حاصلخیزی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت شدید، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت فیزیکی از نظر تراکم خاک در اثر چرای بی‌رویه دام، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت آهسته، وسعت پسرقت کم و با تاریخ ۵۰ تا ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- در بعضی مناطق با رخنمون سنگی
Mn	تخریب فرسایش آبی با کاهش عمق خاک سطحی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت زیاد، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت حاصلخیزی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت شدید، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت فیزیکی از نظر تراکم خاک در اثر چرای بی‌رویه دام، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت کم و با تاریخ ۵۰ تا ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب
PI	تخریب فرسایش آبی با کاهش عمق خاک سطحی در اثر فعالیت‌های کشاورزی، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت آهسته، وسعت پسرقت کم و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت حاصلخیزی در اثر فعالیت‌های کشاورزی، با درجه پسرقت زیاد، سرعت پسرقت آهسته، وسعت پسرقت کم و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب
PII	تخریب فرسایش آبی با کاهش عمق خاک سطحی در اثر فعالیت‌های کشاورزی و قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت آهسته، وسعت پسرقت کم و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت حاصلخیزی در اثر فعالیت‌های کشاورزی و قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت آهسته، وسعت پسرقت کم و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب
L-Slide	تخریب فرسایش آبی با کاهش عمق خاک سطحی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت شدید، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت متوسط و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت حاصلخیزی در اثر قطع درختان جنگلی، با درجه پسرقت شدید، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت زیاد و با تاریخ بیش از ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب- پسرقت فیزیکی از نظر تراکم خاک در اثر چرای بی‌رویه دام، با درجه پسرقت متوسط، سرعت پسرقت متوسط، وسعت پسرقت کم و با تاریخ ۵۰ تا ۲۵۰ سال از شروع فعالیت عوامل تخریب

شد. وضعیت موجود مدیریت مصرف آب گیاهان الگوی کشت واحدهای هم‌آب نیز بر مبنای واحد هیدرومدول آبیاری (لیتر بر ثانیه در هکتار) اندازه‌گیری شد. در نهایت، شکاف بیلان آب واحدهای هم‌آب از کسر عرضه و تقاضای آب هر واحد به دست آمد. تمامی مراحل محاسبه بیلان آب در پژوهش ملاح و همکاران (۱۴۰۰) شرح داده شده است. همچنین، دور و عمق آبیاری ماهانه گیاهان عمده الگوی کشت هر یک از واحدهای هم‌آب محاسبه (پناهی و همکاران ۱۴۰۰، الف) و روش آبیاری بر اساس نمایه‌های شیب اراضی و بافت خاک (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰، ب) و استفاده از جداول راهنمای فائو (ساوا و فرانکن، ۲۰۰۲) تعیین شد.

واحدهای هم‌آب با استفاده از تعیین مسیر رودخانه، موقعیت شبکه‌های فرعی و کانال‌های آبرسانی در نرم‌افزارهای گوگل ارث و ArcGIS 8.4 مشخص شدند و سپس دبی آب نقاط برداشت آب آن‌ها اعم از چشمه، کانال، چاه آب و غیره (امداد، ۱۳۹۷) به واحدهای هم‌آب متصل شد تا مقدار عرضه آب هر واحد هم‌آب مشخص شود. یکی از راهکارهایی که سبب بهبود مدیریت مصرف بر پایه تقاضا محوری آب می‌شود، استفاده از مقادیر برآوردی هیدرومدول آبیاری از طریق تعیین نیاز آبی گیاهان الگوی کشت در طول فصل رشد و برنامه‌ریزی آبیاری شامل دور و مقدار آب آبیاری می‌باشند. در این ارتباط، شاخص هیدرومدول آبیاری با استفاده از نیاز آبی در مقدار راندمان کاربرد ۳۰ درصد محاسبه

تناسب و توان اراضی

پس از تعیین واحدهای همگن مدیریت خاک و آب، مهم است تا مشخص شود هر واحد مدیریتی، دارای چه تناسب کیفی و کمی اراضی است، یعنی هر واحد همگن مدیریتی برای کاشت چه محصولاتی مناسب است و در صورت کشت محصول، توان تولید آن به چه میزان است. برای این منظور، طبقه‌بندی تفصیلی تناسب اراضی بر اساس چارچوب ارائه شده توسط فائو به روش پارامتریک-ریشه دوم و تخمین توان تولید گیاهان اصلی الگوی کشت زیر حوزه (گندم، جو، یونجه، شبدر، سیر، باقلا، نخود و عدس) با استفاده از مدل رشد فائو انجام شد (نوبدی، ۱۳۹۷).

پس از گردآوری و جمع‌بندی اطلاعات موردنیاز شامل دوره‌های فنولوژیک، داده‌های اقلیمی، داده‌های خاک و نیازهای رویشی اقلیم و خاک و زمین‌نما برای هر محصول، این داده‌ها در نرم‌افزار برخط تناسب اراضی^{۱۸} طراحی شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب بارگذاری شدند و کلیه

محاسبات مربوط به تعیین کلاس اقلیم و مقایسه نیازهای محصولات زراعی با خصوصیات اراضی و تعیین کلاس تناسب آن‌ها، به روش پارامتریک ریشه دوم انجام شد. برای تعیین نیازهای رویشی محصولات زراعی مورد بررسی، از جدول‌های نیاز رویشی محصولات (اقلیم، خاک و زمین‌نما)^{۱۹} استفاده شد. پایه و اساس این جدول‌ها، روش سایز و همکاران (۱۹۹۱) است که اصلاح و تطبیق آن‌ها بر اساس شرایط کشور ایران انجام شده است. در نهایت، کلاس تناسب اراضی بر اساس مقدار شاخص بدست آمده از جدول ۳ تعیین شد. همچنین زیرکلاس‌هایی با حروف کوچک لاتین شامل C (محدودیت‌های آب و هوایی)، t (محدودیت‌های پستی و بلندی مانند شیب اراضی)، W (محدودیت خیزی زمین مانند زهکشی و سیل‌گیری)، ns (محدودیت شوری و سدیمی بودن خاک‌ها)، f (محدودیت حاصلخیزی خاک مانند اسیدیته) و S (محدودیت خصوصیات فیزیکی خاک مانند بافت و ساختمان، سنگریزه، مقدار گچ و آهک) پس از عنوان کلاس‌ها ارائه شد.

جدول ۳- رابطه بین شاخص اراضی و کلاس‌های تناسب اراضی

کلاس تناسب اراضی	تعریف کلاس تناسب اراضی	مقدار شاخص اراضی
S1	مناسب	۱۰۰-۷۵
S2	نسبتاً مناسب	۷۵-۵۰
S3	تناسب کم	۵۰-۲۵
N1	در حال حاضر نامناسب	۲۵-۱۲/۵
N2	نامناسب دائمی	۱۲/۵-۰

پس از کلاس‌بندی مقادیر به دست آمده، نقشه‌های توان تولید اراضی تهیه شد. برای به دست آوردن پتانسیل تولید اراضی، افزون بر پتانسیل تولید محصول، نیاز به استفاده از شاخص خاک است. مقادیر توان تولید اراضی با استفاده از مقدار شاخص خاک محاسبه شده توسط نرم‌افزار و توان تولید

محصول، برای هر یک از محصولات مورد بررسی طبق معادله ۱ تخمین زده شدند.

$$LPP = \frac{CPP \times SI}{100} \quad (1)$$

که LPP^{20} پتانسیل تولید اراضی (تولید پیش‌بینی شده یا قابل انتظار)، CPP توان تولید محصول (کیلوگرم در هکتار)

²⁰ Land Production Potential (LPP)

¹⁸ www.nlss.ir

¹⁹ Landscape

و^{۲۱}SI شاخص خاک محاسبه شده به روش پارامتریک می-باشند.

همچنین، داده‌های عملکرد گیاهی در زمان برداشت محصول از مرکز یک مربع ۰/۵ متر در ۰/۵ متر مزارع کشاورزی جمع‌آوری شدند. از آنجایی که نقاط نمونه‌برداری در محصولات زراعی مختلف بودند و اکثر نقاط پروفیلی در مزارع جو دیم و گندم آبی قرار داشتند، در این مطالعه بیشتر عملکرد این دو محصول برداشت شد. لازم به توضیح است که زیست‌توده و دانه محصولات با دقت از یکدیگر تفکیک شدند.

بررسی رفتار فعلی بهره‌برداران در واحدهای همگن مدیریت خاک و آب

در این مرحله، ابتدا بازدید از ۲۳۹۵ مزرعه انجام و نوع بهره‌برداری موجود آن‌ها مشخص شد (ضیایی جاوید، ۱۴۰۰). سپس، نحوه مدیریت حاصلخیزی خاک و کوددهی، وضعیت فعلی تخصیص، مصرف و مدیریت آب، و مدیریت تخریب خاک در واحدهای همگن مدیریت خاک و آب بررسی شد. برای این منظور، مصاحبه حضوری باز^{۲۲} با کشاورزان منطقه در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ انجام و در

مراحل مختلف، برای بررسی وضعیت مزارع آن‌ها، پرسشنامه نیمه ساختاریافته تکمیل شد. تعداد ۸۴ پرسشنامه بر اساس وسعت واحدهای همگن، تعداد مزارع، نوع کاربری و محصولات کشت شده به صورت تصادفی از مزارع انتخاب شدند تا مدیریت آبیاری و حاصلخیزی خاک آن‌ها از نظر مصرف انواع کودهای شیمیایی، آلی و زیستی در واحدهای همگن بررسی شوند (مشیری، ۱۳۹۹).

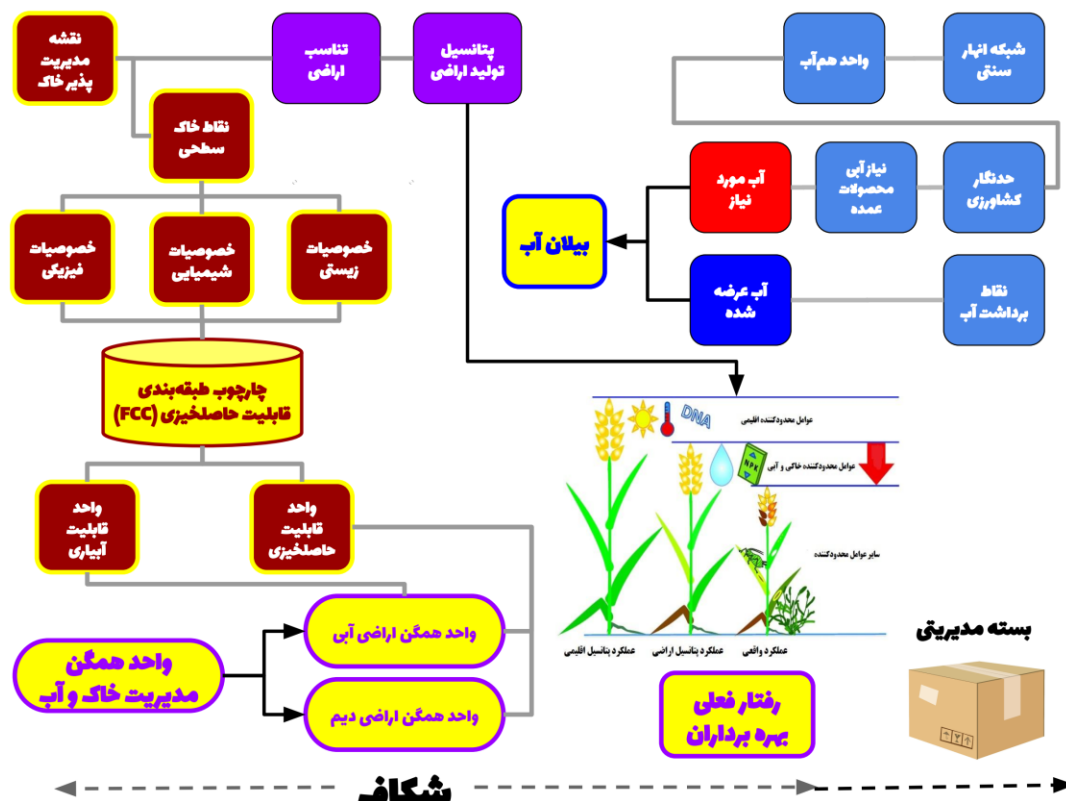
ارائه بسته‌های مدیریت بهینه خاک و آب واحدهای همگن مدیریت خاک و آب

تعدادی زمین‌های کشاورزی با مشارکت کشاورزان داوطلب در چند واحد کاری دارای محدودیت کم، متوسط و زیاد انتخاب شدند تا بسته‌های مدیریت پیشنهادی به مدت سه سال اعتبارسنجی شوند. برای این منظور، زمین‌های زراعی به سه منطقه شامل عرف زارع، توصیه کلی و توصیه تلفیقی تفکیک شدند. سپس، بر اساس تحلیل شکاف بین نتایج واحدهای همگن مدیریتی و رفتار فعلی هر واحد، بسته‌های مدیریتی خاک و آب^{۲۳} پیشنهاد شدند. کلیه مراحل انجام طرح در قالب شکل ۲ به تصویر درآمده است.

²³ Soil and Water Recommended Packages (SWRP)

²¹ Soil Index (SI)

²² Open questionnaire



شکل ۲- روش کلی انجام طرح

نتایج و بحث

از آنجایی که هدف این پژوهش تشریح مسیر دستیابی به چارچوب بومی-اجرایی مدیریت یکپارچه خاک و آب است؛ بنابراین نتایج به دست آمده از مراحل و روش کار تهیه چارچوب مفهومی، تعیین واحدهای همگن مدیریتی خاک و آب و بررسی وضعیت موجود در واحدهای همگن مورد بحث قرار گرفته است و دیگر نتایج در قسمت دوم مقاله تشریح می‌شود.

نتایج مطالعات میدانی

وضعیت کاربری اراضی کشاورزی در مدیریت‌های مختلف زراعی و باغی

انجام مطالعات میدانی از انواع بهره‌برداری‌های موجود در اراضی و بازدید مزارع کشاورزان در منطقه مطالعاتی نشان داد که ۳۲ نوع بهره‌برداری زراعی در اراضی

کشاورزی منطقه، وجود دارد. افزون بر زراعت، انواع درختان مثمر و غیرمثمر نیز در منطقه گسترش دارند. باغ‌ها بیشتر مخلوط بوده و به ندرت می‌توان باغ‌های خالص و متشکل از یک نوع درخت میوه را در منطقه مشاهده کرد. درختان تبریزی مهم‌ترین گونه درختان غیرمثمر منطقه است که بیشتر در تراس‌های رودخانه‌ای و یا به عنوان بادگیر در اراضی آبی قرار دارند. ۴/۰ درصد از اراضی کشاورزی مطالعه شده در شرایط آیش قرار دارند که این نشان از کشت فشرده در محدوده مطالعاتی است (ضیایی جاوید، ۱۴۰۰). همچنین، نتایج تأکید دارند که برای حفظ پایداری تولید، نیاز به اعمال مدیریت‌های خاص در زیر حوضه است.

وضعیت کلی اجتماعی-اقتصادی جامعه محلی

نتایج مصاحبه‌ها نشان داد تا پیش از اصلاحات اراضی و برچیده شدن نظام ارباب-رعیتی، نظام خاصی بر مدیریت منطقه حاکم بوده که مبتنی بر حفاظت بالادست زیر حوضه و بهره‌برداری بهینه در پایین دست بوده که حفظ منافع عمومی را در برداشته است (رضایی، ۱۳۹۷).

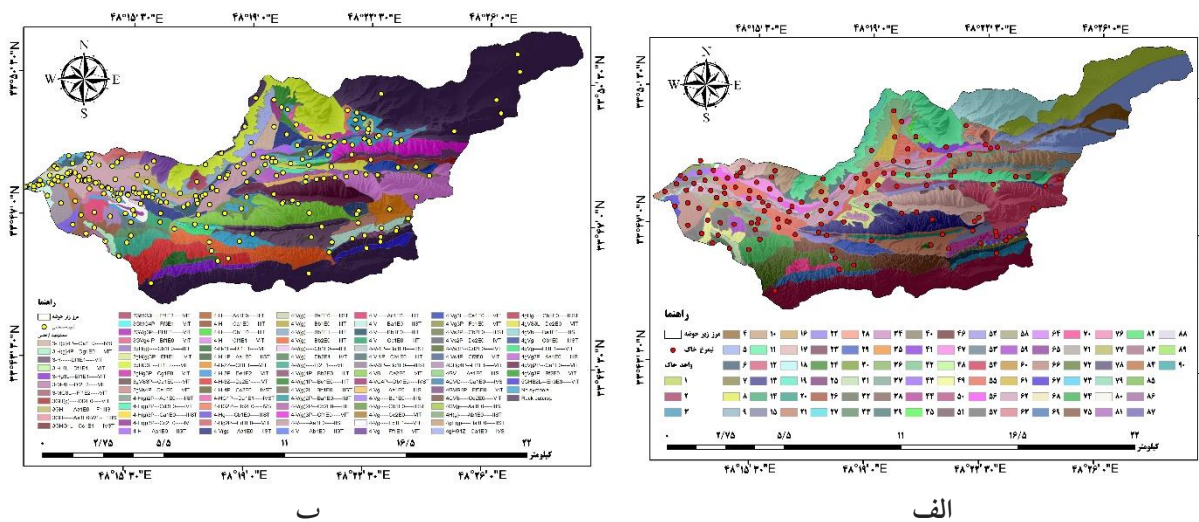
در بررسی وضعیت آب، مشخص شد که گردش آب اراضی دشت هنام دارای قواعد نظام‌مندی است که ریشه در ساختار سنتی حاکم بر نظام حقابه‌بری گذشته دارد و تاکنون پاسخگوی نیاز جامعه محلی است. به طوری که گردش آب بر اساس توافقات بین کشاورزان از نهرهای اصلی طبق برنامه تنظیمی متناسب با مقدار آب، فصل آبیاری، نوع زراعت، سطح زیر کشت و مدت زمان لازم برای آبیاری (به صورت تجربی) انجام می‌شود. سطح زیر کشت بهاره و پاییزه متناسب با سال‌های کم و پر بارش، بدون مراوده مالی، تنظیم و حقوق فردی برای شروع و پایان آبیاری با کمترین تنش و درگیری بین ذی‌نفعان رعایت می‌شود (غالبی و ملاح، ۱۳۹۸).

طبق بررسی رضایی (۱۳۹۹)، روستاهای منطقه از نظر نظام تولیدی-معیشتی به سه گروه تقسیم می‌شوند: الف) تولید ترکیبی دام و گیاهان با دسترسی زیاد به آب، ب) نظام چرای آزاد دام‌های کوچک، و ج) نظام ترکیبی تولیدات گیاهی و دام بزرگ. همچنین، در بررسی و مصاحبه با افراد محلی، سه گروه کشاورز در منطقه شناسایی شدند. گروه اول کشاورزانی هستند که تمام وقت به کشاورزی مشغول بوده و درآمد اصلی آن‌ها از کشاورزی است. گروه دوم کشاورزانی می‌باشند که شغل اصلی آن‌ها کارمندی در بخش‌های دولتی همان منطقه بوده و کشاورزی شغل دوم آن‌ها است و گروه سوم، گروهی هستند که در مرکز استان ساکن بوده و به

صورت موردی کشاورزی می‌کنند. نکته قابل توجه در مدیریت اراضی کشاورزی منطقه، نقش شغل دوم و سهم درآمدی آن در معیشت خانوار است. مشاهدات منطقه‌ای نشان دادند که کشاورزی برای بسیاری از کشاورزان به دلیل سهم محدود در درآمد خانوار، اهمیت چندانی نداشته و در بسیاری از مواقع فقط با هدف حفظ مالکیت زمین انجام می‌شود. به طور خلاصه، تولیدات کشاورزی در منطقه بر محور دام و حفظ مالکیت زمین (عامل کشت درشپ‌های بالا با عملکرد کم) است و سن بالای کشاورزان، مهاجرت جوانان، تأمین هزینه‌های زندگی و تحصیل از طریق فروش اراضی، مهم‌ترین عوامل مؤثر اجتماعی-اقتصادی در زیر حوضه هنام هستند.

نتایج شناخت منابع خاک و آب و تعیین واحدهای همگن مدیریت خاک و آب در مقیاس مزرعه

از تلاقی ۳۴ واحد سنگ‌شناسی و ۲۸ فامیل خاک به دست آمده از ۱۱۹ نیم‌رخ خاک (نقاط قرمز رنگ شکل ۴، الف)، ۹۰ واحد خاک به دست آمد (شکل ۴، الف). این واحدهای خاک با توجه به محدودیت‌های چهارگانه‌ی راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری (منصوری، ۱۳۶۸)، به ۱۵۸ و سپس ۹۷ (شکل ۴، ب) واحد محدودیت اراضی در محدوده مطالعاتی تفکیک شدند. نقشه تولید شده با ادغام ۱۰۱ نمونه سطحی خاک (نقاط زرد رنگ شکل ۴، ب) و بر اساس روش طبقه‌بندی استعداد حاصلخیزی (FCC)، توانست نقش تأثیر اختلافات درونی ویژگی‌های خاک واحدهای خاک-شناسی و طبقه‌بندی اراضی منطقه مطالعاتی را بر روی محصول و عملکرد گیاهان مختلف و نحوه مدیریت آبیاری خاک به‌خوبی توضیح دهد (بلالی و همکاران، ۱۴۰۱).

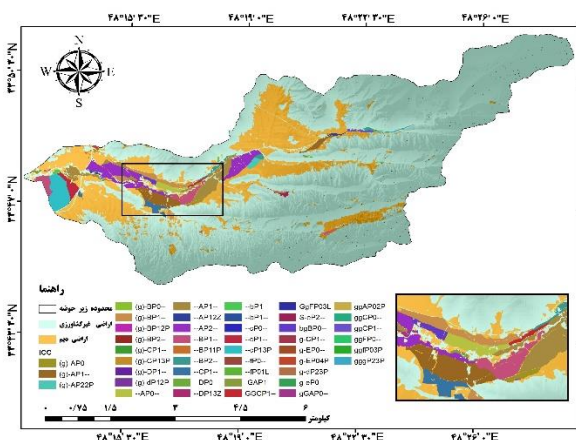


شکل ۴- نقشه‌های الف) موقعیت نیمرخ‌ها و واحدهای خاک و ب) نقاط سطحی خاک و محدودیت اراضی محدوده مطالعاتی

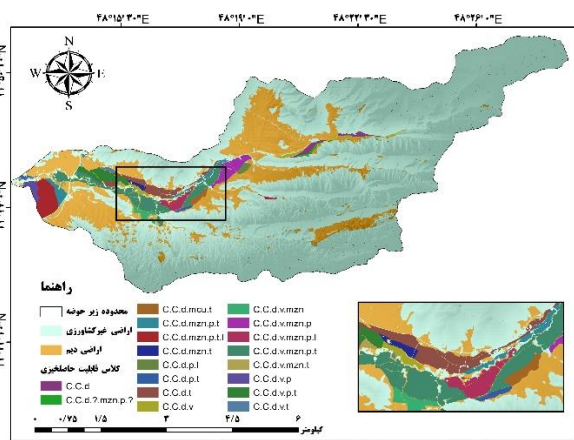
شدت فرسایش در زیر حوضه هنام بیانگر آن است که در حدود ۶۰ درصد از اراضی در کلاس فرسایش زیاد و بسیار زیاد قرار دارند. در نتیجه، به دلیل اهمیت فرسایش خاک و تخریب اراضی، ۱۴ واحد تخریب خاک به دست آمده از روش گلاسود (شکل ۵، د) و واحدهای همگن مدیریتی استعداد حاصلخیزی خاک اراضی آبی (شکل ۵، الف) و دیم (شکل ۵، ج) و مدیریت آبیاری (شکل ۵، ب) در یکدیگر تلفیق شدند و نقشه نهایی واحدهای همگن مدیریت خاک و آب به تعداد ۵۳ واحد به دست آمد (شکل ۵، ه) که ۲۳ واحد همگن برای اراضی آبی (حاصل تلفیق ۱۸ واحد همگن استعداد حاصلخیزی و ۴۵ واحد همگن مدیریت آبیاری) از ۱۳ تا ۱۳۳ هکتار و ۳۰ واحد برای اراضی دیم با مساحتی از ۲۹ تا ۱۵۱ هکتار به دست آمدند (جدول ۵ و ۶). با ارائه واحدهای همگن مدیریت خاک و آب، زمینه برای تشخیص اینکه چه مسائلی در هر واحد وجود دارد که بایستی به آن‌ها پرداخته شود، فراهم شد.

نتایج نشان دادند که تعداد ۱۸ واحد همگن استعداد حاصلخیزی خاک در مناطق آبی قابل تفکیک است (شکل ۵، الف) و همچنین، تعداد ۳۰ واحد همگن استعداد حاصلخیزی خاک در مناطق دیم تعیین شدند (شکل ۵، ج). به دلیل اینکه مدیریت آبیاری فقط در اراضی آبی صورت می‌گیرد، تعداد ۴۵ واحد همگن مدیریت آبیاری در کاربری آبی تفکیک و جداسازی شدند (شکل ۵، ب).

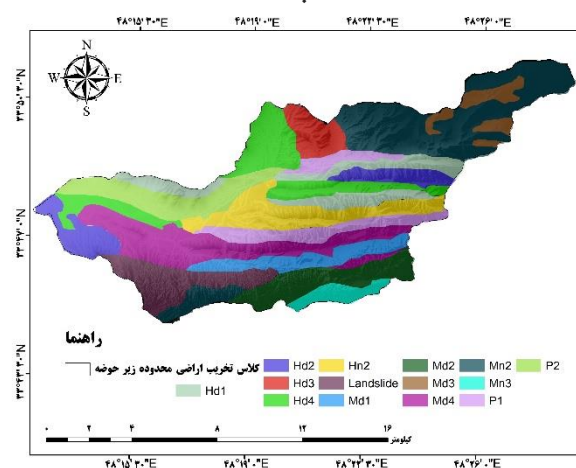
از طرفی، نتایج امیدواری (۱۳۹۵) نشان داد که فسفر قابل دسترس، کربن آلی و نیتروژن کل به ترتیب بیشترین مقدار شاخص پسرفت خاک را دارند. به طور کلی، شاخص پسرفت خاک در زیر حوضه نشان‌دهنده بیشترین دخالت انسان در محدوده مطالعاتی است. قطع درختان جنگلی، چرای بیش از حد و عملیات نادرست کشاورزی مانند نوع کشت، رعایت نکردن تناوب زراعی، سوزاندن کاه و کلش، عملیات خاک‌ورزی شدید و کشت در اراضی شیب‌دار از عوامل اصلی ایجاد تخریب اراضی منطقه عنوان شدند. همچنین، نتایج



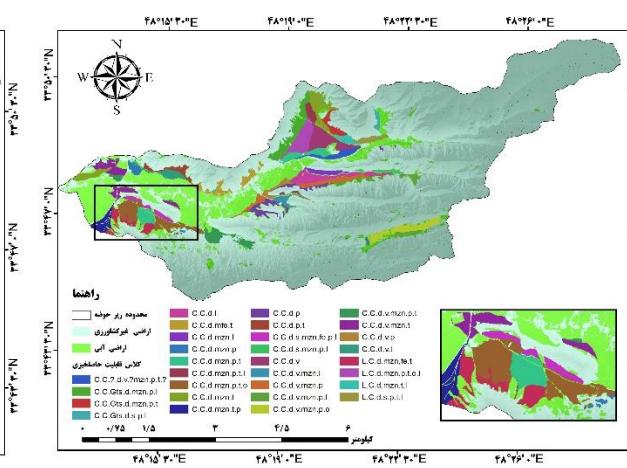
C



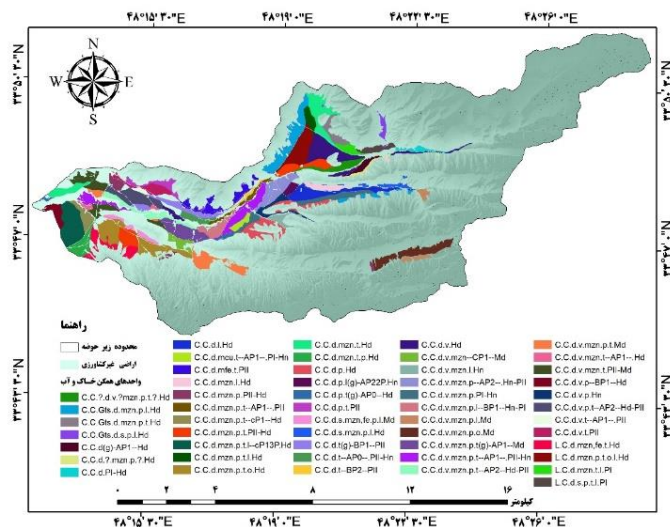
الف



5



७



→

شکل ۵- واحدهای همگن: الف) استعداد حاصلخیزی خاک اراضی آبی، ب) مدیریت آبیاری خاک اراضی آبی، ج) استعداد حاصلخیزی خاک اراضی دیم، د) تخریب خاک محاسبه شده از مدل گلاسود، و هـ) مدیریتی خاک و آب اراضی کشاورزی زیر حوضه

نتایج بررسی آزمایش‌های خاک و پرسشنامه‌ای نشان داد، مزارع منطقه کوچک و دارای مساحت متوسط ۱/۴ هکتار هستند. در مجموع، ۶۰ درصد کشاورزان، اراضی کمتر از ۵ هکتار داشتند و محصولات گندم، جو و نخود الگوی کشت غالب منطقه هستند که به صورت تناوبی کشت می‌شوند. کمبود فسفر و روی در خاک به ترتیب در ۸۱/۵ و ۸۶/۶ درصد مزارع مشاهده شد و کمبود فسفر در اراضی دیم و کمبود روی در اراضی آبی شایع‌تر بودند. همچنین، میزان کربن آلی خاک در ۲۵/۶ درصد از مزارع، بیش از ۱/۵ درصد است و میانگین عملکرد محصولات جو دیم، گندم دیم، گندم آبی و نخود به ترتیب ۲/۳، ۲/۲، ۴/۱ و ۰/۷ تن در هکتار می‌باشند. به صورت خلاصه، مدیریت حاصلخیزی خاک منطقه مبتنی بر استفاده از کود شیمیایی و در ۳۰ درصد مزارع، تلفیق کود شیمیایی و کود گاوی است و کاربرد آن‌ها بر اساس توصیه عمومی و بدون آزمون خاک انجام می‌شوند (مشیری، ۱۳۹۹). مصرف کود اوره در همه مزارع و کاربرد سوپر فسفات تریپل در ۸۵ درصد مزارع، مدیریت غالب کوددهی

پاسخگوی نیاز جامعه محلی است، به نظر می‌رسد که این نظام با روش‌های علمی قابل ارتقاء و بهینه‌سازی است. همچنین، بررسی‌های میدانی پناهی و همکاران (۱۴۰۰، ب) نشان داد که آبیاری غرقابی در اراضی فاریاب منطقه، روش مرسوم آبیاری ثقلی و به طور عمده از نوع نواری با شیب زیاد است و طول نوارها در جهت موازی با شیب اصلی زمین قرار دارد.

بر اساس اطلاعات پیمایش میدانی و تصاویر ماهواره‌ای، تعداد ۱۹ واحد هم‌آب به عنوان واحد اجتماعی که بهره‌برداران آن از یک منبع مشخص با مقدار حقابه مشخص مشترک بوده و مرز این واحدها از طریق عوارض طبیعی مانند خطوط تراز از یکدیگر جدا می‌شوند، به ترتیب مساحت از کم به زیاد تفکیک و نام‌گذاری شدند (ملاح و همکاران، ۱۴۰۰). واحدهای هم‌آب و موقعیت نقاط آبیگری در شکل ۶، الف نشان داده شده است.

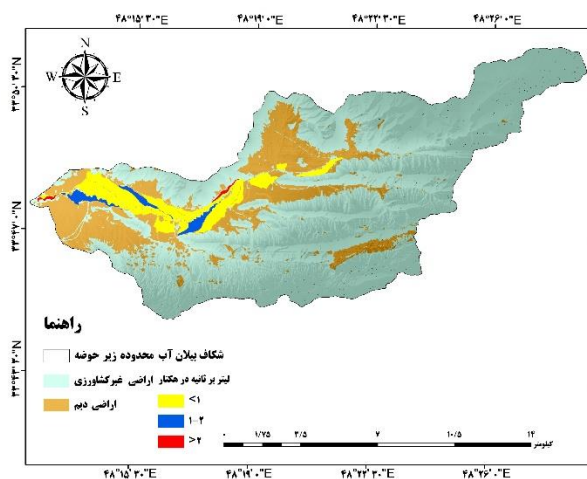
بر اساس مشاهدات، بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های میدانی امداد (۱۳۹۷)، یک چشمه دائمی و پر آب در سراب هنام وجود دارد که بخش عمده آب زیر حوضه مربوط به این چشمه است. تعداد ۴ کانال اصلی از سراب هنام منشعب شده که مجموع کل دبی آب خروجی از کانال‌های سراب هنام حدود ۳۱۰ لیتر بر ثانیه برآورد شد. همچنین، ۱۱ چشمه فصلی در منطقه وجود دارد که دبی غالب آن‌ها در محدوده بین ۲ تا ۲۰ لیتر بر ثانیه بوده و تأثیر چندانی بر حجم آب مصرفی ندارد. در محدوده مورد مطالعه، تعداد ۵ چاه فعال است که دبی آن‌ها طی دوره بررسی بین ۸ تا ۲۰ لیتر بر ثانیه متغیر بوده و آب مصرفی برداشت شده از آن غالباً به مصرف آبیاری باغات می‌رسد. کمترین هیدرومدول آبیاری مربوط به واحد ۱۲ با حجم تخصیص ۰/۳۲ لیتر بر ثانیه در هکتار و واحد ۲ با سهمی معادل یک درصد مساحت اراضی آبی هنام، بیشترین مقدار حجم تخصیص‌یافته به میزان ۱۴/۹۳ لیتر بر ثانیه در هکتار است. نتایج نیاز آبی گیاهان عمده منطقه که به منظور محاسبه‌ی شاخص هیدرومدول آبیاری استفاده شد، نشان داد

همکاران، ۱۴۰۲). کمبود فسفر خاک‌ها را می‌توان به کمبود آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی خاک‌های منطقه که نقش مهمی در چرخه فسفر در خاک دارند نیز مرتبط دانست (اسمعیلی‌زاد و همکاران، ۱۴۰۲)، زیرا آنزیم فسفاتاز تحت تأثیر مصرف نیتروژن از منبع اوره است. همچنین، خاک‌ها در حال حاضر مشکل شوری ندارند، اما چنانچه منابع خاک و آب منطقه درست مدیریت نشوند ممکن است موجبات شوری و قلیایی شدن خاک‌ها فراهم شود (رضایی و همکاران، ۱۴۰۲).

وضعیت آب منطقه و واحدهای هم‌آب

بررسی محل‌های برداشت منابع آبی منطقه نشان داد مهم‌ترین منبع آب سطحی، رودخانه هنام است که از روستای سراب هنام واقع در شرق حوضه سرچشمه می‌گیرد و با جهت شرقی-غربی از میانه اراضی می‌گذرد (شکل ۱). آبیاری بیشتر اراضی زیر حوضه با استفاده از آب این رودخانه و از طریق نهرها، انجام می‌گیرد (امداد، ۱۳۹۷). نتایج بررسی میدانی به روش تکمیل پرسشنامه از جامعه کشاورزان نشان داد، دارای قواعدی است که بر اساس توافقات بین کشاورزان از نهرهای اصلی بر اساس برنامه تنظیمی متناسب با مقدار آب، فصول آبیاری، نوع زراعت، سطح زیر کشت و مدت زمان لازم برای آبیاری (به صورت تجربی) تنظیم می‌شود. با توجه به اینکه سرچشمه هنام منبع اصلی تأمین‌کننده دائمی و پیوسته آب بوده و آب را به انهار اصلی و انشعابات آن‌ها جاری می‌سازد، به‌طور میانگین حدود ۶۰ بهره‌بردار زیر پوشش اراضی هر کانال قرار دارند که روزانه بین ۳ تا ۵ کشاورز با فواصل ده‌روزه متناسب با سطح زیر کشت، نوع زراعت یا باغ و فصل رشد و با هماهنگی قبلی با یکدیگر از این منبع بهره‌برداری می‌کنند (غالبی و ملاح، ۱۳۹۸). این در حالی است که سطح زیر کشت بهاره و پاییزه متناسب با سال‌های کم و پر بارش بدون مراوده مالی، تنظیم و حقوق فردی برای شروع و خاتمه آبیاری با کمترین تنش و درگیری بین ذی‌نفعان رعایت می‌شود. علی‌رغم ساختار سنتی حاکم بر نظام حقابه‌بری که

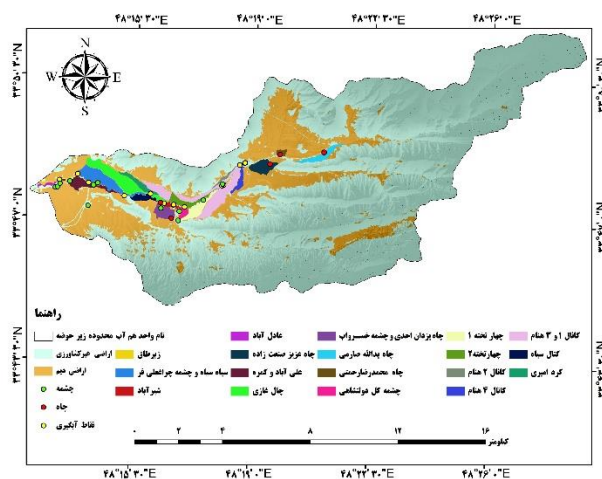
مصرف آب میان بهره‌برداران برای مدیریت و ارتقاء بهره‌وری آب واحدهای هم‌آب فراهم است. طبق بررسی پناهی و همکاران، (۱۴۰۰، ب)، یکی از موارد کمبود آب در زیر حوضه هنام ناشی از تلفات در روش‌های آبیاری سطحی است و در صورت تغییر روش آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای برای گیاهان باغی و روش آبیاری قطره‌ای-نواری برای گیاهان زراعی، در واحدهای هم‌آب ۱۵، ۱۰، ۶، ۴ و ۱۶ با حجم آب در دسترس موجود و با لحاظ الگوی کشت فعلی، مشکل کمبود آب در این واحدها برطرف خواهد شد. همچنین، آن‌ها روش آبیاری نواری با شیارهای کم‌عمق برای کشت‌های گندم، جو، شبدر و یونجه، روش آبیاری جویچه‌ای برای کشت گیاهان ردیفی مانند چغندرقد، لوبیا و ذرت و روش آبیاری تشتکی برای درختان میوه را در هر واحد هم‌آب را توصیه کردند.



ب

که نیاز آبیاری کل دوره رشد گیاهان یونجه، گندم و جو و چغندرقد به ترتیب ۱۱۹۱، ۳۹۰ و ۸۴۴ میلی‌متر می‌باشند. در بخش تقاضای آب، بیشترین مقدار هیدرومدول آبیاری ۱/۷۳ لیتر بر ثانیه در هکتار مربوط به واحد ۱ و کمترین آن با مقدار ۰/۴۶ مربوط به واحد ۱۵، برآورد شدند (ملاح و همکاران، ۱۴۰۰).

نتایج تحلیل شکاف بیلان آب در واحدهای ۱۹ گانه‌ی هم‌آب با استفاده از داده‌های برآورد شده هیدرومدول آبیاری و شرایط موجود بهره‌برداری نشان داد، ۴۰ درصد اراضی آبی در گروه بیش‌بود و بقیه در گروه کمبود آب قرار دارند (شکل ۶، ب). واحدهای هم‌آب دارای کمبود آب، نشان از نبود توازن بین نیاز آبی گیاهان الگوی کشت و سطح زیر کشت یا به عبارت دیگر نبود توازن بین عرضه و تقاضای آب می‌باشند. با توجه به نقشه تولید شده، زمینه‌ی گفتگوی



الف

شکل ۶- نقشه منابع آب زیر حوضه: الف) موقعیت واحدهای هم‌آب، منابع آب، نقاط آگیری و شبکه سنتی انتقال و توزیع آب، و ب) شکاف بیلان آب اراضی آبی

واحدهای هم‌آب ۴ و ۱۴ برابر ۷۰/۱ میلی‌متر و حداقل عمق آبیاری خالص برابر ۵۳/۶ میلی‌متر برای واحدهای هم‌آب ۶، ۱۰، ۱۲ و ۱۶ به دست آمد. میانگین دور آبیاری گندم در خردادماه ۱۱ روز و برای گیاهان چغندرقد، باغات مخلوط و

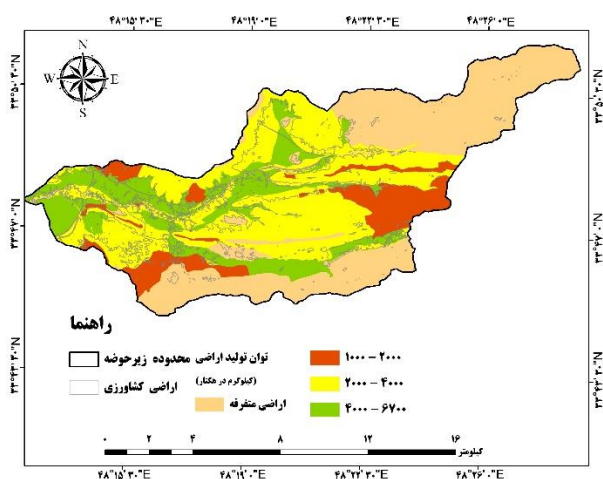
نتایج پناهی و همکاران (۱۴۰۰، الف) نشان داد میانگین عمق آبیاری خالص واحدهای هم‌آب برای گندم، چغندرقد، باغات و یونجه به ترتیب برابر ۶۰/۸، ۵۵/۸، ۸۱/۴ و ۷۳/۶ میلی‌متر است. حداکثر عمق آبیاری خالص برای

دوم برای گندم ۱۰۰۰ تا ۶۷۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. به عنوان نمونه، نقشه‌های کلاس تناسب و توان تولید اراضی گندم به ترتیب در شکل‌های ۷، الف و ب نشان داده شده است.

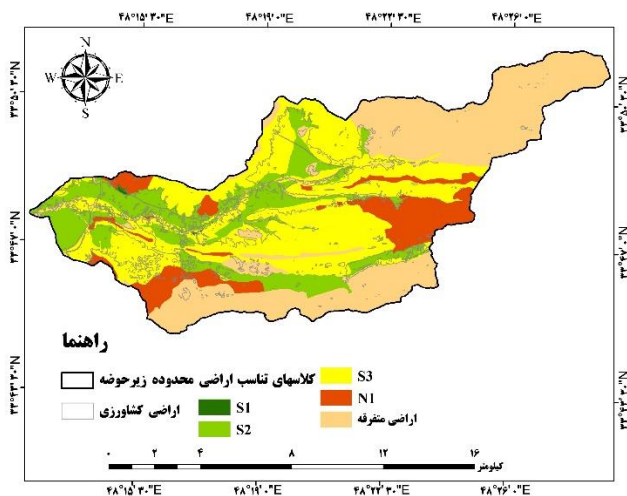
یونجه به ترتیب ۸ روز در تیرماه، ۱۱ روز در مردادماه و ۸ روز در تیرماه به دست آمد.

وضعیت تناسب و توان اراضی

توان تولید اراضی با توجه به توان تولید اقلیمی و تأثیر عوامل محدودکننده در خاک به روش پارامتریک-ریشه



ب



الف

شکل ۷- گسترش جغرافیایی اراضی مطالعه شده برای کشت گندم آبی در زیر حوزه هنام به تفکیک: الف) کلاس‌های تناسب اراضی، و ب) توان تولید اراضی

اراضی آن‌ها از ۲۷۶۵ تا ۶۲۴۰ کیلوگرم برآورد شده است و در صورت مدیریت درست، قابل دستیابی خواهد بود. کشت نخود و عدس در منطقه با محدودیت اقلیمی متوسط درجه حرارت در فصل رشد گیاه روبه‌رو است (جدول ۴). در حالی که نتایج مشیری (۱۳۹۹) نشان می‌دهد عملکرد نخود در مزارع مورد بررسی در محدوده وسیعی بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است. این موضوع نشان دهنده تفاوت مدیریت کشاورزان نخودکار در منطقه است که برخی از آن‌ها توانسته‌اند بر محدودیت‌های اقلیمی غلبه کنند؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود از روش‌های به‌نژادی و به‌زراعی مانند اصلاح ارقام حبوبات و تغییر تاریخ کشت آن‌ها استفاده شود.

فقط ۱۱۱/۷۵ میلی‌متر از آب موردنیاز گندم، در طول دوره رشد از طریق بارندگی تأمین می‌شود. با توجه به اینکه نیاز آبی گندم در این دوره، در منطقه ۳۹۰ میلی‌متر است، بنابراین توان تولید دیم خیلی کمتر از شرایط آبی است و ۲۷۸/۲۵ میلی‌متر کمبود آب در سیکل رشد، می‌بایستی از طریق آبیاری تأمین شود. در نتیجه، بارندگی برای هیچ یک از محصولات موردبررسی کافی نیست و برای افزایش میزان تولید این محصولات، آبیاری ضروری است.

علی‌رغم اینکه توان اقلیمی گندم ۷۹۸۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است، بیشتر واحدها در تناسب کیفی S2 و S3 قرار گرفتند که بسته به نوع محدودیت‌ها، توان تولید

جدول ۴- نتایج ارزیابی تناسب اقلیمی، اراضی، توان تولید و عملکرد کشاورز برای محصولات موردبررسی

گیاه	شاخص اقلیمی	درجه تناسب	کلاس تناسب اقلیمی	محدودکننده‌ترین عامل	تناسب اراضی به ترتیب وسعت	تخمین تولید پتانسیل (کیلوگرم ماده تر در هکتار)	توان تولید اراضی (کیلوگرم در هکتار)
گندم	۷۰/۸	۸۰/۴	S2	متوسط درجه حرارت در چرخه رشد	S1 و N1, S2, S3	۷۹۸۳/۰۹	۱۰۴۰ تا ۶۶۸۸
جو	۸۱/۳	۸۹/۸	S1	—	N2 و S1, S2, N1, S3	۵۸۶۳/۵۳	۴۰۸ تا ۴۹۷۷
پونجه	۸۲/۰	۹۰/۵	S1	—	S3 و S1, S2, N2	۱۵۰۶۴/۲۵	۵۳۶ تا ۷۹۵۱
شبدر	۹۹/۹	۱۰۰/۰	S1	—	N1 و S3, S1, S2, N2	۱۸۶۴۹/۶	۱۵۳ تا ۳۸۶۱
سیر	۴۶/۰	۵۸/۱	S3	متوسط درجه حرارت در چرخه رشد	N1 و S2, S3, N2	۲۲۶۷۱/۶	۳۲۷ تا ۶۷۷۸
باقلا	۹۰/۷	۹۸/۳	S1	—	N1 و S1, S3, S2, N2	۴۰۵۴/۰۵	۱۵۶ تا ۳۴۲۳
نخود	۱۲/۵	۲۰/۰	N	متوسط درجه حرارت در چرخه رشد	N1 و N2	۴۰۸۰/۱۳	۱۱۸ تا ۲۷۶۵
عدس	۱۲/۵	۲۰/۰	N	متوسط درجه حرارت در چرخه رشد	N1 و N2	۴۳۱۸/۹	۱۵۸ تا ۳۵۹۸

شکاف بین عملکرد واقعی و پتانسیل

با تعیین واحدهای همگن مدیریتی خاک و آب، زمینه بررسی علت-معلولی شکاف تولید با نگاه بین‌رشته‌ای فراهم شد. به عبارتی، به جای آنکه حاصلخیزی و بیولوژی خاک، آبیاری، طبقه‌بندی و تناسب اراضی به شناخت جداگانه مسائل زیر حوضه بپردازند و توصیه‌های مدیریتی خود را به طور مجزا به کارشناسان، مروجان و بهره‌برداران ارائه دهند، اکنون زمینه شناخت و توصیه در قالب بسته‌های مدیریتی برای هر واحد که در آن کشاورزان مشترک با کشت‌های مختلف مشغول فعالیت هستند، فراهم شده است. افزون بر این، واحدهای همگن مدیریتی با گذار از صرف زبان علمی، گفتگوی مدیریتی با کارشناسان، مروجان و بهره‌برداران را تسهیل نموده است.

در جدول ۵ و ۶، واحدهای همگن مدیریتی خاک و آب در اراضی آبی و دیم زیر حوزه هنام برای گندم نشان داده شده است. از ۲۳ واحد همگن مدیریت خاک و آب در اراضی آبی، ۱۶ واحد دارای فسفر کمتر از حد بحرانی ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و در ۱۵ واحد عنصر روی کمتر از حد بحرانی ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم است (جدول ۵). در واحدهای همگن مدیریت خاک و آب اراضی دیم، از ۳۰ واحد همگن، ۲۴ واحد محدودیت فسفر و ۲۵ واحد محدودیت روی دارند (جدول ۶) که این نتیجه تأیید نتایج پرسشنامه‌ها و آزمایش‌های انجام شده را نموده و مشخص

می‌نماید منطقه از نظر عنصر فسفر و روی بیشترین مشکل تغذیه‌ای را دارد. از طرف دیگر، علیرغم آنکه توان اقلیمی گندم ۷۹۸۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شده، با توجه به اینکه عمده واحدها تناسب کیفی S2 و S3 دارند، بسته به محدودیت‌ها توان تولید اراضی آبی از ۲۷۶۵ تا ۶۲۴۰ کیلوگرم در هکتار و اراضی دیم از ۲۰۵۰ تا ۶۲۱۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است که در صورت مدیریت صحیح، دستیابی به آن امکان‌پذیر خواهد بود.

۲۱۸/ مدیریت یکپارچه خاک و آب در مقیاس مزرعه در زیر حوضه هنام(قسمت اول: تعیین واحدهای همگن....

جدول ۵- خصوصیات خاک، آب، فرسایش پذیری، تناسب و توان تولید گندم در واحدهای همگن مدیریت خاک و آب اراضی آبی

توان تولید اراضی گندم	توان اقلیمی گندم	تناسب کیفی خاک غالب	رده و فامیل خاک غالب	فرسایش پذیری	ویژگی های آبیاری		خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک												مساحت			واحد همگن مدیریت خاک و آب	
					شیب جانبی	شیب اصلی	سنگریزه عمقی	سنگریزه سطحی	بافت خاک عمقی	بافت خاک سطحی	mg/kg						N	OC	TNV	EC	pH		هکتار
											Fe	Mn	Zn	Cu	K	P							
۳۰۵۲		S۳	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	Hd	۵-۲	۸-۵	۳۵-۱۵	۳۵-۱۵	V	SiC	۱۴	۲۹	۰/۹۵	۲	۶۳۰	۲۸	۰/۳۸	۴	۱۷	۰/۹۵	۷/۵	۲۰	C_C_d_PI_-_Hd
۳۲۷۲		S۳	Fine mixed mesic Typic Calcixerepts	Hd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۴	C_C_d_?_mzn_p_?_Hd
۳۲۴۷		S۳	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	Hd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴۷	C_C_d_v_Hd
۵۶۹۸	۷۹۸۳	S۲	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	Hn	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SiC	۱۴	۱۰/۶	۲۰۶	۲	۳۴۸/۸	۸/۷	۰/۴	۴/۳	۲۸/۹	۰/۸	۷/۳	۳۳	C_C_d_t_-_A_P۰_-_PII_-_Hn
۵۹۳۵		S۲	Fine mixed mesic Typic Calcixerepts	Hn	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SiC	۸/۸	۱۵/۹	۰/۹	۱/۷	۳۴۷/۵	۲۷/۴	۰/۲	۱/۳	۲۵/۵	۰/۹	۷/۷	۲۱	C_C_d_mcu_t_-_A_P۱_-_PI_-_Hn
۵۵۹۵		S۲	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	P	۲-۰	۲-۰	-	-	H	SiC	۱۰/۶	۱۳/۷	۰/۴۹	۸/۸۲	۳۲۵	۵/۷۲	۰/۱۳	۱/۴	۲۶/۶	۰/۶۹	۷/۸	۲۹	C_C_d_mzn_p_t_-_A_P۱_-_PII
۳۲۴۷		S۳	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	Hn	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SiC	۱۲/۲	۱۱	۰/۷	۲	۳۱۳/۴	۹/۴	۰/۱۷	۱/۷	۲۶/۸	۰/۸	۷/۷	۱۲۳	C_C_d_v_mzn_p_t_-_A_P۱_-_PII_-_Hn
۶۲۴۰		S۲	Fine mixed mesic Vertic Calcixerepts	Hd	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SIC	۱۲/۳	۱۸/۹	۰/۵۹	۱/۹	۳۶۸/۳	۱۰/۲	۰/۱۳	۱/۲۵	۳۴/۳	۰/۷۵	۷/۵	۱۴	C_C_d_v_mzn_t_-_A_P۱_-_Hd
۶۲۱۱		S۲	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	P	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SICL	۸/۶	۲۴/۵	۱/۰۸	۱/۹۱	۴۷۷/۵	۱۵/۴	۰/۱۸	۱/۸	۳۶/۵	۱/۱۵	۷/۴	۱۳	C_C_d_v_t_-_A_P۱_-_PII
۶۲۴۰		S۲	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	P	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SIC	۱۴	۲۲/۴	۰/۴	۱/۹	۴۴۵	۴/۶	۰/۱۲	۱/۲	۱۵/۱	۰/۹	۷/۶	۸۹	C_C_d_v_mzn_p_-_A_P۲_-_Hn_-_PII
۳۲۴۷		S۳	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	P	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SIC	۱۲/۲	۱۱	۰/۶۹	۲	۳۱۳/۴	۹/۴	۰/۱۷	۱/۷	۲۶/۸	۰/۸	۷/۷	۶۳	C_C_d_v_mzn_p_t_-_A_P۲_-_Hd_-_PII
۶۲۴۰		S۲	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	P	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SIC	۱۳/۳	۱۲/۶	۰/۷	۱/۹۵	۳۱۵/۵	۱۴/۷	۰/۱۶	۱/۶	۳۱/۳	۰/۸۵	۷/۶	۹۰	C_C_d_v_p_t_-_A_P۲_-_Hd_-_PII

توان تولید اراضی گندم	توان اقلیمی گندم	تناسب کیفی خاک غالب	رده و فامیل خاک غالب	فرسایش پذیری	ویژگی های آبیاری		خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک														مساحت			واحد همگن مدیریت خاک و آب
					شیب جانبی	شیب اصلی	سنگریزه عمقی %	سنگریزه سطحی %	بافت خاک عمقی	بافت خاک سطحی	mg/kg						N %	OC %	TNV %	EC	pH	هکتار		
											Fe	Mn	Zn	Cu	K	P								
(Kg/ha)	(Kg/ha)																							
۲۷۶۵		S۳	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	P	۵-۲	۵-۲	-	-	V	SIC	۱۷/۶	۲۴/۱	۰/۴	۲	۳۸۵	۵/۸	۰/۱۷	۱/۷۳	۲۴/۹	۱/۲۵	۷/۵	۵۰	C_C_d_v_mzn_p_l_-_- _B_P۱_-_-Hn_-PI	
۴۷۰۴		S۲	Fine mixed mesic Vertic Calcixerepts	Hd	۲-۰	۵-۲	-	-	V	SIC	۸/۴	۲۴/۴	۰/۸۲	۲	۶۱۰	۷/۸	۰/۱۵	۱/۵	۲۱	۰/۶۹	۷/۷	۳۶	C_C_d_v_p_-_-B_P۱_-_-Hd	
۴۷۴۷		S۲	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	P	۵-۲	۵-۲	-	-	V	C	۱۱/۴	۱۸/۴	۱/۷	۲	۳۶۶	۴۴/۳	۰/۴۹	۴/۹	۳۰	۰/۸۵	۷/۵	۱۳	C_C_d_t_-_-B_P۲_-_-PII	
۵۶۵۶		S۲	Fine mixed mesic Typic Calcixerepts	Hd	۸-۵	۲-۰	-	-	H	SIC	۵۲	۱۲/۴	۰/۶	۱/۶	۳۵۵	۵/۶	۰/۱۱	۱/۱	۳۳	۰/۵۶	۷/۸	۴۲	C_C_d_mzn_p_t_-_-c_P۱_-_- _Hd	
۳۲۸۹		S۳	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	Md	۵-۲	۸-۵	-	-	V	SIC	۸	۱۰	۱	۲	۴۰۵	۱۱	۰/۱	۱	۲۳	۱	۷/۶	۳۲	C_C_d_v_mzn_-_-C_P۱_-_- _Md	
۴۴۰۶	۷۹۸۳	S۲	Fine mixed mesic Typic Calcixerepts	Hd	۸-۵	۵-۲	-	-	V	SIC	۵/۸	۱۲/۲	۰/۴۵	۱/۵	۳۵۰/۸	۹	۰/۵۳	۱/۲۵	۲۷/۶	۰/۸۵	۷/۵	۱۳۳	C_C_d_mzn_p_t_l_-_- _c_P۱_۳P_Hd	
۵۹۴۲		S۲	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	Hd	۲-۰	۲-۰	-	۵-۳	V	SIC	۱۴/۳	۱۴	۱/۱	۲/۲	۴۲۸	۹/۱	۰/۳	۲/۱	۲۸/۵	۰/۶	۷/۶	۱۴	C_C_d_p_t(g)-_-A_P۰_-_- _Hd	
۴۹۸۰		S۲	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	Hd	۲-۰	۲-۰	-	۵-۳	V	SIC	۱۲/۵	۱۹/۶	۰/۸	۱/۸	۳۵۳	۲۳/۸	۰/۲	۲	۲۴	۰/۷	۷/۵	۲۶	C_C_d(g)-_-A_P۱_-_-Hd	
۶۲۴۰		S۲	Fine mixed mesic Vertic Haploxerepts	Md	۲-۰	۲-۰	-	۵-۳	V	SIC	۱۳	۱۳/۵	۰/۷	۱/۹	۳۹۰/۵	۱۰/۲	۰/۱۷	۱/۹	۲۴/۴	۰/۸	۷/۶	۸۷	C_C_d_v_mzn_p_t(g)-_- _A_P۱_-_-Md	
۵۸۷۰		S۲	Fine mixed mesic Typic Calcixerepts	Hn	۲-۰	۲-۰	-	۵-۳	H	SICL	۱۰/۱	۱۶/۹	۰/۸	۱/۶	۳۴۶	۹/۵	۰/۱۳	۱/۲۵	۲۲	۰/۶	۷/۷	۱۹	C_C_d_p_l(g)-_- _A_P۲_۲P_Hn	
۴۴۹۴		S۲	Fine mixed mesic Typic Haploxerepts	P	۵-۲	۵-۲	-	۵-۳	V	SiC	۱۰/۸	۱۳/۱	۱/۵	۱/۸	۲۵۶/۳	۱۴/۵	۰/۲	۲/۱	۲۸/۲	۱	۷/۶	۶۷	C_C_d_t(g)-_-B_P۱_-_-PII	

۲۲۰/ مدیریت یکپارچه خاک و آب در مقیاس مزرعه در زیر حوضه هنام(قسمت اول: تعیین واحدهای همگن....

جدول ۶- خصوصیات خاک، آب، فرسایش پذیری، تناسب و توان تولید گندم در واحدهای همگن مدیریت خاک و آب اراضی دیم

توان تولید اراضی گندم	توان اقلیمی گندم	تناسب کیفی خاک غالب	رده و فامیل خاک غالب	فرسایش پذیری	ویژگی های آبیاری		خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک														مساحت			واحد همگن مدیریت خاک و آب
					شیب جانبی	شیب اصلی	سنگریزه عمقی %	سنگریزه سطحی	بافت خاک عمقی	بافت خاک سطحی	mg/kg						N	OC	TNV	EC	pH	هکتار		
											Fe	Mn	Zn	Cu	K	P								
۲۷۶۵		S۳	Fine, mixed, mesic, Vertic Haploxerepts	Hd	۲-۰	۲-۰	-	-	H	SiCL	۱۴/۴	۲۲	۰/۳۴	۱/۷	۳۵۳	۷/۲	۰/۰۸	۰/۸	۲۰	۰/۷۷	۷/۶	۵۰	C.C.?.d.v.?mzn.p.t.?.Hd	
۶۱۱۹		S۲	Loamy-skeletal, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۲-۰	۲-۰	۳۵-۱۵	۳۵-۱۵	V	SiC	۱۴	۱۶/۹	۰/۷۲	۲	۴۰۸	۱۲/۳	۰/۱	۱	۴۸	۰/۶۳	۷/۶	۱۰۵	C.C.d.l.Hd	
۴۷۰۵		S۲	Fine, mixed, mesic Typic Haploxerepts	P	۵-۲	۵-۲	-	۱۵-۳	V	SiC	۲/۲	۱۲/۴	۲/۹	۱/۶	۴۹۵	۳۰	۰/۰۸	۰/۸	۳۱	۰/۷۳	۷/۶	۷۰	C.C.d.mfe.t.PII	
۳۰۴۹		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۱۲-۸	۸-۵	-	۱۵-۳	H	SiC	۹	۱۲/۹	۰/۵	۱/۸	۶۲۵	۱۷	۰/۲	۲/۱	۱۶/۹	۰/۸۲	۷/۶	۳۶	C.C.d.mzn.l.Hd	
۳۰۶۷	۷۹۸۳	S۲	Fine, mixed, mesic Typic Haploxerepts	Hd	۸-۵	۲-۰	-	۱۵-۳	V	SiC	۱۳/۵	۲۰	۰/۴	۲	۴۴۷	۷/۹	۰/۱۹	۱/۸	۲۴/۲	۰/۶۵	۷/۶	۳۴	C.C.d.mzn.p.PII-Hd	
۴۲۸۵		S۲	Fine-loamy, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۵-۲	۸-۵	۳۵-۱۵	۱۵-۳	H	SiC	۹	۱۱	۰/۵	۵/۲	۳۲۳	۷/۵	۰/۱۱	۱/۲	۲۷/۶	۰/۷۱	۷/۷	۱۱۱	C.C.d.mzn.p.t.PII-Hd	
۳۰۱۸		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۸-۵	۸-۵	-	۱۵-۳	H	SiCL	۹/۶	۱۳	۰/۳	۱/۵	۳۱۶	۴	۰/۱	۱	۳۵	۰/۸۹	۷/۶	۳۱	C.C.d.mzn.p.t.l.Hd	
۳۸۹۱		S۲	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۵-۲	۸-۵	-	۱۵-۳	V	SiC	۷/۳	۱۳	۰/۴	۱/۸	۲۸۴	۷	۰/۱	۰/۹	۳۴/۸	۰/۵۷	۷/۶	۱۵۱	C.C.d.mzn.p.t.o.Hd	
۴۶۰۵		S۲	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۲-۰	۵-۲	-	۱۵-۳	V	SiCL	۹	۱۶/۲	۰/۷	۱/۶	۳۴۷	۱۲	۲/۴	۱/۲	۳۰/۲	۰/۷۳	۷/۶	۱۴۰	C.C.d.mzn.t.Hd	

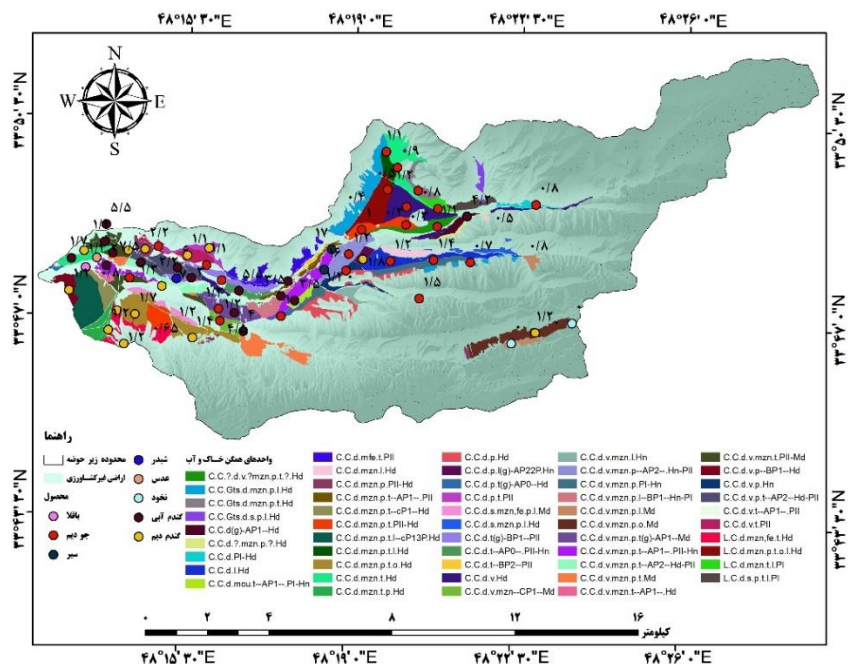
توان تولید اراضی گندم	توان اقلیمی گندم	تناسب کیفی خاک غالب	رده و فامیل خاک غالب	فرسایش پذیری	ویژگی‌های آبیاری		خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک														مساحت		واحد همگن مدیریت خاک و آب
					شیب جانبی	شیب اصلی	سنگریزه عمقی	سنگریزه سطحی	بافت خاک عمقی	بافت خاک سطحی	mg/kg						N	OC	TNV	EC	pH	هکتار	
											Fe	Mn	Zn	Cu	K	P							
(Kg/h)	(Kg/h)						%										%						
۳۲۸۸		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۵-۲	۸-۵	-	۳۵-۱۵	H	SiCL	۵/۶	۱۰	۰/۵	۱/۴	۲۴۳	۱۴/۷	۰/۱	۱/۴	۳۸/۳	۰/۶	۷/۶	۵۲	C.C.d.mzn.t.p.Hd
۳۶۲۲		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۵-۲	۸-۵	۳۵-۱۵	۳۵-۱۵	V	SiC	۱۵/۶	۱۷/۶	۰/۹	۲	۳۸۵	۴/۴	۰/۲	۲	۱۸/۵	۰/۸	۷/۶	۸۹	C.C.d.p.Hd
۵۷۹۱		S۲	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	P	۲-۰	۵-۲	۳۵-۱۵	۱۵-۳	H	SiC	۱۰/۴	۱۷/۷	۱/۳	۱/۸	۴۰۴	۶/۴	۰/۱۸	۱/۸	۳۲/۸	۰/۷	۷/۵	۴۲	C.C.d.p.t.PII
۲۱۹۸		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Md	۲۵-۱۲	۱۲-۸	-	-	H	SiC	¼	۶/۹	۰/۶	۱/۳	۳۲۳	۷	۰/۱۱	۱/۱	۲۴	۰/۶	۷/۷	۳۴	C.C.d.s.mzn,fe.p.l.Md
۲۰۵۰		S۳	Fine, mixed, mesic Lithic Haploxerepts	Hd	۲۵-۱۲	۱۲-۸	۳۵-۱۵	۷۵-۳۵	V	SiC	۱۰/۹	۱۷/۱	۰/۴	۲	۳۸۷	۵/۸	۰/۱	۱	۲۱/۷	۰/۵	۷/۶	۲۴	C.C.d.s.mzn.p.l.Hd
۴۷۴۴	۷۹۸۳	S۲	Fine, mixed, mesic Vertic Haploxerepts	Hd	۲-۰	۲-۰	-	۱۵-۳	V	SiC	۸/۶	۱۵/۱	۰/۷	۱/۷	۳۷۱	۱۰/۴	۰/۱۱	۱/۱	۲۳	۰/۶	۷/۶	۱۱۴	C.C.d.v.Hd
۴۵۱۳		S۲	Fine, mixed, mesic Vertic Calcixerepts	Hn	۲-۰	۵-۲	-	۱۵-۳	V	SiC	۸	۱۲/۶	۰/۴	۱/۷	۴۳۳	۱۸/۵	۰/۱۲	۱/۲	۲۴/۶	۱/۳	۷/۵	۲۶	C.C.d.v.mzn.l.Hn
۴۲۳۰		S۳	Fine, mixed, mesic Vertic Haploxerepts	Hn	۲-۰	۲-۰	-	۳۵-۱۵	V	SiC	۱۳/۲	۱۹/۸	۰/۵	۱/۹	۴۸۲	۵/۷	۰/۱۲	۱/۲	۱۰/۹	۰/۷۵	۷/۷	۸۶	C.C.d.v.mzn.p.PI-Hn
۳۸۵۰		S۲	Fine, mixed, mesic Vertic Calcixerepts	Md	۵-۲	۵-۲	-	۱۵-۳	V	C	۱۴/۸	۱۵/۴	۰/۴	۲	۳۳۸	۷/۴	۰/۱۳	۱/۳	۱۲/۴	۰/۶	۷/۵	۳۲	C.C.d.v.mzn.p.l.Md
۴۹۰۲		S۲	Fine, mixed, mesic Vertic Haploxerepts	Md	۲-۰	۵-۲	-	-	V	C	۱۲/۱	۱۴/۸	۰/۳	۱/۵	۳۵۷	۷/۲	۰/۰۹	۰/۹	۸	۰/۶	۷/۵	۱۰۱	C.C.d.v.mzn.p.o.Md
۳۹۷۶		S۲	Fine, mixed, mesic Vertic Calcixerepts	Md	۵-۲	۵-۲	-	۱۵-۳	V	SiC	۱۲/۸	۱۵/۲	۰/۶	۱/۹	۳۵۱	۷	۰/۱۵	۱/۵	۲۹/۹	۰/۷	۷/۵	۹۳	C.C.d.v.mzn.p.t.Md

۲۲۲/ مدیریت یکپارچه خاک و آب در مقیاس مزرعه در زیر حوضه هنام(قسمت اول: تعیین واحدهای همگن....

توان تولید اراضی گندم	توان اقلیمی گندم	تناسب کیفی خاک غالب	رده و فامیل خاک غالب	فرسایش پذیری	ویژگی‌های آبیاری		خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک														مساحت			واحد همگن مدیریت خاک و آب
					شیب جانبی	شیب اصلی	سنگریزه عمقی	سنگریزه سطحی	بافت خاک عمقی	بافت خاک سطحی	mg/kg						N	OC	TNV	EC	pH	هکتار		
											Fe	Mn	Zn	Cu	K	P								
(Kg/h)	(Kg/h)						%									%								
۴۷۱۷		S۲	Fine, mixed, mesic Vertic Calcixerepts	Md	۵-۲	۵-۲	-	۱۵-۳	V	SiC	۱۰/۹	۱۶/۸	۰/۵	۱/۹	۳۵۷	۱۱/۳	۰/۱۲	۱/۳	۳۱/۵	۰/۵۸	۷/۶	۱۰۶	C.C.d.v.mzn.t.PII-Md	
۵۹۰۶		S۲	Fine, mixed, mesic Vertic Calcixerepts	Hn	۲-۰	۲-۰	-	۱۵-۳	V	SiC	۱۱	۱۸/۷	۱	۱/۸	۴۴۷	۵/۲	۰/۱	۱	۱۹/۲	۰/۶۹	۷/۷	۳۸	C.C.d.v.p.Hn	
۶۲۱۱		S۲	Fine, mixed, mesic Typic Haploxerepts	P	۲-۰	۲-۰	-	-	V	SiCL	۸/۶	۲۴/۴	۱	۱/۹	۴۷۸	۱۵/۴	۰/۱۸	۱/۸	۳۶/۵	۱/۱۵	۷/۴	۴۸	C.C.d.v.t.PII	
۲۲۸۵	۷۹۸۳	S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۵-۲	۱۲-۸	۳۵-۱۵	۷۵-۳۵	H	SiC	۱۰/۵	۱۴/۷	۰/۵	۱/۹	۳۶۳	۴/۸	۰/۱۶	۱/۵	۱۹	۰/۶۵	۷/۶	۱۴۵	C.C.Gts.d.mzn.p.l.Hd	
۲۰۰۳		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Haploxerepts	Hd	۲-۰	۱۲-۸	-	۷۵-۳۵	H	SiCL	۹/۱	۱۲/۸	۰/۵	۱/۵	۳۳۵	۷/۲	۰/۱۳	۱/۲	۳۳/۵	۰/۸۳	۷/۵	۳۷	C.C.Gts.d.mzn.p.t.Hd	
۲۰۵۶		S۳	Fine, mixed, mesic Lithic Haploxerepts	Hd	۴۰-۲۵	۴۰-۲۵	۳۵-۱۵	۷۵-۳۵	H	SiCL	۹/۹	۲۴/۹	۱/۷	۱/۸	۵۰۶	۸/۲	۰/۲۱	۲/۲	۲۶	۰/۹	۷/۶	۲۹	C.C.Gts.d.s.p.l.Hd	
۳۲۶۶		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	Hd	۲-۰	۸-۵	-	-	H	SiCL	۴/۸	۱۰	۰/۵	۱/۳	۲۷۴	۱۱/۴	۰/۱۱	۱/۱	۳۸/۵	۰/۶	۷/۶	۶۵	L.C.d.mzn,fe.t.Hd	
۲۷۸۰		S۳	Fine-loamy, mixed mesic Typic Calcixerepts	Hd	۲-۰	۸-۵	-	۱۵-۳	H	SiCL	۶/۱	۹/۳	۰/۴	۱/۲	۲۵۰	۵/۶	۰/۰۸	۰/۸	۳۶/۷	۰/۴	۷/۶	۱۰۴	L.C.d.mzn.p.t.o.l.Hd	
۲۸۳۷		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	P	۲-۰	۸-۵	-	۱۵-۳	H	SiCL	۱۰/۴	۱۵/۹	۰/۵	۱/۷	۳۶۳	۱۵/۴	۰/۱۲	۱/۲	۴۳	۰/۶	۷/۹	۲۹	L.C.d.mzn.t.l.PI	
۲۸۳۷		S۳	Fine, mixed, mesic Typic Calcixerepts	P	>۴۰	۸-۵	۳۵-۱۵	۳۵-۵	H	SiCL	۱۱/۸	۲۱/۷	۳/۸	۱/۴	۳۱۳	۵/۲	۰/۱	۱	۳۸	۰/۷۵	۷/۷	۳۱	L.C.d.s.p.t.l.PI	

محدودیت خاک، امکان برداشت ۸ تن در هکتار گندم در منطقه وجود دارد. در بیشتر واحدهایی که دارای محدودیت کمتر هستند، توان تولید اراضی نیز بیشتر است. همچنین، مقادیر عملکرد واقعی و پتانسیل تفاوت بسیار زیادی دارند که می‌تواند دلایل متعددی از جمله عوامل فنی و ابعاد اقتصادی-اجتماعی داشته باشد.

تلاقی اطلاعات حاصل از واحدهای همگن مدیریت خاک و آب، عملکرد توان (پتانسیل) اقلیمی، توان تولید اراضی و عملکرد واقعی به دست آمده از ۷۰ نقطه کیل-گیری شده (شکل ۸) نشان داد که واحدهای دارای محدودیت بیشتر عمدتاً در تناسب "نامناسب" قرار دارند. همچنین، با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و با در نظر گرفتن نبود



شکل ۸- پراکنش نقاط برداشت عملکرد واقعی محصولات عمده در منطقه مورد مطالعه در واحدهای همگن مدیریت خاک و آب. اعداد روی نقاط، عملکرد گیاهان مختلف هستند

دارد این شکاف عملکرد ناشی از مدیریت نادرست آبیاری باشد. فاصله عملکرد واقعی و توان تولید گندم نیز همانند گندم آبی نزدیک به ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است، اما با این تفاوت که در کشت دیم مدیریت آبیاری تأثیری نداشته و شکاف عملکرد به علت تناسب اراضی نسبتاً مناسب (S2) است. این در حالی است که در جو دیم، عملکرد واقعی و پتانسیل بسیار به یکدیگر نزدیک‌تر است.

نمونه‌ای از تفاوت بین عملکرد واقعی و توان تولید اراضی در جدول ۷ آورده شده است. به طوری که در واحد همگن واقع شده در اراضی آبی، علی‌رغم حداکثر توان تولید ۶۷۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد واقعی ۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است. با توجه به تناسب مناسب کشت گندم آبی در واحد "C.C.d.mcu.t-AP1--PI-Hn" و فاصله ۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتاری بین عملکرد واقعی و پتانسیل، احتمال

جدول ۷- تناسب اراضی و عملکردهای مختلف گندم در واحدهای همگن خاک و آب

عملکرد				تناسب واحد همگن	محصول	واحد همگن مدیریتی خاک و آب
شکاف	واقعی	توان تولید اراضی	توان اقلیمی			
کیلوگرم در هکتار						
۳۱۸۷/۹	۳۵۰۰	۶۶۸۷/۹	۷۹۸۳	S1	گندم آبی	C.C.d.mcu.t—AP1--PI-Hn
۳۰۰۴/۵	۱۷۰۰	۴۷۰۴/۵	۷۹۸۳	S2	گندم دیم	C.C.d.mzn.p.t.o.Hd
۵۹۸/۳	۷۰۰	۱۲۹۸/۳	۷۹۸۳	N1	جو دیم	C.C.Gts.d.mzn.p.l.Hd

نتیجه گیری

در این مطالعه، چارچوب اولیه بومی-اجرایی مدیریت یکپارچه خاک و آب با استفاده از روش طبقه‌بندی استعداد حاصلخیزی برای تهیه بسته‌های توصیه مدیریتی در مقیاس مزرعه و تعمیم آن در سایر مناطق مشابه به دست آمد و توصیف‌کننده‌های حاصلخیزی خاک و آبیاری برای اراضی نیمه خشک منطقه زاگرس اصلاح شدند. بر این اساس، ابتدا ۹۰ واحد خاکشناسی به ۲۳ واحد همگن مدیریت خاک و آب در اراضی آبی و ۳۰ واحد همگن مدیریت حاصلخیزی خاک در اراضی دیم تبدیل و سپس تحلیل شکاف بین رفتار فعلی و وضع مطلوب انجام شد. در نهایت، ۵۳ واحد همگن مدیریت خاک و آب، توانستند مسائل کشاورزان مشترک در یک واحد همگن مدیریتی را دسته‌بندی کنند. تحلیل شکاف رفتار فعلی بهره‌برداران و وضع مطلوب واحد همگن مدیریت خاک و آب نیز نشان داد که فاصله عملکرد واقعی و پتانسیل

به دلیل مسائل فنی و ابعاد اقتصادی-اجتماعی می‌باشند. اکنون بستر لازم برای توسعه چارچوب اولیه و ارائه بسته‌های مدیریت خاک و آب که موضوع مقاله دوم می‌باشد فراهم شده است. با توجه به موفقیت در استفاده از نقشه‌های نیمه تفصیلی دقیق خاک در مطالعه حاضر از یک سو و وجود تعداد زیادی از نقشه‌های خاک در مقیاس نیمه تفصیلی (۱:۵۰۰۰۰) در کشور از سوی دیگر، نیاز است تا امکان‌پذیری استفاده از نقشه‌های نیمه تفصیلی خاک برای صرف جویی در زمان و هزینه، بررسی شود. در این مطالعه، امکان تلفیق واحدهای همگن مدیریت خاک و آب با واحدهای هم‌آب و نیز دسته‌بندی واحدهای همگن مدیریتی فراهم نشد که نیاز است تا در مطالعات آتی، تمرکز بیشتری بر این بخش فنی انجام شود. همچنین، دسته‌بندی کشاورزان واحدهای همگن مدیریتی از لحاظ اقتصادی-اجتماعی می‌تواند به شناخت بیشتر دلایل شکاف عملکردی نشات گرفته از ابعاد اقتصادی-اجتماعی واحدها کمک کرده و به عنوان توصیف‌کننده، وارد مدل شود.

۱. اسمعیلی‌زاد، ا.، شکوری، ر.، دواتگر، ن.، و کاری دولت آباد، ح. ۱۴۰۲. ارزیابی نقش ویژگی‌های زیستی در کیفیت خاک زیر حوضه هنام استان لرستان. نشریه زیست‌شناسی خاک (پذیرش).
۲. افتخاری، ک. ۱۳۹۸. شناسایی و تفکیک واحدهای همگن بر مبنای خصوصیات خاک، تیپ‌های کاربری اراضی و وضعیت کمی و کیفی منابع آب در زیرحوضه هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۵۵۲۲۱، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۳. افتخاری، ک. ۱۳۹۷. ب. بررسی ارتباط خاک و لندفرم و تهیه نقشه تفصیلی خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی در زیرحوضه هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۵۵۲۳۱، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۴. امداد، م. ر. ۱۳۹۷. بررسی و شناسایی وضعیت کمی و کیفی منابع آب در زیر حوضه هنام. نشریه شماره موسسه تحقیقات خاک و آب. گزارش نهایی شماره فروست ۵۴۵۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۵. امیدواری، س. ۱۳۹۵. بررسی وضعیت موجود تخریب و تهیه نقشه‌های ریسک تخریب‌پذیری اراضی در واحدهای کاری همگن در زیر حوضه هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۵۰۲۵۶، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۶. بلالی، م. ر.، ملاح، س.، افتخاری، ک.، رضایی، ح.، بازرگان، ک.، نانجیا، و.، مشیری، و.، غالبی، س.، نویدی، م. ن.، پناهی، م.، رجالی، ف.، امداد، م. ر.، دواتگر، ن.، امیدواری، ش.، داوودی، م. ح.، محمداسماعیل، ز.، غلامپور، م.، سپهوند، م.، موم‌وندی، ع.، قنبرپوری، م. ع.، عبدی، ص.، متین‌کیا، م.، سپهوند، م.، عزیزالهی، م. ۱۳۹۸. تلفیق عوامل خاکی - آبی در راستای پایداری تولید محصولات کشاورزی در مقیاس مزرعه: مطالعه موردی زیر حوضه هنام از حوزه کرخه. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۵ تا ۷ شهریور ماه ۱۳۹۸. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۷. بلالی، م. ر. ۱۴۰۱. تلفیق عوامل خاکی - آبی در راستای نیل به تولید پایدار محصولات کشاورزی در زیر حوضه هنام از حوضه کرخه. گزارش نهایی شماره فروست ۶۲۴۴۳، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۸. پناهی، م.، ملاح، س.، غالبی، س.، امداد، م. ر. ۱۴۰۰ (الف). تعیین برنامه مناسب آبیاری گیاهان عمده زراعی و باغی در شبکه سستی آبیاری دشت هنام لرستان. مجله پژوهش آب ایران. ۱۵ (۱): ۸۷-۹۵.
۹. پناهی، م.، ملاح، س.، و امداد، م. ر. ۱۴۰۰ (ب). بررسی و ارائه توصیه‌های فنی برای انتخاب روش آبیاری متناسب با وضعیت منابع خاک و آب با هدف ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی در منطقه هنام (استان لرستان). تعیین برنامه مناسب آبیاری گیاهان عمده زراعی و باغی در شبکه سستی آبیاری دشت هنام لرستان. هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه، کرج، ۲۶ تا ۲۸ مهر ۱۴۰۰. <https://civilica.com/doc/1312585>
۱۰. داوودی، م. ح. ۱۳۹۸. تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در واحدهای کاری همگن در زیر حوضه هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۵۶۷۲۶، موسسه تحقیقات خاک و آب.

۱۱. رضایی، ح. ۱۳۹۷. بررسی تجربیات و نتایج حاصل از مطالعات بالادست حوزه کرخه. موسسه تحقیقات خاک و آب. گزارش نهایی شماره فروست ۵۵۱۸۱، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۲. رضایی، ح. ۱۳۹۹. بررسی وضعیت موجود مدیریت بهره برداری خاک و آب در زیر حوزه هنام (کرخه). گزارش نهایی شماره فروست ۵۷۱۶۹، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۳. رضایی، ح.، مشیری، ف.، بلالی، م.ر.، بازرگان، ک.، اسمعیل نژاد، ل.، و ملاح، س. ۱۴۰۲. تعیین واحدهای مدیریت حاصلخیزی خاک برای تولید گندم با استفاده از روش های زمین آمار، آنالیز مؤلفه های اصلی و خوشه بندی فازی در زیرحوضه هنام (استان لرستان). مجله تحقیقات کاربردی خاک (پذیرش).
۱۴. شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری- کمیسیون کشاورزی، آب و منابع طبیعی. ۱۳۹۶. برنامه علم و فناوری و اقتصاد دانش بنیان کشاورزی، آب و منابع طبیعی، ۲۰ صفحه.
۱۵. ضیایی جاوید، ع. ر. ۱۴۰۰. تعیین کاربری فعلی اراضی در زیر حوزه هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۶۰۱۲۵، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۶. غالبی، س و ملاح، س. ۱۳۹۸. بررسی وضعیت موجود تخصیص، مدیریت مصرف و بهره وری آب در واحدهای کاری همگن دشت هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۵۶۷۶۶، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۷. مشیری، ف. ۱۳۹۹. تعیین وضعیت مدیریت حاصلخیزی خاک در واحدهای کاری همگن در زیر حوزه هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۵۹۳۰۰، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۸. ملاح، س.، غالبی، س.، امداد، م.ر.، و پناهی، م. ۱۴۰۰. ارزیابی شاخص هیدرومدول آبیاری به منظور کاهش تاثیر تنش خشکی و مصرف بهینه آب در گیاهان عمده الگوی کشت اراضی دشت هنام. مجله تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک. ۳(۱): ۱۵-۲۴.
۱۹. منصوری، م. ح. ۱۳۶۸. راهنمای طبقه بندی اراضی برای آبیاری. تهران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۷۶۶.
۲۰. مهاجر میلانی، پرویز. ۱۳۸۹. گزارش نهایی پروژه "رهیافت مشارکتی برای ارزیابی چرخه عناصر غذایی در حوزه آبریز مرک و هنام از حوزه رودخانه کرخه". نشریه شماره ۱۵۳۸. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۲۱. نویدی، م. ن. ۱۳۹۷. طبقه بندی تفصیلی تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید برای محصولات کشاورزی در اراضی زیر حوزه هنام. گزارش نهایی شماره فروست ۵۴۴۷۴، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۲۲. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۳۹۱. نقشه جامع علمی بخش کشاورزی، ۳۹ صفحه.
23. Buol, S.W., Sanchez, P.A., Cate Jr, R., Granger, M.A. 1975. Soil fertility capability classification. Soil management in tropical America 126-141.
24. De Pauw, E., Mirghasemi, S., Ghaffari, A., Nseir, B. 2008. Agro-ecological zones of Karkheh River Basin: A reconnaissance assessment of climatic and edaphic patterns and their similarity to areas inside and outside the Basin. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria.
25. Ghafouri, M., H. Siadat, T. Oweis (Eds). 2012. Integrated watershed management in the upper catchments of Karkheh River Basin of Iran. CPWF Karkheh River Basin. Research Report no. 12, ICARDA, Aleppo, Syria. 89 pp.

26. Heydari. 2009. CPWF Story in KRB, CPWF–KRB Projects Final Workshop, 2-4 March, 2009, Karaj, Iran.
27. Rahaman, M.M., and O., Varis. 2005. Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. Sustainability: science, practice, and policy, <http://ejournal.nbii.org> . Volume1, Issue1
28. Mallah, S., Gorji, M., Balali, M.R., Asadi, H., Davatgar, N., Varmazyari, H., Stellacci, A.M., Castellini, M. 2023. Deep Insight on Land Use/Land Cover Geospatial Assessment through Internet-Based Validation Tool in Upper Karkheh River Basin (KRB), West, Iran. Land 12, 979. <https://doi.org/10.3390/land12050979>
29. Mohajer Milani, P. M., and J. Anthofer. "Effect of Azotobacter and Azospirillum on the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in Kermanshah and Lorestan, Iran." Improving Water Productivity and Livelihood Resilience in Karkheh River Basin in Iran. 2008: 17.
30. Sanchez, P. A., C. A. Palm, S. W. Buol. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. Geoderma. 114 (3-4): 157-185.
31. Sanchez, P. A., W. Couto, S. W. Buol. 1982. The fertility capability soil classification system: Interpretation, applicability and modification. Geoderma. 27 (4): 283-309.
32. Savva, A.P. and Frenken. K. 2002. Irrigation Manual. Surface Irrigation Systems Planning, Design, Operation and Maintenance , FAO Irrigation and Drainage. FAO. Harare.
33. Smyth, A.J, Dumanski, J. 1993. FESLM, an international framework for evaluating sustainable land management. World Soil Resources Report. no 73. FAO, Rome.
34. Sys, C., Vanranst, E. and Debaveye, J. 1991. Land Evaluation. Part II. Methods in Land Evaluation. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists. Ghent Univ., Ghent, Belgium.



اثر رطوبت خاک و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد

گندم در اراضی شور ماهشهر

سپیده ریسمن باف، سید کیوان مرعشی* و تیمور بابایی نژاد

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

sepideh.rismanbaf@gmail.com

استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

marashi_47@yahoo.com

استادیار، گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

timoorba@yahoo.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۱ و پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۷

چکیده

هدف این آزمایش ارزیابی تاثیر رطوبت خاک و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در اراضی شور بندر ماهشهر بود که به صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. متغیرهای مستقل شامل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی در سه سطح ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ به عنوان تیمار اصلی و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت به عنوان تیمار فرعی در چهار سطح شامل ۱) بدون کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با خطی‌کار، ۲) بدون کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با کف‌کار، ۳) یک بار کاربرد چیزل‌پیچ به عمق ۲۰ سانتی‌متر و کاشت با خطی‌کار و ۴) یک بار کاربرد چیزل‌پیچ به عمق ۲۰ سانتی‌متر و کاشت با کف‌کار بود. در شروع خاک‌ورزی، آبیاری مطابق عرف منطقه به روش غرقابی برای کاهش مقاومت کششی خاک در برابر ماشین‌های خاک‌ورزی در زمین شخم نخورده انجام شد و پس از مناسب شدن رطوبت خاک بر اساس تیمار اصلی، شخم با دیسک ۲۴ پره به تعداد یک بار به عمق ۱۵ سانتی‌متر زده شد. در این آزمایش بیش‌ترین وزن کلوخه در شرایط عدم کاربرد چیزل‌پیچ و رطوبت خاک ۲۰ درصد خاک و کمترین مقدار در شرایط کاربرد چیزل‌پیچ و رطوبت ۱۰٪ خاک در هنگام خاک‌ورزی حاصل شد. بیش‌ترین تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با کف‌کار و کمترین مقدار در شرایط بدون چیزل‌پیچ و کاشت با خطی‌کار اختصاص داشت. بطور کلی نتایج نشان داد که کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با کف‌کار در شرایط رطوبتی ۲۰٪ بهترین نتیجه را از لحاظ دانه‌بندی و عملکرد در اراضی شور نشان می‌دهد و می‌تواند برای کاهش اثرات شوری پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: چیزل‌پیچ، خطی‌کار، شوری خاک، کف‌کار

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: marashi_47@yahoo.com



مقدمه

ایران دارای محصولات کشاورزی مختلف بوده و در میان آن‌ها گندم (*Triticum aestivum* L.) دارای بیش‌ترین سطح زیر کشت و تولید است و افزایش تولید گندم در واحد سطح هرروز بیش‌ازپیش احساس می‌شود (سیادت و همکاران، ۱۳۹۲). تولید این گیاه در کشور با مشکلات مختلفی ازجمله شوری اراضی، ضعف درزمینه شبکه‌های آبیاری و زهکشی، رواج کشت سنتی و دیم، عدم توسعه مکانیزاسیون، عدم وجود بذور و کودهای شیمیایی مرغوب مواجه است (سیادت و همکاران، ۱۳۹۲). شوری ازجمله تنش‌های محیطی است که با ایجاد ممانعت در برابر جذب آب و اختلال در تعادل یونی باعث توقف فرآیند فتوسنتز، تنفس و کاهش تولید گیاه می‌شود و کشت گیاهان در این اراضی ممکن است به دلیل مواجه‌شدن تنش خشکی، سمیت یونی و کمبود مواد معدنی، آسیب‌دیده و دچار کاهش رشد و تولید گردند (همای، ۲۰۱۲). خاک‌های شور بر بهره‌وری کشاورزی، کیفیت خاک و آب‌های سطحی تأثیر منفی می‌گذارند، اما اگر به‌درستی مدیریت شوند، دارای پتانسیل اقتصادی قابل‌توجهی هستند (سیواس و همکاران، ۲۰۱۹). کشت ارقام مقاوم به شوری، شستشوی خاک برای پیش‌گیری از تجمع نمک در ناحیه ریشه، جلوگیری از خشک شدن خاک از طریق حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک، افزایش مواد آلی خاک، تغییر روش آبیاری از تغلی به قطره‌ای، شخم عمیق و آبیاری قبل از کشت (میرمحمدی میبدی و قره یاضی، ۱۳۸۱) و انتخاب محل بذرکاری مناسب (رشادصدقی، ۱۳۹۹) از روش‌های مدیریتی مناسب جهت کشت در اراضی شور به شمار می‌روند. در این خصوص روش کشت جوی و پشته‌ای نیز یکی از روش‌هایی است که توزیع و کارایی آب و راندمان مصرف کود را بهبود می‌بخشد. همچنین کاهش آلودگی علف‌های هرز و استقرار محصول و همچنین کاهش هزینه‌های کاشت، فرسایش خاک و تخریب را در پی دارد (مولدن و همکاران، ۲۰۱۳). در این روش، نمک بعد از

آبیاری به سطح خاک هدایت می‌شود و پس از تبخیر آب، در قسمت بالای پشته تجمع می‌یابد (دوکوتا و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج تحقیقات صلح‌جو و همکاران (۱۳۹۸) نشان داده است که استفاده از خطی کار کف کار در اراضی شور، پتانسیل شوری خاک در کف شیار را تا حدود ۵۱ درصد نسبت به روی پشته و ۱۷ درصد نسبت به کنار پشته کاهش می‌دهد و باعث افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آب می‌شود. وانگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان نموده‌اند که کاشت شیاری گندم میزان عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را نسبت به کاشت مرسوم روی سطح زمین صاف افزایش داد. با کاشت بذر در داخل جویچه آبیاری، به دلیل فراهم بودن رطوبت بیشتر در داخل جویچه‌ها، کاهش تبخیر از سطح خاک و شستشوی بیش‌تر نمک از کف جویچه، شرایط مناسبی برای جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و درنتیجه افزایش عملکرد فراهم می‌شود (زانگ و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج جین و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که تغییر از الگوی کاشت روی پشته به داخل جویچه به دلیل بهبود شرایط رطوبتی خاک در فصل رشد و تحریک ریشه‌ها به‌عنوان اندام‌های جاذب منابع رشد باعث افزایش عملکرد ذرت شد. دانگ و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که بذرکاری در بستر شیار باعث توزیع نابرابر نمک در لایه سطحی خاک شد. نتایج تحقیقات نشان داده است در صورتی‌که شخم اولیه در رطوبت بهینه انجام شود می‌توان با انجام یک یا دو دفعه دیسک زدن، اندازه کلوخه‌ها را کاهش داده و به شرایط مناسب برای بستر بذر راه یافت. این رطوبت در خاک-هایی با بافت متوسط برای کشت گندم آبی ۱۵ درصد و مناسب‌ترین عمق شخم ۱۵-۱۰ سانتیمتر توصیه شده است. صلح‌جو (۱۳۹۷) بیان کردند که در عمق شخم ۲۰-۱۵ سانتی‌متر، کلوخه‌های کوچک‌تری در مقایسه با عمق شخم ۳۰-۲۵ سانتی‌متر ایجاد می‌شود. نتایج رشادصدقی و لغوی (۱۳۸۸) نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک، عامل مؤثری در اندازه و سختی کلوخه‌های ایجادشده به-وسیله خاک‌ورزی اولیه است.

از آنجایی که رطوبت‌های مختلف خاک در اندازه کلوخه‌ها بعد از خاک‌ورزی مؤثر است و وجود این کلوخه‌ها بر رشد و نهایتاً عملکرد گیاهان تأثیر دارد. لذا این آزمایش باهدف ارزیابی تأثیر ادوات خاک‌ورزی و نوع دستگاه‌های کارنده در شرایط مختلف رطوبتی خاک به هنگام خاک‌ورزی بر دانه‌بندی و عملکرد گندم در اراضی شور منطقه ماهشهر به موردا اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، در مزارع لب‌شور واقع در ۳۰ کیلومتری شهرستان ماهشهر واقع در حوزه آبریز رودخانه جراحی، با موقعیت

جغرافیایی، ۳۰/۵۵۸۸ درجه طول جغرافیایی و ۴۹/۱۹۸۱ درجه عرض جغرافیایی با ارتفاع سه متر از سطح دریا اجرا شد. بندر ماهشهر در استان خوزستان واقع شده و از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی جهانی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد. ماهشهر دارای آب‌وهوای گرم و مرطوب است. میانگین بارندگی سالیانه ماهشهر حدود ۲۳۳ میلی‌متر است و دمای آن بین ۵۰ درجه در تابستان تا صفر درجه سانتی‌گراد در زمستان نوسان دارد. در این تحقیق از رودخانه جراحی به‌عنوان منبع آب جهت آبیاری مزرعه استفاده شد. خصوصیات خاک محل تحقیق و رودخانه جراحی در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

کربن آلی	شن	سیلت	رس	بافت	اسیدیته	هدایت الکتریکی	نیترژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
درصد	درصد	درصد	درصد			دسی زیمنس بر متر	درصد	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم بر کیلوگرم
۰/۵۶	۱۴	۴۷	۳۹	لوم رسی سیلتی	۷/۵۶	۱۱/۴۶	۰/۰۳۹	۴/۱۲	۱۴۸

جدول ۲- نتایج تجزیه کیفی آب رودخانه جراحی

اسیدیته	هدایت الکتریکی	کل مواد جامد محلول	سولفات	کلر	بی‌کربنات	کلسیم	منیزیم	پتاسیم	سدیم
دسی زیمنس بر متر	میلی گرم بر لیتر	میلی گرم بر لیتر	میلی اکی والان بر لیتر	میلی اکی والان بر لیتر	میلی اکی والان بر لیتر	درصد	درصد	درصد	درصد
۷/۶۸	۳/۳	۲۲۱۵/۱۳	۱۷/۳۰	۱۴/۷۶	۲/۶۰	۱۴/۷۶	۵/۳۸	۰/۱۵	۴۴/۶۵

آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش دو متغیر مستقل رطوبت خاک به هنگام خاک‌ورزی به‌عنوان تیمار اصلی و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت به‌عنوان تیمار فرعی موردبررسی قرار گرفت. متغیر رطوبت خاک به هنگام خاک‌ورزی در سه سطح شامل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و متغیر تلفیق نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت در چهار سطح به‌صورت (۱) بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار، (۲) بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار، (۳) یک‌بار کاربرد چیزل‌پیلر به عمق ۲۰ سانتی‌متر و کاشت با خطی‌کار و (۴) یک‌بار کاربرد چیزل‌پیلر به عمق ۲۰ سانتی‌متر و کاشت با کف‌کار به‌عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شد. به‌منظور شروع خاک‌ورزی، آبیاری زمین برای کاهش مقاومت کششی خاک در برابر ماشین‌های خاک‌ورزی انجام و پس از رسیدن رطوبت خاک بر اساس تیمار اصلی (۱۰، ۱۵ و ۲۰

درصد)، شخم با دیسک ۲۴ پره به تعداد یک‌بار به عمق ۱۵ سانتی‌متر زده شد. آبیاری قبل از خاک‌ورزی و آبیاری‌های بعد از کاشت مطابق عرف منطقه به روش غرقابی انجام شد. به‌منظور آبیاری زمین قبل از خاک‌ورزی، در زمین شخم نخورده به کمک دستگاه مرزبند پشته‌هایی به‌صورت موازی بافاصله حدود ۷-۸ متر ایجاد و آبیاری از طریق شیار کنار آن‌ها انجام شد. زمان خاک‌ورزی اولیه توسط دیسک ۲۴ پره از طریق نمونه‌برداری‌های روزانه از خاک و رسیدن به رطوبت موردنظر تعیین شد. برای تعیین درصد رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی اولیه از روش وزنی استفاده شد. بعد از خاک‌ورزی اولیه بر اساس تیمار فرعی، عملیات خاک‌ورزی مجدد و کاشت از طریق کاربرد چیزل‌پیلر و یا بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار و یا کف‌کار در تاریخ ۳۰ آذر انجام شد. پس از اتمام خاک‌ورزی و کاشت، عملیات کرت‌بندی، مرزبندی و احداث نه‌های آبیاری صورت گرفت. کرت-

های فرعی به طول هشت متر و فاصله کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. درروش کشت با کف کار در تیمارهای فرعی ۲ و ۴، با توجه به الگوی قرارگیری موزع‌ها بر روی محور کارنده، پنج جوی تخت به عرض ۳۶ سانتی‌متر با چهار خط کاشت به فاصله نه سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد گردید. ضمناً یک پشته به پهنای ۲۷ سانتی‌متری بین هر دو جوی ایجاد شد که در واقع محل تجمع شوری خاک بود. درروش استفاده از خطی کار ۲۱ خط کاشت به فاصله ۱۲ سانتی‌متر روی سطح زمین صاف کشت گردید. در این آزمایش از بذر رقم مهرگان استفاده شد. تراکم کشت در روش‌های مختلف کاشت (خطی کار و کف کار) مطابق عرف منطقه ۴۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. کودهای شیمیایی مورد استفاده بر اساس توصیه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای گیاه گندم شامل: ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت تقسیط به صورت پایه، پایان پنجه‌زنی و مرحله آبستنی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۱۵۰ سولفات پتاسیم در به صورت پایه بود. کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی صورت گرفت. در هر کرت آزمایش، به منظور تعیین وزن کلوخه‌ها، تعداد ۱۰ کلوخه به طور تصادفی از سطح خاک بعد پایان عملیات خاک‌ورزی برداشت و پس از خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت وزن جداگانه آن‌ها تعیین و پس از میانگین‌گیری به عنوان وزن کلوخه ثبت گردید. تعداد سنبله در مترمربع در مرحله خمیری دانه از طریق شمارش تعداد سنبله‌ها در کادری به ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ سانتیمتر در هر کرت تعیین شد. برای تعیین تعداد پنجه در بوته، تعداد پنجه بارور و تعداد پنجه نابارور در بوته، ۱۰ بوته به طور تصادفی جدا و میانگین آن‌ها تعیین گردید. به منظور بررسی دانه‌بندی در گیاه، ۱۰ سنبله به طور تصادفی جدا نموده و پس از شمارش تعداد سنبله‌ها، میانگین تعداد آن‌ها به عنوان تعداد سنبله‌ها در سنبله در نظر گرفته شد. ضمناً پس از جدا کردن دانه‌ها در ۱۰ سنبله، تعداد دانه‌ها شمارش و بر اساس آن‌ها میانگین

تعداد دانه در سنبله تعیین گردید. تعداد دانه در سنبله‌ها نیز بر اساس طریق رابطه زیر تعیین شد:

$$\text{میانگین تعداد دانه در سنبله} = \frac{\text{تعداد دانه در سنبله‌ها}}{\text{میانگین تعداد سنبله‌ها در سنبله}}$$

برای تعیین وزن هزار دانه، دو دسته ۵۰۰ تایی دانه به طور تصادفی شمارش و به دقت توزین گردید و در صورتی که اختلاف وزنی آن‌ها کمتر از ۰.۶٪ بود، مجموع وزن آن‌ها به عنوان وزن هزار دانه در نظر گرفته شد. به منظور تعیین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، در هنگام برداشت پس از حذف کامل حاشیه‌ها، تمامی بوته‌های موجود در سطح دو مترمربع توسط داس از ارتفاع ۵ سانتی‌متری سطح زمین برداشت و به طور جداگانه بسته‌بندی، توزین و به عنوان عملکرد بیولوژیک ثبت و پس از خرم‌کوبی به عنوان عملکرد دانه در نظر گرفته شد.

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن کلوخه‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی، نوع ادوات و اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات بر وزن کلوخه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسات نشان داد که بیشترین وزن کلوخه به تیمار بدون کاربرد چیزل پیلر و کاربرد کف کار و خطی کار در شرایط رطوبتی ۲۰ درصد در یک سطح آماری به ترتیب به میزان ۲۱/۵۴ و ۲۰/۳۴ گرم اختصاص داشت (جدول ۴). در این تحقیق کاربرد چیزل پیلر در شرایط مختلف رطوبتی در خاک موجب کاهش وزن کلوخه‌ها شد. بیان شده است که با اجرای مناسب خاک‌ورزی، میزان تهویه، تخلخل و نفوذپذیری خاک افزایش یافته و در نهایت شرایط مناسبی برای رشد و توسعه ریشه گیاه فراهم می‌شود.

(اصغری‌میدانی، ۱۳۹۰). نتایج رشادصدقی و لغوی (۱۳۸۸) نیز نشان داد که سطوح مختلف رطوبت خاک عامل مؤثری در اندازه و سختی کلوخه‌های ایجادشده به‌وسیله خاک‌ورزی اولیه بود. ضمناً با توجه به نوع کلوخه‌های ایجادشده بعد از خاک‌ورزی اولیه، بر اندازه کلوخه‌ها بعد از هرس بشقابی تأثیر داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. در تحقیقی دیگر جور غلامی و خرمی زاده (۱۳۹۶) بیان کردند که تراکم بالای خاک و کلوخه‌های بزرگ، رشد ریشه و ارتفاع گیاه را به دلیل افزایش مقاومت خاک محدود می‌کند. نتایج تحقیقات رشیدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد علیرغم تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر وزن کلوخه، حجم کلوخه‌ها و تغییرات زیستی در خاک، ولی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی گندم نداشت.

۲۳۴/ اثر رطوبت خاک و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در...

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس وزن کلوخه، تعداد پنجه، دانه‌بندی و صفات عملکردی گندم در شرایط رطوبت خاک به هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت

میانگین مربعات (MS)											
منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن کلوخه	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد پنجه در بوته	تعداد پنجه نابارور در بوته	تعداد پنجه بارور در بوته	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	تعداد دانه در سنبلچه	وزن هزاردانه	عملکرد عملکرد بیولوژیک
بلوک	۲	۰/۱۱۴ NS	۷۵۴/۶۹ NS	۰/۰۸ NS	۰/۰۰ NS	۰/۰۸ NS	۱/۵۸ NS	۰/۳۳ NS	۰/۰۳ NS	۰/۴۴ NS	۲۳۸۳۷ NS
رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی	۲	۱۲/۳۷**	۱۲۴۵۳/۳۶**	۰/۲۵ NS	۰/۳۳ NS	۰/۵۸ NS	۱/۰۰ NS	۷/۵۸ NS	۰/۰۳ NS	۴/۱۹ NS	۱۱۶۴۹ NS
خطا	۴	۰/۱۷	۶۲۴/۸۶	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۵۸	۴/۵۴	۰/۰۳	۶/۰۷	۲۶۱۱۹۶
نوع ادوات	۳	۲۰/۱۵**	۱۴۶۴۴/۲۵**	۱/۷۰ **	۰/۹۶**	۴/۸۱**	۶/۸۵ **	۷۹۴/۳۰**	۲/۱۱**	۶۲/۸۴ **	۲۷۱۲۴۳۴ **
رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی × نوع ادوات	۶	۰/۵۱*	۱۰۷۷۳/۳۶ **	۰/۲۹ NS	۰/۰۷ NS	۰/۳۹ NS	۰/۱۸ NS	۱۲/۱۰ NS	۰/۰۳ NS	۲۵/۰۰ **	۳۳۳۲۳ NS
خطا	۱۸	۰/۰۷	۲۵۷/۷۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۳۹	۰/۴۳	۹/۳۶	۰/۰۳	۴/۷۹	۱۷۵۰۸۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۳	۹	۱۲	۱۵	۱۳	۸	۹	۷	۷	۱۱

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ^{NS}: فاقد اختلاف معنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر وزن کلوخه، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزاردانه گندم

وزن هزار دانه گرم	تعداد سنبله در مترمربع	وزن کلوخه‌ها گرم	تیمارهای مورد آزمایش	
			رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی	نوع ادوات
۳۳/۳ e	۱۹۸i	۱۲/۶۸bc	۱۰	خطی کار
۳۹/۵ bc	۲۲۱g	۱۴/۸۲b		کف کار
۴۰/۵ bc	۱۷۲i	۷/۵۰e		چیزل پیلر + خطی کار
۴۲/۶ ab	۲۴۷f	۷/۹۹e		چیزل پیلر + کف کار
۳۵/۲ de	۲۴۲f	۱۴/۹۶b		خطی کار
۴۰/۰ bc	۱۸۲i	۱۴/۷۲b	۱۵	کف کار
۴۰/۱ bc	۲۸۲d	۹/۷۲d		چیزل پیلر + خطی کار
۴۱/۹ ab	۲۹۹cd	۹/۰۷d		چیزل پیلر + کف کار
۳۷/۶ cd	۲۷۲e	۲۰/۳۴a		خطی کار
۳۸/۷ cd	۲۱۵gh	۲۱/۵۴a		کف کار
۴۵/۸ a	۳۲۰a	۱۴/۲۳b	۲۰	چیزل پیلر + خطی کار
۴۷/۷ a	۳۳۰a	۱۵/۱۶b		چیزل پیلر + کف کار

حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSR در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

تعداد سنبله در مترمربع

در این تحقیق اثر رطوبت خاک به هنگام خاک‌ورزی، نوع ادوات و اثر متقابل رطوبت خاک به هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات بر تعداد سنبله در مترمربع معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع در شرایط رطوبتی ۲۰ درصد و کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار و چیزل پیلر و کاشت با خطی کار به ترتیب با ۳۳۰ و ۳۲۰ مشاهده شد (جدول ۴). در این تحقیق به نظر می‌رسد کاربرد چیزل پیلر موجب افزایش تهویه و نفوذپذیری بهتر خاک و قرارگیری بذر در بستر مناسب شده و این امر منجر به افزایش بهره‌گیری از عناصر غذایی و شرایط محیطی و در نهایت افزایش تعداد سنبله در مترمربع نسبت به عدم کاربرد چیزل پیلر شده است. مطالعات نشان می‌دهد که در اراضی شور نمک بعد از آبیاری به سطح خاک هدایت‌شده و پس از تبخیر، در قسمت بالای پشته تجمع می‌یابد (کودهای و همکاران، ۲۰۰۸). بر همین اساس به نظر می‌رسد که رطوبت بیشتر در زمان خاک‌ورزی اولیه و همچنین در آبیاری‌های بعدی به دلیل وجود کلوخه‌های بزرگ‌تر موجب انتقال نمک به سطح کلوخه‌ها و دور

شدن بذر و گیاه چه از محل تجمع نمک گردیده است و این امر در افزایش تعداد سنبله در مترمربع مؤثر بوده است. بیان‌شده است که در اراضی شور فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت قرار خواهند گرفت. در این شرایط گیاه بخش زیادی از تولیدات خود را صرف حفظ بافت‌ها می‌نماید و در نتیجه تولید ساقه و در نتیجه سنبله در مترمربع کاهش می‌یابد (میرمحمدی میدی و قره یاضی، ۱۳۸۱). از دیگر عوامل مؤثر بر کاهش تعداد سنبله در مترمربع می‌توان به کاهش دوره رشد گیاه در اثر بروز شوری، اختلالات بروز یافته در جذب مواد غذایی و صرف انرژی جهت تولید محلول‌های اسمزی سازگار اشاره نمود که می‌تواند بر تعداد مخازن تولیدشده (سنبله‌ها) مؤثر واقع شوند (امینی اشکبوس و قزوین، ۱۳۹۴؛ قوگدی و همکاران ۲۰۱۲).

تعداد پنجه در بوته، تعداد پنجه نابارور در بوته و تعداد پنجه بارور در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع ادوات مورد استفاده بر تعداد پنجه در بوته، تعداد پنجه نابارور در بوته و تعداد پنجه بارور در بوته معنی‌دار ولی

اثر رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات مورد استفاده فاقد اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین تعداد پنجه در بوته در شرایط کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار به میزان ۳/۷ و کمترین تعداد در شرایط عدم کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار به میزان ۲/۹ اختصاص داشت (جدول ۵). نتایج این تحقیق نشان داد که تعداد پنجه بارور در شرایط کاربرد بدون چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار و کف‌کار نسبت به شرایط کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار و خطی‌کار کمتر بود. به نظر می‌رسد که کاربرد چیزل‌پیلر موجب افزایش تهویه، نفوذپذیری و بهره‌گیری مناسب از عناصر غذایی خاک شده است و به دلیل قرارگیری بذر در بستر کاشت مناسب در افزایش تعداد پنجه در بوته مؤثر بوده است. همچنین استفاده از کف‌کاربر کاهش شوری خاک در کف جوی مؤثر است (صلح‌جو و همکاران، ۱۳۹۸) که می‌تواند در افزایش تعداد پنجه در بوته مؤثر باشد. در این خصوص محققین نیز بیان کرده‌اند که شوری خاک منجر به اختلالات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و کاهش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی در گیاه می‌شود (میرمحمدی میبدی و قره‌یاضی، ۱۳۸۱) که این می‌تواند به‌عنوان دلیلی بر کاهش تعداد پنجه در بوته در تیمار بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار در مقایسه با تیمار کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار باشد.

تعداد سنبلچه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثر نوع ادوات مورد استفاده بر تعداد سنبلچه در سنبله اختلاف معنی‌دار داشت و اثر رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین این صفت نشان داد که بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله به کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار (۱۶/۹ عدد) و کمترین تعداد در شرایط بدون کاربرد چیزل‌پیلر و

کاشت با خطی‌کار (۱۵/۶ عدد) تعلق داشت (جدول ۵). از آنجایی که تعداد سنبلچه در سنبله، در مرحله قبل از گرده افشانی بعد از ساقه‌رفتن تعیین می‌گردد (سیادت و همکاران، ۱۳۹۲)، لذا هرگونه تنش در این مرحله سبب کاهش تعداد آن‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد کاهش شوری خاک در شرایط کاربرد چیزل و کشت با کف‌کار دلیل افزایش تعداد سنبلچه در سنبله نسبت به استفاده از خطی‌کار به‌تنهایی باشد؛ زیرا تهویه بهتر خاک، دوری بذر از محل تجمع نمک و ممانعت از اثر کاهنده شوری بر جوانه‌زنی، دسترسی بهتر به عناصر غذایی و در نهایت افزایش تولیدات فتوسنتزی می‌تواند منجر به افزایش تعداد سنبلچه در سنبله گردد. در این خصوص فاهنگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثر نوع ادوات بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله به کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار (۴۶/۴ عدد) و کم‌ترین تعداد در شرایط بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار (۳۷ عدد) تعلق داشت (جدول ۵). مطالعات نشان می‌دهد که تعداد دانه در سنبله قبل از گرده‌افشانی مشخص می‌شود (سرمندیا و کوچکی، ۱۳۹۲). ضمناً محققین رابطه بین مقدار ماده خشک در گیاه و تعداد دانه در گیاه را به‌صورت خطی می‌دانند (مورنو-سوتومایر و ویس، ۲۰۰۴). بنابراین بهبود شرایط محیطی برای رشد گیاه می‌تواند از طریق افزایش تولید ماده خشک بر تعداد دانه در گیاه تأثیر گذارد. از آنجایی که در شرایط کشت با کف کار عملیات کشت در داخل جوی انجام‌شده و یک پشته بین هر دو جوی ایجاد شده است. تشکیل چنین پشته‌هایی می‌تواند به‌عنوان محلی برای تجمع شوری خاک باشد. در چنین حالتی بذرها از محل تجمع شوری دور نگه‌داشته می‌شوند. لذا به نظر می‌رسد که کاهش شوری و بهتر بودن شرایط خاک به دلیل استفاده از چیزل دلیل افزایش تعداد دانه در سنبله در مقایسه با تیمار بدون کاربرد چیزل‌پیلر و

کاشت با خطی کار باشد. وانگ و همکاران، (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که الگوی کاشت شیاری به‌طور قابل‌توجهی محتوای آب خاک، وزن دانه، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم را نسبت به روش کاشت روی سطح زمین صاف بهبود بخشید که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

تعداد دانه در سنبله

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر نوع ادوات مورد استفاده دارای اختلاف معنی‌دار ولی اثر رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج تعداد دانه در سنبله نشان داد که بیش‌ترین تعداد در شرایط کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار، کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار و بدون چیزل‌پیلر و کاشت کف‌کار در یک سطح آماری و کمترین تعداد در شرایط بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار تعلق داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که کاهش تعداد دانه در سنبله در تیمار

بدون چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار در مقایسه با سایر تیمارها به دلیل اثر کاهنده شوری زمین‌بر دوره نمو جوانه انتهایی و سطح فتوستتزن کننده در گیاه باشد؛ زیرا در شرایط کاربرد خطی‌کار عملیات کاشت روی سطح زمین صاف انجام‌شده و بذرها نسبت به روش‌ها به محل تجمع شوری نزدیک‌تر بوده‌اند. این در حالی است که در سایر تیمارها یا به دلیل کشت بذر در کف جوی و وضعیت بهتر خاک از لحاظ شوری و یا به دلیل کاربرد چیزل‌پیلر و افزایش نفوذپذیری و تهویه خاک، اثر کاهنده تنش شوری تقلیل یافته است. در این خصوص محققین نیز بیان کرده‌اند که تنش شوری از طریق تأثیر بر مریستم انتهایی ساقه منجر به کاهش سرعت ظهور و کاهش سطح برگ‌ها می‌گردد که در کاهش تعداد دانه در سنبله مؤثر می‌باشند (امینی اشکبوس و همکاران، ۱۳۹۴). قوگدی و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعات خود اظهار نمودند که تنش شوری قبل از تمایز سنبله انتهایی، تعداد سنبله در سنبله در صورتی که تنش شوری بعد از تمایز سنبله بر کاهش تعداد و وزن دانه گیاه مؤثر است.

۲۳۸/ اثر رطوبت خاک و نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در...

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کاربرد ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر تعداد پنجه، دانه‌بندی و صفات عملکردی گندم

نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت	تعداد پنجه در بوته	تعداد پنجه نابرور در بوته	تعداد پنجه بارور در بوته	تعداد سنبلیچه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	تعداد دانه در سنبلیچه	وزن هزاردانه گرم	عملکرد بیولوژیک گرم در مترمربع	عملکرد دانه گرم در مترمربع
کاشت با خطی کار	۲/۹c	۰/۸a	۲/۱b	۱۵/۶b	۳۷/۰c	۲/۵b	c۳۵/۳۷	۹۵۴/۵ c	c۲۷۹/۷
کاشت با کف کار	۳/۱bc	۰/۸a	۲/۳b	۱۵/۷b	۴۰/۲b	۲/۹a	b۳۹/۴۰	۱۱۸۹/۷ b	b۳۸۰/۵
کاربرد چیزل‌پیler و کاشت با خطی کار	۳/۴b	۰/۵b	۲/۹a	۱۶/۰b	۴۱/۲b	۳/۰a	a۴۲/۷۸	۱۲۸۵/۴ b	b۴۲۵/۴
کاربرد چیزل‌پیler و کاشت با کف کار	۳/۷a	۰/۶b	۳/۱a	۱۶/۹a	۴۶/۴a	۳/۰a	a۴۳/۴۴	۱۳۹۹/۲ a	a۴۵۹/۳

حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می باشند.

وزن هزار دانه

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع ادوات مورد استفاده و اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات مورد استفاده دارای اختلاف معنی‌دار ولی اثر رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳). در این تحقیق بیشترین وزن هزار دانه در شرایط رطوبتی ۲۰ درصد در دو تیمار کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار (۴۷/۷ گرم) و تیمار کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار (۴۵/۸ گرم) در یک سطح آماری و کمترین میزان به تیمار بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار در رطوبت ۱۰ درصد (۳۳/۳ گرم) اختصاص داشت (جدول ۴). در این آزمایش به نظر می‌رسد که کاهش شوری خاک در تیمار کاربرد چیزل‌پیلر به دلیل افزایش نفوذپذیری و بهبود تهویه خاک در افزایش وزن هزار دانه نسبت به عدم کاربرد چیزل‌پیلر مؤثر بوده است. همچنین با کاشت بذر در داخل جوی، به دلیل فراهم کردن رطوبت بیشتر، کاهش تبخیر از سطح خاک و شستشوی نمک خاک از کف جویچه، شرایط مناسبی برای جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه، فتوسنتز و در نهایت افزایش وزن دانه فراهم نموده است (زانگ و همکاران، ۲۰۱۰). چنین اظهار شده است که گیاهان در اراضی شور تحت تأثیر یون‌های سمی، دچار آشفته‌گی در فرآیندهای فیزیولوژیکی می‌شوند که این عوامل منجر به کاهش فتوسنتز و تولیدات فتوسنتزی و کاهش تولیدات اختصاص‌یافته جهت پر شدن دانه می‌گردد (براتی و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین بیان شده است که در شرایط تنش شوری غلظت قندهای محلول به‌منظور افزایش تحمل گیاه به تنش افزایش می‌یابد. این افزایش غلظت قندها منجر به کاهش مواد تخصیص‌یافته برای وزن دانه می‌شود همچنین پیری زودرس برگ‌ها و ریزش آن‌ها نیز منجر به کاهش کارایی فتوسنتز گیاه می‌شود که تماماً بر وزن دانه تأثیر خواهند داشت (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۷۹).

در این تحقیق فقط اثر نوع ادوات مورد استفاده اختلاف معنی‌دار بر عملکرد بیولوژیک داشت و اثر رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در شرایط کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با کف‌کار به میزان ۱۳۹۹/۲ گرم در مترمربع و کم‌ترین میزان در شرایط کاربرد خطی‌کار به میزان ۹۵۴/۵ گرم در مترمربع مشاهده شد (جدول ۵). نتایج تحقیقات پیشین نشان داده است که درکشت جوی و پشته‌ای، سطح قسمت‌های برآمده و رو به تابش آفتاب پشته‌ها، سریع‌تر گرم شده و تبخیر و تعرق شدید، املاح را در آن قسمت‌ها رسوب می‌دهد درحالی‌که در قسمت‌های فرورفته، به سبب وجود آب و همچنین تبخیر کم‌تر، عمل رسوب به تأخیر افتاده و املاح کم‌تری جمع می‌گردد (الیس آذر، ۲۰۰۲). براین اساس اگر گیاهان روی پشته‌ها کشت شوند به هنگام رشد در محیط دارای نمک غلیظ‌تر قرار می‌گیرند تا حدی که املاح زیاد مانع از رشد عادی گیاهان شده و گیاهان روئیده شده نیز از بین خواهد رفت. در روش کشت کرتی- غرقابی نیز روی سطح زمین صاف نیز نقاط برآمده مزرعه به علت خورد نشدن کلوخه‌ها یا تراز نبودن کرت‌ها در اثر تسطیح ناقص، زودتر شور شده و گیاهان خسارت فراوان می‌بینند؛ زیرا در این حالت، گرمای بیش‌تر در نقاط برآمده و تبخیر شدیدتر، به تغلیظ نمک منجر می‌شود. تمامی این عوامل منجر به کاهش درصد سبز شدن، استقرار، فتوسنتز، تجمع ماده خشک می‌شود. براین اساس به نظر می‌رسد کاهش عملکرد بیولوژیک در روش بدون کاربرد چیزل‌پیلر و کاشت با خطی‌کار به دلیل شوری خاک نسبت سایر روش‌های مورد استفاده بوده است. نتایج تحقیقات سیکاندر و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان دادند که عملکرد بیولوژیک درکشت مسطح و کشت جوی و پشته‌ای اختلاف معنی‌دار داشت که

با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. این محققان دلیل این تفاوت را به بیشتر بودن تعداد پنجه‌ها در روش جوی و پشته‌ای نسبت دادند. شعبانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز در بررسی تأثیر آبیاری با سطوح مختلف شوری آب و دو روش کاشت داخل جوی و کاشت روی پشته بر کلزا بیان کردند که عملکرد بیولوژیکی در روش کاشت داخل جویچه به میزان ۱۳/۷ نسبت به روش کاشت روی پشته افزایش یافت.

عملکرد دانه

نتایج آزمایش نشان داد که اثر نوع ادوات مورد استفاده بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و نوع ادوات مورد استفاده معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با کف کار با میزان ۴۵۹/۳ گرم در مترمربع و کم‌ترین میزان در شرایط کاربرد خطی کار با مقدار ۲۷۹/۷ گرم در مترمربع حاصل شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با کف کار می‌تواند عملکرد دانه را به‌طور مستقیم با بهبود شرایط فیزیکی و رطوبت خاک و کاهش برخورد بذر با شوری خاک خصوصاً در اوایل فصل رشد و به‌طور غیرمستقیم با تحریک رشد برگ و ریشه افزایش دهد (زانگ و همکاران، ۲۰۱۰). محققین دیگر نیز بیش‌ترین عملکرد گندم را به ترتیب در شرایط کف کار و بعدازآن در شرایط کشت روی پشته و روی سطح زمین صاف اعلام نمودند (کودهای و همکاران، ۲۰۰۸). برخی محققین درصد کاهش شوری بستر بذر در روش کشت داخل جوی را حدود ۳۷

درصد نسبت به روش کشت روی سطح زمین صاف اعلام نمودند (رشادصدقی و همکاران، ۱۳۹۸). بیان‌شده است که شوری خاک از طریق اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک و مرفولوژیک گیاه ازجمله فتوسنتز موجب کاهش رشد و عملکرد دانه گیاه می‌شود همچنین کاهش میزان فتوسنتز می‌تواند نتیجه تأثیرات سمی تجمع یون‌ها باشد که منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (همای، ۲۰۱۲). بیان‌شده است که در اراضی شور، کمبود پتاسیم به دلیل کاهش جذب آن توسط سلول‌های ریشه در اثر رقابت با سدیم و یا اثرات آنتاگونیسمی سدیم و کلسیم بر پتاسیم موجب اختلال در فرآیندهای آنزیمی گیاه و در نتیجه منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (دادخواه و گریفیتر، ۱۳۸۴).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که مقادیر مختلف رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی به‌جز وزن کلوخه و وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری بر سایر صفات دانه‌بندی و عملکردی گندم نداشت. اثر نوع ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر کلیه صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود و کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با کف کار نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت برتری داشت. اثر متقابل رطوبت خاک در هنگام خاک‌ورزی و ادوات خاک‌ورزی و کاشت بر وزن کلوخه، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه معنی‌دار ولی بر سایر صفات معنی‌دار نبود. به‌طورکلی در این تحقیق کاربرد چیزل‌پیچ و کاشت با کف کار در شرایط رطوبتی ۲۰ درصد بهترین نتیجه را در اراضی شور نشان داد و در جهت کاهش اثرات شوری پیشنهاد می‌گردد.

فهرست منابع

۱. اصغری‌میدانی، ج. کریمی، ا؛ و.ع. پورمحمد. ۱۳۹۲. تأثیر روش های مختلف خاک‌ورزی و کاشت بر رطوبت خاک و عملکرد گلرنگ در تناوب با گندم در مناطق دیم. نشریه دانش آب و خاک. ۲۳(۱): ۲۴۵-۲۳۷.

۲. امینی اشکبوس، ا. ر؛ و ح. قزوینی. ۱۳۹۴. ارزیابی روابط عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک مرتبط با تحمل تنش شوری در ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.). نشریه علوم زراعی ایران. ۱۷(۴): ۳۲۹ - ۳۴۸
۳. جورغلامی، م. و آ. خرمی زاده. ۱۳۹۶. تاثیر فشردگی خاک بر متغیرهای اندازه، زیتوده و معماری نهال کاج سیاه در شرایط گلخانه ای. نشریه جنگل و فراورده های چوب. ۷۰(۲): ۲۲۰-۲۰۹.
۴. دادخواه، ع. و ه. گریفیتز. ۱۳۸۴. بررسی صفات رشد پنج واریته چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) تحت دو سطح تنش شوری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم- ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات. صص ۹۸-۱۰۸.
۵. کافی، م. و ع. مهدوی دامغانی. ۱۳۷۹. مکانیزم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی (ترجمه). تألیف بسرا، آ. اس. و بسرا، آ. ک. چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۶۷ صفحه.
۶. رشادصدقی، ع. ۱۳۹۹. معرفی ماشین کاشت غلات در شرایط شور. شماره ثبت در مرکز فن آوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی ۵۹۰۸۱ به تاریخ ۰۳ / ۱۲ / ۹۹. ۱-۱۲ صفحه.
۷. رشادصدقی، ع. و م. لغوی. ۱۳۸۸. تاثیر رطوبت خاک در خاک ورزی اولیه و سرعت پیشروی در عملیات دیسک زنی بر عملکرد هرس بشقابی به عنوان خاک ورز ثانویه. مهندسی بیوسیستم ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۰(۲): ۱۳۱-۱۳۸
۸. رشادصدقی، ع.، ناصری، ا. و خ. محمدی قرمزگلی. ۱۳۹۸. مقایسه روش های کاشت مکانیزه گندم در خاک شور. تحقیقات سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی. ۲۰(۷۳): ۱۲۹-۱۴۴.
۹. رشیدی، ز.، زارع، م. ج.، رجالی، ف. و، ا. اشرف مهرباب. ۱۳۹۰. تاثیر خاکورزی و تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی گندم نان و فعالیت زیستی خاک تحت شرایط دیم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴(۲): ۲۰۶-۱۸۹.
۱۰. سرمدنیاغ. و ع. کوچکی. ۱۳۹۲. فیزیولوژی گیاهان زراعی. جهاد دانشگاهی واحد مشهد ص ۴۰۰
۱۱. سیادت، س. ع. مدحج، ع. و م. اصفهانی. ۱۳۹۲. غلات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۳۶۲ ص.
۱۲. صلح‌جو، ع. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر درصد رطوبت خاک و عمق شخم بر میزان خرد شدن خاک و کاهش عملیات خاک ورزی ثانویه. گزارش پژوهشی نهائی سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۱۰۰.
۱۳. صلح‌جو، ع.، دهقانان، ا.، پرویزی، ع.، غیائی، ع.، علوی منش، م. و ا. بهارلو. ۱۳۹۸. بررسی اثر عرض جویچه سازها در خطی کار کف کار بر عملکرد گندم و بهر هوری مصرف آب. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
۱۴. میرمحمدی میبدی، ع. و ب. قره باضی. ۱۳۸۱. جنبه های فیزیولوژیکی و به نژادی تنش شوری در گیاهان. چاپ اول، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۷۴ صفحه.
15. Barati, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A., Pirnajmodini, F., and N. Sharif-Moghaddam. 2015. Response of cultivated and wild barley germplasm to drought stress at different developmental stages. Crop Sci. 55: 2668-2681.
16. Choudhary, M. R., Munir, A. and S. Mahmood. 2008. Field soil salinity distribution under furrow-bed and furrow-ridge during production in irrigated environment. Pakistan J. Water Resour. 12(2): 33-40.

17. Cuevas, J., Daliakopoulos, I. N., Moral, F. D., Hueso, J., and I. Tsanis. 2019. A review of soil-improving cropping systems for soil salinization. *Agronomy*, 9(295): 1-22.
18. Devkota, M., Gupta, R. K., Martius, C., Lamers, J. P. A., Devkota, K. P., Sayre, K.D., and P.L.G. Vlek. 2015. Soil salinity management on raised beds with different furrow irrigation modes in salt-affected lands. *Agric. Water Manag.* 152: 243-250.
19. Dong, H., Kong, X., Luo, Z., Li, W., and C. Xin. 2010. Unequal salt distribution in the root zone increases growth and yield of cotton. *Eur. J. Agron.* 33(4): 285-292.
20. Elias Azar, K.H. 2002. Correction of saline and sodium soils (soil and water management). West Azerbaijan Academic Jihad Publications, Urmia University, 330 pages.
21. Fahong, W., Xuqing, W., and K. Sayre. 2004 Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Crops. Res.* 87: 35-42.
22. Ghogdi, E.A., Darbandi, A.I., and A. Borzouei. 2012. Effects of salinity on some physiological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Indian J. Sci. Technol.* 5(1): 1906-1906.
23. Homai, H. 2012. Plant and salt. Forestry and Rangeland Research Publications. Publication number 261. 199 pages.
24. Jin, Y. H., Zhou, D. W., and S.C. Jiang. 2010. Comparison of soil water content and corn yield in furrow and conventional ridge sown systems in a semiarid region of China. *Agric. Water Manag.* 97(2): 326-332.
25. Kalteh, M., Ajam Norouzi, H., Faraji, A., Haghighi, A.A., and E. Gholamalipour Alamdari. 2022. Investigation of the effect of plant density and humic acid on paddy yield, water use efficiency, and biochemical traits of direct-seeded rice cultivation (*Oryza sativa* L.) in northern Iran. *J. Plant Physiol.* 65(3): 140-151.
26. Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., and I. Makin. 2013. A water-productivity framework for understanding and action, in *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, CABI Publishing in Association with International Water Management Institute, Vol. 1, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, Wallingford, UK.
27. Moreno-Sotomayor, A., and A. Weiss. 2004. Improvements in the simulation of kernel number and grain yield in CERES-Wheat. *Field Crops Res.* 88: 157-169.
28. Shabani, A., Sepaskhah, A. H., and A.A. Kamgar-Haghighi. 2013. Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method. *Int J Plant Prod.* 7(2): 313-340.
29. Sikander, K., Hussain, I., Sohail, M., Kissana, N. S., and S.G. Abbas. 2003. Effect of different planting methods on yield components of wheat. *Asian J Plant Sci.* 2(10): 811-813.
30. Wang, G. Y., Han, Y. Y., Zhou, X. B., Chen, Y. H., and Z. Ouyang. 2014. Planting pattern and irrigation effects on water use efficiency of winter wheat. *Crop Sci.* 54(3): 1166-1174.
31. Zhang, H., Turner, N. C., and M.L. Poole, 2010. Sourcesink balance and manipulating sink-source relations of wheat indicate that the yield potential of wheat is sinklimited in high-rainfall zones. *Crop Pasture Sci.* 61: 852-861.



تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی ذرت علوفه‌ای رشد یافته در خاک‌های

تیمار شده با لجن فاضلاب

یوسف رضا باقری*، احمد گلچین، حامد رضایی و لیلا اسماعیل نژاد

دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، bagheriyo@yahoo.com

استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، agolchin2011@yahoo.com

دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، rezaei_h@yahoo.com

استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، esmaeelnejad.leila@gmail.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱۵ و پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۳

چکیده

برای کاربرد لجن در کشاورزی، شناخت اثرات آن بر وضعیت و انتقال فلزات سنگین به گیاه ضروری است. بدین منظور آزمایشی گلخانه‌ای به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۴۰۰ در گلخانه موسسه تحقیقات خاک و آب در کرج برای بررسی تجمع فلزات سنگین در ذرت علوفه‌ای (به عنوان گیاه شاخص) رشد یافته در خاک تیمار شده با سطوح مختلف لجن انجام شد. خاک انتخابی با چهار سطح مختلف لجن فاضلاب شهری به میزان ۰٪، ۵٪، ۲٪ و ۴٪ و با سه تکرار تیمار شد. نتایج نشان داد کلیه تیمارهای مصرف لجن نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش عملکرد تر و خشک گردید ($P < 0.05$). بیشترین عملکرد تر اندام هوایی با میانگین ۲۱۴/۹ گرم در گلدان (افزایش ۳۰٪) از ۴٪ لجن نسبت به شاهد حاصل گردید که این تیمار در مقایسه با سایر سطوح مصرف لجن نیز اختلاف معنی‌دار داشت ($p < 0.05$). مصرف سه سطح لجن در مقایسه با همدیگر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خشک نداشت. مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش معنادار غلظت عناصر سرب، نیکل و مس در اندام هوایی ذرت شد. مقدار فاکتور انتقال (TF) در همه تیمارها بدین صورت بود: $Cd > Cu > Pb > Ni > As > Cr > Co$ که بیشترین میانگین مقدار فاکتور انتقال مربوط به عنصر کادمیم و پس از آن مس و سرب بود. مصرف لجن فاضلاب نسبت به تیمار شاهد باعث تغییرات معنی‌داری در فاکتور انتقال عناصر کادمیم، نیکل، آرسنیک، مس و سرب گردید؛ اما این تغییرات برای فلزات کروم و کبالت معنی‌دار نبود ($p < 0.05$). میانگین مقدار فاکتور تغلیظ زیستی ریشه (BCF_{root}) در همه تیمارها دارای این روند بود: $Cd > Cu > Pb > Ni > As > Co > Cr$. این روند در مورد فاکتور تغلیظ زیستی اندام هوایی (BCF_{shoot}) به این صورت بود: $Cd > Pb > Cu > Ni > As > Cr > Co$. فاکتور تغلیظ زیستی کادمیم برای ریشه و اندام هوایی و همچنین فاکتور انتقال آن نسبت به سایر فلزات سنگین بیشتر بود. در مجموع غلظت اندازه‌گیری شده برای کادمیم، سرب و آرسنیک در بالاترین مقادیر در اندام هوایی گیاه به ترتیب ۰/۱۷، ۱/۹۴، ۰/۷۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند، در حالی که مقادیر مجاز استاندارد بیشینه رواداری این فلزات سنگین در خوراک دام^۱ برای مواد اولیه خوراک دام از منابع گیاهی به ترتیب ۱، ۳۰ و ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بنابراین افزایش غلظت در اندام‌های هوایی در حدی نبود که سبب افزایش غلظت عناصر موردنظر بالاتر از حدود مجاز در استاندارد ملی ایران باشد؛ اما بایستی دقت نمود که نتایج این بررسی صرفاً مربوط به یکبار مصرف یک نمونه لجن بود، در حالی که کیفیت و محتویات لجن متنوع است. با توجه به کمبود مواد آلی و فسفر در خاکهای کشاورزی کشور، کاربرد لجن فاضلاب تصفیه شده با توجه به بالا بودن درصد کربن آلی و فسفر آن قابل توجه است؛ اما به دلیل تغییرات کیفیت لجن و استفاده متعدد آن در اراضی تحت کشت، پیشنهاد می‌گردد تا مطالعات تکمیلی انجام پذیرد تا بر اساس آن امکان توصیه زراعی فراهم گردد.

واژه‌های کلیدی: محصول سالم، فاضلاب تصفیه شده، آلودگی خاک، افزایش مواد آلی خاک

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

^۱ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۹۶۸ (تجدید نظر اول)



مقدمه

با افزایش جمعیت همراه با شهرنشینی، مقدار فاضلاب و به دنبال آن لجن فاضلاب حاصل از آن در حال افزایش است (لائورا و همکاران، ۲۰۲۰). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک به دلیل بهره‌برداری بیش‌ازحد انسان، چرخه‌های خاص بیابان‌زایی، شوری خاک، آلودگی خاک، آب و فرسایش بادی تخریب می‌شوند (دریگنه، ۲۰۰۲). تجمع فلزات سنگین به دلیل پایداری و سمیت آن‌ها می‌تواند برای گیاهان مضر باشد (بولان و همکاران، ۲۰۰۴). در سال‌های اخیر استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان یک کود ارزان‌قیمت در برخی نقاط ایران و سایر نقاط جهان گسترش یافته است. لجن فاضلاب حاوی مقادیر بالایی از مواد مغذی است که می‌تواند به‌عنوان کود مورد استفاده قرار گرفته (اید و شارتوت، ۲۰۱۶) و باعث رشد محصول و افزایش عملکرد گیاهان شود (اید و همکاران، ۲۰۱۷). کاکیر و سیمیرین (۲۰۲۰) نیز در تحقیقی به‌منظور تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر رشد ذرت (*Zea mays L*) و برخی خواص خاک‌نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب در مقادیر صفر تا ۱۰ درصد باعث افزایش آماری وزن تر و خشک‌ریشه ذرت، وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع و قطر بوته نسبت به شاهد در تمامی تیمارها شد. همچنین افزایش معنی‌داری برای محتوای مواد آلی و نمک خاک با اثر لجن فاضلاب اعمال شده در مقادیر بالا مشاهده گردید. کاربرد منطقی و به‌اندازه لجن فاضلاب و کمپوست آن می‌تواند تغذیه گیاهان را بهبود بخشد، اما استفاده بیش‌ازحد باعث تجمع فلزات سنگین در خاک می‌شود. فاضلاب‌های صنعتی بر افزایش سطوح فلزات سنگین مضر در لجن فاضلاب مؤثر بوده که ممکن است بر زنجیره غذایی تأثیر منفی بگذارد. فلزات سنگین انباشته شده در خاک توسط گیاهان جذب شده و وارد زنجیره غذایی می‌شوند و سلامتی انسان را به خطر می‌اندازند. به دلیل محدودیت‌های اکولوژیکی و زیست‌محیطی، نگرانی در مورد نحوه دفع و کاربرد لجن فاضلاب در خاک افزایش یافته است. کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند به کاهش غلظت دی‌اکسید کربن و

افزایش کربن آلی در خاک و حاصلخیزی آن کمک کند (آجوا و طباطبائی، ۱۹۹۴). به‌خصوص، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، محتوای ماده آلی خاک را می‌توان با افزودن لجن فاضلاب به خاک افزایش داد. انتقال مقادیر بالای فلزات سنگین مانند کادمیم (Cd)، کبالت (Co)، مس (مس)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و روی (Zn) به گیاهان می‌تواند منجر به تهدید سلامت انسان و حیوانات شود (پراترا ویدا و همکاران، ۲۰۰۹). تجمع عناصر سنگین در بدن انسان و حیوانات منجر به تخریب و تغییر عملکردهای فیزیولوژیکی بدن آن‌ها می‌شود.

بررسی انتقال فلزات سنگین به گیاهان و برآورد مخاطرات زیست‌محیطی بسیار مهم است. نوع و مقدار فلزات سنگین، نوع گیاهان (چاینون و همکاران، ۲۰۰۳)، شرایط خاک و محیط همگی بر انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاهان تأثیر می‌گذارند (سوریانو دیسلا و همکاران، ۲۰۱۴). داده‌های مربوط به انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاهان و پاسخ آن‌ها به لجن فاضلاب در خاک‌های آهکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در مقایسه با خاک‌های غیر آهکی کم است. در حال حاضر، مطالعات بر روی انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاه پس از تیمار خاک با لجن فاضلاب، بیشتر بر روی فراهمی زیستی فلزات سنگین با استفاده از عصاره‌گیرهای خاص متمرکز شده است (کمبیر و همکاران، ۲۰۱۹؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ایگل‌سیاس و همکاران، ۲۰۱۸). ارزیابی انتقال فلزات سنگین از خاک به قسمت‌های مختلف گیاهان در حضور لجن فاضلاب کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (سوریانو دیسلا و همکاران، ۲۰۱۴). رضاپور و همکاران (۲۰۱۹) فاکتور غلظت زیستی (BCF) پنج فلز سنگین را در خاک آهکی و در گندم زمستانه آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده مورد مطالعه قرار دادند. نتایج غلظت زیستی و فاکتورهای انتقال عناصر سنگین در گندم نشان داد که فلزات سنگین به‌طور کمی در ریشه تجمع یافته و به دانه‌ها انتقال ضعیفی دارند. همچنین غلظت فلزات سنگین در ریشه گندم به‌طور معنی‌داری بیشتر از اندام هوایی و دانه (ریشه <شاخه> دانه) بود ($P < 0.05$).

یانگ و همکاران (۲۰۱۸) طی یک آزمایش مزرعه‌ای طولانی‌مدت با سیستم تناوب گندم و ذرت برای بررسی تجمع و فراهمی زیستی فلزات سنگین در یک خاک آهکی در مقادیر مختلف کاربرد لجن فاضلاب نشان داد که محتوای روی، کروم و نیکل در کاه گندم و روی، مس در علوفه ذرت با میزان مصرف لجن فاضلاب همبستگی مثبت داشت، درحالی‌که محتوای مس در کاه گندم و کروم در علوفه ذرت روند معکوس را نشان داد. همچنین فاکتورهای غلظت زیستی فلزات سنگین در دانه‌های گندم و ذرت به ترتیب $As > Pb > Ni > Cr > Hg > Cd > Cu > Zn$ بود. ذرت گیاهی رایج است که در کشورهای مختلف در سراسر جهان کشت می‌شود. ذرت با چرخه رشد کوتاه و زیست‌توده بالا سرشار از ویتامین‌ها و مواد معدنی است (ژو و همکاران، ۲۰۱۹؛ روسینی اولیوا و همکاران، ۲۰۲۰) و ممکن است مقدار زیادی فلزات سنگین را در بافت‌های خود انباشته کند که خطراتی برای مصرف انسان به همراه دارد (ژیونگ و وانگ، ۲۰۰۵). ارزیابی انتقال فلزات سنگین از خاک به قسمت‌های مختلف ذرت در حضور لجن فاضلاب کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعه با اهداف ۱ - اثرات تیمارهای لجن بر زیست توده گیاهی و مقدار فلزات سنگین در خاک و ۲ - بررسی انتقال فلزات سنگین (Cu, Co, Cd, As, Cr, Pb, Ni) از یک خاک لومی آهکی به بافت‌های گیاه ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه لجن و خاک

در این تحقیق لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه شرکت آب و فاضلاب تهران تهیه گردید. لجن جمع‌آوری شده ابتدا هوا خشک و سرنده شد و مواد زائد (شیشه، پلاستیک، شن درشت و ریز) ابتدا از الک ۲ میلی‌متری و سپس جهت خالص‌سازی آن جهت استفاده در گلدان‌ها از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد و سپس مورد استفاده قرار گرفت. خاک مورد نیاز برای مطالعه گلخانه‌ای، یک خاک متوسط با بافت لومی بود که از مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات

خاک و آب واقع در مشکین‌دشت کرج قطعه شماره ۲ انتخاب گردید. خاک برداشت‌شده پس از هوا خشک و همگن شدن برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک عبارتند از: بافت، فسفر قابل‌دسترس، pH، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی و فلزات سنگین (As, Cr, Pb, Ni, Cu, Co, Cd) کل با استفاده از دستگاه میکروویو و روش هضم با اسید نیتریک ۶۵ درصد، هیدروکلریک اسید ۳۲ درصد و هیدروفلوریک اسید ۴۰-۳۸ درصد (ISO, ۲۰۰۱) و قابل جذب با استفاده از عصاره گیر DTPA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) عصاره‌گیری و سپس به‌وسیله‌ی دستگاه طیف‌سنج پلاسمای جفت القایی ICP^۱ مدل Soil (2100DV Perkin Elmer Optima) تعیین گردید (Survey Staff, ۲۰۱۴). حد تعیین کمی (LOQ) در این روش برای سرب (≥ 2)، کادمیم ($\geq 0/5$)، مس ($\geq 1/5$)، آرسنیک (≥ 3)، کروم (≥ 2)، کبالت (≥ 2) و نیکل (≥ 2) میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین گردید.

آماده‌سازی گلدان‌ها

گلدان‌های استفاده‌شده در این مطالعه از جنس پلاستیک و استوانه‌ای به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۲۰ سانتی‌متر بودند. جهت ایجاد زهکش در ته ستون‌ها به ارتفاع ۱ سانتی‌متر شن قرار گرفت و سپس تا ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری مخلوط خاک بر اساس جرم مخصوص ظاهری مخلوط خاک و لجن در گلدان قرار گرفت. لجن به نسبت ۰/۵، ۲ و ۴ درصد وزنی به خاک در کل ستون اضافه شد. سپس جهت رسیدن به حالت تعادل، مخلوط خاک و لجن به مدت ۳ ماه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ظرفیت مزرعه انکوباسیون شد. پس از پایان دوره انکوباسیون نسبت به کاشت گیاه ذرت اقدام و در پایان دوره کشت بعد از برداشت گیاه نسبت به نمونه‌برداری از خاک و اندازه‌گیری عناصر اقدام گردید.

¹Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer

کشت گیاه ذرت و اندازه‌گیری عناصر جهت بررسی

روند جذب عناصر

در هر گلدان تعداد ۸ بذر ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد و بعد از سبز شدن با تنک کردن نسبت به نگهداری ۵ گیاه اقدام گردید. در این آزمایش به منظور بررسی دقیق مقدار عناصر آلاینده لجن در خاک در تمام تیمارها، کودی به گلدان‌ها اضافه نگردید. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر برای رساندن رطوبت آن‌ها به حد ظرفیت مزرعه (به طور متوسط هفته‌ای دو بار) انجام گرفت. پس از ۸ هفته، اندام هوایی (ساقه‌ها و برگ‌ها) و ریشه‌های گیاه جداگانه برداشت و عملکرد گیاه اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌های گیاهی شستشو، در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز خشک و آسیاب گردید. غلظت فلزات سنگین در ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت پس از برداشت گیاه به روش اسپکترومتری جذب اتمی (AAS) پس از هضم با میکروویو اندازه‌گیری شد. در این روش، هضم اسیدی نمونه تحت شرایط بسته و کنترل شده دما و فشار با استفاده از سیستم میکروویو برای هضم و عصاره‌گیری نمونه‌های گیاه انجام شد. ۰/۵ گرم از نمونه اندام هوایی و ریشه ذرت آسیاب شده را داخل لوله‌های تفلون مخصوص دستگاه میکروویو توزین و به آن ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد با درجه خلوص بالا) و ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد اضافه شد. لوله‌ها را داخل دستگاه میکروویو قرار داده و مطابق برنامه دستگاه را تنظیم و عمل هضم انجام شد. غلظت عناصر در نمونه‌ها با توجه به حد تشخیص در محلول‌های نهایی هضم شده با دستگاه کوره گرافیتی پرکین المر یا ICP قرائت گردید (AOAC, ۱۹۹۹). حد تعیین کمی (LOQ) در این روش برای سرب (≥ 10)، کادمیم (≥ 5)، آرسنیک (≥ 5)، کروم (≥ 12)، کبالت (≥ 25) و نیکل (≥ 10) میکروگرم بر کیلوگرم، مس (≥ 1) میلی‌گرم بر کیلوگرم، برای نمونه‌های گیاه تعیین گردید.

فاکتورهای انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاه

فاکتور تغلیظ زیستی^۱ برای ریشه‌ها (BCFroots)

و اندام هوایی (BCFshoots) به عنوان نسبت غلظت فلزات سنگین در ریشه گیاه یا اندام هوایی به غلظت فلزات سنگین کل خاک در تیمارهای موردنظر است که بیانگر میزان انتقال فلز سنگین از خاک به ریشه و اندام هوایی است. فاکتور انتقال^۲ (TF) به عنوان نسبت غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی به غلظت آن در ریشه است که بیانگر میزان انتقال فلز سنگین از ریشه به اندام هوایی است (مارچیول و همکاران، ۲۰۰۴).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تعداد تیمارهای آزمایشی ۴ عدد و با لحاظ کردن ۳ تکرار در مجموع ۱۲ واحد آزمایشی یا گلدان وجود داشت. مقایسه میانگین ویژگی‌های موردنظر با استفاده از تجزیه واریانس یک طرفه ANOVA و آزمون LSD در نرم افزار SPSS (اس‌پی‌اس‌اس، ۲۰۱۸) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و لجن مورد مطالعه در جدول

یک آورده شده است. طبق نتایج حاصله، بافت خاک لوم با pH قلیایی است. مقدار کربن آلی خاک کمتر از یک و در گروه خاک‌های فقیر از نظر کربن آلی است. شوری خاک حدود ۰/۷ دسی زیمنس بر متر بوده و در رده خاک‌های غیر شور (کمتر از ۲ دسی زیمنس بر متر) قرار دارد. غلظت کل همه فلزات سنگین کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان محیط زیست ایران (۱۳۹۰) بود. بر اساس نتایج تجزیه لجن (جدول ۲)، لجن فاقد شوری بوده، pH قلیایی داشته و درصد کربن آلی و فسفر آن بسیار بالا بود. همچنین مقدار فلزات سنگین کروم و سرب لجن نسبت به حد استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای خاک (کروم ۱۱۰ و سرب ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بالاتر بود.

¹Bio-concentration Factor

²Translocation Factor

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

		dS.m ⁻¹		Kg.m ⁻³		(%)		
(%)				-				
CaCO ₃	O.C	EC	pH	pH	رس	سیلت	شن	ویژگی
۱۱	۰/۸۴	۰/۷	۷/۸	۱۴۲۰	۲۶	۳۰	۴۴	مقدار [*]
mg.kg ⁻¹								
Cu _{total}	Cu _{avail}	Co _{total}	Co _{avail}	Pb _{total}	Pb _{avail}	Cr _{total}	Cr _{avail}	ویژگی
۴۳	۰/۷۶	۲۳	۰/۰۲۱	۱۵	۰/۷۲۳	۷۳	۰/۰۳	مقدار
mg.kg ⁻¹								
CEC	P _{avail}	Cd _{total}	Cd _{avail}	As _{total}	As _{avail}	Ni _{total}	Ni _{avail}	ویژگی
۱۷	۸/۲	۰/۳	۰/۰۰۳	۱۴/۴	۰/۰۷۷	۳۹	۰/۰۹۶	مقدار

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لجن مورد مطالعه

		dS.m ⁻¹		Kg.m ⁻³		Cmol.c.Kg ⁻¹		
mg.kg ⁻¹		(%)		-				
Ni _{avail}	Cu _{total}	Cu _{avail}	O.C	EC	pH	pH	CEC	ویژگی
۶/۰۶	۲۷۴	۴۰/۶	۱۶/۶۶	۱/۴	۷/۴۳	۷۶۰	۷/۶۲	مقدار [*]
mg.kg ⁻¹								
Pb _{avail}	Cr _{total}	Cr _{avail}	Cd _{total}	Cd _{avail}	As _{total}	As _{avail}	Ni _{total}	ویژگی
۸/۱۱	۱۸۳/۳	۰/۲۳	۰/۸۸	۰/۰۱۴	۱۵/۸	۰/۹۴	۷۱/۲	مقدار
mg.kg ⁻¹								
				P _{total}	Co _{total}	Co _{avail}	Pb _{total}	ویژگی
				۲۰۴۰۰	۵/۳۲	ND	۱۰۰	مقدار

بیشترین عملکرد در اندام هوایی با میانگین ۲۱۴/۹۳ گرم در گلدان (افزایش ۳۰۰ درصدی) از مصرف ۴ درصد لجن نسبت به شاهد بود که این تیمار در مقایسه با سایر سطوح مصرف لجن نیز اختلاف معنی‌دار داشت که ناشی از سطح مصرف لجن است. همچنین استفاده از لجن در کلیه سطوح مصرف باعث اختلاف معنی‌دار از لحاظ عملکرد خشک در بین تیمارهای لجن نشد و از این لحاظ مصرف سه سطح لجن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خشک نداشت.

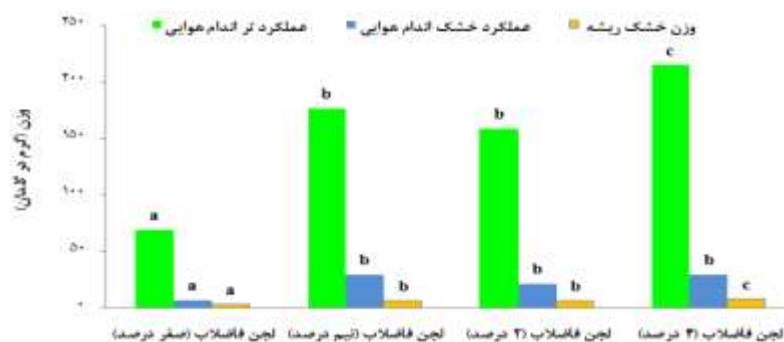
اثرات تیمارهای لجن بر زیست‌توده گیاهی و مقدار فلزات سنگین در خاک

با افزودن لجن فاضلاب به خاک، ماده خشک تولیدشده توسط گیاه ذرت به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (شکل ۱ و جدول ۳) که با نتیجه دید و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت. بین تیمار شاهد با کلیه تیمارهای لجن در کلیه سطوح مصرف اختلاف معنی‌دار و افزایشی در سطح ۵ درصد از لحاظ عملکرد و خشک مشاهده گردید. همچنین

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سطح مصرف لجن بر عملکرد تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد تر	عملکرد خشک	وزن خشک ریشه
		میانگین مربعات		
تیمار (سطح مصرف)	۳	۱۶۲۵۰/۳۳۱*	۲۵۹/۱۷۶*	۱۵/۳۳۱*
بلوک	۲	۱۳/۰۵ ^{ns}	۴/۸۹ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}
درصد ضریب تغییرات		۱۲/۴۶	۸/۹۸	۱۳/۶

* در سطح ۵٪ معنی‌دار و ns عدم اختلاف معنی‌دار است.



شکل ۱- مقادیر میانگین عملکرد تر اندام هوایی، عملکرد خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) در تیمارهای لجن صفر درصد، لجن ۰/۵ درصد، لجن دو درصد و لجن چهار درصد.

کلونیدهای خاک و ماده آلی بستگی دارد. بر اساس گزارش محققین، ماده آلی موجود در لجن فاضلاب از طریق گونه‌های مختلف آروماتیکی، زنجیره‌های آلیفاتیک و گروه‌های عاملی موادی را می‌سازند که یک گونه پیچیده چند دندان را ایجاد می‌کند و این فراورده‌های شبه هومیک و فولویک اسید در لجن فاضلاب اثر بالقوه‌ای بر رفتار فلزات سنگین دارند (رشید و همکاران، ۲۰۱۸). پنیو و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند استفاده از ۱ و ۲ درصد لجن فاضلاب در خاک باعث افزایش غلظت سرب قابل‌استفاده در خاک گردید که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

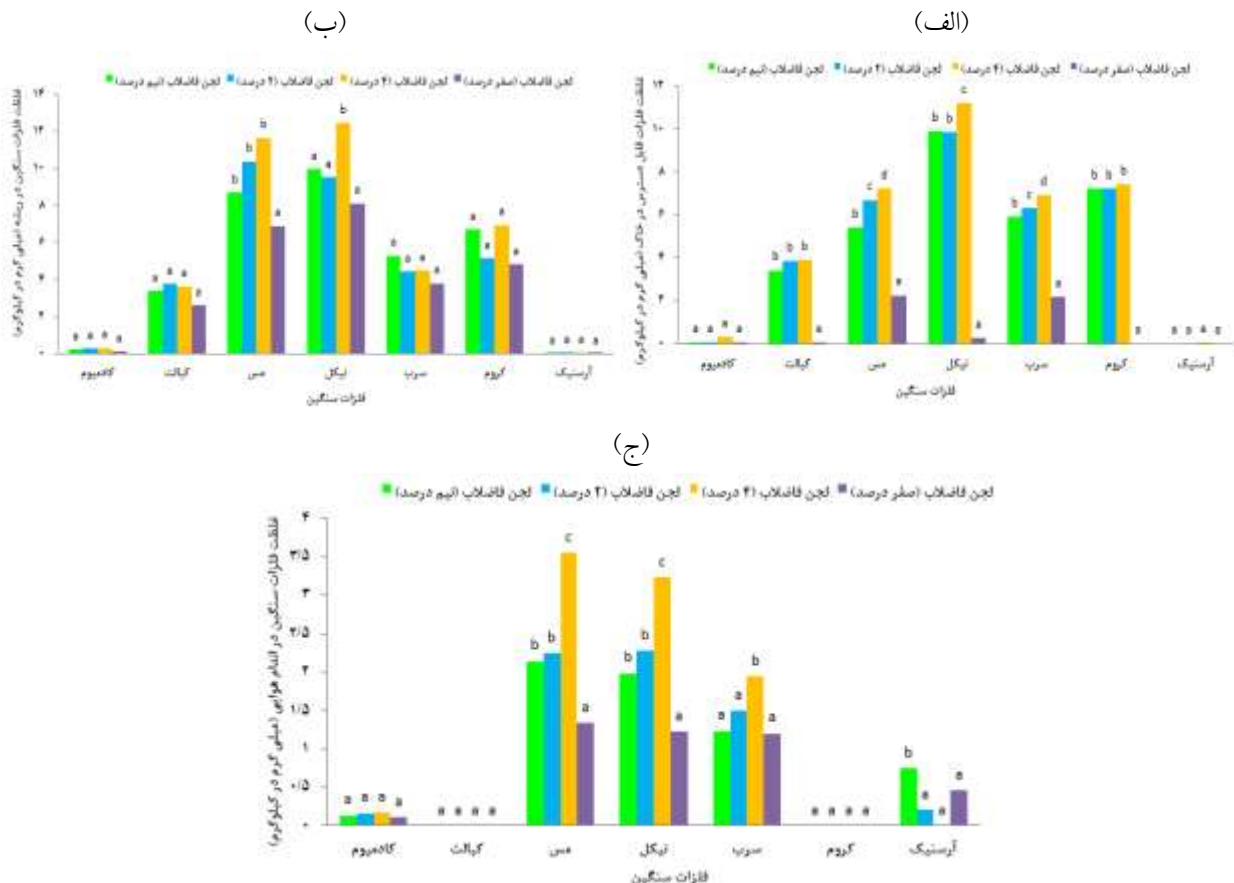
گرچه مقادیر فلزات سنگین در خاک بعد از اعمال لجن فاضلاب افزایش معناداری نسبت به خاک بدون لجن داشتند ولی هنوز تا استانداردهای محیط‌زیست فاصله زیادی دارد. استفاده از لجن در کوتاه‌مدت ممکن است باعث افزایش مقادیر فلزات سنگین در خاک نشود، اما استفاده از آن در طی چندین سال در خاک می‌تواند منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک شود (ژیانگ و همکاران، ۲۰۱۹). کاباتا پندیایس (۲۰۱۱) نشان داد که افزودن لجن فاضلاب به خاک مقدار روی را از ۲۱ به ۳۴ درصد افزایش داد و مقادیر

کریکا و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که لجن می‌تواند مواد مغذی بیشتری را برای گیاهان فراهم می‌کند. همچنین مقادیر عناصر ماکرو و میکرو در لجن فاضلاب اثرات سمی فلزات سنگین در گیاه را کاهش می‌دهد. وقتی لجن فاضلاب به خاک اضافه شد، زیست‌توده گیاهی افزایش یافت (باری و همکاران، ۲۰۱۶). مولدس و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که لجن فاضلاب می‌تواند عناصر ماکرو و مواد آلی موجود را افزایش دهد و اسیدیته خاک را برای رشد گیاه بهبود بخشد. با توجه به به نتایج این تحقیق (شکل ۱) استفاده از لجن باعث بهبود شرایط رشد و افزایش عملکرد گیاه گردید که با نتایج محققین فوق همخوانی دارد.

در نتیجه افزودن لجن فاضلاب به گلدان‌ها و نمونه‌برداری از خاک در پایان کشت، میانگین فلزات سنگین قابل‌استفاده در خاک به‌ویژه سرب، نیکل و مس به‌طور معنی‌داری (<0.05) افزایش یافت (شکل دو-الف). همچنین روند افزایش غلظت قابل‌دسترس عناصر در خاک با افزایش سطح مصرف در بیشتر عناصر مشاهده گردید که در مورد عناصر مس، نیکل و سرب این تفاوت مشهودتر بود. انتقال فلزات سنگین از لجن فاضلاب به خاک و بعد به گیاه به میزان مصرف لجن، زمان و برهم‌کنش فلز با

کادمیم، کبالت، مس، نیکل، سرب و روی را به ترتیب ۱۶/۱، ۹/۴، ۲۵/۴، ۴/۸، ۱۱/۵ و ۳۲/۵ درصد افزایش داد. غلظت فلزات سنگین و نسبت آن‌ها در ریشه (شکل دو-ب) و شاخساره (شکل دو-ج) ذرت که تحت تأثیر تیمارهای مختلف لجن قرار داشتند نیز مانند خاک افزایش داشت. نتایج ژو و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که غلظت فلزات سنگین در گیاهان به فلزات سنگین در خاک، ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های لجن و اجزای گیاه بستگی دارد. به‌طور میانگین غلظت فلزات سنگین در ریشه اکثر تیمارها به این ترتیب بود: $Cu > Ni > Cr > Pb > Co > Cd$ و در ساقه نیز از این روند تبعیت می‌کرد: $Cu > Ni > Pb > Cd > Co = Cr$. این نشان می‌دهد که لجن فاضلاب توانایی رهاسازی فلزات سنگین را در خاک داشته و برای استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی باید جوانب احتیاط را به عمل آورد. این ترتیب فلزات سنگین با آنچه که توسط سوریانو دیسلا و همکاران (۲۰۱۴) برای گیاهان جو گزارش کرده بودند متفاوت بود که ممکن است مربوط به غلظت فلزات سنگین در لجن فاضلاب اولیه و مخلوط خاک باشد. کادمیم بیشتر در ریشه گیاهان انباشته می‌شود و مایه نگرانی است (بوربونگ و همکاران، ۲۰۰۴). ستیگ و لوویسا (۲۰۰۶) افزایش غلظت کادمیم در گیاه جو را به دلیل استفاده از لجن فاضلاب در خاک گزارش کردند. باکرک ویتا و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند ارقام ذرت دیررس دارای بیوماس اندام هوایی بیشتر و تجمع بالایی کادمیم می‌شود و برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیم توصیه می‌شوند. غلظت کبالت در ریشه ذرت در همه تیمارها حدود $3/36 - 3/77$ میلی‌گرم در کیلوگرم بود ولی در ساقه گیاهان ذرت غلظت آن توسط سنجنده‌های آزمایشگاهی قابل تشخیص نبود. این الگو در مورد کروم هم تکرار شد و غلظت کروم در ساقه همه تیمارهای ذرت رشد

یافته در خاک دارای مقادیر مختلف لجن، قابل تشخیص نبود. غلظت مس در ریشه ذرت در همه تیمارها تفاوت معناداری باهم نداشتند ولی در تیمار ۴ درصد لجن فاضلاب، غلظت مس در ساقه و اندام هوایی ذرت نسبت به دو تیمار دیگر افزایش معناداری داشت. غلظت نیکل هم در تیمار ۴ درصد لجن فاضلاب هم در ریشه و هم در اندام هوایی ذرت با تیمارهای ۲ و ۵/۰ درصدی لجن تفاوت معنادار داشت. غلظت سرب تنها در تیمار ۴ درصد لجن فاضلاب در اندام هوایی ذرت با سایر تیمارها تفاوت معنادار داشت ولی در ریشه ذرت در همه تیمارها تفاوت معناداری نداشتند. حلالیت سرب در خاک‌های آهکی به دلیل کمپلکس شدن سرب با کلسیت کم است و به‌راحتی برای گیاهان در دسترس نیست. علاوه بر این، مشخص شده است که برخی از گیاهان سرب را در ریشه خود نگه می‌دارند و از انتقال آن به بخش اندام هوایی جلوگیری می‌کنند (چاو و همکاران، ۲۰۰۴). یافته‌های این مطالعه نیز نشان داد که تجمع سرب در ریشه ذرت بیشتر از اندام هوایی است. بونیاپوکانا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که ۸۰ تا ۸۷ درصد سرب جذب شده در ریشه آفتابگردان انباشته شده و تنها ۱۳ تا ۲۰ درصد سرب به اندام هوایی منتقل شده است، در این مطالعه نیز میزان سرب اندام هوایی ذرت نزدیک به این مقادیر است. بر اساس استاندارد کدکس (۲۰۱۹) برای علوفه و خوراک دام، غلظت کل سرب کادمیم و آرسنیک در گیاهان به ترتیب ۲، ۲ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و همچنین مقادیر مجاز استاندارد بیشینه رواداری فلزات سنگین در خوراک دام سازمان ملی استاندارد ایران برای مواد اولیه خوراک دام از منابع گیاهی ۱، ۳۰ و ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است که بر این اساس مشکلی برای خوراک دام به وجود نمی‌آورد.



شکل ۲- غلظت فلزات سنگین قابل‌دسترس (میلی گرم در کیلوگرم) خاک در پایان کشت (الف)، غلظت فلزات سنگین در ریشه (ب) و اندام هوایی (ج) در تیمارهای لجن صفر درصد، لجن ۰/۵ درصد، لجن دو درصد و لجن چهار درصد.

دادن انتقال کمی فلزات سنگین از خاک به گیاه است (برازینی و همکاران، ۲۰۱۲). افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش مقدار فلزات سنگین منتقل شده از خاک به گیاه شد. یاری و همکاران (۲۰۱۶) همچنین گزارش داد که افزودن مواد آلی خاک باعث افزایش انتقال روی و سرب به ذرت شد. در جدول ۴ تجزیه واریانس تأثیر سطح مصرف بر فاکتور تغلیظ زیستی فلزات سنگین در ریشه آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اثر سطح مصرف لجن بر BCFRoots فلزات سنگین سرب و کادمیم ذرت معنی‌دار بود. مقادیر BCFRoots برای کادمیم در همه تیمارها بیشتر از یک بود (شکل سه-الف) که نشان می‌دهد محتوای کادمیم در ریشه ذرت بسیار بیشتر از محتوای این فلز سنگین در خاک است. همچنین در جدول ۵ تجزیه واریانس تأثیر سطح مصرف بر تغلیظ زیستی فلزات سنگین در اندام هوایی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اثر سطح مصرف لجن بر BCFShoots

با توجه به نتایج (شکل ۲) در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب، خاک نمی‌تواند در برابر انتقال فلزات سنگین به ریشه مقاومت کند و فلزات سنگین به ریشه گیاه ذرت منتقل می‌شود. همچنین، شاخص‌ها نسبت به ریشه‌ها مکانیزم مقاومتی نشان می‌دهند که انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی را از طریق تجمع در ریشه و عدم انتقال به اندام هوایی محدود می‌کنند (باستا و همکاران، ۲۰۰۵).

نسبت فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی به خاک و

اثرات خواص خاک بر انتقال فلزات سنگین

فلزات سنگین در خاک می‌توانند از خاک به گیاه منتقل شوند، این انتقال می‌تواند از قسمت‌های پایین به قسمت‌های بالایی گیاه نیز اتفاق بیفتد. این امر باعث تجمع فلزات سنگین در برگ‌ها و قسمت‌های خوراکی گیاه شده و سلامت انسان و حیوانات را به خطر می‌اندازد. بررسی BCFRoots و BCFShoots یک روش ساده برای نشان

فلزات سنگین سرب، کادمیم و مس ذرت معنی‌دار بود. مقادیر BCFShoots برای تمام فلزات سنگین مورد مطالعه و در همه تیمارها کمتر از یک بود (شکل سه-ب). غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی ذرت به‌طور قابل‌توجهی کمتر از غلظت فلزات سنگین در خاک‌هایی بود که ذرت در آن رشد کرده بود و در نتیجه مقادیر BCF اندام هوایی پایین بود. به‌طور میانگین در همه تیمارها مقدار فاکتور تغلیظ زیستی ریشه (BCFroot) دارای این روند بود:

$Cd > Cu > Pb > Ni > As > Co > Cr$ این روند در مورد تغلیظ زیستی اندام هوایی (BCFShoots) به این صورت بود: $Cd > Pb > Cu > Ni > As > Cr > Co$ بیشترین میزان BCFRoots و BCFShoots در اکثر تیمارها به ترتیب مربوط به کادمیم، مس و سرب بود. بر پایه یافته‌های سورینانو دیسلا و همکاران (۲۰۱۴)، غلظت اولیه فلزات سنگین در خاک و لجن منجر به BCFRoots زیاد می‌شود. با توجه به غلظت اولیه کروم، سرب و مس کل در لجن، انتظار این بود که غلظت این فلزات در گیاهان بیشتر باشد اما کادمیم در لجن غلظت کمی داشت و انتظار اولیه بر آن بود که مقادیر تغلیظ زیستی کادمیم در ریشه و اندام هوایی اندک باشد. بر پایه نتایج، بیشترین مقدار BCFRoots و BCFShoots مربوط به همین فلز است. بررسی فاکتورهای انتقال در ریشه و شاخساره گیاهان، نشان می‌دهد که خاک تأثیر کمی در کنترل انتقال فلزات سنگین به ریشه و اندام هوایی دارد، بطوریکه با تجمع عناصر در ریشه و مکانیزم مقاومتی شاخساره‌ها نسبت به ریشه‌ها از انتقال فلزات سنگین به اندام هوایی محدود جلوگیری می‌کند (باستا و همکاران، ۲۰۰۵).

مقادیر BCFRoots بیشتر از مقادیر ارائه‌شده توسط ژو و همکاران (۲۰۰۵) بود. در دسترس بودن فلزات سنگین در خاک با تشکیل کمپلکس‌های مواد آلی محلول با فلزات سنگین افزایش می‌یابد (هاو و همکاران، ۲۰۱۹؛ انیا و همکاران، ۲۰۲۰). یاری و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که نسبت سرب اندام هوایی به خاک در ذرت بیشتر از تمام فلزات سنگین است که منجر به تجمع سرب در گیاه می‌شود و به‌راحتی می‌تواند وارد زنجیره غذایی و زندگی انسان شود.

گیاهان از استراتژی‌های مختلفی برای ذخیره بیشتر فلزات سنگین جذب‌شده از خاک در سلول‌های ریشه یا ترکیب فلزات سنگین با سیتوپلاسم سلول‌های ریشه و از بین بردن اثرات سمی آن‌ها استفاده می‌کنند (دونچوا و همکاران، ۲۰۰۹). مقادیر ضریب انتقال نشان می‌دهد که فلزات سنگین می‌توانند از خاک به ریشه منتقل شوند، اما یک سری محدودیت‌ها در انتقال آن‌ها از ریشه به اندام هوایی وجود دارد (ژو و همکاران، ۲۰۰۵). در جدول ۶ تجزیه واریانس تأثیر سطح مصرف بر فاکتور انتقال فلزات سنگین گیاه ذرت آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌گردد اثر سطح مصرف لجن بر TF کلیه فلزات سنگین به‌جز کبالت و کروم گیاه ذرت معنی‌دار بود. شکل ۳-ج مقادیر TF فلزات سنگین را در گیاهان ذرت در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. مقادیر TF برای تمام فلزات سنگین مورد مطالعه و در تمام تیمارها کمتر از ۱ بود. بسته به نوع فلزات سنگین و مقدار لجن، TF در تیمارهای گوناگون، متفاوت بود. روند میانگین TF فلزات سنگین برای تیمارهای مختلف در ذرت به شرح زیر بود: $Cd > Cu > Pb > Ni > As > Cr > Co$. با افزایش مقدار لجن استفاده‌شده، TF فلزات سنگین مضر مانند کادمیم در ذرت افزایش یافت و از مقدار ۰/۳۵۶ در تیمار شاهد بدون لجن به ۰/۵۹ در تیمار لجن ۴ درصد رسید. این روند افزایش TF با افزایش مقدار لجن و به تبع آن افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک، در فلزات نیکل و سرب نیز مشاهده شد؛ اما در مورد فلزات کروم، آرسنیک و مس روند کاهشی بود. فاکتور انتقال کبالت هم در همه تیمارها صفر بود و نشان‌دهنده انتقال صفر یا غیرقابل محاسبه کبالت از ریشه به ساقه است. مقاومت گیاه در برابر انتقال فلزات سنگین و شدت این مقاومت با افزایش غلظت فلزات سنگین افزایش می‌یابد (سورینانو دیسلا و همکاران، ۲۰۱۴) و انتقال فلزات سنگین از ریشه به شاخساره‌های گیاه محدود می‌شود (دد و همکاران، ۲۰۱۲). مقایسه این نسبت برای فلزات سنگین نشان داد که کبالت و کروم در تمامی خاک‌های تیمار شده دارای نسبت کمتری هستند که نشان‌دهنده مقاومت ریشه برای انتقال این فلزات سنگین به اندام‌های هوایی است که منجر

به‌مواجهه کمتر بدن انسان با این فلزات سنگین می‌شود. سوریانو دیسلا و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که خطر این نتایج قبلاً با خطر انتقال کادمیم، مس و روی به زنجیره غذایی تأیید شده است (گال و همکاران، ۲۰۱۵؛ رای و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات انجام شده توسط همکاران (۲۰۲۰). دلیل سمیت برای بدن انسان، باعث نگرانی است (ادیل و همکاران ۲۰۲۰).

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر سطح مصرف بر فاکتور تغلیظ زیستی ریشه (BCFRoots) فلزات سنگین در گیاه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	کادمیم	سرب	نیکل	آرسنیک	کبالت	کروم	مس
میانگین مربعات								
تیمار (سطح مصرف)	۳	۱۴/۱۱*	۱۲/۱۳*	۸/۰۳ ^{ns}	۱۳/۱۳ ^{ns}	۵/۰۳ ^{ns}	۴/۱۵ ^{ns}	۸/۹۳ ^{ns}
بلوک	۲	۱/۰۳*	۴/۸۹ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}
درصد ضریب تغییرات		۱۰/۲۱	۹/۳۹	۱۰/۶۱	۵/۲۲	۸/۶	۳/۹۹	۵/۵۴

* در سطح ۵٪ معنی‌دار و ns عدم اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر سطح مصرف بر فاکتور تغلیظ زیستی اندام هوایی (BCFShoots) فلزات سنگین در گیاه ذرت

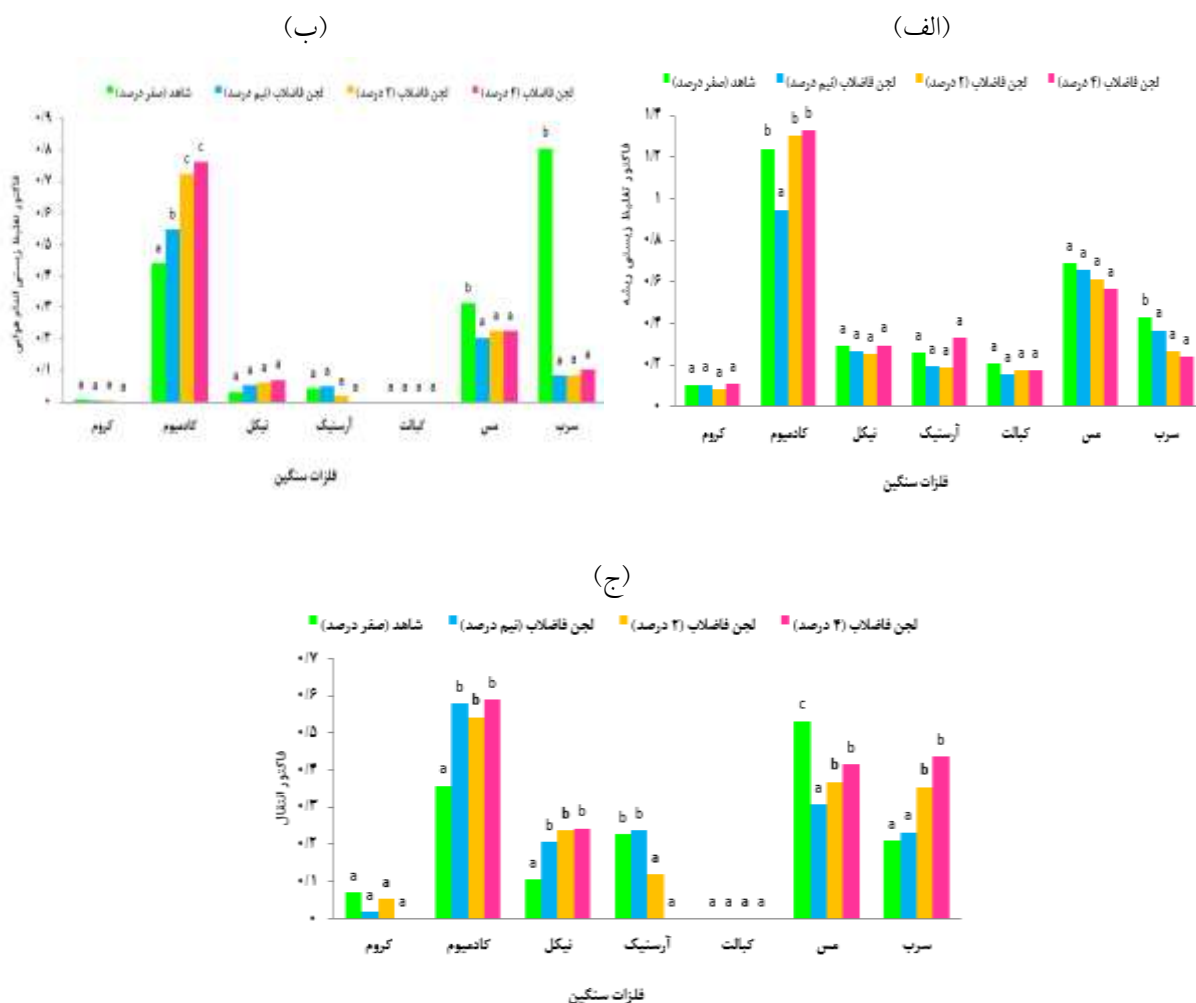
منابع تغییرات	درجه آزادی	کادمیم	سرب	نیکل	آرسنیک	کبالت	کروم	مس
میانگین مربعات								
تیمار (سطح مصرف)	۳	۲۲/۲۱*	۱۲/۱۳*	۵/۲۳ ^{ns}	۱۰/۱۱ ^{ns}	۴/۱۲ ^{ns}	۷/۲۳ ^{ns}	۱۰/۲۱*
بلوک	۲	۱۴/۸۵*	۱۰/۲۵ ^{ns}	۶/۳۸ ^{ns}	۱۱/۱۸ ^{ns}	۱۱/۰۳ ^{ns}	۶/۵۱ ^{ns}	۱۳/۲۳ ^{ns}
درصد ضریب تغییرات		۱۳/۴۲	۶/۱۲	۴/۲۲	۱۰/۱۰	۴/۵۹	۱۲/۴۱	۹/۳۶

* در سطح ۵٪ معنی‌دار و ns عدم اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر سطح مصرف بر فاکتور انتقال (TF) فلزات سنگین در گیاه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	کادمیم	سرب	نیکل	آرسنیک	کبالت	کروم	مس
میانگین مربعات								
تیمار (سطح مصرف)	۳	۱۰/۴۹*	۱۱/۵۹*	۲۳/۱۴*	۱۲/۱۵*	۱۰/۲۱ ^{ns}	۹/۲۳ ^{ns}	۱۳/۳۹*
بلوک	۲	۱۲/۰۵*	۱۶/۲۱*	۷/۲۱ ^{ns}	۷/۲۱ ^{ns}	۱۱/۷۹ ^{ns}	۸/۵۹ ^{ns}	۱۰/۲۹ ^{ns}
درصد ضریب تغییرات		۱۰/۱۳	۱۱/۱۱	۶/۶۱	۸/۹۵	۱۴/۳۲	۱۰/۳۹	۹/۵۵

* در سطح ۵٪ معنی‌دار و ns عدم اختلاف معنی‌دار است.



شکل ۳- مقادیر فاکتور تغلیظ زیستی ریشه (BCFroots)(الف)، فاکتور تغلیظ زیستی اندام هوایی (BCFshoots)(ب) و فاکتور انتقال (TF)(ج) مربوط به فلزات مختلف و در تیمارهای لجن صفر درصد، لجن ۵/۰ درصد، لجن ۲۰ درصد و لجن چهار درصد.

قابل توجهی به گونه‌های شیمیایی آن در خاک بستگی دارد (لی و همکاران، ۲۰۱۳). افزودن مقدار زیادی لجن فاضلاب به خاک مس را در دسترس گیاهان قرار می‌دهد (کاباتا پندیاس، ۲۰۱۱). همچنین بر رفتار مس در خاک تأثیر می‌گذارد و تحت شرایط مختلف ممکن است دسترسی و تجمع مس را در گیاهان افزایش دهد. بونزل و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که مس در خاک‌های دارای لجن، نسبتاً بیشتر در دسترس است و در گیاهان تجمع بیشتری دارد. با افزودن لجن فاضلاب، شرایطی برای تشکیل کمپلکس‌های مس فراهم می‌شود که ممکن است جذب مس را افزایش دهد (آلن، ۱۹۹۳). از این رو، افزایش انتقال مس

به‌طور معمول، تحرک سرب در خاک و انتقال آن به گیاه کم است و عواملی مانند افزایش اسیدیته خاک و تشکیل کمپلکس‌های آلی با سرب ممکن است فراهمی زیستی سرب را در خاک افزایش دهد (کاباتا پندیاس، ۲۰۱۱). در بین فلزات سنگین، سرب کم فعالیت‌ترین فلز سنگین در خاک محسوب می‌شود و جذب آن توسط گیاه کمتر از روی و مس است (وگا و همکاران، ۲۰۰۷). علیرغم اینکه جذب سرب توسط گیاهان در خاک‌های غیر آلوده محدود است، همه گیاهان سرب را جذب کرده و آن را به اندام‌های هوایی خود منتقل می‌کنند که جای نگرانی دارد (کانون، ۱۹۷۶). فراهمی زیستی سرب برای گیاهان به طور

در حضور لجن فاضلاب قابل درک است. همان‌طور که قبلاً گفته شد، فلزات سنگین افزوده شده به خاک توسط لجن، به‌طور ضعیفی در خاک حفظ می‌شوند. با این حال، انتقال فلزات سنگین به گیاهان به نوع خاک بستگی دارد که نشان‌دهنده حساسیت خاک^۱ است.

نتیجه‌گیری

برای پیشگیری و کنترل غلظت فلزات سنگین بایستی غلظت آن را در خاک پایین نگهداشته و انتقال آن به اندام هوایی مصرفی را به حداقل رساند. در مجموع مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر سرب، نیکل و مس در اندام هوایی ذرت شد. بررسی فاکتور تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال فلزات سنگین کادمیم، سرب و مس نشان داد که این عناصر نسبت به سایر فلزات سنگین مورد مطالعه دارای مقادیر بالاتری بودند. بیشترین فاکتور انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام هوایی ذرت، مربوط به کادمیم بود که لازم است

برای استفاده لجن به نحوی عمل شود تا از تجمع این فلز سنگین در خاک جلوگیری شده تا کمتر وارد اندام هوایی و چرخه غذایی شده و سمیت و نگرانی‌های بعدی برای سلامت انسان و دام را در پی نداشته باشد. در مجموع غلظت اندازه‌گیری شده برای کادمیم، سرب و آرسنیک در بیشترین مقادیر در اندام هوایی گیاه به ترتیب، ۰/۱۷، ۱/۹۴، ۰/۷۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند، در حالی که مقادیر مجاز استاندارد بیشینه رواداری فلزات سنگین در خوراک دام بر اساس استاندارد سازمان ملی استاندارد ایران برای مواد اولیه خوراک دام از منابع گیاهی به ترتیب ۱، ۳۰ و ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و بر اساس استاندارد کدکس به ترتیب ۲، ۳۰ و ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است؛ بنابراین افزایش غلظت در اندام‌های هوایی در حدی نبود که سبب افزایش غلظت عناصر مورد نظر بیشتر از حدود مجاز در استاندارد ملی ایران و استاندارد کدکس شود.

ضمناً باید دقت شود که نتایج این مطالعه صرفاً مربوط به یک نمونه لجن بوده است، در حالی که کیفیت و محتویات لجن از تنوع و تغییرات زیادی برخوردار است. همچنین این نتایج مربوط به یکبار مصرف لجن است که تعمیم آن را دچار تردید می‌نماید. به نظر می‌رسد با توجه به کمبود مواد آلی و فسفر خاک در خاک‌های کشور، کاربرد لجن فاضلاب تصفیه شده با توجه به درصد کربن آلی بالا و فسفر آن می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در این رابطه البته بررسی‌های بیشتر برای تعیین حدود مجاز عناصر سنگین و ترکیبات آلاینده در لجن فاضلاب و سرنوشت عناصر در خاک‌های مختلف و نیز جذب در اندام‌های گیاهان مختلف، ضروری است. پیشنهاد می‌شود فراورده‌های لجن مثل زغال زیستی و زغال فعال نیز مورد بررسی قرار گرفته و میزان آلاینده‌های آن‌ها در محصولات و خاک ارزیابی شود.

¹Soil vulnerability

فهرست منابع

۱. بی نام، حدود مجاز آلودگی خاک و آلاینده‌های ورودی به آن برای کاربری‌های مختلف خاک و راهنماهای آن. سازمان حفاظت محیط‌زیست، معاونت محیط‌زیست انسانی، دفتر آب‌و خاک. ۱۳۹۰.
<http://wsm.doe.ir>
۲. بی نام، استاندارد ۱۲۹۶۸ خورک انسان – دام بیشینه رواداری فلزات سنگین و روش‌های آزمون (تجدیدنظر اول). سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۴۰۰.
<https://www.inso.gov.ir>
3. Adil, M.F. Sehar, S., Chen, G., Chen, Z-H., Jilani, G., Chaudhry, A.N., and I.H. Shamsi. 2020. Cadmium-zinc cross-talk delineates toxicity tolerance in rice via differential genes expression and physiological/ultrastructural adjustments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 190:110076.
4. Ajwa, H.A., and M.A. Tabatabai. 1994. Decomposition of different organic materials in soils. *BiolFertil Soils*. 18:175–182.
5. Allen, H.E. 1993. The significance of trace metal speciation for water, sediment and soil quality criteria and standards. *Science of the Total Environment*. 134:23–45.
6. Ba, czek-Kwinta, R., Juzon, K., Borek, M., and J. Antonkiewicz. 2019. Photosynthetic response of corn in cadmium-spiked soil. *Photosynthetica*. 57:731–739.
7. Basta, N.T., Ryan, J.A., and R.L. Chaney. 2005. Trace element chemistry in residual-treated soil: key concepts and metal bioavailability. *Environmental quality*. 34:49–63.
8. Bolan, N., Adriano, D.C., S. Mahimairaja. 2004. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure byproducts. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 34:291–338.
9. Boonyapookana, B., Parkpian, P., Techapinyawat, S., Delaune, R.D., and A. Jugsujinda. 2005. Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), tobacco (*Nicotianatabacum*), and vetiver (*Vetiveriazizanioides*). *Environmental Science and Health*. 40:117–137.
10. Bouriou, M., Alaoui-Sosse, L., Laffray, X., Raouf, N., Benbrahim, M., Badot, P.M., Weis, J.S., and P. Weis. 2004. Metal uptake transport and release by wetland plants: implication for phytoremediation and restoration. *Environment International*. 30:685–700.
11. Branzini, A., Gonzalez, R.S., and M. Zubillaga. 2012. Absorption and translocation of copper, zinc and chromium by *Sesbaniavirgata*. *Environmental Management*. 102:50–54.
12. Bunzl, K., Trautmannsheimer, M., Schramel, P., and W. Raifenhäuse. 2001. Availability of arsenic, copper, lead and zinc to various vegetables grown in slag contaminated soils. *Environment Quality*. 30: 934–939.
13. Cakir, H. N. and Cimrin, K. M. 2020. The Effect of Sewage Sludge Applications on the Growth of Maize (*Zea mays* L.) and Some Soil Properties. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*. 23(2): 321–327.
14. Cambier, P., Michaud, A., Paradelo, R., Germain, M., Mercier, V., GuerinLebourg, A., and S. Houot. 2019. Trace metal availability in soil horizons amended with various urban waste composts during 17 years-monitoring and modelling. *Science Total Environment*. 651:2961–2974.
15. Cannon, H.L. 1976. Lead in vegetation. In: *Lead in the environment*. US Geological Survey: 53–72.
16. Chaignon, V., Sanchez-Neira, I., Herrmann, P., Jaillard, B., and P. Hinsinger. 2003. Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. *Environmental Pollution*. 123:229–238.
17. Directive 2002/32/EC of The European Parliament and of the Council on undesirable substances in animal feed. 2019. 0200210032-EN-28.11.2019-022.001-1
18. Cui, Y.J., Zhu, Y.G., Zhai, R.H., Chen, D.Y., Huang, Y.Z., Qiu, Y., and J.Z. Liang. 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environ Int*. 30:785–791.

19. Dede G, Ozdemir S, Dede HO. 2012. Effect of soil amendments on phytoextraction potential of *Brassica juncea* growing on sewage sludge. *Environment Science Technol.* 9:559–564.
20. Doncheva, S., Poschenrieder, C., Stoyanova, Z., Georgieva, K., Velichkova, M., and J. Barcelo. 2009. Silicon amelioration of manganese toxicity in Mn sensitive and Mn tolerant maize varieties. *Environmental and Experimental Botany.* 65: 189–197.
21. Dregne, H.E. 2002. Land degradation in the drylands. *Arid Land Res Manag.* 16:99–132. Dudka S, Piotrowska M, Chlopecka A. 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of the plants. *Water Air Soil Pollut.* 76:333–341.
22. Eid, E.M., El-Bebany, A.F., Alrumman, S.A., Hesham, A., Taher, M.A., and K.F. Fawy. 2017. Effects of different sewage sludge applications on heavy metal accumulation, growth and yield of spinach (*Spinaciaoleracea* L.). *Phytoremediation.* 19:340–347.
23. Eid, E.M., and K.H. Shaltout. 2016. Bioaccumulation and trans-location of heavy metals by nine native plant species grown at a sewage sludge dump site. *Phytoremediation.* 18:1075–1085.
24. Enya, O., Heaney, N., Iniama, G., and C. Lin. 2020. Effects of heavy metals on organic matter decomposition in inundated soils: microcosm experiment and field examination. *Science Total Environment.* 724:138223.
25. Gall, J.E., Boyd, R.S., and N. Rajakaruna. 2015. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental Monitoring and Assessment.* 187: 201.
26. Hou, S., Zheng, N., Tang, L., Ji, X., and Y. Li. 2019. Effect of soil pH and organic matter content on heavy metals availability in maize (*Zea mays* L.) rhizospheric soil of non-ferrous metals smelting area. *Environmental Monitoring and Assessment.* 191:634.
27. Iglesias, M., Margui, E., Camps, F., and M. Hidalgo. 2018. Extractability and crop transfer of po-tentially toxic elements from Mediterranean agricultural soils following long-term sewage sludge applications as a fertilizer replacement to barley and maize crops. *Waste Managment.* 75: 312–318.
28. ISO .2001. Soil quality e dissolution for the determination of total element content e part 1: dissolution with hydrofluoric and perchloric acids, ISO 14869-1, pp 1–5
29. Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. London New York: CRC Taylor and Francis Group.
30. KeRpk, W., Antonkiewicz, J., Jasiewicz, C., Gambus, F., and R. Witkowicz. 2016. The effect of municipal sewage sludge on the chemical composition of spring barley. *Soil Science Annual.* 67:124–130.
31. Laura, F., Tamara, A., Müller, A., Hiroshan, H., Christina, D., & Serena, C. (2020). Selecting sustainable sewage sludge reuse options through a systematic assessment framework: Methodology and case study in Latin America. *Cleaner Production*, 242:83-89 .
32. Li, T.Q., Tao, Q., Liang, C.F., Shohag, M.J.I., Yang, X.E., and D.L. Sparks. 2013. Complexation with dissolved organic matter and mobility control of heavy metals in the rhizosphere of hyperaccumulator *Sedum alfredii*. *Environmental Pollution.* 182:248–255.
33. Lovisa, S.F., and L. Stig. 2006. Effects of sewage sludge on pH and plant availability of metals in oxidising sulphide mine tailings. *Science Total Environment.* 358:21–35.
34. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., and G. Zerbi. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanussativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental Pollution.* 132:21–27.
35. Moldes, A., Cendon, Y., and M.T. Barral. 2007. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresource Technology.* 98:3069–3075.
36. Penido, E. S., Martins, G. C., Mendes, T. B. M., Melo, L. C. A., do Rosário Guimarães, I. and Guilherme, L.R.G. 2019. Combining biochar and sewage sludge for immobilization of heavy metals in mining soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 172: 326-333.

37. Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupe, G., and J. Gardea-Torresdey. 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain. *Biochemistry & Cell Biology*. 41: 1665–1677.
38. Rai, P.K., Lee, S.S., Zhang, M., Tsang, Y.F., and K.H. Kim. 2019. Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*. 125:365–385.
39. Rashid, I., Murtaza, G., Ahmad, Z. and Farooq, M. 2018. Effect of humic and fulvic acid transformation on cadmium availability to wheat cultivars in sewage sludge amended soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 25:16071–16079.
40. Rezapour, S., Atashpaz, B., Moghaddam, S. S., & Damalas, C. A. 2019. Heavy metal bioavailability and accumulation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with treated wastewater in calcareous soils. *Science of the Total Environment*, 656, 261–269.
41. Rossini-Oliva, S., Abreu, M.M., Santos, E.S., and E.O. Leidi. 2020. Soil–plant system and potential human health risk of Chinese corn and oregano growing in soils from Mn- and Fe-abandoned mines: microcosm assay. *Environmental Geochemistry and Health*. 42:4073–4086.
42. Soil Survey Staff, 2014. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5. In: Burt, R., Soil Survey Staff (Eds.), United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
43. Soriano-Disla, J.M., Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., and M.M. Jord ~ an. 2014. The transfer of heavy metals to barley plants from soils amended with sewage sludge with different heavy metal burdens. *Soils and Sediments*. 14:687–696.
44. USEPA. 2012. Edition of the drinking water standards and health advisories (EPA 822-S-12-001). Washington, DC, USA: Office of Water U.S. Environmental Protection Agency.
45. Vega, F.A., Covelo, E.F., VAZquez, J.J., and L. Andrade. 2007. Influence of mineral and organic components on copper, lead, and zinc sorption by acid soils. *Environmental Geochemistry and Health*. 42:2167–2173.
46. Xiong, Z.T., and H. Wang. 2005. Copper toxicity and bioaccumulation in Chinese corn (*Brassica pekinensis* Rupr.). *Environmental Toxicology*. 20: 188–194.
47. Xiong, X., Liu, X., Iris, K.M., Wang, L., Zhou, J., Sun, X., Rinklebe, J., Shaheen, S.M., Ok, Y.S., Lin, Z., and et al. 2019. Potentially toxic elements in solid waste streams: Fate and management approaches. *Environmental Pollution*. 253:680–707.
48. Xu, Z.M., Wang, Z., Gao, Q., Wang, L.L., Chen, L.L., Li, Q.G., Jiang, J.J., Ye, H.J., Wang, D.S., and P. Yang. 2019. Influence of irrigation with microalgae-- treated biogas slurry on agronomic trait, nutritional quality, oxidation resistance, and nitrate and heavy metal residues in Chinese corn. *Environment Management*. 244:453–461.
49. Yang, G., Zhu, G., Li, H., Han, X., Li, J., and Y. Ma. 2018. Accumulation and bioavailability of heavy metals in a soil-wheat/maize system with long-term sewage sludge amendments. *Integrative Agriculture*. 17:1861–1870.
50. Yari, M., Rahimi, G., Ebrahimi, E., Sadeghi, S., Fallah, M., and E. Ghesmatpoor. 2016. Effect of three types of organic fertilizers on the heavy metals transfer factor and maize biomass. *Waste Biomass Valorization*. 8: 2681–2691.
51. Zhou, M.D., Hao, X.Z., Wang, Y.J., Dong, Y.H., and L. Cangl. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere*. 59:167–175.



بررسی رابطه اسیدیته خاک با برخی از ویژگی‌های کیفی برگ سبز چای در چای‌کاری‌های استان گیلان

احمد شیرین‌فکر*، شاهین اوستان، نصرت اله نجفی و عادل ریحانی تبار

عضو هیات علمی پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان- دانش آموخته دکتری،

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز shirinfekr@gmail.com

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

oustan@hotmail.com

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

nanajafi@yahoo.com

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

areyhani@tabrizu.ac.ir

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۷/۳ و پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۷

چکیده

چای گیاهی دایمی و همیشه سبز است که به‌خوبی در خاک‌های اسیدی رشد می‌کند. این گیاه آلومینیم را به‌طور طبیعی جذب کرده و در قسمت‌های مختلف شاخساره انباشته می‌کند. اگرچه آلومینیم برای رشد گیاه چای ضروری است، اما برای سلامتی انسان مضر است. ارزیابی وضعیت آلومینیم در خاک و برگ سبز چای به درک رابطه بین این دو در جهت ارتقای کمیت و کیفیت محصول چای کمک می‌کند. به‌این منظور، ۳۸ نمونه خاک و برگ سبز سوم (برگ شاخص) به‌طور تصادفی از چای‌کاری‌های استان گیلان جمع‌آوری شدند. در نمونه‌های خاک، علاوه بر ویژگی‌های عمومی، مقادیر pH_w و pH_{CaCl_2} ، غلظت‌های آلومینیم، کلسیم و منیزیم تبادل، نیتروژن کل و غلظت‌های فراهم فسفر و پتاسیم و در نمونه‌های گیاهی نیز غلظت‌های همین عناصر به‌همراه آهن و روی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر pH_w ، pH_{CaCl_2} ، آلومینیم تبدلی خاک و نیز غلظت آلومینیم در گیاه چای به‌ترتیب ۴/۵۱، ۴/۰۴، ۲۵۶ mg/kg و ۱۳۶۲ mg/kg به‌دست آمد. آلومینیم تبدلی خاک با pH_w و pH_{CaCl_2} یک رابطه معکوس و غیرخطی با ضرایب تعیین به‌ترتیب ۶۶٪ و ۸۴٪ داشت که حاکی از قابلیت اعتماد بیشتر به pH_{CaCl_2} در مقایسه با pH_w بود. غلظت آلومینیم در برگ سبز چای با pH خاک همبستگی معناداری نداشت، اما رابطه آن با آلومینیم تبدلی خاک معنادار بود ($r=0.69^{**}$). همچنین، مقدار پلی‌فنل کل با نسبت مجموع غلظت‌های آهن و روی به غلظت آلومینیم ($\frac{Fe+Zn}{Al}$) در برگ سبز گیاه چای همبستگی معناداری ($r=0.64^{***}$) نشان داد. با توجه به حداقل pH بهینه باغ‌های چای ($pH=4/5$)، حداکثر غلظت بهینه آلومینیم تبدلی خاک معادل ۱۵۳ mg/kg به‌دست آمد. توصیه می‌شود که برای کنترل آلومینیم تبدلی خاک و تنظیم pH با توجه به ظرفیت بافری خاک از آهک یا دولومیت استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آلومینیم تبدلی، برگ سبز سوم، پلی‌فنل کل، غلظت فراهم

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: shirinfekr@gmail.com



مقدمه

چای^۱ گیاهی غیربومی است که از کشت آن در ایران بیش از یک‌صد سال می‌گذرد؛ بااین‌حال، توسعه کشت آن در ایران، به دلیل محدودیت‌های اقلیمی و خاکی، محدود به استان‌های گیلان و مازندران (حدود ۲۸ هزار هکتار) بوده و در سایر مناطق کشور گسترش پیدا نکرده است. البته همین مساحت محدود تقریباً ۳۰ درصد از نیاز چای کشور را تأمین کرده و از این نظر اهمیت ویژه‌ای دارد. بهترین شرایط اقلیمی برای کشت چای دمای بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سلسیوس، حداقل بارندگی ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال و رطوبت نسبی بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است (حاجی‌بلند، ۲۰۱۷). از نظر نیاز خاکی نیز این گیاه در خاک‌های اسیدی با دامنه pH بین ۴/۵ تا ۵/۵ به‌خوبی رشد می‌کند (حسینی‌خواه‌چوشلی و همکاران، ۲۰۱۳). چنین شرایطی محدود به مناطق شمالی کشور یعنی حوضه خزری است (روزی‌طلب و همکاران، ۲۰۱۸). اسیدی شدن خاک فرآیندی است که طی آن pH، با ورود یون‌های هیدروژن به خاک در طی چرخه‌های کربن، نیتروژن، گوگرد و واکنش‌های کودی کاهش‌یافته و باعث شستشوی کاتیون‌های بازی و افزایش حل‌پذیری عناصری مانند آلومینیم می‌شود (اینیسی و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، کاهش CEC خاک در اثر تجزیه کانی‌های رس ۲:۱ و یا کاهش بار منفی آن‌ها به‌واسطه الحاق پلی‌مرهای هیدروکسی آلومینیم گزارش شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). این فرآیند در باغ‌های چای به دلیل مصرف زیاد کودهای نیتروژن و برگرداندن بقایای هرس بوته‌های چای به‌مرورزمان تشدید شده و بدیهی است که باغ‌های مسن اسیدی‌تر از باغ‌های جوان هستند (فنگ و همکاران، ۲۰۱۴). گزارش شده است که در باغ‌های چای واقع در شرق چین در مقایسه با خاک‌های بایر مجاور پس از ۱۳، ۳۴ و ۵۴ سال کشت چای، pH خاک به ترتیب ۱/۳۷، ۱/۶۲ و ۱/۸۵ واحد کاهش‌یافته است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). در شمال کشور، تغییر کاربری و تبدیل جنگل به باغ چای یکی

از عوامل مهم اسیدی شدن خاک است (مجددی و همکاران، ۱۳۹۱). از دلایل مهم این امر آن است که در باغ‌های چای، به دلیل هرس‌های مکرر، مصرف کودهای نیتروژن عموماً بیشتر از سایر محصولات زراعی و باغی است (بهرامی و همکاران، ۲۰۱۰). مطابق آخرین پژوهش‌های انجام‌گرفته، حدود ۵۰ درصد از خاک باغ‌های چای کشور دارای pH کمتر از ۴/۵ هستند که از محدوده بهینه (۴/۵ تا ۵/۵) کم‌تر است (شیرین‌فکر، ۱۳۹۹). با اسیدی شدن خاک‌ها ($pH < 5$)، حل‌پذیری آلومینیم در خاک و در نتیجه قابلیت جذب آن برای گیاهان افزایش می‌یابد (فرانکووسکی، ۲۰۱۳). گیاه چای مقادیر زیادی از آلومینیم و فلزات سنگین را از خاک جذب کرده و در شاخساره از جمله برگ‌های بالغ ذخیره می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). غلظت آلومینیم در برگ‌های مسن چای حتی تا ۳۰ هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک نیز می‌رسد (استریت و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه آلومینیم برای بسیاری از گونه‌های گیاهی سمی است و رشد ریشه را محدود می‌کند (لیوو و همکاران، ۲۰۲۲)، اما این عنصر نقش مهمی در تحریک رشد لوله‌گرده، ظهور جوانه و افزایش شدت فتوسنتز دارد (موخوپادی و همکاران، ۲۰۱۲). تصور می‌شود که اثرات سودمند آلومینیم به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی مانند فسفر (محمد و همکاران، ۲۰۱۹)، یا کاهش اثرات مرتبط با سایر عوامل مضر مانند سمیت آهن (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۳) و فلوراید (یانگ و همکاران، ۲۰۱۶) باشد. صرف‌نظر از اثرات منفی یا مثبت آلومینیم بر گیاه چای، این عنصر نقش مهمی در ایجاد بیماری‌های سیستم اعصاب مرکزی از جمله آلزایمر دارد، بنابراین نوشیدن چای ممکن است برای مصرف‌کنندگان مایه نگرانی باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). از آنجایی که نوشیدن چای در کشور ما یک عادت روزانه است، بنابراین آگاهی از محتوای آلومینیم در برگ سبز چای ایرانی و ارتباط آن با اسیدپایه خاک (شامل دو پارامتر pH و غلظت آلومینیم تبادلی) برای مدیریت بهینه

^۱. *Camellia sinensis* (L.) Kuntze

چای‌کاری‌ها ضروری است. از دیگر اهداف این پژوهش، تعیین کیفیت برگ سبز چای از نظر پلی‌فنل کل و ارتباط آن با اسیدیته خاک به منظور شناخت اثرات نامطلوب فرآیند اسیدی شدن بر مرغوبیت چای در چای‌کاری‌های استان گیلان بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از خاک و برگ سبز چای و آماده‌سازی آن‌ها
تعداد ۳۸ نمونه مرکب خاک از باغ‌های چای استان گیلان (شکل ۱) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. نمونه خاک‌ها به آزمایشگاه خاک و آب

پژوهشکده چای منتقل شده و پس از هوا خشک و نرم شدن از غربال دو میلی‌متری عبور داده شدند. همچنین، تعداد ۳۸ نمونه برگ سبز سوم چای (برگ شاخص) در فصل تابستان (چین دوم) از همان محل نمونه‌برداری خاک، جمع‌آوری شد. نمونه‌های برگ پس از شست‌وشو با آب مقطر (برای حذف گردوغبار) و هوا خشک شدن، در پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و در دستگاه خشک‌کن فن دار در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک گردیدند. این نمونه‌ها آسیاب شده و بعد از عبور از غربال نیم میلی‌متری برای تجزیه‌های شیمیایی در یخچال نگهداری شدند (صفائی‌چائیکار و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل ۱- پراکنش مناطق چای‌کاری و مکان‌های نمونه‌برداری

تعیین برخی از ویژگی‌های خاک

اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH (Jenway model 3510) با دو روش اندازه‌گیری شد؛ در روش اول از سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر و در روش دوم از کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار استفاده شد (توماس، ۱۹۹۶). کربن آلی خاک به روش اکسایش با سولفوکرومیک اسید و تیتراژ کردن با فروآمونیم سولفات اندازه‌گیری شد (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶). بافت خاک نیز به روش هیدرومتری تعیین شد (برتا و همکاران، ۲۰۱۴). کلسیم و منیزیم تبدلی و پتاسیم فراهم خاک با استفاده از روش استان آمونیوم یک نرمال (نسبت ۱:۱۰) به مدت نیم ساعت عصاره‌گیری شده و در نهایت غلظت کلسیم و منیزیم با

دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer Analyst 800) و غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر (Jenway model PFP7) اندازه‌گیری شد (هلمک و اسپارکس، ۱۹۹۶). نیتروژن کل خاک نیز به روش کلدال اندازه‌گیری شد (برمنر، ۱۹۹۶). فسفر فراهم خاک به روش بری-۲^۱ (با استفاده از مخلوط فلورید آمونیوم ۰/۰۳ مولار و اسید کلریدیک ۰/۰۲۵ مولار در نسبت خاک به محلول ۱ به ۷ به مدت ۱ دقیقه) عصاره‌گیری شده (کو، ۱۹۹۶). غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی با مولیبدات آمونیوم در طول موج ۶۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/V Cecil CE-2041) اندازه‌گیری شد. برای استخراج آلومینیم تبدلی خاک؛ ۵ گرم خاک هوا خشک به یک لوله ساتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری

^۲ Bray-1.

دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) با شعله استیلن-اکسید نیترو اندازه‌گیری شد (یردیم‌اغلو و همکاران ۲۰۰۰).

اندازه‌گیری مقدار پلی‌فنل کل در برگ سبز چای

۰/۲ گرم پودر برگ سبز چای و ۵ میلی‌لیتر متانول ۷۰ درصد به یک لوله‌آزمایش اضافه شد و در حمام آبی ۷۰ درجه سلسیوس با ورتکس مخلوط گردید. پس از خنک شدن، در ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و رو شناور جمع‌آوری گردید. این عمل یک‌بار دیگر نیز انجام شد و عصاره حاصل از دو مرحله با متانول ۷۰ درصد در دمای اتاق به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. یک میلی‌لیتر از عصاره به‌دست‌آمده به یک لوله‌آزمایش منتقل شده و بعد از افزودن ۵ میلی‌لیتر شناساگر فولین-سیکالتو^۲، مخلوط گردید. بعد از ۳ دقیقه و قبل از ۸ دقیقه، ۴ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد اضافه‌شده و با ورتکس به‌خوبی یکنواخت شد. محلول به‌دست‌آمده به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شده و سپس مقادیر جذب در آن و نیز در محلول‌های استاندارد (غلظت‌های مختلف اسید گالیک) در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (UV/V Cecil CE-2041) قرائت شد (سینگلتون و همکاران، ۱۹۹۹).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار SPSS 24 استفاده شد و نمودارها در فضای نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج

نتایج آنالیز خاک

با توجه به جدول مقادیر pHw در دامنه ۳/۸۴ تا ۵/۷۰ با میانگین ۴/۵۱ و مقادیر pHCaCl₂ در دامنه ۳/۵۹ تا ۵/۰۳ با میانگین ۴/۰۴ قرار داشت. رابطه بین این دو روش در شکل ۲ آمده است. در خاک‌های با خالص بار

منتقل‌شده و به آن ۲۵ میلی‌لیتر کلرید پتاسیم ۱ مولار اضافه‌شده و به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. سپس، سانتریفوژ شده و رو شناور با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف (برش و بلوم، ۱۹۹۶) و غلظت آن با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) در شعله استیلن-اکسید نیترو اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری غلظت برخی از عناصر در برگ سبز چای

برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن در برگ چای؛ ۰/۳ گرم پودر برگ سبز چای به لوله‌های هضم دستگاه میکروکلدال (KjeltecTM 2300-FOSS Analyzer) منتقل شده و با افزودن اسیدسولفوریک غلیظ به همراه قرص ۵ گرمی کلدال (سولفات مس+سولفات پتاسیم+سلنیم) در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس هضم شد. آمونیاک تولیدشده توسط دستگاه تقطیر در اسید بوریک جمع‌آوری شده و با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال تیترو شد. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر، ابتدا ۱ گرم پودر برگ سبز چای در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کوره الکتریکی به مدت ۵ ساعت خاکستر شده و سپس در اسید کلریدریک ۲ نرمال حل شد. غلظت فسفر در عصاره به‌دست‌آمده به‌روش وانادومولیدات در طول موج ۴۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/V Cecil CE-2041) اندازه‌گیری شد. همچنین، در این عصاره، غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر (Jenway model PFP7) و غلظت‌های آهن و روی با دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) در شعله استیلن-هوا اندازه‌گیری شد (جونز، ۲۰۰۱). برای اندازه‌گیری غلظت آلومینیم در گیاه؛ ۲ گرم از پودر گیاهی به یک لوله هضم کلدال انتقال‌یافته و به آن ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلریک غلیظ اضافه شد. هضم در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس انجام شد. بعد از صاف کردن با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲، غلظت آلومینیم در عصاره با استفاده از

۳. Folin Ciocalteu Reagent

نمونه‌برداری شده از کانادا (لیروپ، ۱۹۸۱)، مطابقت خوبی با داده‌های pH در پژوهش حاضر (شکل ۲) داشت:

(۴)

$$pH_w = 0.98pH_{CaCl_2} + 0.53$$

جدول یک نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد از این خاک‌ها pH_w کمتر از ۴/۴۶ و pH_{CaCl_2} کمتر از ۳/۹۶ دارند که نتایج گزارش قبلی پژوهشکده چای (شیرین فکر، ۱۳۹۹) مبنی بر اینکه حدود ۵۰ درصد از خاک باغ‌های چای کشور pH_w کمتر از ۴/۵ دارند را تأیید می‌کند. سایر پژوهشگران مقادیر pH_w را در خاک‌های برخی از باغ‌های چای استان گیلان در دامنه ۳/۳ تا ۵/۴ با میانگین ۴/۶ (درویشی‌فشتامی و همکاران، ۲۰۱۱) و ۳/۹ تا ۵/۵ با میانگین ۴/۷ (خرمائی و همکاران، ۲۰۱۲) و ۳/۴ تا ۶/۱ با میانگین ۴/۷۸ (کهنه و همکاران، ۲۰۲۲) گزارش کرده‌اند. دامنه تغییرات pH_w در خاک باغ‌های چای در کشورهای مختلف چای خیز جهان متفاوت بوده و کمترین میانگین ($pH_w=2.7$) در کشور ژاپن گزارش شده است (اوه و همکاران، ۲۰۰۶). این دامنه در کشور چین بین ۳/۹۶ تا ۵/۴۸ (با میانگین ۴/۶۸) (یان و همکاران، ۲۰۲۰) و در منطقه بنگال غربی هندوستان بین ۳/۳۰ و ۷/۵۳ (با میانگین ۴/۵۱) (مالاکار و همکاران، ۲۰۲۲) گزارش شده است. در کشور ترکیه که از نظر جغرافیایی به ایران نزدیک است، مقادیر pH_w بین ۳/۳۸ و ۷/۳۷ (با میانگین ۴/۳۴) گزارش شده است (دنکیز و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طورکلی، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که pH خاک در باغ‌های چای گیلان همانند سایر مناطق چای‌کاری دنیا اسیدی تا به‌شدت اسیدی است. اسیدی شدن شدید خاک در چای‌کاری‌ها یک پدیده شناخته‌شده بوده و به‌طورمعمول به دلیل افراط و تداوم در مصرف کودهای نیتروژن است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). راهکارهای متفاوتی برای مقابله با آنچه اسیدی شدن خاک ناشی از اوره^۵ نامیده می‌شود، پیشنهاد شده است که شامل مصرف کودهای آلی (لی و همکاران، ۲۰۱۶)، به حداکثر رساندن جذب نیترات و به حداقل رساندن حذف کاتیون‌های بازی مثلاً با جایگزینی اوره با کلسیم آمونیوم نیترات (CAN) (استامپ و ولک، ۱۹۹۱)، افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کشت ژنوتیپ‌های اسید متحمل^۶ (اوویراجی و همکاران، ۲۰۲۳) و استفاده از بیوجار (محمود و

منفی، مقادیر pH در آب مقطر همواره بزرگ‌تر از مقادیر pH در محلول نمکی هستند. با توجه به پایین بودن غلظت الکترولیت‌ها در خاک‌های اسیدی مورد مطالعه، تفاوت نسبتاً کم ۰/۴۷ واحدی بین میانگین pH دو روش، قابل‌انتظار بود. رابطه‌های ۱ و ۲ برای ۱۲۰ خاک نمونه‌برداری شده از آمریکای شمالی پیشنهاد شده است (میلر و کیسل، ۲۰۱۰):

(۱)

$$\Delta pH_{1:1} = 0.267EC_{1:1w}^{-0.445}$$

(۲)

$$\Delta pH_{1:1} = pH_{1:1w} - pH_{1:1CaCl_2}$$

با توجه به میانگین EC عصاره سوسپانسیون ۱:۱ در خاک‌های مورد مطالعه (۰/۱۶ dS/m)، تفاوت میانگین pH دو روش از این رابطه ۰/۶ به‌دست‌آمده که بیش‌برآوردی آن را نشان می‌دهد. علت می‌تواند آن باشد که برای به‌دست‌آمده آوردن رابطه مذکور از خاک‌های قلیایی و شور نیز استفاده شده است. مقادیر pH_w ، برخلاف مقادیر pH_{CaCl_2} که صرفاً وابسته به ماهیت بار متغیر خاک است، وابسته به قدرت یونی محلول خاک نیز هست (میناسنی و همکاران، ۲۰۱۱). اثر فلوکوله‌کننده محلول $CaCl_2$ باعث کاهش "اثر سوسپانسیون"^۴ می‌شود که می‌تواند سبب ± 1 واحد خطا در اندازه‌گیری pH شود (پانسو و گوتیرو، ۲۰۰۷). از این‌رو، تأثیر تغییرات فصلی بر اندازه‌گیری‌های pH از بین می‌رود (کومه و همکاران، ۲۰۱۸). رابطه زیر برای تبدیل pH_w به pH_{CaCl_2} پیشنهاد شده است (کانیرز و دیوی، ۱۹۸۸)

(۳)

$$pH_{CaCl_2} = 1.05pH_w - 0.9$$

با استفاده از این رابطه، مقدار عددی میانگین pH_{CaCl_2} خاک‌ها ۳/۸۴ به‌دست‌آمده آمد که ۰/۲ واحد کوچک‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده بود. با این حال، رابطه ۴ ارائه‌شده برای ۳۰ خاک

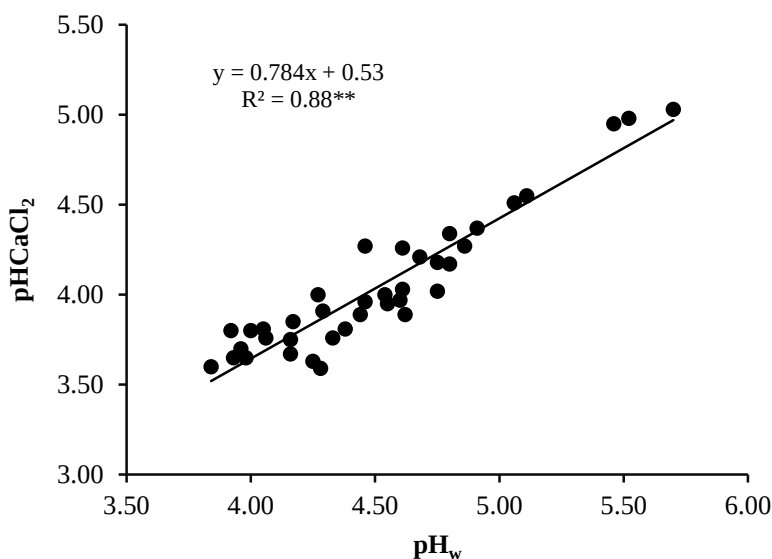
^۶. Acid-tolerant genotypes

^۴. Suspension effect

^۵. Urea-induced soil acidification

همکاران، ۲۰۱۷) است. گرچه گزارش شده است که اسیدزایی سولفات آمونیوم بیش‌تر از اوره است (فاجریا و همکاران، ۲۰۱۰)، ولی برخی پژوهشگران مشاهده کرده‌اند که این کود، برخلاف اوره که به دلیل افزایش اولیه pH باعث تحریک فعالیت نیتریفیکاتورها می‌شود، از فعالیت نیتریفیکاتورها ممانعت کرده و از این‌رو مانع اسیدزایی می‌شود (تانگ و شو، ۲۰۱۲). یکی از نتایج کاهش pH خاک، افزایش حل‌پذیری آلومینیم است. وجود یک رابطه معکوس غیرخطی بین آلومینیم تبادلی و دو روش اندازه‌گیری pH خاک موید این مطلب است (شکل ۳). این رابطه غیرخطی در ۱۸۸ نمونه خاک جمع‌آوری شده از ۹۴ باغ چای از استان‌های مختلف چین با ضریب تعیین ۵۸ درصد گزارش شده

است (روآن و همکاران، ۲۰۰۶). غلظت آلومینیم تبادلی خاک در چای‌کاری‌های استان گیلان بین ۴ تا ۷۸۳ با میانگین ۲۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمد (جدول ۱). این غلظت در کشور چین، از ۶۴ تا ۵۶۲ با میانگین ۳۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (روآن و همکاران، ۲۰۰۶) گزارش شده است. در منطقه آسام هندوستان نیز غلظت آلومینیم تبادلی خاک در افق سطحی از ۷۲ تا ۱۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (باندیوپادیایی و همکاران، ۲۰۱۴). این نتایج نشان می‌دهد که غلظت آلومینیم تبادلی در خاک باغ‌های چای ایران، علی‌رغم تفاوت در مواد مادری، شرایط اقلیمی و فرایندهای خاک‌سازی تقریباً مشابه با خاک باغ‌های چای در کشورهای مهم چای‌خیز است.



شکل ۲- رابطه رگرسیونی بین دو روش اندازه‌گیری pH در ۳۸ نمونه خاک

جدول ۱- آمار توصیفی نمونه‌های خاک مناطق مختلف چای کاری استان گیلان (۳۸ نمونه)

آماره	pH _w	pH _{CaCl2}	EC dS/m	کربن آلی (%)	رس (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر فراهم	پتاسیم فراهم	کلسیم+منیزیم تبادلی	آلومینیم تبادلی
									میلی گرم بر کیلوگرم	
میانگین	۴/۵۱	۴/۰۴	۰/۱۶۳	۲/۴۳	۱۸/۴	۰/۲۳	۷۱/۹	۲۰۲	۵۸۳۲	۲۵۶
کمینه	۳/۸۴	۳/۵۹	۰/۰۵۵	۱/۲۰	۷/۴۰	۰/۱۲	۴/۸	۵۵	۱۳۶۰	۴/۰
بیشینه	۵/۷۰	۵/۰۳	۰/۹۲۵	۴/۳۰	۳۰/۷	۰/۳۶	۲۷۶	۶۶۵	۲۴۷۶۰	۷۸۳
میان	۴/۴۶	۳/۹۶	۰/۱۰۸	۲/۲۰	۱۷/۴	۰/۲۲	۴۴	۱۶۶	۴۳۴	۲۴۲
انحراف معیار	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۱۷۸	۰/۷۴	۴/۶	۰/۰۵	۷۲/۱	۱۱۶	۴۶۱۱	۱۸۳
واریانس	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۰۳۵	۰/۵۴	۲۱/۲	۰/۰۱	۵۱۹۷	۱۳۴۵۶	۲۱۲۶۲۵۱۷	۳۳۶۹۰
چولگی	۰/۸۰	۱/۳۱	۲/۱۸	۰/۹۰	۰/۲۹	۰/۵۱	۱/۱۷	۲/۰۱	۲/۵۵	۰/۸۲
کشیدگی	۱/۴۲	۱/۰۷	۸/۷۸	۰/۱۹	۰/۶۸	۰/۲۶	۰/۵۳	۵/۸۲	۷/۷۱	۰/۶۵

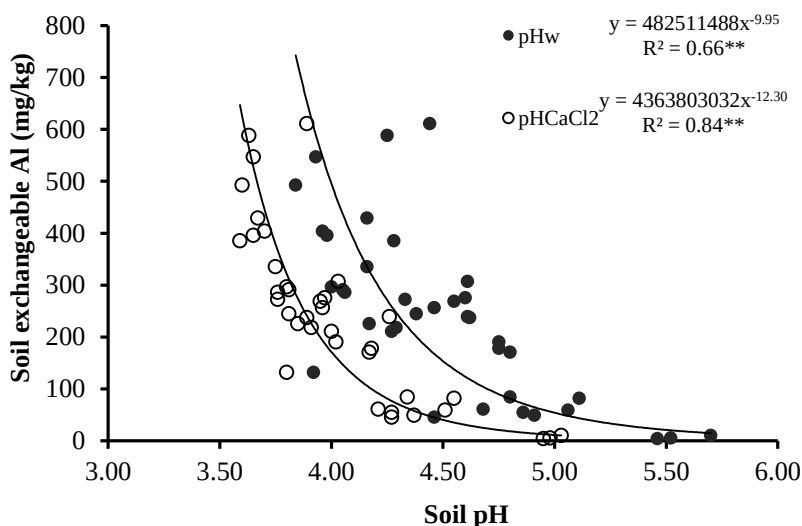
pH_w نسبت ۱:۱ خاک به آب مقطر، pH_{CaCl2} خاک با نسبت ۱:۱ کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار

جدول ۲ - آمار توصیفی شاخص‌های گیاهی برگ سبز چای از مناطق مختلف چای کاری استان گیلان (۳۸ نمونه)

آماره	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	آلومینیم	روی	آهن	پلی فنل کل (%)
					میلی گرم بر کیلوگرم		
میانگین	۳/۳۸	۰/۳۰	۱/۶۳	۱۳۶۲	۳۲/۹۰	۹۴/۵۸	۸/۳۷
کمینه	۲/۷۱	۰/۲۳	۱/۰۶	۴۱۱	۸/۶۰	۴۷/۵۰	۵/۸۰
بیشینه	۴/۴۵	۰/۳۹	۲/۱۰	۲۹۸۱	۹۲/۴۶	۲۶۱/۷۲	۱۰/۴۵
میان	۳/۳۴	۰/۲۹	۱/۶۷	۱۱۴۲	۳۰/۸۷	۸۷/۳۴	۸/۵۰
انحراف معیار	۰/۴۲	۰/۰۴	۰/۲۴	۵۹۰/۲	۱۴/۱۵	۴۰/۸۰	۱/۱۰
واریانس	۰/۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۶	۳۴۸۳۰۱	۲۰۰	۱۶۶۴	۱/۲۱
چولگی	۰/۷۳	۰/۶۱	۰/۱۶	۰/۷۸	۱/۹۱	۲/۱۷	۰/۴۰
کشیدگی	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۷/۵۵	۶/۹۷	۰/۰۷

۷۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمد (جدول ۱). سطح بحرانی غلظت فسفر فراهم خاک به‌روش بری-۱ در خاک‌های غنی از اکسیدهای آهن و آلومینیم جنوب چین معادل ۷۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش‌شده است (ما و همکاران، ۲۰۲۲)، لذا ۶۸ درصد از خاک باغ‌های چای دچار فقر فسفر هستند. درحالی‌که این سطح توسط هیات چای هند^۹ در دامنه ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین‌شده است (موخرجی و همکاران، ۲۰۲۰)، چنانچه مورد اخیر مدنظر قرار گیرد، فقط ۲۶ درصد از نمونه‌ها زیر حد بحرانی قرار خواهند داشت. حد بحرانی فسفر به عوامل متعددی بستگی دارد و لذا استفاده از حدود بحرانی سایر مناطق جهان گمراه‌کننده خواهد بود. ازاین‌رو، تعیین حد بحرانی فسفر برای خاک چای‌کاری‌های کشور ضروری به نظر می‌رسد.

علت این امر می‌تواند مدیریت یکسان درکشت بلندمدت چای باشد که با مصرف مقادیر زیاد کود نیتروژن و ریختن شاخ و برگ‌های هرس‌شده حاوی غلظت بالایی از آلومینیم در بین ردیف‌های چای‌کاری همراه است (روآن و همکاران، ۲۰۰۴). مورد اخیر چرخه بیوژئوشیمیایی آلومینیم^۷ نامیده می‌شود. گزارش‌شده است که ۵۴ سال کشت چای در ایالت جیانگ سو^۸ در کشور چین، غلظت آلومینیم تبدلی خاک سطحی را از ۸۴ به ۲۲۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). درصد نیتروژن کل در خاک‌های مورد مطالعه بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۶ با میانگین ۰/۲۳ درصد بود (جدول ۱). درصد نیتروژن کل در خاک باغ‌های چای که محصول باکیفیت تولید می‌کنند باید بیشتر از ۰/۱ درصد باشد (ژانگ، ۲۰۱۸). ازاین‌رو، خاک باغ‌های چای مورد مطالعه از نظر نیتروژن غنی هستند. غلظت فسفر فراهم در خاک‌های مورد مطالعه بین ۴/۸۰ و ۲۷۶ با میانگین



شکل ۳- رابطه بین غلظت آلومینیم تبدلی و pH در خاک

گیاه چای به مصرف کود پتاسیم در برخی باغ‌های چای گزارش‌شده است (فاطمی‌چوکامی، ۱۳۹۶) که نشان از ضرورت تعیین حد بحرانی برای این عنصر غذایی است.

نتایج آنالیز برگ سبز چای

غلظت نیتروژن در برگ سبز چای از ۲/۷۱ تا ۴/۴۵ با میانگین ۳/۳۸ درصد به‌دست‌آمده آمد (جدول ۲). غلظت نیتروژن در گیاه چای از ۱/۱ درصد در شاخه‌ها تا ۴ درصد در

غلظت پتاسیم فراهم در خاک‌های مورد مطالعه بین ۵۵ تا ۶۶۵ با میانگین ۲۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۱). با در نظر گرفتن سطح بحرانی ۸۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم (روآن و همکاران، ۲۰۱۳)، فقط ۶ درصد از نمونه خاک‌های مورد مطالعه دچار کمبود پتاسیم هستند. از این نظر، وضعیت پتاسیم فراهم در چای‌کاری‌های ایران بسیار مطلوب‌تر از کشور چین است که بیش از ۵۹ درصد از خاک باغ‌های چای آن دچار کمبود این عنصر غذایی هستند (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۲). باین‌حال، پاسخ مثبت

^۹ . Tea Board of India

^۷ . Biogeochemical cycling of Al

^۸ . Jiangsu

یک غنچه و دو برگ تغییر می‌کند (ویلسون و کلیفورد، ۲۰۱۲). پاسخ باورنکردنی گیاه چای به کاربرد سنگین کود نیتروژن با برداشت برگ سبز تحریک می‌شود (روآن و همکاران، ۲۰۰۴). جدول ۳ نشان می‌دهد که ۱۷ درصد از باغ‌های چای در کمبود شدید، ۷۱ درصد در کمبود خفیف و تنها ۱۲ درصد از نظر تغذیه نیتروژن در وضعیت بهینه قرار داشتند. علی‌رغم وضعیت مناسب درصد نیتروژن کل در این خاک‌ها و مصرف سنگین کود اوره، کمبود گسترده نیتروژن در برگ سبز چای دور از انتظار بود. یکی از دلایل این تناقض می‌تواند آن باشد که باغداران در باغ‌های دیم اوره را عمدتاً در اواخر زمستان (اسفندماه) زمانی که گیاه هنوز در خواب است و به‌صورت یکجا مصرف می‌کنند (علی‌نقی‌پور، ۱۳۹۱). در نتیجه، بخش عمده نیتروژن در اثر باران‌های شدید بهاری از خاک آبشویی شده و مجالی برای جذب آن توسط گیاه در ماه‌های آتی باقی نمی‌ماند. میانگین غلظت فسفر و پتاسیم در برگ سبز چای به ترتیب ۰/۳۰ و ۱/۶ درصد به‌دست‌آمده آمد (جدول ۲). با توجه به جدول ۳، همه نمونه‌ها زیر حد بهینه قرار داشتند. این در حالی است که نتایج تجزیه خاک چنین مشکلی را نشان نمی‌دهد (جدول ۱). از علل این مشاهده می‌توان به (۱) عدم کارایی عصاره‌گیر (بری-۱) با توجه به عدم وجود همبستگی معنادار بین فسفر فراهم خاک و غلظت فسفر برگ سبز چای، (۲) حضور بخش قابل‌ملاحظه‌ای از فسفر فراهم خاک در مواد آلی خاک با توجه به همبستگی مثبت و معنادار فسفر فراهم خاک با کربن آلی خاک ($r=0/36^*$)، (۳) تشکیل کمپلکس‌های نامحلول Al-P و رسوب آن در ریشه که سبب کاهش جذب یا انتقال فسفر به شاخساره می‌شود (یو و همکاران، ۲۰۱۸)، (۴) کاربرد مقادیر مفرط کود نیتروژن که رقابت

گیاه چای و جمعیت میکروبی خاک را برای فسفر تشدید می‌کند (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۳). جدول ۳ نشان می‌دهد که پتاسیم در باغ‌های چای استان گیلان، ۴۰ درصد با کمبود شدید، ۵۱ درصد با کمبود خفیف و فقط ۹ درصد در وضعیت بهینه قرار داشت. برخلاف فسفر، همبستگی مثبت معناداری بین پتاسیم فراهم خاک و پتاسیم برگ سبز گیاه چای ($r=0/53^{**}$) مشاهده شد؛ بنابراین، علی‌رغم وجود پتاسیم فراهم کافی در خاک باغ‌های چای، به نظر می‌رسد که گیاه پتاسیم را به‌اندازه کافی جذب نمی‌کند. این ناهمخوانی می‌تواند به دلیل بیش برآوردی عصاره‌گیر استات آمونیم برای گیاه چای باشد که منطقی به نظر نمی‌رسد، زیرا شرایط اسیدی، تغییر شکل پتاسیم غیرتبادلی به تبدلی را تشدید می‌کند (هان و همکاران، ۲۰۱۹). دیگر اینکه غلظت بالای آلومینیم در خاک‌های اسیدی چای‌کاری‌ها، جذب پتاسیم را مختل می‌کند (هورست و همکاران، ۲۰۱۰). غلظت‌های آهن و روی در برگ سبز چای به ترتیب ۹۴/۶ و ۳۲/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمدند (جدول ۲). در مورد آهن، تنها ۱۳ درصد از نمونه‌ها دچار کمبود شدید آهن بوده و ۴۶ درصد دارای کمبود خفیف و ۴۱ درصد نیز در حد بهینه بودند (جدول ۳). عدم مشاهده زیاد بود آهن می‌تواند به دلیل غلظت بالای آلومینیم تبدلی در خاک باغ‌های چای مورد مطالعه باشد (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۳). در مورد روی، ۱۷ درصد از نمونه‌ها دارای کمبود شدید، ۵ درصد دارای کمبود خفیف، ۶۹ درصد در حد بهینه و ۹ درصد در حد زیاد بود بودند. یکی از دلایل کمبود فسفر در نمونه‌های برگ سبز چای ممکن است زیاد بود روی باشد که برای سایر گیاهان مانند برنج گزارش شده است (دینگ و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۳- حدود بحرانی غلظت عناصر غذایی (ویلسون و کلیفورد، ۲۰۱۲) و فراوانی آن‌ها در برگ سبز چای در چای‌کاری‌های استان گیلان

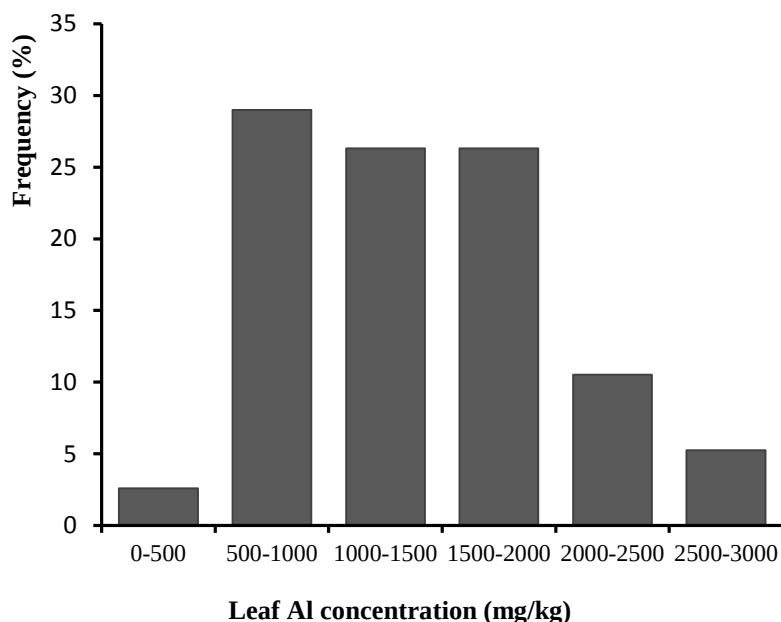
وضعیت عنصر	نیتروژن		فسفر		پتاسیم		آهن		روی	
	غلظت (%)	فراوانی (%)	غلظت (%)	فراوانی (%)	غلظت (%)	فراوانی (%)	غلظت (mg/kg)	فراوانی (%)	غلظت (mg/kg)	فراوانی (%)
کمبود شدید	<۳	۱۷	<۰/۳۵	۸۵	<۱/۶	۴۰	<۶۰	۹	<۲۰	۱۷
کمبود خفیف	۳-۴	۷۱	۰/۳۵-۰/۴	۱۵	۱/۶-۲	۵۱	۶۰-۱۰۰	۴۶	۲۰-۲۵	۶
بهینه	۴-۵	۱۲	۰/۴-۰/۵	۰	۲-۳	۹	۱۰۰-۵۰۰	۴۰	۲۵-۵۰	۶۹
زیادبود	>۵	۰	>۰/۵	۰	>۳	۰	>۵۰۰	۰	>۵۰	۹

کیلوگرم، در ۲/۵ درصد کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در ۱۶ درصد بیشتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۴)؛ بنابراین، غلظت آلومینیم در بخش اعظم نمونه‌ها بیشتر از ۱۰۰۰

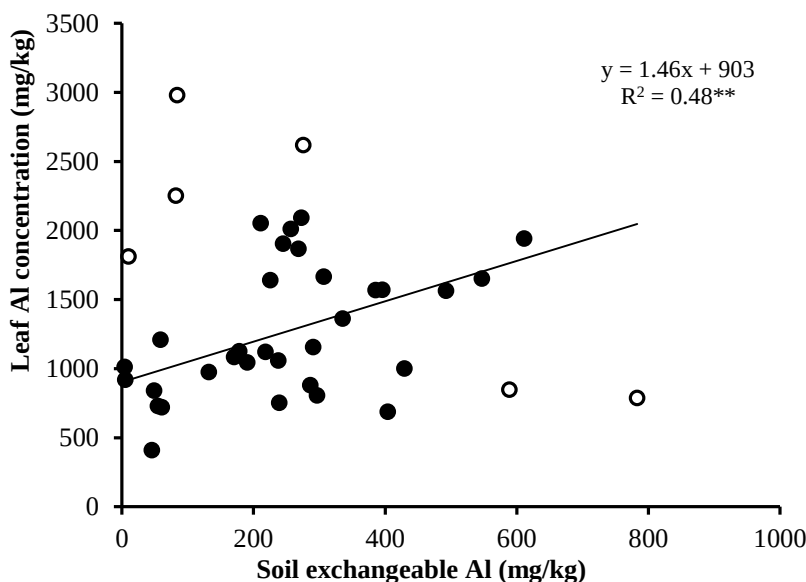
غلظت آلومینیم در برگ سبز چای از ۴۱۱ تا ۲۹۸۱ با میانگین ۱۳۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمد (جدول ۲). این غلظت در ۸۱/۵ درصد از نمونه‌ها بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر

آلومینیم در خاک مانع از جذب و انتقال آهن در گیاه چای می‌شود (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۳). عدم مشاهده مسمومیت آهن در باغ‌های چای (جدول ۲) می‌تواند به همین دلیل باشد. همچنین، با حذف چند داده دورافتاده (پرت)، بین غلظت آلومینیم در برگ سبز چای و غلظت آلومینیم تبدلی خاک یک رابطه خطی نسبتاً خوب مشاهده شد (شکل ۵).

میلی‌گرم بر کیلوگرم که حد شناسایی گونه‌های ابرانباشگر آلومینیم^{۱۰} است (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۲۳). گستره غلظت آلومینیم در برگ سبز چای در کشور چین بین ۲۵۰ تا ۱۰۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و نیز بین ۱۰۰۰ تا ۵۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (روآن و همکاران، ۲۰۰۶) گزارش شده است. نشان داده شده است که غلظت‌های زیاد



شکل ۴- نمودار توزیع فراوانی غلظت آلومینیم برگ سبز در باغ‌های چای استان گیلان

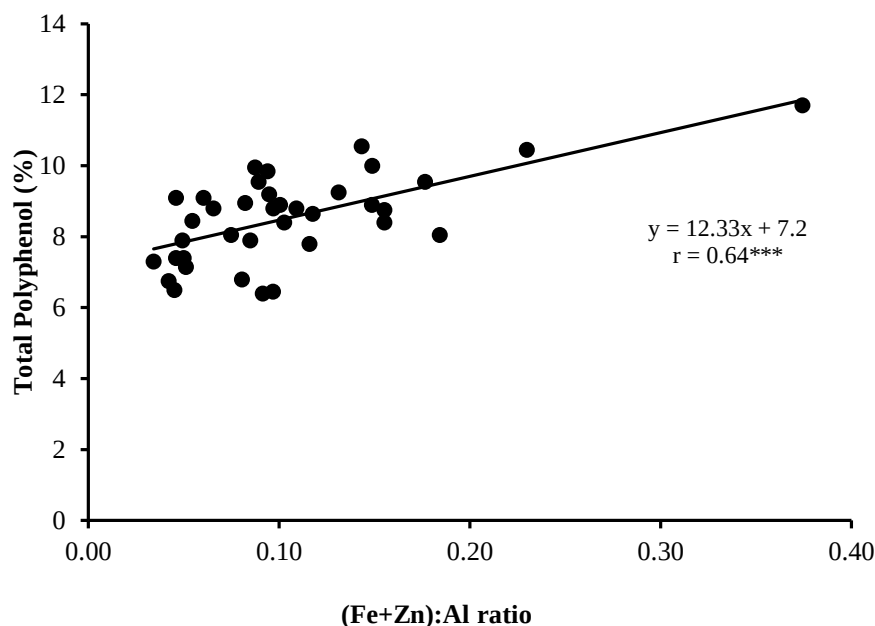


شکل ۵- رابطه بین غلظت آلومینیم برگ سبز چای و غلظت آلومینیم تبدلی خاک (دایره‌های توخالی داده‌هایی هستند که از مدل رگرسیونی کنار گذاشته شده‌اند)

^{۱۰}. Al-hyperaccumulating species

برای درختچه‌های چای کشت شده در عرض‌های جغرافیایی بالا و نیز بین ۷/۵ درصد در برگ چهارم تا ۱۴/۵ درصد در غنچه (پراویرا-آتماجا و همکاران، ۲۰۱۸) گزارش شده است. همبستگی معناداری بین مقدار پلی‌فنل کل گیاه چای و آلومینیم تبدلی خاک مشاهده نشد، اما این مقدار با نسبت مجموع غلظت آهن و روی به غلظت آلومینیم ($\frac{Fe+Zn}{Al}$) در برگ سبز چای یک رابطه خطی مستقیم معنادار نشان داد (شکل ۶).

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت بیوشیمیایی چای، مقدار پلی‌فنل کل آن است که هرچه بیشتر باشد کیفیت چای بهتر خواهد بود. مقدار پلی‌فنل کل در برگ سبز چای از ۵/۸ تا ۱۰/۴۵ با میانگین ۸/۳۷ درصد اندازه‌گیری شد (جدول ۲). مقدار پلی‌فنل کل در تعدادی از چای‌های موجود در بازارهای ایران بین ۳/۰ تا ۱۹/۶ درصد اندازه‌گیری شده است (حاجی محمودی و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش‌های مختلف، مقدار پلی‌فنل کل در برگ سبز چای بین ۱۱/۵۵ تا ۱۶/۱۹ درصد (حمید و همکاران، ۲۰۱۴)



شکل ۶- رابطه بین درصد پلی‌فنل کل و نسبت مجموع آهن و روی به آلومینیم در برگ سبز چای

گیاه چای و شستشوی کاتیون‌های بازی به‌ویژه کلسیم و منیزیم از خاک از دیگر عوامل دخیل در اسیدی شدن خاک باغ‌های چای هستند (کهنه و همکاران، ۲۰۲۲). میانگین درصد کربن آلی خاک در باغ‌های چای مورد مطالعه ۲/۴۳ درصد به‌دست آمده آمد. خاک‌هایی که کربن آلی آن‌ها کم‌تر و بیش‌تر از ۰/۶ و ۱/۲ درصد است، به ترتیب فقیر و غنی شناخته می‌شوند (کائو و همکاران، ۲۰۱۸). از این نظر، خاک باغ‌های چای مورد مطالعه در این تحقیق از نظر کربن آلی در گروه غنی قرار می‌گیرند که اهمیت و نقش بقایای هرس را نشان می‌دهد.

وجود یک رابطه غیرخطی معکوس بین آلومینیم تبدلی و pH خاک در دیگر مطالعات نیز گزارش شده است (الباکوی و همکاران، ۲۰۱۷ و مانریک، ۱۹۸۶). هرچند، رابطه خطی نیز گزارش شده است (وانگ و همکاران،

بحث

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خاک باغ‌های چای مورد مطالعه به‌شدت اسیدی شده است. به‌طوری‌که pH_w در بیش از ۵۰ درصد از آن‌ها کمتر از ۴/۴۶ است که به‌عنوان حداقل بهینه pH خاک برای باغ‌های چای شناخته می‌شود (حسینی‌خواه‌چوشلی و همکاران ۲۰۱۳). اسیدی شدن شدید خاک در چای‌کاری‌ها به‌طور معمول به دلیل افراط و تداوم در مصرف کودهای نیتروژن (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰) است. در چای‌کاری‌های استان گیلان، به‌طور متوسط مقادیر ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار برای کشت دیم و ۸۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار برای کشت آبی مصرف می‌شود (شیرین‌فکر، ۱۳۹۹) که نشان از اهمیت کود نیتروژن دارد. علاوه بر آن، برگرداندن بقایای هرس (روآن و همکاران، ۲۰۰۴)، ترشح اسیدهای آلی و پروتون از ریشه

۲۰۱۰). این روابط غیرخطی نشان می‌دهند که با کاهش pH خاک، به‌ویژه به کمتر از ۴/۵، غلظت آلومینیم تبدلی به‌شدت افزایش می‌یابد که بیانگر ورود آلومینیم از فاز رسوب به فازهای محلول است، زیرا شکل‌های شیمیایی و فراهمی آلومینیم به‌شدت وابسته به pH هستند (کومی ۲۰۱۸). این امر شرایط را برای رقابت با سایر کاتیون‌ها و اشغال مکان‌های تبدلی خاک مهیا کرده و در نتیجه فراهمی آلومینیم برای گیاه را افزایش می‌دهد (اینیسی و همکاران، ۲۰۲۳). با افزایش فراهمی آلومینیم در خاک، جذب آن توسط گیاه چای و در نتیجه غلظت آن در شاخساره افزایش می‌یابد. افزایش غلظت آلومینیم در محلول غذایی سبب افزایش غلظت آن در برگ‌های گیاه چای و به‌ویژه برگ‌های مسن‌تر می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). در یک آزمایش مزرعه‌ای، با افزایش غلظت آلومینیم (از منبع سولفات آلومینیم) در خاک، غلظت آلومینیم در برگ سوم چای افزایش یافت (شیرین‌فکر و همکاران، ۲۰۲۲). رابطه رگرسیونی نسبتاً قوی بین آلومینیم برگ سبز چای و آلومینیم تبدلی خاک ($R^2 = 0.46^{**}$) حاکی از آن است که اندازه‌گیری آلومینیم تبدلی خاک می‌تواند تخمین خوبی را از جذب و انتقال این عنصر در گیاه چای ارائه دهد.

علی‌رغم پیچیدگی‌های موجود در جذب و انتقال عناصر از خاک به گیاه، روابط رگرسیونی ساده می‌توانند در برآورد تقریبی غلظت آلومینیم در گیاه چای مفید باشند. با آگاهی از اینکه حداقل pHw بهینه برای خاک در چای‌کاری‌ها ۴/۵ است و با استفاده از معادله‌های رگرسیونی در شکل ۳، حداکثر غلظت بهینه آلومینیم تبدلی در خاک ۱۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست می‌آید. برای بسیاری از گیاهان، غلظت آلومینیم تبدلی در خاک در محدوده ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌عنوان یک غلظت بحرانی در نظر گرفته می‌شود (والنا و همکاران، ۲۰۰۵). با جاگذاری حداکثر غلظت بهینه آلومینیم خاک (۱۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در معادله رگرسیونی شکل ۵، غلظت آستانه آلومینیم در برگ سبز چای ۱۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست می‌آید. به‌طور جالب‌توجهی، در حدود ۵۰ درصد

از نمونه‌های برگ سبز باغ‌های چای، غلظت آلومینیم کمتر از ۱۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از این نظر مشابه pH خاک است. پیشتر نیز گزارش شده است که pH خاک در حدود ۵۰ درصد از باغ‌های چای کمتر از ۴/۵ است (شیرین‌فکر، ۱۳۹۹). افزایش pH خاک، کاهش غلظت آلومینیم در گیاه را به دنبال دارد. مشاهده شده است که با مصرف سرباره کارخانه فولادسازی (یک درصد)، pH از ۴/۴ به ۵/۴ افزایش‌یافته و غلظت آلومینیم در یک غنچه و دو برگ چای از ۵۲۲ به ۲۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت (کیایی‌جمالی و همکاران، ۱۳۸۶). بااین‌حال، رابطه رگرسیونی بین pH خاک و غلظت آلومینیم برگ سبز چای در این پژوهش معنادار نبود. این موضوع ممکن است به عوامل متعدد مؤثر در جذب و انتقال آلومینیم در گیاه از جمله کمپلکس شدن آلومینیم با اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم مانند اگزالات، مالات و به‌ویژه سترات و یا آنیون‌هایی مانند فلوراید (پنگ و همکاران، ۲۰۲۳) مرتبط باشد. بااین‌حال، همبستگی منفی معناداری بین غلظت آهن در برگ سبز چای و pHw ($r = -0.40^{**}$) و pHCaCl2 ($r = -0.32^{**}$) در پژوهش حاضر مشاهده شد.

تداخل جذب آلومینیم با عناصر غذایی ممکن است ساخت ترکیبات ثانویه از جمله پلی‌فنل‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد (هیو و همکاران، ۲۰۱۷). وجود یک همبستگی منفی معنادار ($r = -0.51^{**}$) بین غلظت‌های نیتروژن و آلومینیم در برگ سبز چای یکی از این تداخل‌هاست. عدم مشاهده همبستگی مقدار پلی‌فنل کل برگ سبز چای با آلومینیم تبدلی خاک و مشاهده این همبستگی با نسبت مجموع غلظت آهن و روی به غلظت آلومینیم ($\frac{Fe+Zn}{Al}$) در برگ سبز چای حاکی از پیچیدگی رابطه بین مقدار پلی‌فنل کل برگ سبز چای و غلظت آلومینیم تبدلی خاک است (تولرا و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که مقدار پلی‌فنل کل برگ سبز چای با افزایش غلظت آلومینیم ابتدا افزایش‌یافته ولی با افزایش بیشتر آن، کاهش می‌یابد (موخوپادی و همکاران، ۲۰۱۲). بااین‌حال، در پژوهش‌های مزرعه‌ای، رابطه‌ای بین مقدار

پلی فنل کل برگ سبز چای و غلظت آلومینیم تبادلی خاک مشاهده نشد (شیرین فکر و همکاران، ۲۰۲۲ و هیو و همکاران، ۲۰۱۷). علت آن می‌تواند علاوه بر تفاوت ذاتی ارقام (شیرین فکر و همکاران، ۲۰۲۲ و ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸)، نقش عوامل دیگری از جمله؛ مقدار بارش، نحوه مدیریت هرس، تنش‌های محیطی و نیز مصرف کودهای شیمیایی مانند فسفر و پتاسیم، در ساخت ترکیبات ثانویه همچون پلی‌فنل‌ها باشد (وی و همکاران، ۲۰۲۲).

نتیجه‌گیری

درمجموع خاک‌های باغ‌های چای کشور به شدت اسیدی بوده و غلظت آلومینیم در آن‌ها بالا است، در نتیجه چای‌های استحصالی، در صورت مدیریت نادرست باغ‌های چای، غلظت آلومینیم بالایی خواهند داشت. در بین راهکارهای مقابله با اسیدی شدن خاک، در عمل امکان

مصرف کلسیم آمونیوم نترات به دلیل عدم تولید آن در داخل کشور وجود ندارد. در مورد کشت ارقام اسید متحمل، باید اذعان کرد که جدای از صرف هزینه و وقت برای دستیابی به این ارقام، مهیا کردن ۲۰ هزار نهال برای هر هکتار و درمجموع ۴۰۰ میلیون نهال برای جایگزینی در ۲۰ هزار هکتار از باغ‌های چای کشور، در کنار دوره انتظار ۵ ساله برای بهره‌برداری، حتی با حمایت دولتی به چند ده سال زمان نیاز دارد که خود یک ابر چالش است. سایر گزینه‌های مطرح شده مانند مصرف کودهای آلی و یا بیوچار نیز نیاز به پژوهش‌های کاربردی بیشتری دارند و به نظر نمی‌رسد در حال حاضر و در سطح کلان راهکار مناسبی باشند؛ بنابراین، از بین گزینه‌های موجود می‌توان اصلاح pH خاک را با استفاده از آهک یا دولومیت به دلیل وفور آن‌ها در کشور و علی‌رغم هزینه‌های هنگفت، به عنوان راهکار عملی در سطح باغ‌های چای کشور پیشنهاد کرد.

فهرست منابع

- کیایی جمالی، س، فرقانی، ا. شریعتمداری، ح.، و شیرین فکر، ا. ۱۳۸۶. اثر کاربرد سرباره و لجن کنورتور فولادسازی به عنوان یک ماده آهکی روی یک خاک اسیدی در شرایط مزرعه‌ای. علوم و صنایع کشاورزی (ویژه خاک، آب، هوا)، ۲۱(۲)، ۱۴۱-۱۵۳.
- شیرین فکر، ا. ۱۳۹۹. توصیه کودی باغ‌های چای آلوده به نماتد مولد زخم ریشه چای با استفاده از نقشه جمعیت نماتد. گزارش پایانی، موسسه پژوهشات علوم باغبانی، پژوهشکده چای. شماره فروست؛ ۵۷۴۰۲.
- علی‌نقی‌پور، ب. ۱۳۹۱. اثر مقدار و تقسیط کود اوره بر عملکرد و کیفیت برگ سبز چای. گزارش پایانی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات چای کشور، شماره ثبت؛ ۴۲۳۲۰.
- فاطمی‌چوکامی، ع. ۱۳۹۶. مطالعه تأثیر نوع و مقدار کود پتاسیمی بر عملکرد و کیفیت محصول چای. گزارش پایانی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده چای. شماره فروست؛ ۵۳۳۳۹.
- مجددی، ح.، مرادمندجلالی، ع.، اسماعیل‌پور، س. و بهمنیار، م. ۱۳۹۱. تأثیر تغییر کاربری اراضی جنگلی بر خصوصیات شیمیایی خاک. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۲۵(۴)، ۶-۱.
- Al-Baquy, M. A., Li, J.-Y., Xu, C.-Y., Mehmood, K., and Xu, R.-K. 2017. Determination of critical pH and Al concentration of acidic Ultisols for wheat and canola crops. Solid Earth, 8(1): 149-159.

7. Bahrami, A., Emadodin, I., Ranjbar Atashi, M., and Rudolf Bork, H. 2010. Land-use change and soil degradation: A case study, North of Iran. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4): 600-605.
8. Bandyopadhyay, S., Dutta, D., Chattopadhyay, T., Reza, S. K., Dutta, D. P., Baruah, U. and Singh, S. K. 2014. Characterization and classification of some tea-growing soils of Jorhat district, Assam. *Agropedology*, 24(2): 138-145.
9. Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., and García-Lamohte, A. (2014). Soil texture analyses using a hydrometer: Modification of the Bouyoucos method. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41(2): 263-271.
10. Bertsch, P. M., and Bloom, P. R. 1996. Aluminum. p. 517-550. In D. L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Third edition. Chemical Methods. ASA and SSSA, Madison, WI.*
11. Bremner, J. M. 1996. Total Nitrogen. p. 1149-1178. In D. L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.*
12. Cao, H. L., Cai, F. Y., Jiao, W.-B., Liu, C., Zhang, N., Qiu, H.-Y. and Lü, J. 2018. Assessment of tea garden soils at An'xi County in southeast China reveals a mild threat from contamination of potentially harmful elements. *Royal Society Open Science*, 5(8): 180050.
13. Conyers, M. K., and Davey, B. G. J. S. S. 1988. Observations on some routine methods for soil pH determination. *Soil Science*, 145(1): 29-36.
14. Darvishi-Foshtomi, M., Norouzi, M., Rezaei, M., Akef, M., and Akbarzadeh, A. 2011. Qualitative and economic land suitability evaluation for tea (*Camellia sinensis* L.) in sloping area of Guilan, Iran. *Journal of Biological Environmental Sciences*, 5(15): 135-146.
15. Dengiz, O., Sekan, İ., Saygin, F., and İmamoğlu, A. 2020. Assessment of soil quality index for tea cultivated soils in Ortaçay micro catchment in Black Sea region. *Journal of Agricultural Sciences*, 26(1): 42-53.
16. Ding, Z. J., Shi, Y. Z., Li, G. X., Harberd, N. P., and Zheng, S. J. 2021. Tease out the future: How tea research might enable crop breeding for acid soil tolerance. *Plant Communications*, 2(3), 100182.
17. Enesi, R. O., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., and Gorim, L. Y. 2023. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability - a meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*, 5:1194896.
18. Erdemoğlu, S. B., Pyrzyniska, K., and Güçer, Ş. 2000. Speciation of aluminum in tea infusion by ion-exchange resins and flame AAS detection. *Analytica Chimica Acta*, 411: 81.
19. Fageria, N.K. Ballgar, V.C., and Wright, R.J. 1988. Aluminum toxicity in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 11(3): 309-319.
20. Fang, X.-M., Chen, F.-S., Hu, X.-F., Yuan, P.-C., Li, J., and Chen, X. 2014. Aluminum and nutrient interplay across an age-chronosequence of tea plantations within a hilly red soil farm of subtropical China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(4): 448-459.
21. Frankowski, M., Ziola-Frankowska, A., and Siepak, J. 2013. From soil to leaves- Aluminum fractionation by single step extraction procedures in polluted and protected areas. *Journal of Environmental Management*, 127:1-9.
22. Hajiboland, R. 2017. Environmental and nutritional requirements for tea cultivation. *Folia Horticulturae*, 29(2): 199-220.
23. Hajiboland, R., Barceló, J., Poschenrieder, C., and Tolrà, R. 2013. Amelioration of iron toxicity: A mechanism for aluminum-induced growth stimulation in tea plants. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 128: 183-187.

24. Hajiboland, R., Moradi, A., Kahneh, E., Poschenrieder, C., Nazari, F., Pavlovic, J., Nikolic, M. 2023. Weed species from tea gardens as a source of novel aluminum hyperaccumulators. *Plants*, 12(11): 2129.
25. Hajimahmoodi, H., Hanifeh, M., Oveisi, M., Sadeghi, N., and Janat, B. 2008. Determination of total antioxidant capacity of green teas by the ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 5(3): 167-172.
26. Hamid, F., Ahmad, T., Waheed, A., Ahmad, N., and Aslam, S. 2014. Effect of different levels of nitrogen on the chemical composition of tea (*C. sinensis* L.) grown at higher altitude. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(1): 37-80.
27. Han, T., Cai, A., Liu, K., Huang, J., Wang, B., Li, D., Qaswar, M., Feng, G., and Zhang, H. 2019. The links between potassium availability and soil exchangeable calcium, magnesium, and aluminum are mediated by lime in acidic soil. *Journal of Soils and Sediments*, 19 (3):1382-1392.
28. Horst, W. J., Wang, Y., and Eticha, D. 2010. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Annals of Botany*, 106(1): 185-197.
29. Huang, W., Lin, M., Liao, J., Li, A., Tsewang, W., Chen, X., and Zheng, P. 2022. Effects of potassium deficiency on the growth of tea (*Camelia sinensis*) and strategies for optimizing potassium levels in soil: A critical review. *Horticulturae*, 8(7): 660.
30. Helmke, P. A., & Sparks, D. L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. p. 551-574. In D. L. Sparks (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods* ASA and SSSA, Madison, WI.
31. Hosseinikhah-Choshali, A., Seraji, A., Rezaee, S., and Shirinfekr, A. 2013. The relationship between soil pH and population level of *Pratylenchus loosi* in tea plantations of Iran. *Archives of phytopathology and plant protection*, 46(12): 1384-1392.
32. Hu, X.-F., Chen, F.-S., Wine, M. L., and Fang, X.-M. 2017. Increasing acidity of rain in subtropical tea plantation alters aluminum and nutrient distributions at the root-soil interface and in plant tissues. *Plant and Soil*, 417(1): 261-274.
33. Jiang, Y., Yang, X., Ni, K., Ma, L., Shi, Y., Wang, Y., Ruan, J. 2023. Nitrogen addition reduces phosphorus availability and induces a shift in soil phosphorus cycling microbial community in a tea (*Camellia sinensis* L.) plantation. *Journal of Environmental Management*, 342, 118207.
34. Jones Jr, J.B. 2001. *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press.
35. Kahneh, E., Shirinfekr, A., Ramzi, S., and Salimi, K. M. 2022. Effects of long-term tea (*Camellia sinensis*) cultivation on the earthworm populations in northern Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, 11(3): 234-240.
36. Khormali, F., Foomani, F. K., and Fatemi, A. 2012. Tea yield and soil properties as affected by slope position and aspect in Lahijan area, Iran. *International Journal of Plant Production*, 1(1): 99-111.
37. Kome, G. K., Enang, R. K., Yerima, B. P. K., and Lontsi, M. G. R. 2018. Models relating soil pH measurements in H₂O, KCl and CaCl₂ for volcanic ash soils of Cameroon. *Geoderma Regional*, 14: e00185.
38. Kuo, S. 1996. Phosphorus. p. 869-919. In D. L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
39. Li, S., Li, H., Yang, C., Wang, Y., Xue, H., and Niu, Y. 2016. Rates of soil acidification in tea plantations and possible causes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233: 60-66.

40. Lierop, W.V. 1981. Conversion of organic soil pH values measured in water, 0.01M CaCl₂ or 1N KCl. Canadian Journal of Soil Science, 61: 577-579.
41. Liu, H., Zhu, R., Shu, K., Lv, W., Wang, S., and Wang, C. 2022. Aluminum stress signaling, response, and adaptive mechanisms in plants. Plant Signaling and Behavior, 17(1): 2057060.
42. Ma, L., Zhu, Y., Geng, S., Ruan, J. 2022. Response of nutritional status and tea quality to the rate and substitution of chemical fertilizers with organic manure. Horticulturae, 8:1198.
43. Malakar, H., Timsina, G., Dutta, J., Borgohain, A., Deka, D., Babu, A., Paul, R.K., Yeasin, M., Rahman, F.H., Panja, S. and Karak, T. 2022. Sick or rich: Assessing the selected soil properties and fertility status across the tea-growing region of Dooars, West Bengal, India. Frontiers in Plant Science. 13:1017145.
44. Manrique, L. A. 1986. The relationship of soil pH to aluminum saturation and exchangeable aluminum in ultisols and oxisols. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 17(4): 439-455.
45. Mehmood, K., Li, J.-Y., Jiang, J., Shi, R.-Y., Liu, Z.-D., and Xu, R.-K. 2017. Amelioration of an acidic ultisol by straw-derived biochars combined with dicyandiamide under application of urea. Environmental Science and Pollution Research, 24(7): 6698-6709.
46. Miller, R.O. and Kissel, D.E. 2010. Comparison of soil pH methods on soils of north America. Soil Science Society America Journal, 74: 310-316.
47. Minasny, B., McBratney, A. B., Brough, D. M., and Jacquier, D. 2011. Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration. European Journal of Soil Science, 62(5): 728-732.
48. Muhammad, N., Zvobgo, G., and Zhang, G.-P. 2019. A review: The beneficial effects and possible mechanisms of aluminum on plant growth in acidic soil. Journal of Integrative Agriculture, 18: 1518-1528.
49. Mukhopadhyay, M., Bantawa, P., Das, A., Sarkar, B., Bera, B., Ghosh, P., and Mondal, T. K. 2012. Changes of growth, photosynthesis and alteration of leaf antioxidative defence system of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] seedlings under aluminum stress. BioMetals, 25(6): 1141-1154.
50. Mukherjee M., Chakraborty S., Sarkar S., Saha S., Majumder S., Ghosh A., and Bhattacharya M. 2020. Soil Nutritional Status of Tea Plantations in Plains of Sub Himalayan West Bengal, Indian. Current Agriculture Research Journal, 8(3): 239-246.
51. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In D. L. Sparks (ed.), Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
52. Oh, K., Kato, T., Li, Z.-P., and Li, F.-Y. 2006. Environmental problems from tea cultivation in Japan and a control measure using calcium cyanamide. Pedosphere, 16(6): 770-777.
53. Pansu, M., and Gautheyrou, J. 2007. Handbook of soil analysis: Mineralogical, organic and inorganic methods. Springer, Berlin.
54. Peng, A., Yu, K., Yu, S., Li, Y., Zuo, H., Li, P., Li, J., Huang, J., Liu, Z., and Zhao, J. 2023. Aluminum and fluoride stresses altered organic acid and secondary metabolism in tea (*Camellia sinensis*) Plants: Influences on plant tolerance, tea quality and safety. International Journal of Molecular Sciences, 24(5):4640.
55. Prawira-Atmaja, M. I., Shabri, Khomaini, H. S., Maulana, H., Harianto, S., and Rohdiana, D. 2018. Changes in chlorophyll and polyphenols content in *Camellia sinensis* var. *sinensis* at different stage of leaf maturity. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 131(1):012010.
56. Roozitalab, M. H., Siadat, H., and Farshad, A. 2018. The soils of Iran. World soils book series. Springer Cham.

57. Ruan, J., Ma, L., Shi, Y., and Zhang, F. 2004. Effects of litter incorporation and nitrogen fertilization on the contents of extractable aluminium in the rhizosphere soil of tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Plant and Soil*, 263(1): 283-296.
58. Ruan, J., Ma, L., and Shi, Y. 2006. Aluminium in tea plantations: mobility in soils and plants, and the influence of nitrogen fertilization. *Environmental Geochemistry and Health*, 28(6): 519-528.
59. Ruan, J., Ma, L., and Shi, Y. 2013. Potassium management in tea plantations: Its uptake by field plants, status in soils, and efficacy on yields and quality of teas in China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3): 450-459.
60. Safaei-Chaeikar, S., Marzvan, S., Jahangirzadeh Khiavi, S., and Rahimi, M. 2020. Changes in growth, biochemical, and chemical characteristics and alteration of the antioxidant defense system in the leaves of tea clones (*Camellia sinensis* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 265: 109257.
61. Shirinfekr, A., Oustan, S., Najafi, N., and Reyhanitabar, A. 2022. Morphological and biochemical responses of some promising tea genotypes to aluminum-induced soil acidification. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(4): 463-476.
62. Singleton, V. L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. p.152-178. In L. Packer (ed.) *Methods in Enzymology*, Vol. 299. Academic Press.
63. Street, R., Drabek, O., Szakova, J., and Mladkova, L. 2007. Total content and speciation of aluminium in tea leaves and tea infusions. *Food Chemistry*, 104(4): 1662-1669.
64. Stumpe, J. M., and Vlek, P. L. G. 1991. Acidification induced by different nitrogen sources in columns of selected tropical soils. *Soil Science Society of America Journal*, 55(1): 145-151.
65. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In D. L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
66. Tolrà, R., Martos, S., Hajiboland, R., and Poschenrieder, C. 2020. Aluminium alters mineral composition and polyphenol metabolism in leaves of tea plants (*Camellia sinensis*). *Journal of Inorganic Biochemistry*, 204:110956.
67. Tong, D., and Xu, R. 2012. Effects of urea and (NH₄)₂SO₄ on nitrification and acidification of Ultisols from Southern China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4): 682-689.
68. Uwiragiye Y., Ngaba M.J.Y., Yang M., Elrys A.S., Chen Z., and Zhou J. 2023. Spatially explicit soil acidification under optimized fertilizer use in sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 13(3):632.
69. Walna, B., Szychalski, W., and Siepak, J. 2005. Assessment of potentially reactive pools of aluminium in poor forest soils using two methods of fractionation analysis. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 99(9): 1807-1816.
70. Wang, H., Xu, R.-K., Wang, N., and Li, X.-H. 2010. Soil acidification of Alfisols as influenced by tea cultivation in eastern China. *Pedosphere*, 20(6): 799-806.
71. Wei, K., Liu, M., Shi, Y., Zhang, H., Ruan, J., Zhang, Q., and Cao, M. 2022. Metabolomics reveal that the high application of phosphorus and potassium in tea plantation inhibited amino-acid accumulation but promoted metabolism of flavonoid. *Agronomy*, 12(5):1086.
72. Willson, K. C., and Clifford, M. N. 2012. *Tea: Cultivation to consumption*: Chapman and Hall, London, p. 792.
73. Yan, P., Wu, L., Wang, D., Fu, J., Shen, C., Li, X., and Wen-yan, H. 2020. Soil acidification in Chinese tea plantations. *Science of the Total Environment*, 715: 136963.

74. Yang, Y., Liu, Y., Huang, C.-F., de Silva, J., and Zhao, F.-J. 2016. Aluminium alleviates fluoride toxicity in tea (*Camellia sinensis*). Plant and Soil, 402, 179–190.
75. Yu, J., Xia, L., Yin, D., and Zhou, C. 2018. Effects of phosphorus on aluminum tolerance of Chinese fir seedlings. Scientia Silvae Sinicae, 54(5): 36-47.
76. Zhang, J., Yang, R., Chen, R., Peng, Y., Wen, X., and Gao, L. 2018. Accumulation of heavy metals in tea leaves and potential health risk assessment: A case study from Puan County, Guizhou Province, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(1):133.



اثر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریزی بر زی‌توده و جذب عناصر غذایی نهال‌های فندق در شرایط عرصه

یونس رستمی کیا*، محمد متینی زاده و احمد رحمانی

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

دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران mohamadmatinizadeh@yahoo.com

دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران arahmani39@gmail.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۵ و پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۷

چکیده

قارچ‌های میکوریزی از جمله ریزجانداران مفید خاک هستند که در اثر همزیستی با ریشه گیاهان می‌توانند با جذب و انتقال آب و مواد غذایی بیشتر به گیاه، سبب افزایش رشد گیاه میزبان شوند. به منظور بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر زی‌توده و جذب عناصر غذایی نهال‌های فندق، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط عرصه اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل مبداء نهال در سه سطح (فندقلو، مکش و مکیدی) و تلقیح قارچی در سه سطح (ترکیب ۱: *Rhizophagus irregularis*، ترکیب ۲: مایه تلقیح *Myco root* و شاهد) با سه تکرار ۲۵ تایی با فاصله ۳ × ۳ متر، در سطح ۶۰۷۵ مترمربع در اراضی زراعی حاشیه جنگل فندقلوی اردبیل کاشته شدند. نتایج پس از چهار سال نشان داد که در هر سه مبداء، در مقایسه با نهال شاهد (مایه‌زنی نشده)، همه مشخصه‌های مورد بررسی نهال‌های مایه‌زنی شده برتر بودند. بیشترین مقدار صفات مزبور به نهال‌های مبداء فندقلو با مایه‌زنی *R. irregularis* اختصاص داشت. به گونه‌ای که در این نهال‌ها، کلنیزاسیون ریشه، زی‌توده خشک ریشه، ساقه و برگ به ترتیب ۵۱/۹٪، ۵۴/۴٪، ۴۵/۱٪ و ۴۰/۷٪، و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی به ترتیب ۳۸/۸٪، ۴۵/۴٪، ۶۲/۹٪، ۳۵/۵٪ و ۴۲/۶٪ در مقایسه با نهال‌های شاهد افزایش داشت. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاشت نهال‌های فندق مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریزی (به‌ویژه قارچ *R. irregularis*) رشد رویشی بیشتری خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: جنگل فندقلو، کود زیستی، وزن خشک ریشه

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: younesrostamikia@gmail.com



مقدمه

فندق (*Corylus avellana* L.) از مهم‌ترین گونه‌های پیشرو در جنگل محسوب می‌شود و می‌تواند به‌عنوان گونه پرستار در حفاظت از نهال‌های جنگلی نقش مهمی در احیاء و بازسازی جنگل‌های تخریب‌شده داشته باشد. میوه فندق به دلیل دارا بودن انواع ویتامین‌ها، مواد مغذی، چربی‌های سالم (غالباً اولئیک اسید)، پروتئین، فیبر و آنتی‌اکسیدان‌ها نقش بسیار زیادی در تغذیه و سلامت انسان دارد (دلگادو و همکاران، ۲۰۱۰). از طرفی برگ‌های آن به دلیل دارا بودن عناصر مهم تغذیه‌ای، کمک فراوانی به بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌نماید (مراقبی و همکاران ۱۳۸۹). متأسفانه در سال‌های اخیر عوامل مختلفی از قبیل تبدیل کاربری، چرای دام، آتش‌سوزی و قطع بی‌رویه درختان (تهیه زغال) از مهم‌ترین عوامل تخریب رویشگاه‌های این گونه است (رستمی‌کیا و شریفی، ۱۳۹۷). در این مناطق همگام با تخریب پوشش گیاهی، تخریب خاک نیز صورت گرفته است که در نتیجه، فقر عناصر غذایی و شرایط میکروکلیمای نامساعد، باعث شده استقرار نهال‌های کاشته شده در این جنگل‌ها بسیار محدود و با مشکل مواجه شود. برای غلبه بر مشکلات موجود، راهکارهایی لازم است تا توانایی نهال‌ها را در برابر تنش‌های محیطی از طریق بهبود جذب آب و مواد غذایی افزایش دهد و بدین ترتیب برنامه‌های جنگل‌کاری و مدیریت جنگل را با موفقیت روبرو سازد. از این‌رو ضرورت دارد از طریق تولید نهال‌های سالم و باکیفیت نسبت به احیاء و توسعه رویشگاه‌های این گونه اقدام کرد. یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر مورد توجه واقع شده، استفاده از کودهای زیستی (قارچ‌های همزیست با گیاه) است. اندک بودن همزیستی میکوریزی در سیستم ریشه نهال‌های تولید شده در نهالستان یکی از دلایل عمده عدم موفقیت استقرار و رشد گونه‌های جنگلی و عدم احیای زمین‌های تخریب‌شده است (ویلیمز و همکاران، ۲۰۱۲). در حقیقت، استفاده از نهال‌های میکوریزه شده در جنگل‌کاری‌ها می‌تواند نقش مهمی در تسهیل مراحل احیاء

و بازسازی توده‌های جنگلی تخریب‌شده داشته باشد و اثربخشی جنگل‌کاری‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهد (بارنا، ۲۰۰۳).

همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزی یکی از مهم‌ترین، استراتژی‌های گیاهان برای کسب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی هست. نزدیک به ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی توانایی همزیستی با قارچ‌های میکوریزی را دارند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات زیادی در ارتباط با همزیستی بین گیاهان و قارچ‌های میکوریزی انجام گرفته است و موارد زیادی از مزایای همزیستی از نظر رشد گیاه گزارش شده است این مزیت‌ها شامل افزایش جذب آب و مواد مغذی گیاه (کرنل و همکاران، ۲۰۲۲) و همچنین افزایش تحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری، آلودگی فلزات سنگین، سایه و دمای شدید است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

قارچ‌های میکوریز آربسکولار در جذب مواد غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرك در خاک مؤثر هستند (بگام و همکاران، ۲۰۱۹). این قارچ‌ها علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی معدنی در گیاه، می‌تواند سبب تحریک مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نیز شوند (اگیو و همکاران، ۲۰۰۴). این قارچ‌های میکوریز میزبان خود را به‌وسیله سیگنال‌های آزادشده از ریشه گیاه شناسایی و با آن تشکیل همزیستی می‌دهند سپس با فرستادن اندام مکنده خود به درون سلول میزبان، مواد مورد نیاز را توسط هیف‌های خود جذب می‌کند (تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳). قارچ‌های میکوریزی از طریق مکانیسم‌های مختلف حلالیت عناصر موجود در خاک را که در حالت عادی غیرقابل جذب برای گیاه هست افزایش داده و با گسترده کردن شبکه هیف‌های خود در خاک سطح جذب ریشه گیاه را افزایش می‌دهند (تورجمان و همکاران، ۲۰۰۹). همزیستی میکوریزی نقش بسیار زیادی در ایجاد، نگهداری، پایداری و توسعه جوامع گیاهی به‌خصوص در

مناطق با فشارهای گوناگون فیزیکی و اکولوژیکی ایفا می‌کند (رازوک و کجی، ۲۰۱۵). نتایج نشان می‌دهند که استفاده از قارچ‌های میکوریزی تأثیر مثبتی روی رشد و افزایش زی‌توده دارد (عالم و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش زی‌توده از طریق افزایش جذب آب، مواد معدنی به‌ویژه نیتروژن و فسفر (وانگ و همکاران، ۲۰۲۳) و تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین به وسیله این قارچ‌ها اثبات شده است (تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳).

قارچ‌های میکوریزی، علاوه بر افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی نقش مهمی در محافظت از گیاهان در برابر بسیاری از انواع تنش‌های زیستی از قبیل عوامل بیماری‌زا و پاتوژن ایفا می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش اثرات تنش زیستی توسط قارچ‌های میکوریزی از طریق تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی القایی یا اولیه در پاسخ به همزیستی، از جمله افزایش سطح و حجم ریشه و افزایش کارایی مصرف آب گیاه، انجام می‌شود (وهاب و همکاران، ۲۰۲۳).

مطالعات زیادی مبنی بر اثر بخشی قارچ‌های میکوریزی در کمک به جذب آب و انتقال مواد مغذی به‌ویژه فسفر به نهال‌ها که در شرایط عرصه کاشته شده‌اند، وجود دارد. از جمله، استفاده از نهال‌های زیتون (*Olea europaea* subsp. *R. irregularis* و *Funneliformis mosseae*) مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریزی به همراه کمپوست در جنگل کاری منطقه Murcia (جنوب شرق اسپانیا) بعد از ۱۲ ماه نشان داد نهال‌های تلقیح شده با *R. irregularis* از نظر قطریقه و ارتفاع به ترتیب ۴۵/۸ و ۶۲/۴ درصد، رویش بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد دارند (کاراواکا و همکاران، ۲۰۰۲ a). در پژوهشی دیگر، استفاده از نهال‌های پسته (*Pistacia lentiscus* L.) مایه‌زنی شده با قارچ (*R. irregularis*) و کمپوست در جنگل کاری منطقه Murcia (جنوب شرق اسپانیا) بعد از ۱۲ ماه رشد ۱۰۶ درصدی ارتفاع نهال‌های تلقیح شده را در پی داشت (کاراواکا و همکاران، ۲۰۰۲ b). تلقیح قارچ‌های میکوریزی *R. irregularis* و *F. mosseae* نهال‌های زیتون

(*Olea europaea* L.) هم در نهالستان و هم در عرصه سبب بهبود صفات رویشی نهال‌ها شدند. به‌طوری‌که نتایج بعد از ۲۰ ماه در شرایط عرصه نشان داد نهال‌های تلقیح شده با *R. irregularis* رشد قطری و ارتفاعی به ترتیب ۲۳/۸ و ۱۲/۵ درصد بیشتر از نهال‌های شاهد دارند (استون و همکاران، ۲۰۰۳). کاشت چهار گونه درختچه‌ای بومی شامل *Olea europaea* subsp. *syvestris*، *Retama*، *Pistacia* و *Rhamnus lycioides*، *sphaerocarpa* *lentiscus* که با قارچ میکوریزی *F. claroideum* تلقیح شده بودند بعد از دو سال نشان داد زی‌توده اندام هوایی و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ نهال‌های میکوریزی اختلاف معنی‌داری با نهال‌های غیر میکوریزی دارد (کاراواکا و همکاران، ۲۰۰۵). اثر تلقیح قارچ میکوریزی (*F. mosseae*) بر بیوماس ریشه و تبادلات گازی و عناصر تغذیه‌ای نهال‌های زردآلو (*Prunus sibirica* L.) در شمال غربی چین بعد از ۶۰ ماه نشان داد کلنیزاسیون ریشه، بیوماس خشک ریشه و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم ریشه به ترتیب ۸۳/۷، ۴۲، ۸۲/۲ و ۴۹/۷ درصد بیشتری در مقایسه با نهال‌های غیر میکوریزی افزایش داشتند (بای و همکاران، ۲۰۲۱).

در داخل کشور مطالعات معدودی در زمینه تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر صفات رویشی نهال‌های فندق در شرایط عرصه طبیعی انجام شده است که در این زمینه، فقط می‌توان به مطالعه رستمی‌کیا و همکاران (۱۴۰۱) اشاره کرد. در این تحقیق مایه‌زنی نهال‌های فندق با قارچ‌های میکوریزی *R. irregularis* و مایه تجاری میکوروت بعد از چهار سال کاشت در عرصه نشان داد هر دو قارچ باعث بهبود صفات رویشی شدند. ولی بیشترین مقدار صفات رویشی (زنده‌مانی ۵۲/۷ درصد، رویش قطریقه ۸۲/۱ درصد، رویش ارتفاع ۵۸/۹ درصد) در نهال‌های مایه‌زنی شده با *R. irregularis* نسبت به شاهد (نهال‌های غیرمیکوریزی مبدأ فندقلو) مشاهده شد. تحقیق حاضر باهدف ارزیابی تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر بیوماس خشک ریشه، ساقه و برگ و غلظت عناصر تغذیه‌ای برگ

نهال‌های فندق در شرایط عرصه (طبیعت) به‌منظور توسعه سطح کشت آن در منطقه فندقلوی اردبیل انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در حاشیه جنگل فندقلو (اراضی زارعی دیم واقع در روستای خانقاه سفلی) با مختصات ۳۸ درجه و ۲۴ دقیقه و ۱ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه و ۲۷ ثانیه طول شرقی و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. میانگین دمای سالانه ۹/۱ سانتی‌گراد، میانگین دمای حداکثر ۲۰/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای حداقل ۴/۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه ۳۷۸/۹ میلی‌متر است. شایان ذکر است این منطقه تحت

تأثیر جریان‌ات اقلیم خزری است، میزان واقعی بارندگی سالانه در این منطقه به دلیل نفوذ جریان‌ات خزری که باعث مه بارش می‌شود، بیشتر از این مقدار است. اقلیم منطقه بر اساس فرمول آمبرژه ($Q = 38/3$) نیمه مرطوب سرد است.

روش پژوهش

اوایل مهرماه ۱۳۹۵ میوه‌های فندق از درختان مادری سالم با مشخصه‌های یکسان (قطر و ارتفاع) از سه رویشگاه جنگلی جمع‌آوری شدند (جدول ۱). بذرها بعد ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام (۲ در ۱۰۰۰) جهت شکست خواب بذر به مدت چهار ماه در دمای 1 ± 4 درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند (رستمی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱- خصوصیات رویشگاهی محل جمع‌آوری بذرهاى فندق

رویشگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	جهت جغرافیایی
فندقلو	۱۴۳۰ - ۱۴۷۰	۱۹°۳۸'۱۶"	۴۸°۳۶'۲۸"	جنوبی
مکش	۱۵۵۰ - ۱۶۲۰	۴۳°۳۷'۰۲"	۴۷°۵۳'۱۰"	جنوبی - جنوب غربی
مکیدى	۱۴۷۰ - ۱۵۲۰	۵۱°۳۸'۱۵"	۴۸°۳۹'۱۷"	جنوب غربی

جهت تعیین صفات کمی و کیفی بذور و میوه، از هر مبدأ ۱۰۰ عدد میوه فندق انتخاب شد. سپس وزن و مغز فندقه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم و

ابعاد فندقه (طول و عرض) به‌وسیله کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصه‌های طول، عرض و وزن میوه جمع‌آوری شده از سه رویشگاه جنگلی

مبدأ بذر	طول میوه (سانتی‌متر)	عرض میوه (سانتی‌متر)	وزن میوه (گرم)
فندقلو	۱/۱۱ ± ۱/۸۸	۱/۱۲ ± ۱/۵۵	۲/۲۹ ± ۲/۴۲
مکش	۱/۰۹ ± ۱/۶۱	۱/۱۴ ± ۱/۴۵	۱/۲۱ ± ۱/۷۷
مکیدى	۱/۱۵ ± ۱/۴۸	۱/۲۳ ± ۱/۰۴	۱/۴۱ ± ۱/۴۲

اشتباه معیار $\pm$ میانگین

سپس بذرهاى تیمار شده در گلدان‌های پلی‌اتیلنی (به ابعاد ۱۵×۱۵×۲۰ سانتی‌متر) حاوی خاک استریل (با مشخصات آمده در جدول ۳) برای این کار انتخاب شدند. شایان ذکر است که برای حذف کلیه میکروارگانیسم‌های

طبیعی و تعیین اثرات هر یک از میکروارگانیسم‌های (باکتری) مورد استفاده، خاک نهالستان در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت اتوکلاو شده بود.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محتوی گلدان‌های پلی اتیلنی

هدایت الکتریکی (Ds/m)	اسیدیته	درصد اشباع	درصد آهک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصد کربن آلی	درصد ازت کل	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	آهن (ppm)	روی (ppm)
۰/۳۸۶	۶/۳۴	۱/۷۶	۲/۲۳	۳۶	۲۶	۳۸	۱/۲۱	۰/۱۳	۹/۴۴	۱۷۴	۲/۰۳	۲/۵۲

مایه‌زنی نهال‌ها و انتقال به عرصه

مایه تلقیح قارچ میکوریزی *Rhizophagus irregularis* از بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور و مایه تلقیح تجاری با نام *Myco root* با ۱۰۰ پروپاگول در هر گرم، از شرکت زیست فناور پیش‌تاز واریان، تهیه شد. یک‌ماه پس از رشد نونهال‌ها (اوایل اردیبهشت ۱۳۹۶) مقدار ۵۰ گرم پروپاگول از هر یک از قارچ‌های مذکور در بستر کشت گلدان (عمق فعالیت ریشه نونهال‌ها)، قرار داده شد. سپس، در فروردین ۱۳۹۷، نهال‌های همگن فندق انتخاب و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور مبدأ نهال در سه سطح (فندقلو، مکش و مکیدی) و تلقیح قارچی در سه سطح (ترکیب ۱:

Rhizophagus irregularis، ترکیب ۲: مایه تلقیح *Myco root* و شاهد) با سه تکرار ۲۵ تایی بافاصله 3×3 متر، در سطح ۶۰۷۵ مترمربع در اراضی زراعی حاشیه جنگل فندقلوی اردبیل در شرایط دیم کاشته شدند. عملیات نگهداری در طی دوره آزمایش از قبیل وجین علف‌های هرز و خاک دادن پای نهال‌ها نیز انجام شد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق‌های ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری محل کاشت نهال‌ها در عرصه، چهار نمونه برداشت‌شده و پس از مخلوط کردن، نمونه‌های یک کیلویی تهیه شده به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل منتقل شدند (جدول ۴).

جدول ۴- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	مواد آلی (درصد)	ازت (درصد)	فسفر (mg kg ⁻¹)	پتاسیم (mg kg ⁻¹)	آهن (mg kg ⁻¹)	روی (mg kg ⁻¹)
۰-۲۰	۶/۷۹	۰/۵۶۱	۳۶	۲۸	۳۶	رسی لومی	۱/۲۶	۰/۱۷	۱۰/۰۴	۱۸۳	۲۰/۲۲	۱/۵۲
۲۰-۴۰	۷/۳۸	۰/۳۸۰	۱۴	۳۶	۵۰	شنی لومی	۱/۷۸	۰/۳۰	۲۹/۴۳	۲۴۲	۱۶/۸۰	۰/۹۲

تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه به قارچ‌های میکوریزی

قبل از کشت نهال‌ها در عرصه، جهت اطمینان از همزیستی قارچ‌های میکوریزی باریشه نهال‌ها (جدول ۵) و نیز در انتهای سال چهارم (۱۴۰۰) درصد کلنیزاسیون آن‌ها تعیین شد بدین منظور، سه نهال به‌طور تصادفی انتخاب و سپس از هر نهال ۱۰ نمونه ریشه یک سانتی‌متری تهیه و با استفاده از روش استاندارد (فیلیپس و هیمن، ۱۹۷۰) شستشو و رنگ‌آمیزی شدند. به‌منظور رنگ‌بری و نرم کردن بافت‌ها، ریشه‌ها به مدت یک ساعت در محلول هیدورکسید پتاسیم ۱۰ درصد و دمای ۹۰ درجه

سانتی‌گراد حرارت داده شدند، پس از شستشوی ریشه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در محلول آب‌اکسیژنه قلیایی ۱۰ درصد (H_2O_2 30 ml + NH_4OH 3 ml) برای رنگ‌بری کامل، قرار داده شدند. ریشه‌ها بعد از شستشوی، برای رنگ‌پذیری به مدت سه دقیقه در محلول اسید کلریدریک (یک درصد) و محلول لاکتوگلیسرین تریپان‌بلو به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا رنگ بگیرند. در مرحله بعد، درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها به روش تقاطع شبکه در زیر دستگاه بینوکولار بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (جیووانتی و موسه، ۱۹۸۰).

۱. حاوی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار *Funneliformis mosseae* و *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus irregularis*.

$$\text{درصد کلنیزاسیون ریشه} = \frac{\text{تعداد ریشه‌های میکوریزی}}{\text{تعداد ریشه‌های برخورد کرده با اضلاع شبکه}} \times 100$$

جدول ۵- میانگین درصد کلنیزاسیون نهال‌های فندق جنگلی با تلقیح قارچی قبل از انتقال به عرصه

مبدأ نهال	تلقیح قارچ	درصد کلنیزاسیون
فندقلو	شاهد	۰
	<i>R. irregularis</i>	۴۴/۴
	Myco Root	۳۴/۷
مکش	شاهد	۰
	<i>R. irregularis</i>	۴۲/۰۱
	Myco Root	۳۰/۲
مکید	شاهد	۰
	<i>R. irregularis</i>	۳۰/۸
	Myco Root	۳۴/۱

اندازه‌گیری زی‌توده

در سال آخر پروژه، از هر تکرار یک نهال از خاک به‌طور کامل خارج شد. ابتدا وزن تر ریشه، ساقه و برگ با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک اندام‌ها اندازه‌گیری شد.

تعیین غلظت عناصر غذایی برگ

در سال آخر اجرای پروژه، جهت تعیین عناصر غذایی، نمونه‌برداری برگ در مردادماه (اوج رشد برگ) انجام شد. از هر تکرار سه نهال انتخاب و از برگ‌های یک‌سوم پایینی نهال، سه برگ برداشت شد. نمونه‌ها در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک سپس با دستگاه آسیاب پودر شد و غلظت عناصر غذایی ماکرو (ازت، فسفر، پتاسیم) برای تعیین ازت بعد از هضم یک گرم از نمونه در اسیدسولفوریک غلیظ به روش کج‌لدال (جکسون، ۱۹۶۷)، فسفر به روش خشک سوزانی و پتاسیم به روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت آهن و روی، یک گرم از وزن خشک بافت برگ را در لوله‌های مخصوص هضم ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک به آن اضافه کرده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد جهت

خشک شدن در آون قرار داده شدند. سپس بعد از سرد شدن، صاف‌کرده و به حجم ۲۵ بالون ژوژه رسانده شدند. سپس با رسم خط استاندارد و استانداردسازی با دستگاه جذب اتمی مدل فیلیپین P.U.9400 قرائت شدند.

طرح آزمایش و روش آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت. نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس داده‌ها از طریق آزمون لون تعیین شد. برای بررسی تأثیر معنی‌داری تیمارهای اصلی و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های زی‌توده و عناصر تغذیه‌ای نهال‌ها از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطوح آماری پنج و یک درصد استفاده شد.

نتایج

درصد کلنیزاسیون ریشه

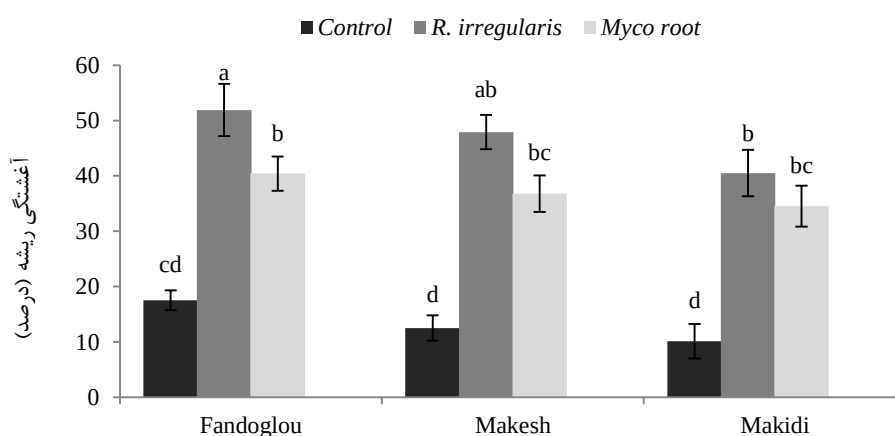
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی مبدأ نهال و قارچ و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد بر مشخصه‌های کلنیزاسیون ریشه، زی-توده خشک ریشه، زی‌توده خشک ساقه و زی‌توده برگ نهال‌های فندق داشتند (جدول ۶). نتایج نشان داد نهال‌های مبدأ فندقلو، مکش و مکیدی به ترتیب ۵۱/۹، ۴۷/۹ و ۴۰/۵

درصد با قارچ میکوریزی *R. irregularis* و ۴۰/۴، ۳۶/۸ درصد با قارچ *Myco root* نسبت به قارچ *Myco root* بیشتر و ۳۴/۵ درصد با قارچ *Myco root* کلنیزاسیون ریشه داشتند (شکل ۱). به عبارت دیگر تعامل ریشه نهال‌های فندق

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر مبدأ نهال و قارچ بر کلنیزاسیون ریشه و زی توده خشک نهال‌های فندق در سال چهارم

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
زی توده خشک برگ	زی توده خشک ساقه	زی توده خشک ریشه	کلنیزاسیون ریشه		
۱۶/۱۸ ^{ns}	۷۸/۱۲ ^{ns}	۴۸/۱۰ ^{ns}	۹۰۲/۱۰ ^{ns}	۲	تکرار
۱۵/۱۰ ^{**}	۷۲/۴۴ [*]	۷۷/۰۹ ^{**}	۸۷۱۰/۳۴ ^{**}	۲	مبدأ نهال
۱۸/۰۹	۱۹/۲۰	۱۹/۹۲	۱۲/۷	۴	خطای اصلی
۲۲/۸۷ [*]	۶۰/۴۵ ^{**}	۶۹/۵۶ ^{**}	۱۴۴۰/۱۴ [*]	۲	قارچ
۱۰/۱۰ [*]	۵۶/۱۶ ^{**}	۱۰۰/۲۳ ^{**}	۷۸۶/۶۰ ^{**}	۴	مبدأ نهال × قارچ
۸/۱۰	۸/۸۸	۵/۵۷	۸/۸۰	۱۲	خطای فرعی
۱۷/۴۰	۱۴/۵۶	۱۱/۱۰	۱۴/۱۴	-	ضریب تغییرات (CV%)

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار.

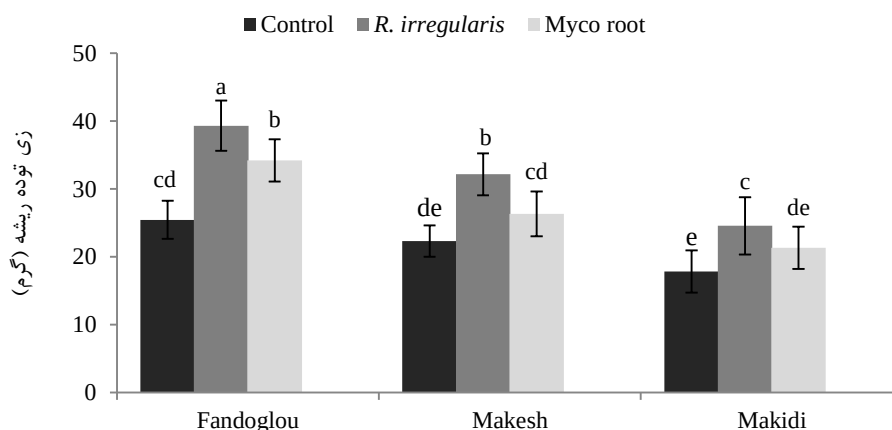


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر درصد کلنیزاسیون ریشه نهال‌های فندق

مبدأ مکیدی (۲۴/۵ گرم) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* بیش از قارچ *Myco root* بود. به‌طوری‌که نهال‌های مایه‌زنی شده با *R. irregularis* مبدأ فندقلو ۵۴/۴ درصد، مکش ۴۴/۱ درصد و مکیدی ۳۷/۷ درصد زی توده خشک‌ریشه بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل ۲).

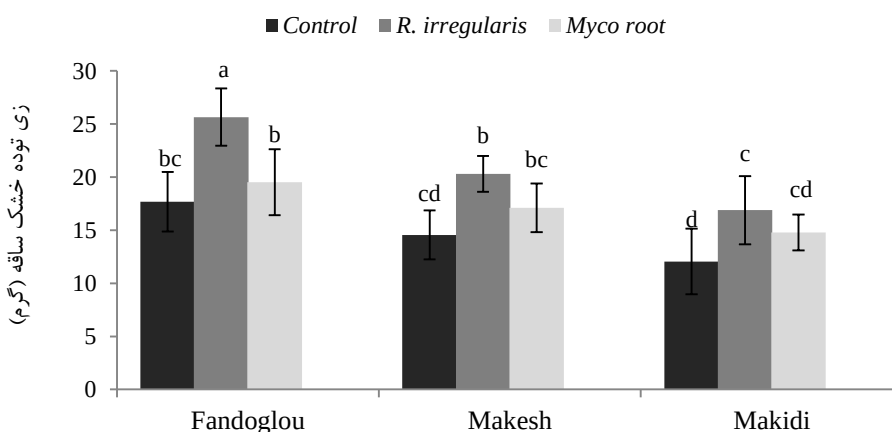
زی توده خشک‌ریشه، ساقه و برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی مبدأ نهال و قارچ و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد بر مشخصه‌های زی توده خشک‌ریشه، زی توده خشک ساقه و زی توده برگ نهال‌های فندق داشتند (جدول ۴). مقدار زی توده ریشه نهال‌های مبدأ فندقلو (۳۸/۳ گرم) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۳۲/۱۶ گرم) و



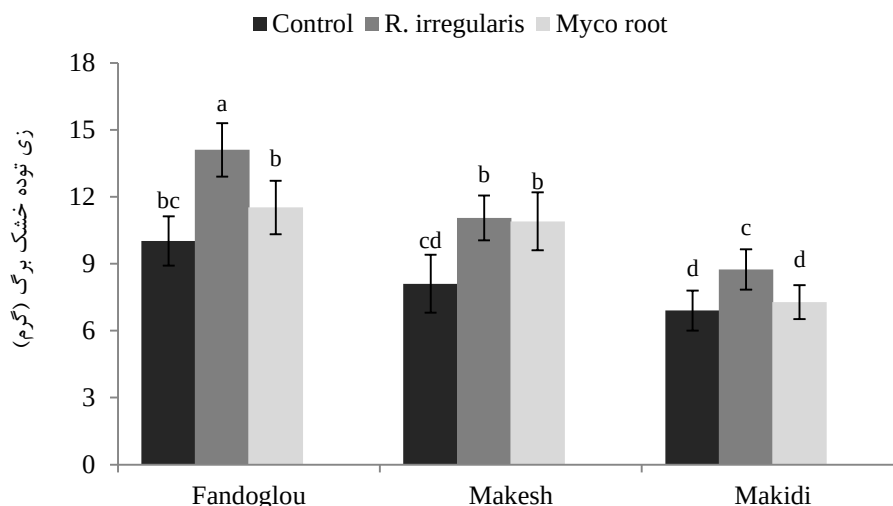
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر زی‌توده خشک ریشه نهال‌های فندق

مقدار زی‌توده خشک ساقه نهال‌های مبدأ فندقلو ۲۵/۶ گرم) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۲۲/۳ گرم) و مبدأ مکیدی (۱۸/۹ گرم) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* بیش از قارچ مایکوروت بود. به‌طوری‌که نهال‌های مایه‌زنی شده با *R. irregularis* مبدأ فندقلو ۴۵/۱ درصد، مکش ۳۹/۵ درصد و مکیدی ۳۱/۴ درصد زی‌توده خشک ساقه بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر زی‌توده خشک ساقه نهال‌های فندق

مقایسه میانگین داده نشان داد مقدار زی‌توده برگ نهال‌های مبدأ فندقلو (۱۴/۱ گرم) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۱۱/۰۵ گرم) و مبدأ مکیدی (۸/۷ گرم) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* بیش از قارچ مایکوروت بود. به‌طوری‌که نهال‌های مایه‌زنی شده با *R. irregularis* مبدأ فندقلو ۴۰/۷ درصد، مکش ۳۶/۴ درصد و مکیدی ۲۶/۷ درصد زی‌توده خشک برگ بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر زی توده خشک برگ نهال‌های فندق

نتایج مقایسه میانگین جدول ۷ نشان داد نهال‌های فندق (مبدأ فندقلو) مایه‌زنی شده با قارچ *R. irregularis* بیشترین غلظت عناصر ماکرو نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب با ۳/۳۶، ۰/۳۲ و ۳/۱۵ درصد و عناصر آهن و روی برگ به ترتیب با ۴۲/۰۳ و ۲۱/۸۵ میلی گرم در کیلوگرم به خود اختصاص دادند. به طوری که باعث افزایش عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی به ترتیب ۳۸/۸، ۴۵/۴، ۶۲/۹، ۳۵/۵ و ۴۲/۶ درصد در مقایسه با نهال‌های شاهد شدند (جدول ۸).

تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر غلظت عناصر ماکرو و میکرو نهال‌های فندق

نتایج تجزیه واریانس در سال چهارم نشان داد که مایه‌زنی نهال‌های فندق (هر سه مبدأ) با هر دو قارچ تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، آهن و روی برگ داشته‌اند (جدول ۷). ولی کاربرد تیمار *R. irregularis* بیش از تیمار میکوروت سبب افزایش غلظت عناصر ماکرو در برگ نهال‌های فندق شده است.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر مبدأ نهال و قارچ بر غلظت عناصر غذایی برگ در نهال‌های فندق در سال چهارم

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن
تکرار	۲	۰/۱۲۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۱۹۷ ^{ns}	۱۷/۴۹ ^{ns}
مبدأ نهال	۲	۲/۰۳*	۱/۲۱*	۳/۹۸**	۷/۱۳*
خطای اصلی	۴	۰/۲۱	۰/۱۰۸	۰/۰۹	۲۱/۲
قارچ	۲	۱/۰۱*	۵/۰۶*	۱۱/۰۷*	۱/۲۵**
مبدأ نهال × قارچ	۴	۱/۷۳*	۱/۰۴*	۲/۱۱*	۷/۰۷*
خطای فرعی	۱۲	۰/۸۰	۰/۰۷	۱/۰۲	۰/۱۰
ضریب تغییرات (CV%)	-	۱۷/۶	۱۰/۴۲	۱۲/۲	۱۴/۰۴

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۸- مقایسه میانگین $\pm$ خطای معیار اثرات متقابل مبدأ نهال $\times$ تلقیح قارچ بر غلظت عناصر غذایی برگ نهال‌های فندق

مبدأ نهال	تلقیح قارچ	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	آهن (میلی گرم در کیلوگرم)	روی (میلی گرم در کیلوگرم)
فندقلو	شاهد	۲/۴۲ $\pm$ ۰/۱۲ ^b	۰/۲۲ $\pm$ ۰/۰۱ ^b	۱/۳۲ $\pm$ ۰/۰۳۳ ^b	۳۷/۱۱ $\pm$ ۱۰/۶۱ ^b	۱۵/۳۲ $\pm$ ۱/۰۲ ^c
	<i>R. irregularis</i>	۳/۳۶ $\pm$ ۰/۲۵ ^a	۰/۳۲ $\pm$ ۰/۰۳ ^a	۳/۱۵ $\pm$ ۰/۰۷۹ ^a	۴۲/۰۳ $\pm$ ۱/۱۲ ^a	۲۱/۸۵ $\pm$ ۲/۱۶ ^a
	Myco root	۲/۹۴ $\pm$ ۰/۱۳ ^{ab}	۰/۳۰ $\pm$ ۰/۰۹ ^a	۱/۶۶ $\pm$ ۰/۰۶۱ ^b	۲۳/۱۲ $\pm$ ۲/۰۳ ^c	۱۸/۶۶ $\pm$ ۲/۰۱ ^b
مکش	شاهد	۲/۴۰ $\pm$ ۰/۲۸ ^b	۰/۱۸ $\pm$ ۰/۰۹ ^c	۱/۵۵ $\pm$ ۰/۰۴۳ ^b	۲۵/۹۰ $\pm$ ۲/۰۱ ^{bc}	۱۴/۵۵ $\pm$ ۱/۴۴ ^{cd}
	<i>R. irregularis</i>	۲/۹۹ $\pm$ ۰/۱۸ ^{ab}	۰/۳۰ $\pm$ ۰/۰۳ ^a	۲/۵۹ $\pm$ ۰/۰۴۹ ^{ab}	۳۱/۳۴ $\pm$ ۲/۹۰ ^b	۱۹/۱۹ $\pm$ ۲/۱۳ ^{ab}
	Myco root	۲/۵۵ $\pm$ ۰/۱۱ ^b	۰/۲۶ $\pm$ ۰/۰۸ ^b	۱/۲۱ $\pm$ ۰/۰۶۷ ^b	۲۲/۱۱ $\pm$ ۰/۷۷ ^c	۱۷/۲۱ $\pm$ ۱/۰۷ ^{bc}
مکیدنی	شاهد	۲/۲۱ $\pm$ ۰/۱۵ ^c	۰/۱۶ $\pm$ ۰/۰۵ ^c	۱/۰۲ $\pm$ ۰/۰۲۳ ^c	۱۸/۰۸ $\pm$ ۲/۷۰ ^d	۱۲/۰۲ $\pm$ ۱/۰۲ ^d
	<i>R. irregularis</i>	۲/۸۶ $\pm$ ۰/۲۶ ^{ab}	۰/۲۴ $\pm$ ۰/۰۸ ^b	۲/۵۳ $\pm$ ۰/۰۷۸ ^{ab}	۲۴/۶۰ $\pm$ ۲/۱۴ ^c	۱۷/۵۳ $\pm$ ۱/۰۹ ^{bc}
	Myco root	۲/۴۷ $\pm$ ۰/۱۹ ^b	۰/۲۲ $\pm$ ۰/۰۹ ^b	۱/۴۰ $\pm$ ۰/۰۵۴ ^b	۲۱/۸۰ $\pm$ ۱۹/۱۰ ^c	۱۴/۴۰ $\pm$ ۱/۰۵ ^{cd}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌داری است

بحث

پژوهش حاضر نشان داد که زی‌توده نهال‌های فندق (هر سه مبدأ) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار مایه‌زنی قارچ قرار گرفت و مایه‌زنی قارچ میکوریزی *R. irregularis* سبب افزایش زی‌توده خشک‌ریشه (۳۷/۷ تا ۵۴/۴ درصد)، ساقه (۳۱/۴ تا ۴۵/۱ درصد) و برگ (۲۶/۷ تا ۴۰/۷ درصد) در مقایسه با قارچ Myco root و نهال‌های شاهد (غیر میکوریزی) شد. معمولاً گونه میکوریزایی که توانایی بیشتری در کلنیزه کردن ریشه‌ها دارد، می‌تواند در جذب عناصر غذایی، آب و افزایش مقاومت گیاهان در عرصه-های طبیعی کارایی بیشتری داشته باشد و عملکرد آن‌ها را افزایش دهد. در مورد تأثیر اندک قارچ Myco root در مقایسه با قارچ *R. irregularis* بر مشخصه‌های رویشی می‌توان اظهار داشت مایه تجاری Myco root از سه قارچ میکوریزی (*Rhizophagus funneliformis mosseae*) *Glomus etunicatum* تشکیل شده است که اثرات متقابل بین آن‌ها در شرایط طبیعی سبب کلنیزاسیون اندک ریشه نهال‌های و به تبع آن تأثیر اندک بر مشخصه‌های رویشی مورد مطالعه داشته است. اگرچه قارچ-های میکوریزی در ایجاد همزیستی با گیاهان میزبان، به-طور غیراختصاصی عمل می‌کنند و تقریباً هر قارچ میکوریزی می‌تواند با یک‌گونه میزبان تشکیل همزیستی بدهد. ولی ترجیح میزبانی یا رابطه ترجیحی بین گونه‌های خاص قارچ‌ها با میزبان‌های گیاهی مشخصی اثبات شده

پژوهش حاضر نشان داد کاربرد هر دو قارچ *R. irregularis* و Myco root درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه نهال‌های هر سه مبدأ را در مقایسه با نهال‌های شاهد (بدون مایه‌زنی قارچ) افزایش داد ولی قارچ *R. irregularis* توانایی بیشتری برای کلنیزه کردن ریشه نهال‌های فندق در مقایسه با قارچ Myco root داشت. در زمینه تعامل ریشه فندق با قارچ‌های میکوریزی، مراقبی و همکاران (۱۳۸۹) و هیلزچانسکا (۲۰۰۸) همزیستی میکوریزی را در گونه فندق گزارش کرده‌اند. در این پژوهش بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلوی اردبیل در تلقیح با قارچ میکوریزی *R. irregularis* مشاهده شد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر گزارش شده است از جمله کاراواکا و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند درصد کلنیزاسیون قارچ *R. irregularis* در مقایسه با *G. mosseae* بر روی نهال‌های زیتون (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*) بیشتر بود. در تحقیقی دیگر مایه‌زنی نهال‌های زردآلو (*P. sibirica*) با قارچ میکوریزی (*Funneliformis mosseae*) در شمال غربی چین در سال پنجم نشان داد میزان کلنیزاسیون ریشه نهال‌های زردآلو ۸۳/۷ درصد است (بای و همکاران، ۲۰۲۱).

است (سیلوا، ۱۹۸۶). مطالعات چندی در خصوص اثربخشی قارچ *R. irregularis* در افزایش رشد رویشی و زی‌توده گونه‌های مختلف گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد از جمله کاراواکا و همکاران (۲۰۰۲a) نشان دادند اثربخشی مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* بر افزایش رشد رویشی به‌ویژه زی‌توده نهال‌های زیتون (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*) در جنگل کاری منطقه Murcia در جنوب شرق اسپانیا بیشتر از *Glomus mosseae* است. مایه‌زنی نهال‌های پسته (*P. lentiscus*) با قارچ میکوریزی (*R. irregularis*) در مقایسه با قارچ‌های دیگر افزایش معنی‌دار صفات رویشی نهال‌ها را در پی داشت. (کاراواکا و همکاران، ۲۰۰۲b). مایه‌زنی نهال‌های زیتون (*O. europaea*) با قارچ‌های میکوریزی بعد از ۲۰ ماه حاکی از اثربخشی بیشتر *R. irregularis* در مقایسه با *Glomus mosseae* بر صفات رویشی نهال‌ها در نهالستان و هم در شرایط عرصه بود (استون و همکاران، ۲۰۰۳). نهال‌های زردآلو (*P. sibirica*) تحت تأثیر مایه‌زنی با قارچ میکوریزی (*Funneliformis mosseae*) بعد از ۵ سال افزایش ۴۲ درصدی بیوماس خشک‌ریشه در مقایسه با نهال‌های غیر میکوریزی در پی داشت (بای و همکاران، ۲۰۲۱). همزیستی قارچ‌ها با گیاه میزبان باعث افزایش سطح ویژه مؤثر ریشه‌ها به‌واسطه اشتراک هیف‌های قارچ، افزایش حجم ریشه و ایجاد کانال‌هایی با مقاومت اندک برای رسیدن آب به سمت ریشه سبب تسهیل و افزایش جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت افزایش زی‌توده گیاه را باعث می‌شوند. در این راستا وانگ و همکاران (۲۰۲۳) اظهار داشتند قارچ‌های میکوریزی علاوه بر افزایش جذب آب و مواد غذایی معدنی در گیاه، می‌تواند سبب افزایش ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز و در نتیجه زی‌توده گیاهان میزبان را به همراه داشته باشد. قارچ‌های میکوریزی از طریق تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی القایی یا اولیه در پاسخ به همزیستی، سبب

افزایش سطح و حجم ریشه و افزایش کارایی مصرف آب گیاه، می‌شوند (بای و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد هر دو تیمار قارچی، نه تنها بر پاسخ شاخص‌های رویشی نهال‌ها اثرگذار بودند، بلکه نقش مؤثری در افزایش غلظت عناصر ماکرو (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و میکرو (آهن و روی) برگ نهال‌ها را در مقایسه با شاهد داشتند. باین‌حال بیشترین مقدار عناصر موردبررسی در تلقیح با *R. irregularis* در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو مشاهده شد. افزایش عناصر غذایی نهال‌های میکوریز در مقایسه با نهال‌های غیر میکوریزی در پژوهش‌های دیگران نیز گزارش شده است. برای مثال، بای و همکاران در سال ۲۰۲۱ نشان دادند قارچ میکوریزی باعث افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم ریشه در نهال‌های زردآلو (*P. sibirica*) می‌شوند. علاوه بر این، افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در نهال‌های تلقیح شده چهار گونه *sylvestris*، *Retama sphaerocarpa*، *Olea europaea* subsp و *Rhamnus lycioides* در مطالعات کاراواکا و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده شده است. قارچ‌های میکوریزی در اثر همزیستی باریشه گیاهان، افزایش رشد رویشی میزبان را از طریق تسهیل در جذب آب و عناصر غذایی سبب می‌شوند (کندلر، ۲۰۰۷). جذب عناصر غذایی توسط نهال‌های فندق، علاوه بر قابلیت دسترسی عناصر تغذیه‌ای در محلول خاک به توانایی سیستم ریشه‌ای در جذب عناصر غذایی نیز مرتبط است (تورجمان و همکاران، ۲۰۰۹). به‌عبارت دیگر افزایش جذب عناصر غذایی در نهال‌های مایه‌زنی شده با قارچ *R. irregularis* به عوامل مختلفی از جمله افزایش زی‌توده خشک گیاه و درصد کلنیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزا نیز بستگی دارد. در شرایط کمبود عناصر غذایی، هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریزا با اتصال مناطق تخلیه ریشه به یکدیگر، جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند و با افزایش عناصر غذایی به خاک،

سیستم ریشه‌ای متراکم‌تر می‌شود و مناطق تخلیه ریشه را همپوشانی می‌کنند (تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳).

افزایش جذب یون‌های متحرک و غیرمتحرک در گیاهان میکوریزا ممکن است با تغییر مورفولوژی ریشه، ترشح اسیدهای آلی و ترکیباتی مثل سیدروفورها یا افزایش آزادسازی دی اکسید کربن توسط هیف‌های میکوریزا نیز مرتبط باشد (وهاب و همکاران، ۲۰۲۳). قارچ‌های میکوریزی با افزایش رشد ریشه و گسترش هیف‌های خود (افزایش سطح جذب)، آن را از مناطق دیگر جذب کرده و در اختیار گیاه میزبان قرار می‌دهند (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). گونه‌های مختلف قارچ-های میکوریزی با استفاده از سازوکارهایی مانند افزایش جذب عناصر غذایی در منطقه فراریشه و افزایش حلالیت عناصر و تولید هورمون‌های رشد، سبب افزایش رشد و بهبود تغذیه گیاهان می‌شوند (تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳).

پژوهش حاضر نشان داد که پاسخ نهال‌های فندق هر سه مبدأ تحت تأثیر مایه‌زنی قارچ متفاوت است ولی نهال‌های مبدأ فندقلو بیش از نهال‌های مبدأ مکش و مکیدی افزایش رشد داشتند. در واقع رشد بیشتر نهال‌های مبدأ فندقلو در پژوهش حاضر را می‌توان به مشابه بودن شرایط اقلیمی، خاکی و ارتفاع از سطح دریا مبدأ نهال و محل کاشت نسبت داد. در این راستا، یافته‌های حمزه سورکی و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد نزدیکی محل جمع‌آوری بذره‌ای زبان‌گنجشک به محل کاشت، سبب افزایش پارامترهای رویشی در مقایسه با سایر پرونانس‌های بذر می‌شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه ابعاد (طول، قطر

و وزن) بذره‌ای مبدأ فندقلو در مقایسه با دو مبدأ دیگر بزرگ‌تر است و بذره‌ای درشت‌تر از ذخیره غذایی بیشتری برخوردار هستند این عامل در شرایط عرصه سبب شده است که نهال‌های مبدأ فندقلو از رشد بیشتری در مقایسه با نهال‌های برخوردار باشند. یافته‌های پژوهش حاضر با بسیاری از مطالعات، که نشان دادند ذخیره مواد بیشتر باعث استقرار و رشد رویشی بیشتر نهال می‌شود، همخوانی دارد (سیوا، ۲۰۰۰؛ بارالتو و همکاران، ۲۰۰۵؛ پیزو و همکاران، ۲۰۰۶).

نتیجه‌گیری

درنهایت، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگرچه مایه‌زنی هر دو قارچ میکوریزی در مقایسه با شاهد باعث افزایش زی توده خشک (ریشه، ساقه و برگ) و تغذیه نهال‌های فندق شده است، ولی قارچ میکوریزی *R. irregularis* در مقایسه با میکوروت توانایی بیشتری در افزایش رشد و تأمین غذایی نهال‌ها دارد. از این رو، پیشنهاد می‌شود به منظور افزایش میزان موفقیت نهال‌کاری فندق در عرصه، مایه‌زنی نهال‌های فندق (مبدأ فندقلو) با قارچ میکوریزی در نهالستان، مدنظر قرار گیرد. در صورت جمع‌آوری بذر سایر مناطق برای اهداف دیگر، مانند افزایش تنوع ژنتیکی می‌توان از بذره‌ای مناطق مکش و مکیدی هم برای تولید نهال استفاده کرد تا علاوه برافزایش موفقیت در احیاء جنگل‌های فندقلو، تنوع ژنتیکی در جنگل‌کاری‌ها و باغات فندق افزایش یابد.

فهرست منابع

۱. مراقبی، ف.، متینی زاده، م.، خانجانی شیرازی، بابا، ۱۳۸۹. همزیستی میکوریزی فندق و فعالیت اسید فسفاتاز در دو منطقه مکش و فندقلو. مجله گیاه و زیست بوم، جلد ۳، شماره ۲۴، صفحه ۲۳-۱۳.
۲. رستمی کیا، ی.، شریفی، ج. ۱۳۹۷. فندقلو بزرگترین ذخیره گاه ژنتیکی فندق در ایران را دریابید. مجله طبیعت ایران، جلد ۳، شماره ۶، صفحه ۹۹-۹۰.
۳. رستمی کیا، ی.، طبری کوچکسرای، م.، اصغرزاده، ا.، رحمانی، ا. ۱۳۹۷. اثر چینه سرمایی بر صفات جوانه‌زنی بذر سه اکوتیپ فندق جنگلی (*Corylus avellana* L.). مجله جنگل و فراورده های چوب، جلد ۷۱، شماره ۱، صفحه ۱۲-۱.

۴. رستمی کیا، ی.، متینی زاده، م.، رحمانی، ا. ۱۴۰۱. اثر مبداء بذر و تلقیح میکوریزی بر مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های فندق در منطقه فندقلو. مجله جنگل و فرآورده‌های چوب. ۷۵ جلد ۷۵، شماره ۲، صفحه ۱۵۳-۱۴۱.
۵. حمزه سورکی، م.، الوانی نژاد، س.، فیاض، ص.، اسپهبدی، ک. ۱۳۹۷. تأثیر منشا بذر بر ویژگی های جوانه زنی بذر *Fraxinus excelsior* L در نهالستان چلرومودی استان مازندران، مجموعه مقالات اولین همایش ملی جنگل در ایران، تحقیق و توسعه، ۲۷ الی ۲۸ تیرماه ۱۳۹۷، ارومیه، ایران
6. Augé, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Can. J. Soil Sci. 84:373-381.
7. Baraloto, C., Forget, P.M., and D.E. Goldberg. 2005. Seed mass, seedling size and neotropical tree seedling establishment. J. Ecol. 53: 1-10.
8. Barna, T. 2003. The role of mycorrhizae in afforestation. VIIth International symposium interdisciplinary regional research – ISIRR 2003. Hungary – Serbia & Montenegro- Romania, 25th – 26th, September,
9. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. and L. Zhang. 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. Front. Plant Sci. 10:1068.
10. Bi, Y., Xie, L., Wang, Z., Wang, K. and W. Liu. 2021. Arbuscular mycorrhizal symbiosis facilitates apricot seedling (*Prunus sibirica* L.) growth and photosynthesis in northwest China. Int. J. Coal Sci. Technol. 8: 473-482.
11. Caravaca, F., Barea, J.M., Figueroa, D. and A. Roldán. 2002a. Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reafforestation with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. Appl. Soil Ecol. 20: 107-118.
12. Caravaca, F., Barea, J.M. and A. Roldán. 2002b. Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and organic amendment on *Pistacia lentiscus* L. seedlings afforested in a degraded semiarid soil. Soil Biol. Biochem. 34 (8): 1139-1145.
13. Caravaca, F., Alguacil. M.M., Barea, J.M. and A. Roldán. 2005. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded Mediterranean ecosystem. Soil Biol. Biochem. 37(2):227-233
14. Cornell, C., Kokkoris, V., Turcu, B., Dettman, J., Stefani, F. and N. Corradi. 2022. The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* harmonizes nuclear dynamics in the presence of distinct abiotic factors. Fungal Genet Biol. 158:103639.
15. Delgado, T., Malheiro, R., Pereira, J.A. and E. Ramalhosa. 2010. Hazelnut (*Corylus avellana* L.) kernels as a source of antioxidants and their potential in relation to other nuts. Ind. Crops Prod. 32: 621-626.
16. Estaun, V., Camprub, A. and C. Calvet. 2003. Nursery and field response of olive tree inoculated with two arbuscular mycorrhiza fungi *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 128 (5): 767-775.
17. Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.
18. Hilszczanska, D., Sierota, Z. and M. Palenzona. 2008. New Tuber species found in Poland. Mycorrhiza. 18: 223-226.
19. Kandeler, E., Marschner, P., Tscherko, D., Gahoonia, T.S., Nielsen, N.E. 2002. Microbial community composition and functional diversity in the rhizosphere of maize. Plant and Soil. 238: 301-312.
20. Issac, R.A. and W.C. Johnson. 1975. Colloborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrometer. J. Assoc. Agri. Chem. 58: 336-340.

21. Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall Inc., Englewood cliffs, NJ, USA, 521 p
22. Pizo, M.A., Allmen, C.V., Patricia, L., and C. Morellato .2006. Seed size variation in the palm *Euterpe edulis* and the effects of seed predators on germination and seedling survival. *Acta Oecol.* 29: 1- 4.
23. Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *TBMS.* 55: 158-161.
24. Razouk, R., and A. Kajji. 2015. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Water Relations and Growth of Young Plum Trees under Severe Water Stress Conditions. *Int. J. Plant Sci.* 5(5): 300-312.
25. Seiwa, K. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. *Oecologia.* 123: 1-7.
26. Smith, S.E. and D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London
27. Tadesse, C. S. and A. T. Fassil. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with shade trees and *Coffea Arabica* L. in a coffee-based agroforestry system in Bonga, Southwestern Ethiopia. *Afrika Focus.* 26 (2): 111-131.
28. Sylvia, D.M. 1986. Spatial and temporal distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Uniola paniculata* in Florida foredunes. *Mycologia,* 78(5): 728-734.
29. Turjaman, M., Santoso, E., Sitepu, I. R., Tawaraya, K., Purnomo, E., Tambunan, R. and M. Osaki. 2009. Mycorrhizal fungi increased early growth of tropical tree seedlings in adverse soil. *Indones. J. For. Res.* 6 (1): 17-25.
30. Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C. and S.P.P. Reddy. 2023. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. *Plants.* 12, 3102.
31. Wang, W., Shi, J., Xie, Q., Jiang, Y., Yu, N. and E. Wang. 2017. Nutrient Exchange and Regulation in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Mol. Plant.* 10: 1147–1158.
32. Wang, M., Wang, Z., Guo, M., Qu, L. and A. Biere. 2023. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and herbivore infestation depend on availability of soil water and nutrients. *Front. Plant Sci.* 14:1101932.
33. Williams, A., Norton, D.A. and H.J. Ridgway. 2012. Different arbuscular mycorrhizal inoculants affect the growth and survival of *Podocarpus cunninghamii* restoration plantings in the Mackenzie Basin, New Zealand. 50 (4): 473-479.
34. Zhang, H., Liu, Z., Chen, H. and M. Tang. 2016. Symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi and *Robinia pseudoacacia* L. improves root tensile strength and soil aggregate stability. *PLoS ONE* 11: e0153378.
35. Zhang, H., Wei, S., Hu, W., Xiao, L. and M. Tang. 2017. Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Rhizophagus irregularis* Increased Potassium Content and Expression of Genes Encoding Potassium Channels in *Lycium barbarum*. *Front. Plant Sci.* 8:440.



اثر خاک اره صنوبر و بیوچارهای آن بر روند واجذب کادمیم در یک خاک آهکی

فهیمة بهاروندی، محمد فیضیان*، افسانه عالی نژادیان بیدآبادی و صمد عبدی

دانشجوی دکترای علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران: Baharvandi.bahar@yahoo.com

نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران: feizian.m@lu.ac.ir

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران: alinezhadian.a@lu.ac.ir

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، لرستان، ایران: Sabdi1100@yahoo.com

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۲ و پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۷

چکیده

کادمیم یکی از رایج‌ترین و خطرناک‌ترین عناصر سنگین در محیط‌زیست است، که پاک‌سازی آن از محیط‌های آبی و خاکی امری ضروری و مهم است. در پژوهش حاضر، در قالب طرح کاملاً تصادفی، اثر خاک اره و بیوچار تهیه‌شده از آن در دو دمای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس بر روند واجذب کادمیم در یک خاک لوم سیلتی، در دانشکده کشاورزی لرستان در بهار ۱۴۰۱ بررسی شد. به همین منظور خاک اره و بیوچارهای حاصل از آن در سه سطح صفر، ۲٪ و ۴٪ وزنی به یک خاک آهکی آلوده‌شده به ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم افزوده شد. نمونه‌برداری از خاک‌های تیمار شده، ۹۰ روز بعد از آلوده شدن خاک‌ها با کادمیم و خوابانیدن تحت شرایط رطوبت مزرعه، انجام گرفت. به‌منظور بررسی روند واجذب، در دوره‌های زمانی مختلف از ۵ تا ۲۸۸۰ دقیقه، نمونه‌ها به‌وسیله عصاره گیر EDTA عصاره‌گیری و غلظت کادمیم موجود در نمونه‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که کمترین میزان واجذب کادمیم در تیمار ۴٪ وزنی بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه سلسیوس بود که نسبت به شاهد به میزان ۸۰/۵٪ کاهش داشت. مقادیر کادمیم واجذب شده در خاک‌های تیمار شده با خاک اره نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. واجذب کادمیم در تمامی تیمارها در زمان‌های اولیه بیشترین مقدار بود و با گذشت زمان کاهش یافت. به‌عبارت دیگر ۵۰٪ واجذب کادمیم در ۲ ساعت اولیه رخ داد. بر اساس ضریب تعیین (۰/۹۴) و خطای استاندارد (۰/۲۳)، معادله تابع توانی به‌عنوان بهترین معادله پیش‌بینی کننده روند واجذب کادمیم در خاک موردبررسی به دست آمد؛ بنابراین در این تحقیق تیمار ۴٪ وزنی بیوچار خاک اره در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان بهترین تیمار به‌منظور کاهش آلودگی ناشی از کادمیم معرفی می‌گردد.

واژه های کلیدی: گرماکافت، خاک آلوده به کادمیوم، پاک‌سازی کادمیوم

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: feizian.m@lu.ac.ir



مقدمه

آلودگی خاک به آلاینده‌های مختلف، یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب‌کننده خاک در دنیا به شمار می‌رود که سلامت محصولات کشاورزی و متعاقب آن سلامت بشر را با خطرات جدی مواجه ساخته است (لیو و همکاران، ۲۰۱۳). آلاینده‌ها به سبب سمیت برای ریز جانداران خاک، گیاهان و در نهایت انسان مورد توجه قرار گرفته‌اند (آکوتو و همکاران، ۲۰۰۹). منشأ این آلاینده‌ها از منابع صنعتی، کودهای حیوانی، کودهای شیمیایی، پساب کارخانه‌های صنعتی لجن فاضلاب‌های شهری و علف‌کش‌ها است (خان و همکاران، ۲۰۲۰).

کادمیم فلزی نرم، انعطاف‌پذیر، به رنگ سفید و براق از گروه ۲ فرعی جدول تناوبی است. از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های محیطی منشأ گرفته از ریخته‌گری، معدن‌کاری، جوشکاری‌های صنعتی و ناخالصی موجود در زغال‌سنگ، نفت، گازوئیل و کودهای شیمیایی است که در گیاهان تجمع کرده و علاوه بر کاهش رشد گیاه، سلامت بشر را تهدید می‌کند (سان و همکاران، ۲۰۲۳). کادمیم به راحتی توسط ریشه گیاهان جذب شده و اثرات منفی بر فیزیولوژی گیاهان از جمله بر فتوسنتز، تنفس و انتقال آب دارد، همچنین مانع جذب، انتقال و جابجایی، پتاسیم، آهن، منگنز و روی در ریشه و کاهش تقسیم سلولی می‌شود (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۰). غلظت معمول کادمیم کل در خاک ۱ میکروگرم بر گرم و حد مسمومیت آن ۳-۸ میکروگرم بر گرم و حد بحرانی آن در گیاه ۵-۳۰ میکروگرم بر گرم است (سماوات و همکاران، ۱۳۸۴). تحرک و قابلیت در دسترس بودن کادمیم در خاک همچون دیگر فلزات سنگین به وسیله میزان و سرعت واکنش‌های جذب و واجذبی که در حفاصل آب و کلونیدهای خاک رخ می‌دهد کنترل می‌شود (هاشمی، ۲۰۱۲).

پالایش فلزات سنگین، برخلاف آلاینده‌های آلی که در محیط خاک قابل تجزیه می‌باشند، بسیار مشکل و هزینه‌بر است، بنابراین بررسی و مطالعه روش‌های پالایش

کم‌هزینه با کمترین اثرات زیست‌محیطی بر اکوسیستم خاک، ضروری است. تثبیت یکی از روش‌های پالایش خاک محسوب می‌شود که می‌تواند بخش‌های متحرک فلزات سنگین با قابلیت دسترسی زیاد برای موجودات زنده و گیاهان را کاهش دهد (صفاری و همکاران، ۲۰۱۵). تثبیت فلزات سنگین در خاک‌های آلوده تغییری در میزان کل عنصر نخواهد داشت، بلکه می‌تواند تغییرات مؤثری بر بخش‌های متحرک و قابل دسترس آن عنصر ایجاد کند که بررسی این تغییرات می‌تواند از طریق روش‌های مختلفی از جمله بررسی آبشویی (سان و همکاران، ۲۰۲۳)، واجذبی (صفاری، ۱۳۹۸)، تعیین شکل‌های شیمیایی عنصر (روانبخش و همکاران، ۱۳۹۰)، مقدار جذب عنصر توسط گیاه و ریز جانداران (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲) و یا شناسایی تغییرات فعالیت‌های آنزیمی به عنوان شاخص بیوشیمیایی سمیت خاک (یانگ و همکاران، ۲۰۱۱) انجام گیرد. تثبیت فلزات سنگین به وسیله بهسازیهای مختلف می‌تواند در نتیجه فرآیندهای مختلفی از جمله جذب، تشکیل کمپلکس، رسوب یا رسوب مجدد انجام شود (کیومپنی و همکاران، ۲۰۰۸). استفاده از بهسازیهای ارزان قیمت باران‌دمان بالای تثبیت، از اهداف مهم پژوهشگران در تثبیت فلزات سنگین است. در سال‌های اخیر استفاده از ضایعات کشاورزی، مانند کربن فعال (فو و همید، ۲۰۰۹) و بیوچار (لهمان و همکاران، ۲۰۱۸) به عنوان بهسازیهای مناسب برای حذف و تثبیت عناصر سنگین در محیط‌های آبی و خاکی، رو به گسترش بوده که تهدیدهای زیست‌محیطی ضایعات کشاورزی را تبدیل به فرصتی مناسب برای رفع این چالش‌ها کرده است.

بیوچار یک ماده متخلخل، غنی از کربن و ریزدانه است که از گرمادهی بقایای آلی مانند ضایعات بخش کشاورزی و صنایع چوب در دماهای ۲۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس در یک محیط بدون اکسیژن یا با میزان اکسیژن محدود به دست می‌آید (۱). سطح ویژه بالا (لایرد و همکاران، ۲۰۱۰)، ظرفیت تبادل کاتیونی قابل قبول (نیگوسی و همکاران، ۲۰۱۲) و ترکیب شیمیایی خاص

(عظیم زاده و همکاران، ۱۳۹۸) سبب شده است که بیوچار به عنوان یک جاذب ارزان قیمت برای حذف آلاینده‌های آلی و غیرآلی در محیط زیست معرفی شود (لی‌ئو و همکاران، ۲۰۱۸). راندمان این بهساز در تثبیت فلزات سنگین در خاک با توجه به خصوصیات مختلف آن (تفاوت در نوع ماده اولیه، دمای تهیه آن و زمان گرمادهی) و نوع خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حتی کانی‌شناسی خاک بسیار متفاوت گزارش شده است (چانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، هدف از این پژوهش بررسی و مقایسه اثرات خاک اره (ضایعات فراوان و بدون استفاده‌ی کارگاه‌های چوب‌بری و مبل‌سازی شهرستان خرم‌آباد) و بیوچارهای حاصل از آن در دو دمای مختلف به عنوان بهسازهای آلی، بر میزان رهاسازی کادمیم در یک خاک آهکی است.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این آزمایش، مقدار کافی خاک از افق سطحی صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (Typic calcixerept) با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح

دریا در بهار ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (بایکاس، ۱۹۶۲)، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی (روآدس و همکاران، ۱۹۹۶)، pH در خمیر اشباع توسط دستگاه pH متر (توماس و همکاران، ۱۹۹۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (چاپمن و همکاران، ۱۹۶۵)، همچنین، مقدار ماده آلی با روش اکسایش مرطوب (نلسون و سومر، ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (الیسون و مودی، ۱۹۶۵)، فسفر قابل استفاده با روش بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار در pH حدود ۸/۵ (اولسون و همکاران، ۱۹۵۴)، نیتروژن کل با روش کج‌جلدال (برمنر و همکاران، ۱۹۹۶)، پتاسیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم (هلماک و اسپارکس، ۱۹۹۶) و عناصر کم مصرف و کادمیم با روش عصاره‌گیری با DTPA و تعیین غلظت با دستگاه جذب اتمی (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی (واحد)	مقدار
بافت	لوم سیلتی
سیلت (%)	۲۱
شن (%)	۵۲
رس (%)	۲۷
نیتروژن کل (%)	۰/۰۹
فسفر قابل دسترس (mg/kg)	۱۲
پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)	۲۶۳
آهن قابل استفاده (mg/kg)	۴/۶۸
روی قابل استفاده (mg/kg)	۱/۰۳
مس قابل استفاده (mg/kg)	۱/۱۰
منگنز قابل استفاده (mg/kg)	۸/۳۱
کربن آلی (%)	۰/۶۴
کربنات کلسیم معادل (%)	۲۱/۳
pH	۷/۸۵
قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m)	۰/۲۶
ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol/kg)	۱۹/۵
کادمیم	غیر قابل قرائت
ظرفیت زراعی (%)	۲۹

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار

برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار ابتدا از الک نیم میلی‌متر عبور داده و جمع‌آوری شدند. سپس برخی خصوصیات آن مانند pH در نسبت ۱:۲۰ بیوچار به آب (راچکویچ و همکاران، ۲۰۱۱)، هدایت الکتریکی (راچکویچ و همکاران، ۲۰۱۱)، کربن کل، نیتروژن کل و هیدروژن کل به روش سوزاندن خشک (BS EN 15104: SASTM D5219) دستگاه ECS 4010 CHNSO Analayzer در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان اندازه‌گیری گردیدند.

برای اندازه‌گیری مقادیر فسفر، پتاسیم و کادمیم کل بقایای اولیه و بیوچارهای تولیدشده، مقدار ۱ گرم از آن را وزن نموده و به‌وسیله حرارت دهی در کوره، با دمای ۵۵۰ درجه خشک کرده و سپس به مدت ۸ ساعت نگهداری شد. عصاره‌گیری از خاکستر با اسید کلریدریک دو مولار انجام شد. برای این کار به کروزه چینی حاوی خاکستر ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو مولار اضافه شد بعد از حل کردن در اسید با میله شیشه‌ای با آب مقطر جوشیده به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد و بعد از سرد شدن با آب مقطر به حجم رسانده شد. غلظت عناصر

برای تهیه بیوچارها از ضایعات صنایع چوب (خاک اره) شهرستان خرم‌آباد استفاده شد. نمونه‌ها با آب مقطر شسته شده و به مدت دو روز در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در گرمخانه قرار گرفتند. سپس این نمونه‌ها در ظروفی دربسته، فشرده‌شده و برای انجام فرآیند گرماکافت^۱ به‌صورت جداگانه به کوره الکتریکی، تحت گاز نیتروژن به مدت ۴ ساعت در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند (کیم و همکاران، ۲۰۱۲). دمای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس به این دلیل انتخاب‌شده که در دمای کمتر از ۳۰۰ همه مواد آلی به دلیل کم بودن حرارت به بیوچار تبدیل نمی‌شود و بالاتر از ۶۰۰ درجه سلسیوس عملکرد به دلیل تولید محتوای زیاد خاکستر بشدت کاهش می‌یابد (لوا و همکاران، ۲۰۰۴). به‌منظور ایجاد شرایط فاقد اکسیژن، گاز نیتروژن با جریان ۲۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه به درون کوره برقی تزریق شد. ظرفیت کوره مذکور ۲/۵ کیلوگرم بوده و در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز است. پس از طی فرایند گرماکافت بیوچارهای حاصل در دمای اتاق سرد شده و به‌منظور انجام آزمایش‌های بعدی در ظروفی درپوش‌دار نگهداری شدند.

¹ Pyrolysis

با دستگاه فلیم فتومتر، اسپکتروفوتومتر و جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Rowell 1999).

ظرفیت تبادل کاتیونی بالقوه بیوچار، به روش استات آمونیوم اصلاح شده یک مولار ($\text{pH} = 7$) اندازه‌گیری گردید (گاسکین و همکاران، ۲۰۰۸). قبل از شروع استخراج ظرفیت تبادل کاتیونی، ابتدا نمونه‌های بیوچار برای کاهش تداخل نمک‌های محلول با آب مقطر شسته شدند. سپس ۱ گرم بیوچار (از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شده) در داخل یک لوله سانتریفوژ ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به آن ۱۰ میلی‌لیتر استات سدیم یک نرمال بافر شده در ($\text{pH} = 7$) اضافه گردید، سپس پنج دقیقه با ۱۸۰ دور در دقیقه تکان داده شد و پنج دقیقه سانتریفوژ گردید، محلول صاف رویی بعد از عبور از کاغذ صافی واتمن دور ریخته شد. این کار سه بار تکرار گردید تا اطمینان حاصل شود که مکان‌های تبادل با یون سدیم اشباع شده بودند. سپس نمونه بیوچارها برای حذف سدیم-های اضافی سه بار با اتانول شستشو داده شدند تا هدایت الکتریکی محلول رویی به کمتر از ۴۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر برسد. بعد از آن ۱۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم یک نرمال بافر شده در ($\text{pH} = 7$) اضافه گردید و پس از پنج دقیقه تکان دادن و پنج دقیقه سانتریفوژ کردن در ۳۰۰۰ دور در دقیقه، محلول زلال روئین جمع‌آوری شد. این کار

دو بار دیگر تکرار گردید. در نهایت غلظت سدیم در محلول استخراج شده، با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Gaskin et al. 2008).

$$(1) \quad \text{CEC (cmol kg}^{-1}\text{)} = (\text{میلی‌اکی‌والان سدیم})$$

جرم بیوچار / ۱۰۰ × در بالن

برای تعیین سطح ویژه بیوچار به روش تیتراسیون، بر روی ۱/۵ گرم از بیوچارها مقداری آب مقطر افزوده و pH سوسپانسیون با اسید کلریدریک بین ۳ تا ۳/۵ تنظیم شد. ۳۰ گرم سدیم کلرید به سوسپانسیون اضافه کرده و با آب مقطر به حجم ۱۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس سوسپانسیون با NaOH ۰/۱ نرمال تیتراژ شد. سطح ویژه (S) از طریق حجم سود مصرف شده (V) برای رساندن pH محلول از ۴ به ۹، با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (گوس و دینس، ۲۰۰۹).

$$(2) \quad S = 32 V - 25$$

برخی خصوصیات بهسازیهای مورد استفاده در این آزمایش در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های بهسازیها

خصوصیت	خاک اره	بیوچار خاک اره ۳۰۰ درجه سلسیوس	بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه سلسیوس
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	۲۳۰	۳۲/۵۳	۲۴/۹۴
pH	۵/۵۹	۷/۱۱	۷/۶۷
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۲/۴۸	۰/۰۵	۰/۰۹
سطح ویژه (سانتی‌متر مربع بر گرم)	۷۰	۲۱۹	۲۶۶
ازت کل (%)	۱/۱	۰/۳۲	۰/۷۵
کربن کل (%)	۴۸/۲۲	۶۴/۰۲	۶۸/۸۸
هیدروژن (%)	-	۳/۸۹	۲/۷۰
فسفر (%)	۰/۶۴	۲/۱۶	۳/۲۵
پتاسیم (%)	۰/۴۷	۶/۳۰	۱۰/۸۷
C/N	۴۳/۸	۲۹۱	۹۱/۸۴
کادمیم	غیرقابل تشخیص	غیرقابل تشخیص	غیرقابل تشخیص

اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت زراعی به روش توزین

برای تعیین رطوبت ظرفیت زراعی خاک هر تیمار از روش وزنی استفاده شد. برای این کار در یک گلدان با زهکش مناسب مقدار مشخصی خاک ریخته شد و بعد از اشباع کردن نمونه‌ها با آب اجازه داده شد تا آب گلدان کاملاً زهکشی شود. بعد از خروج آب ثقیلی میزان رطوبت باقیمانده به وسیله آن اندازه‌گیری شد و به عنوان رطوبت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد.

اعمال تیمارها و فرایند خوابانیدن

به منظور تعیین اثربخشی بهسازهای مورد مطالعه (جدول ۳) بر میزان واجذب کادمیم در نمونه خاک تهیه شده، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار انجام شد. به منظور آلوده‌سازی نمونه خاک به کادمیم، ۵ کیلوگرم خاک تهیه شده بر روی سطح صاف و

پلاستیکی تمیزی به صورت یکنواخت پخش شد و محلول ۱۰۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک تهیه شده از منبع نیترات کادمیم، بر روی سطح آن اسپری و بعد از خشک شدن، به صورت کامل مخلوط و درون کیسه پلاستیکی به مدت ۲ ماه (به منظور ایجاد تعادل کادمیم با خاک)، در شرایط رطوبتی ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. سپس سه تیمار خاک اره (W) و بیوچار خاک اره تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (BW₃₀₀) و بیوچار خاکاره تهیه شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس (BW₆₀₀) در سه سطح (صفر، ۲ و ۴ درصد وزنی) با سه تکرار به ۲۰۰ گرم از خاک آلوده شده به صورت جداگانه افزوده و کاملاً مخلوط شد و به مدت ۳ ماه دیگر در کیسه نایلونی در شرایط رطوبتی ظرفیت مزرعه (به روش توزین) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در گلخانه خوابانیده شد. لیست تیمارهای اعمال شده به خاک در جدول ۳ زیر آمده است.

جدول ۳ - مشخصات نمونه‌های مورد بررسی در پژوهش

ردیف	شرح نمونه‌ها
۱	تیمار شاهد (Control)
۲	تیمار خاکاره ۲ درصد (W _{2%})
۳	تیمار خاکاره ۴ درصد (W _{4%})
۴	تیمار بیوچار خاک اره ۳۰۰ درجه ۲ درصد (BW ₃₀₀ _{2%})
۵	تیمار بیوچار خاک اره ۳۰۰ درجه ۴ درصد (BW ₃₀₀ _{4%})
۶	تیمار بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه ۲ درصد (BW ₆₀₀ _{2%})
۷	تیمار بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه ۴ درصد (BW ₆₀₀ _{4%})

روند واجذب کادمیم

به منظور انجام فرایند روند واجذب کادمیم، نمونه‌های ۵ گرمی خاک در لوله‌های سانتیفریوژ ۵۰ میلی - لیتری ریخته و سپس ۲۵ میلی لیتر از عصاره EDTA ۰/۰۱ مولار (دنگ و همکاران، ۱۹۹۴) به نمونه‌ها افزوده و در دستگاه تکان دهنده به صورت جداگانه و برای دوره‌های زمانی (۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۴۸۰، ۹۶۰ و ۱۴۴۰ و ۲۸۸۰ دقیقه) با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه تکان داده شدند. پس از پایان هر زمان تکان دادن، لوله‌ها در دستگاه گریز از مرکز در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد و محلول زلال رویی از کاغذ صافی عبور داده شد و سپس غلظت کادمیم عصاره‌گیری شده توسط

دستگاه جذب اتمی مدل Buck Scientific 210 VGP

اندازه‌گیری شد. معادله‌های مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، مرتبه سوم، تابع توانی، الویچ ساده شده و پخشیدگی سهموی برای پیش‌بینی توصیف روند واجذب کادمیم مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۴). معادلاتی که دارای بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد هستند به عنوان بهترین معادلات پیش‌بینی کننده روند واجذب عنصر کادمیم در خاک انتخاب شدند. سپس ضرایب مربوط به معادلات با قدرت پیش‌بینی بالا محاسبه و میانگین این ضرایب بین تیمارهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

ضریب تعیین که به آن ضریب تشخیص نیز گفته می‌شود (Coefficient of Determination) و تقریباً همه جا با علامت R^2 نمایش داده می‌شود، معروف‌ترین معیار سنجش نیکویی برازش مدل است و عبارت است از: مجذور ضریب همبستگی بین $\hat{Y}$ و y یعنی توان دوم ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی متغیر وابسته و مقادیر برآورد شده حاصل از مدل. این ضریب توسط معادله ۳ محاسبه می‌شود که در آن $\bar{Y}$ میانگین مقادیر است (Chicco et al., 2021).

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

پس از به دست آوردن داده‌های حاصل از تجزیه آزمایشگاهی، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل، و اشکال با Excel ترسیم شدند. خطای استاندارد با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$SE = \left[\frac{\sum (qt - qt^*)^2}{n - 2} \right]^{0.5} \quad (3)$$

که در این رابطه qt مقدار فلز آزاد شده (mg kg^{-1}) در زمان t (ثانیه)، qt^* مقدار فلز برآورد شده (mg kg^{-1}) از معادلات سرعت در زمان t (ثانیه) و n تعداد مشاهدات است.

جدول ۴- معادلات مورد استفاده در بررسی روند واجذب کادمیم

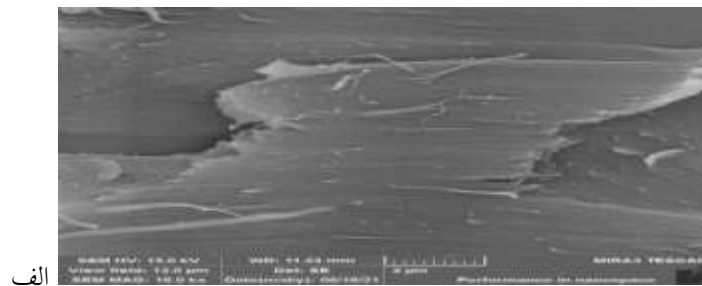
ردیف	مدل	معادله‌ها	ضرایب
۱	مرتبه صفر	$q_t = q_0 - k_0 t$	K_0 ثابت سرعت واجذب ($\text{mg kg}^{-1} \text{s}^{-1}$)
۲	مرتبه اول	$\ln q_t = \ln q_0 - k_1 t$	k_1 ثابت سرعت واجذب (s^{-1})
۳	مرتبه دوم	$1/q_t = 1/q_0 - k_2 t$	k_2 ثابت سرعت واجذب ($(\text{mg kg}^{-1})^{-1}$)
۴	مرتبه سوم	$1/q_t^2 = 1/q_0^2 - k_3 t$	k_3 ثابت سرعت واجذب ($(\text{mg kg}^{-1})^{-2} \text{s}^{-2}$)
۵	پخشیدگی سهموی	$q_t = q_0 - k_p t^{1/2}$	k_p ثابت سرعت واجذب ($(\text{mg kg}^{-1})^{0.5}$)
۶	الووج ساده شده	$q_t = 1/\beta \ln(\alpha_s \beta_s) + (1/\beta_s) \ln t$	α_s ، β_s و $(\text{mg kg}^{-1} \text{s}^{-1})$ ، ثابت‌های معادله.
۷	تابع توانی	$q_t = at^b$	a ، b و $(\text{mg kg}^{-1} \text{s}^{-1})$ ، ثابت‌های معادله

q_0 : مقدار عنصر آزاد شده در زمان شروع (ثانیه)، q_t : مقدار عنصر آزاد شده در زمان t (ثانیه)

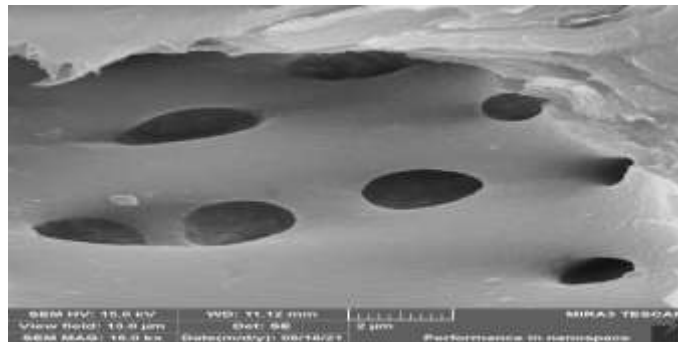
مرفولوژی سطح بیوپاراها و زیست‌توده‌های مورد استفاده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

مورفولوژی سطح نمونه‌های بیوپار و زیست‌توده‌های مورد استفاده با کمک تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی^۲ بررسی شد (شکل ۱).

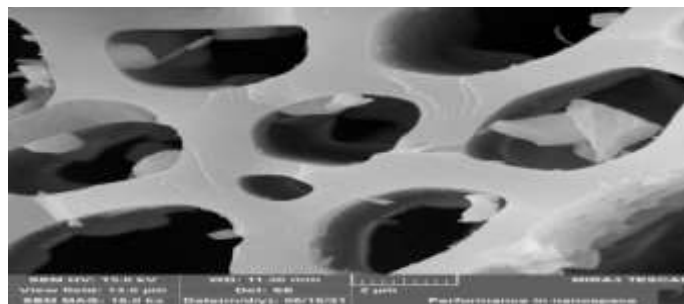
² Scanning Electron Microscopy



الف



ب



ج

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از (الف) زیست توده خاکاره، بیوچارهای خاکاره تولید شده در دماهای (ب) ۳۰۰ و (ج) ۶۰۰ درجه سلسیوس

نتایج و بحث

مورفولوژی سطح بهسازهای مورد مطالعه

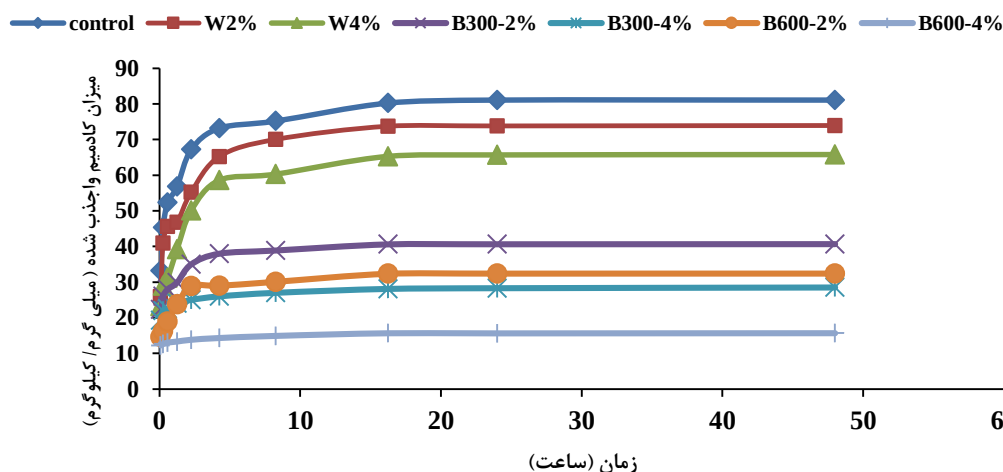
شکل (۱) تغییرات مورفولوژیکی بهسازهای مورد مطالعه متأثر از فرایند گرماکافت را نشان می دهد. بر اساس نتایج، بیوچارهای تولید شده از خاکاره نسبت به ماده اولیه خود افزایش قابل توجهی در میزان تخلخل داشته اند. علت این تغییرات را می توان به خروج بخار آب، مواد قیر مانند قهوه ای رنگ، مواد فرار، گازها (CO_2 , CH_4)، بر اثر حرارت دهی در طی فرایند گرماکافت (CO , NH_3) مرتبط دانست (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۶). نوع ماده اولیه نیز در میزان تخلخل تأثیرگذار است، به نحوی که معمولاً مواد مبتنی بر پایه چوب (خاکاره)

نسبت به مواد علفی (کاه و کلش گندم و برگ درختان) تولید زغال زیستی با منافذ درشت تر می نمایند (هوان پارک و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین هرچه میزان گرمادهی در طی فرایند گرماکافت بیشتر باشد، بیوچار تولیدی دارای درصد تخلخل بالاتری است. در گرماکافت ۳۰۰ درجه سلسیوس سلولز و همی سلولز تجزیه شده اما در گرماکافت ۶۰۰ درجه سلسیوس علاوه بر سلولز و همی سلولز، لیگنین نیز تجزیه و تخریب شده و ترکیبات حلقوی پایدارتر و به دنبال آن تخلخل بالاتری ایجاد می گردد (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۶).

روند واجذب کادمیم

الگوی دوفازی است. در بررسی مقدار تجمعی کادمیم واجذب شده به‌وسیله‌ی عصاره‌گیری در خاک مورد مطالعه، نشان داد که باگذشت زمان (۵ تا ۲۸۸۰ دقیقه) مقدار واجذب افزایش یافته است (شکل-۲).

تغییرات به وجود آمده از واجذب کادمیم در طول زمان در خاک‌های تیمار شده نشان داد که الگوی واجذب این عنصر در همه نمونه‌ها یکسان و دارای



شکل ۲- واجذب تجمعی کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های تیمار شده

تغییرات حاصل شده از میزان کادمیم آزاد شده در خاک‌های تیمار شده نسبت به خاک شاهد (سطح صفر به‌ساز) نشان از اثرات مثبت به‌سازهای مورد استفاده در تثبیت کادمیم دارد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد استفاده بر واجذب کادمیم در زمان‌های مختلف، نشان از معنی‌دار بودن این تیمارها در همه زمان‌های مورد بررسی، در سطح یک درصد از آزمون دانکن دارد (جدول ۵).

ایجاد الگوی دوفازی در بسیاری از مطالعات انجام شده بر واجذب فلزات سنگین در زمان‌های مختلف گزارش شده است (صفاری و همکاران، ۲۰۱۶). قاسمی فسایی و جراح (۲۰۱۳) در بررسی روند واجذب روی و کادمیم در ده خاک آهکی نشان دادند که الگوی جذب هر دو عنصر در ابتدای واجذب (دو ساعت ابتدایی) سریع بوده و بعد از آن کاهش نشان داده است. همچنین آنان معادله تابع توانی را به‌عنوان بهترین معادله جهت پیش‌بینی واجذب کادمیم در خاک‌های آهکی معرفی کردند.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر واجذب کادمیم در زمان‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	T ₅	T ₁₅	T ₃₀	T ₆₀	T ₁₂₀	T ₂₄₀	T ₄₈₀	T ₉₆₀
تیمار	۶	۸/۱۷**	۶/۵۹**	۶/۴۹**	۶/۷۹**	۳/۶۸**	۸/۶**	۹/۵۱**	۳/۵**
خطا	۲۰	۰/۸	۰/۴	۰/۳	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۸
CV (%)	-	۴/۹	۶/۶	۹/۵	۱۰/۲	۱۴/۱	۱۰/۷	۸/۵	۱۵/۷

T: زمان‌های روند واجذب کادمیم؛ ** معنی‌دار در سطح یک درصد، CV: ضریب تغییرات

کادمیم مربوط به نمونه شاهد (۸۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم به‌صورت تجمعی) و کمترین میزان واجذب کادمیم مربوط به تیمار B600₄ (۱۵/۶۴ میلی‌گرم

بر اساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین مقادیر کادمیم واجذب شده در زمان‌های مختلف (جدول ۶)، در همه زمان‌های واجذب، بیشترین میزان از رهاسازی

بر کیلوگرم کادمیم به صورت تجمعی) بود. سرعت واجذب در ابتدا و در زمان‌های اولیه (۲ ساعت اولیه) سریع بوده و سپس باگذشت زمان واجذب با سرعت کمتری (۸ ساعت) و در نهایت رسیدن به تعادل در نمونه‌های تیمار شده و نمونه شاهد مشاهده گردید. گزارش‌های متعددی نشان داده است که بیشترین قابلیت دسترسی عناصر بلافاصله پس از افزودن آن عنصر به خاک به دست می‌آید و باگذشت زمان از میزان قابلیت دسترسی آن عنصر کم می‌شود (جلیلی و رستمی، ۲۰۱۱). کندپال و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه واجذب فلزات سنگین از خاک‌های آلوده بیان کردند که الگوی واجذب به صورت کلی با یک واکنش اولیه سریع که به وسیله یک واکنش

کندتر ادامه می‌یابد، مشخص می‌شود. واجذب اولیه سریع فلزات سنگین از خاک مشخص‌کننده واجذب این فلزات از اجزای محلول در آب و همچنین از سایت‌های جذبی بانرژی پیوندی ضعیف است در حالیکه واجذب کند فلزات مشخص‌کننده واجذب فلزات از سایت‌های بانرژی پیوند نسبتاً زیاد است. افزودن خاک‌اره و بیوچار آن به خاک منجر به کاهش واجذب کادمیم در تمام زمان‌های عصاره‌گیری نسبت به شاهد شده است، در بین تیمارهای اعمال شده، تیمارهای $B600_{4\%}$ ، $B600_{2\%}$ ، $B300_{4\%}$ ، $B300_{2\%}$ ، $W_{4\%}$ و $W_{2\%}$ و نمونه شاهد، به ترتیب کمترین به بیشترین میزان از واجذب کادمیم را نشان دادند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات بهسازیهای مختلف در زمان‌های متفاوت از روند واجذب کادمیم (میلی گرم بر کیلوگرم)

تیمار	T5	T15	T30	T60	T120	T240	T480	T960
control	۲۸/۳۴ ^a	۱۶/۳۳ ^a	۱۳/۶۷ ^a	۵/۳۲ ^a	۴/۷۱ ^a	۴/۴۹ ^a	۳/۹ ^a	۳/۵۱ ^a
$W_{2\%}$	۲۷/۳۳ ^a	۱۵/۶۱ ^a	۱۱/۱۰ ^b	۴/۶۴ ^b	۴/۱۰ ^b	۳/۸۰ ^b	۳/۶۰ ^b	۳/۵۳ ^b
$W_{4\%}$	۲۴/۲۲ ^b	۱۴/۳۲ ^b	۸/۳۳ ^c	۴/۱۳ ^{bc}	۳/۹۰ ^b	۳/۶۰ ^b	۳/۵۱ ^b	۳/۲۳ ^a
$B300_{2\%}$	۱۸/۳۳ ^c	۸/۴۵ ^d	۴/۳۳ ^d	۳/۱۱ ^d	۱/۹۱ ^d	۱/۷۱ ^e	۱/۵۰ ^e	۱/۳۱ ^d
$B300_{4\%}$	۱۳/۱۳ ^d	۶/۶۰ ^e	۳/۱۱ ^e	۱/۳۰ ^{ef}	۱/۲۱ ^e	۱/۰۱ ^f	۰/۹۰ ^f	۰/۸۰ ^e
$B600_{2\%}$	۱۷/۲۱ ^c	۷/۴۰ ^{ed}	۲/۹۱ ^{ef}	۱/۶۳ ^e	۱/۲۷ ^e	۰/۷۰ ^{fg}	۰/۶۳ ^g	۰/۶۱ ^{ef}
$B600_{4\%}$	۷/۴۳ ^e	۴/۲۵ ^f	۱/۵۴ ^g	۰/۸۲ ^{fg}	۰/۵۱ ^f	۰/۵۰ ^g	۰/۴۰ ^g	۰/۲۱ ^f

T: زمان‌های روندی واجذب کادمیم (دقیقه). تیمار شاهد (Control)، تیمار خاک اره ۲ درصد ($w_{2\%}$)، تیمار خاک اره ۴ درصد ($w_{4\%}$)، تیمار بیوچار خاک اره ۳۰۰ درجه ۲ درصد ($BW300_{2\%}$)، تیمار بیوچار خاک اره ۳۰۰ درجه ۴ درصد ($BW300_{4\%}$)، تیمار بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه ۲ درصد ($BW600_{2\%}$)، تیمار بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه ۴ درصد ($BW600_{4\%}$) حروف آماری اختلاف آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد را در هر ستون نشان می‌دهند.

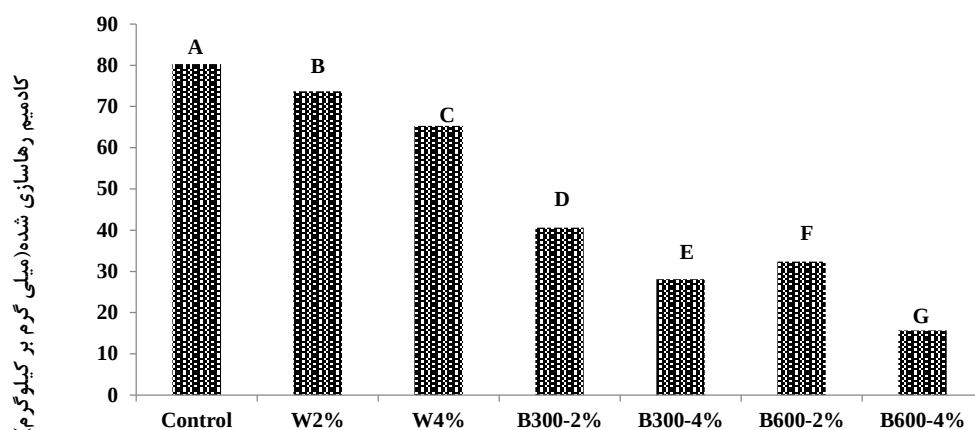
شکل (۳) مقادیر نهایی کادمیم واجذب شده از نمونه‌های تیمار شده و شاهد را نشان می‌دهد. بر این اساس، کاربرد $B600$ در دو سطح ۲ و ۴ درصد وزنی نسبت به سایر تیمارها، کاهش قابل توجهی از واجذب کادمیم را شامل شده است. کاربرد $B600$ در سطح ۲ درصد هرچند کاهش قابل ملاحظه‌ای از واجذب کادمیم نسبت به نمونه شاهد را داشته است، اما در مقایسه با تیمار $B300$ در سطح ۴ درصد، نتوانسته نقش مناسبی از تثبیت کادمیم را ایفا کند. به طور کلی، کاربرد $B600$ در سطح ۲ و ۴ درصد، به ترتیب سبب کاهش ۵۹/۶۹ و ۸۰/۵ درصدی واجذب کادمیم به صورت تجمعی نسبت به شاهد شد. نتایج به دست آمده از کاربرد بهساز $B300$ در سطح ۲ و ۴ درصد، به ترتیب نشان از کاهش ۴۹/۳۸ و ۶۵ درصدی از واجذب کادمیم نسبت به شاهد، داشت. در طرف مقابل

کاربرد خاک اره (W) در خاک مورد مطالعه، کمترین تغییرات را در کاهش واجذب کادمیم دارا بود، به نحوی که کاربرد این بهساز در سطوح ۲ و ۴ درصد به ترتیب سبب کاهش ۸/۱۵ و ۱۸/۶۴ درصد از کادمیم رهاسازی شده نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۳). میزان کادمیم تجمعی آزاد شده از خاک‌های تیمار شده نشان می‌دهد که با افزایش سطوح بهسازها میزان واجذب کادمیم کاهش بیشتری نشان می‌دهد که این کاهش، در بیوچار بیشتر از ماده آلی اولیه است. مینداز و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر بیوچار ضایعات کاغذسازی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در سطح ۴ درصد وزنی بر تثبیت نیکل و کادمیم در خاک‌های آلوده نشان دادند که کاربرد بیوچار سبب کاهش تحرک و قابلیت دسترسی این فلزات سنگین در خاک شده است. دیانت مهارلویی و فکری (۱۳۹۹)

روند واجذب کادمیم در حضور کمپوست پوست نرم بادام و بیوچار آن در یک خاک آهکی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که کاربرد کمپوست و بیوچار پوست بادام باعث کاهش واجذب کادمیم نسبت به تیمار شاهد می‌شود، همچنین کمترین میزان واجذب کادمیم در خاک، در سطح ۴ درصد وزنی بیوچار و کمپوست رخ داد، در حالیکه بیوچار بیشترین کاهش را در میزان واجذب کادمیم در مقایسه با کمپوست نشان داد. پیلیرا و گیداراکوس (۲۰۱۵) در بررسی اثر بیوچار (تولید شده در دمای ۴۰۰ و ۷۰۰ درجه سلسیوس) حاصل از پوسته زیتون بر تحرک کادمیم در خاک، نشان دادند که کاربرد بیوچار سبب افزایش جذب و کاهش واجذب این عناصر در خاک شد که این کاهش واجذب در نتیجه کاربرد بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس مؤثرتر بود. این پژوهشگران همچنین بیان کردند که کاربرد بیوچار به دلیل افزایش pH خاک، نه تنها سبب جذب این عنصر بر روی سطوح خاک شد، بلکه بر اثر افزایش pH تشکیل رسوب این عناصر نیز صورت گرفته است.

در طی تولید بیوچار، مواد آلی تجزیه شده و مقدار کربنات افزایش می‌یابد و در دامنه وسیعی گروه‌های عاملی مانند COO^- و O^- در سطح بیوچار ایجاد می‌شوند (کیم و همکاران، ۲۰۱۵)؛ بنابراین پس از پیرولیز، بیوچار به مواد قلیایی تبدیل می‌شوند که با اضافه شدن به خاک pH خاک را افزایش می‌دهند و بارهای سطحی منفی ایجاد می‌شوند که کاتیون‌ها می‌توانند جذب شوند (یان و همکاران، ۲۰۱۱). اثر بیوچار روی تثبیت فلزات سنگین در خاک ممکن است تحت تأثیر شرایط پیرولیز و مقادیر کاربرد بیوچار قرار گیرد. از آنجایی که بیشتر بیوچارها دارای سطح ویژه بالا، ساختار متخلخل، pH بالا

و برخی نمک‌های محلول هستند، آن‌ها می‌توانند به‌طور قابل توجهی حلالیت فلزات سنگین در خاک را از طریق جذب سطحی و رسوب کاهش دهند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). دلیل اصلی افزایش pH خاک با کاربرد بیوچار مربوط به کربنات‌های عناصر قلیایی موجود در آن است (سانگ و گو، ۲۰۱۲). مصرف بیوچار علاوه بر افزایش pH خاک، میزان کربن آلی خاک را نیز افزایش می‌دهد افزایش pH خاک با مصرف بیوچار به دلیل وجود فلزات قلیایی مانند پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم در بخش خاکستر بیوچار است که به راحتی در محلول خاک حل شده، باعث افزایش pH خاک می‌شوند (گال و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش pH خاک در نتیجه افزودن بیوچار باعث افزایش برخی از گروه‌های عاملی اکسیژن و یا سطوح فسفر که دلیل اصلی تشکیل لیگاندها به منظور غیرمتحرک شدن فلزات سمی در خاک می‌باشند، می‌شود (کائو و همکاران، ۲۰۱۱). می‌توان گفت که احتمالاً افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و توانایی تشکیل کمپلکس‌های درونی می‌تواند دلیلی بر این روند کاهشی واجذب باشد. ماده آلی نقش مهمی در واکنش‌های فلزات به وسیله فراهم کردن بار منفی وابسته به pH، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و مهم‌تر از آن گرایش فلزات برای تشکیل کمپلکس‌های محلول با لیگاندهای آلی است. به‌طور کلی نتایج حاصل از اثر بهسازهای مختلف در تثبیت کادمیم در خاک مورد مطالعه، نشان از اثر مثبت بیوچار دمای ۶۰۰ به بیوچار دمای ۳۰۰، به دلیل افزایش تخلخل بیشتر (در اثر حرارت بالاتر در زمان تشکیل) و به دنبال آن احتمالاً افزایش سطح ویژه، همچنین برتری بسیار واضح بیوچار نسبت به ماده آلی اولیه خود است.



نمونه خاک های تیمار شده

شکل ۳- مقدار کادمیم تجمعی آزادشده در نمونه خاک های تیمار شده در زمان انتهایی آزمایش (۹۶۰ دقیقه) تیمار شاهد (Control)، تیمار خاک اره ۲ درصد (w2%)، تیمار خاک اره ۴ درصد (w4%)، تیمار بیوچار خاک اره ۳۰۰ درجه ۲ درصد (BW3002%)، تیمار بیوچار خاک اره ۳۰۰ درجه ۴ درصد (BW3004%)، تیمار بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه ۲ درصد (BW6002%)، تیمار بیوچار خاک اره ۶۰۰ درجه ۴ درصد (BW6004%) حروف آماری اختلاف آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد را نشان می دهند.

مقایسه معادلات روند واجذب کادمیم

مقادیر ضریب تعیین (R^2) و خطای استاندارد (SE) حاصل از برازش داده های واجذب کادمیم با معادلات مورد استفاده برای خاک ۹۰ روز بعد از خوابانیدن تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده در جدول ۷ نشان داده شده است. تعیین بهترین معادلات معمولاً بر اساس ضریب تعیین (R^2) و خطای استاندارد (SE) صورت می گیرد، به عبارت دیگر معادلاتی که ضریب تعیین زیاد و خطای استاندارد کم داشته باشند به عنوان معادلاتی که سرعت واجذب کادمیم را بهتر توصیف می کنند، انتخاب می شوند. نتایج به دست آمده از این معادلات برای خاک تحت تأثیر تیمارهای بیوچار خاک اره تهیه شده در دمای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس و خود خاک اره نشان می دهد که معادلات مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم و مرتبه سوم به دلیل کم بودن مقادیر ضریب تعیین قادر به پیش بینی قابل قبولی از واجذب کادمیم در نمونه های خاک نیست. برازش داده های واجذب کادمیم از خاک ها با معادله پخشیدگی سهموی نشان می دهد که به دلیل ضریب تعیین کم و خطای استاندارد برآورد نسبتاً زیاد، این معادله نمی تواند معادله مناسبی برای توصیف واجذب کادمیم از خاک های مورد مطالعه باشد و بر اساس مقادیر به دست آمده از ضریب تعیین و خطای استاندارد برآورد، معادلات تابع توانی به عنوان بهترین معادله توصیف کننده

روند واجذب کادمیم معرفی شد (جدول ۶) هر چند که معادله الویچ ساده دارای ضریب تعیین مشابه با تابع توانی است اما به دلیل خطای استاندارد برآورد زیاد نتوانست به عنوان معادله مناسب جهت بررسی روند واجذب کادمیم استفاده شود. ایسفود و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی واجذب کادمیم در ۱۵ خاک آلوده شده به کادمیم نشان دادند که معادلات پخشیدگی سهموی، تابع توان و الویچ ساده توانایی خوبی برای پیش بینی واجذب کادمیم در این خاک ها را دارند. مقادیر ثابت های سرعت α_s و β_s معادله ی الویچ در خاک تغییرات زیادی را نشان می دهد (جدول ۶). افزایش مقدار β_s و کاهش مقدار α_s نشان دهنده کاهش سرعت واجذب کادمیم است و با افزایش β_s سرعت واجذب کاهش پیدا می کند مقدار α_s در خاک هایی که واجذب کمتری دارند مقدار کمتری نشان می دهد و ثابت α_s پارامتر مفیدی برای پیش بینی قابلیت دسترسی عناصر در خاک است این نتایج نشان می دهد که کاربرد سطوح بالاتر بیوچار در خاک سبب کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در خاک می شود (دنگ و همکاران، ۱۹۹۴). ضرایب a و b در تابع توانی مربوط به بیوچارهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت که نشان دهنده کاهش واجذب کادمیم بوده است؛ که احتمالاً افزایش در مقدار ضریب a در معادله تابع توان نشان دهنده افزایش در میزان واجذب عناصر در خاک است (دنگ و همکاران،

۱۹۹۴). همچنین مقادیر ثابت‌های K_p و q_0 از معادله
پخشیدگی سهموی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است
که بیانگر کاهش و جذب کادمیم در نمونه‌های تیمار شده

جدول ۷- ضریب‌های ثابت، ضریب‌های تعیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE) معادلات روندی و جذب کادمیم

در خاک تیمار شده با بهسازها							
Control	$W_{2\%}$	$W_{4\%}$	BW300 _{2\%}	BW300 _{2\%}	BW600 _{2\%}	BW600 _{2\%}	BW600 _{2\%}
مرتبه صفر Zero order	q_0	k_0	R^2	SE			
مرتبه یک First order	q_0	k_1	R^2	SE			
مرتبه دوم Second order	q_0	k_2	R^2	SE			
مرتبه سوم Third order	q_0	k_3	R^2	SE			
پخشیدگی سهموی Parabolic diffusion	q_0	K_p	R^2	SE			
الویج ساده Elovich	α_s	β_s	R^2	SE			
تابع توانی Power function	a	b	R^2	SE			

تیمار شاهد (Control)، تیمار خاک اره ۲ درصد (w2%)، تیمار خاک اره ۴ درصد (w4%)، تیمار بیوجار خاک اره ۳۰۰ درجه ۲ درصد (BW3002%)، تیمار بیوجار خاک اره ۳۰۰ درجه ۴ درصد (BW3004%)، تیمار بیوجار خاک اره ۶۰۰ درجه ۲ درصد (BW6002%)، تیمار بیوجار خاک اره ۶۰۰ درجه ۴ درصد (BW6004%)، q_0 مقدار عنصر آزاد شده در زمان شروع (ثانیه)، k_1 ، k_2 ، k_3 ، β_s و b ثابت سرعت و جذب در معادلات هستند.

نتیجه گیری

بیوجار ۳۰۰ و خاک‌اره بسیار بیشتر است؛ و

بررسی مقدار کادمیم و جذب شده با عصاره گیر
EDTA در زمان‌های مختلف نشان داد که مقدار و جذب
کادمیم در خاک‌های تیمار شده با مواد آلی به‌عنوان بهساز
(خاک‌اره و بیوجار آن در دو دمای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه
سلسیوس) کاهش یافت. با افزایش در سطح تیمارهای
بیوجار و خاک‌اره مقدار و جذب کادمیم کاهش بیشتری را
نشان داد که این کاهش در تیمار بیوجار ۶۰۰ نسبت به

دلیل این امر می‌تواند بر مؤثر بودن دمای تولید بیوجار بر
آن باشد. بررسی برازش داده‌های و جذب کادمیم از خاک
مورد مطالعه با معادلات مختلف روندی نشان داد که داده-
های و جذب کادمیم، برازش خوبی با معادله تابع توانی
داشت. در این مطالعه می‌توان گفت معادله تابع توانی
به‌عنوان بهترین معادله توصیف کننده و جذب کادمیم ۹۰
روز بعد از خوابانیدن است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات
بعدی اثر بیوجار با بافت‌های اولیه مختلف (چوبی، علفی،

کودهای دامی و) بیوچارهای اصلاح شده با مواد اسیدی و بررسی شود.
 قلیایی بر روند واجذب فلزات سنگین مختلف

فهرست منابع

۱. دیانت مهارلویی، ز؛ و م. فکری. ۱۳۹۹. روند واجذب کادمیم در حضور کمپوست پوست نرم بادام و بیوچار آن در خاک آهکی تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۳، صفحه ۶۸-۸۲.
۲. رسولی صدقیانی، م.ح. قره‌ملکی، ت. بشارتی، ح؛ و ا. کریمی. ۱۳۹۲. تأثیر ریزجانداران مفید خاکری بر رشد و جذب کادمیوم توسط ذرت، پژوهش‌های خاک. جلد ۲۷، شماره ۲، صفحه ۲۰۵-۲۱۵.
۳. روانبخش، م. ح. فتوت، ا؛ و غ. حق نیا. ۱۳۹۰. اثر لجن فاضلاب، مقدار رس و زمان بر شکل‌های شیمیایی نیکل و کادمیم در چند خاک آهکی آب و خاک. جلد ۲۵، شماره ۳، صفحه ۲۵-۹۶.
۴. سماوات، س.، بایبوردی، ا.، ملکوتی، م.ج. و م.م. طهرانی. ۱۳۸۴. حد مجاز کادمیم در کودهای شیمیایی، محصولات زراعی و باغی. نشریه شماره ۴۳۷. انتشارات سنا، وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران، ۳۰ ص.
۵. صفاری، م. ۱۳۹۸. ارزیابی رفتار کادمیم در یک خاک آهکی متأثر از بیوچارهای بقایای پوست گردو پوشش داده شده با نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی تحقیقات آب و خاک ایران. جلد ۵۰، شماره ۶، صفحه ۱۴۳۷-۱۴۵۱.
۶. صفاری، م. ۱۳۹۴. روند جذب - واجذب، شکل‌های شیمیایی و زیست فراهمی فلزات سنگین در یک خاک آهکی تیمار شده با چند بهساز. پایان نامه دکتری، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۷. عظیم زاده، ی.، نجفی، ن.، عبدالملکی، ا.، و ب. امیرلو. ۱۳۹۸. تغییرات برخی ویژگی‌های شیمیایی مواد آلی مختلف پس از تبدیل به بیوچار و هیدروچار تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷، شماره ۴، صفحه ۱-۱۷.
۸. هاشمی شرف آباد، س.، رحیمی، م.، قائدی، م. و م. دانایی. ۱۳۹۱. حذف فلزات (سرب، کادمیم و کبالت) از محیط آبی به وسیله مخلوطی از جاذب‌های خاک اره و ساقه درخت بنه، همایش ملی علوم مهندسی آب و فاضلاب، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
9. Akoto, O., Ephraim, J.H., and G. Darko. 2009. Heavy metals pollution in surface soils in the vicinity of abundant railway servicing workshop in kumasi, Ghana. *Int. J. Environ. Res.* 2(4): 359-364.
10. Allison, L.E., and C.D. Moodie. 1965. Carbonate. In: Page C.A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, part 2, American. Society, Agronomy, Madison. WI, pp. 1379-1396.
11. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen Total. In: Page D.L. Sparks et al., (Eds), *Methods of Soil Analysis*, part 3- American, Society, Agronomy, Madison. WI, pp. 1085 – 1122.
12. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54 (5): 464-465.
13. Cao, X., Ma L., Liang, Y., Gao, B., and W. Harris. 2011. Simultaneous immobilization of Cadmium and atrazine in contaminated soils using dairy-manure biochar. *Environ. Sci. Technol.* 45 (11): 4884-4889.

14. Chapman, H.D., and P.F. Pratt. 1961. Method of Analysis for Soils, plants and waters, University of California, Division of agricultural Sciences, pp. 60- 68.
15. Chapman, H.D., and P.F. Pratt. 1965. Methods of Analysis for Soils, plants, and waters, University of California, Division of Agriculture Science, pp. 56-61.
16. Chen, Z.L., Zhang, J.Q., Huang, L., Yuan, Z.H., Li, Z.J., and M. C. Liu. 2019. Removal of Cd and Pb with biochar made from dairy manure at low temperature. J. Integr. Agric. 18(1): 201–210.
17. Chicco, D., Warrens. MJ., and G. Jurman. 2021. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. Peer. J Comput. Sci. 5(7): 6-23.
18. Cui, X., Hao, H., Zhang, C., He, Z., and X. Yang. 2016. Capacity and mechanisms of ammonium and cadmium sorption on different wetland-plant derived biochars. Sci. Total Environ. 539(1): 566-575.
19. Dang, Y.P., Dalal, R.C., Edwards, D.G., and K.G. Tiller. 1994. Kinetics of zinc and cadmium desorption from vertisols. Soil Sci. Soc. Am. J. 58 (5): 1392-1399.
20. Gaskin, J., Steiner, C., Harris, K., Das, K., and B. Bibens. 2008. Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agriculture use. Trans ASABE, 51: 2061-2069.
21. Ghasemi-Fasaei, R., and M. Jarrah. 2013. Adsorption kinetics of cadmium and zinc as influenced by some calcareous soil properties. Int. J. Agri. Crop Sci. 5 (5): 479- 483
22. Hall, G., Woodborne, S., and M. Scholes. 2008. Stable carbon isotope ratios from archaeological charcoal as palaeoenvironmental indicators. Chem. Geol. 247(3): 384-400.
23. Helmke, P.A., and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 551-574.
24. Hwan Park, J., Wang, H., He, L., Lu, K., and A. Sarmah. 2019. Cadmium adsorption characteristics of biochars derived using various pine tree residues and pyrolysis temperatures. Colloid Interface Sci. 553: 298-307.
25. Jalali M., and L. Rostaii. 2011. Cadmium distribution in plant residues amended calcareous soils as a function of incubation time. Arch. Agron. Soil Sci. 57 (2): 137-148.
26. Kandpal, G., Srivastava P.C., and B. Ram. 2005. Kinetics of desorption of heavy metals from polluted soils: Influence of soil type and metal source, Water Air Soil Pollut. 161: 353- 363.
27. Karaca, A. 2004. Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in soil. Geoderma. 122 (2): 297-303.
28. Khan, N., Giri, B. S., Chowdhary, P., and P. Chaturvedi. 2020. Removal of methylene blue dye using rice husk, cow dung and sludge Removal of methylene blue dye using rice husk, cow dung and sludge biochar: Characterization, application, and kinetic studies. Bioresour. Technol. 306: 123-202.
29. Kim, H.S., Kim, K.R., Kim, H.J., Yoon, J.H., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G., and K.H. Kim. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. Environ. Earth Sci. 74:1249–1259.

30. Krishnamurti, G.S.R., Huang, P.M., and L.M. Kozak. 1999. Sorption and desorption kinetics of cadmium from soils: Influence of phosphate. *J. Soil Sci.* 164 (12): 888-898.
31. Laird, D.A., Fleming, P.D., Karlen, D.L., Wang, B., and R. Horton. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158:436–442.
32. Lehmann, J., and S. Joseph. 2012. Biochar for environmental management: science and technology, (Eds.). Routledge, 944p.
33. Liang, H., and L. Chen. 2016. Surface morphology properties of biochars produced from different feedstocks. *International Conference on Civil, Transportation and Environment*. 286: 146-159.
34. Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 (3): 421-428.
35. Liu, H., Xu, F., Xie, Y., Wang, C., Zhang, A., Li, L., and H. Xu. 2018. Effect of modified coconut shell biochar on availability of heavy metals and biochemical characteristics of soil in multiple heavy metals contaminated soil. *Sci. Total Environ.* 645: 702–709.
36. Loganathan, P., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., and R. Naidu. 2012. Cadmium sorption and desorption in soils: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 42(5): 489-533.
37. Mendez, A., Paz-Ferreiro, J., Araujo, F., and G. Gascó. 2014. Biochar from pyrolysis of deinking paper sludge and its use in the treatment of a nickel and cadmium polluted soil. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 28(1): 46-52.
38. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. 3rd Ed. *In: Sparks, D.L., et al., (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 3- chemical methods and microbiological properties. Soil Science of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.* pp. 961-1010.
39. Nigussie, A., Endalkachew, K., Mastawesha, M., and A. Gebermedihin. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *Am. Eurasian. J. Agric. Environ. Sci.* 12 (3):369–376.
40. Olsen, S.R.C., Cole, V., Watanabe, F.S., and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA. Cir, US Govern printing office, Washington, DC*, 939 p.
41. Pelleria, F.M., and E. Gidakos. 2015. Effect of dried olive pomace–derived biochar on the mobility of cadmium and nickel in soil. *Environ. Chem. Eng.* 3(2): 1163-1176.
42. Rhoades, J.D., Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., and M.E. Sumner. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods.* pp. 417-435.
43. Rowell, D.L. 1999. *Methods and Applications*. Longman Group, Harlow. *Soil Science*. 345p.
44. Sun, L., Zhang, G., and W. Hang. 2023. Effects of biochar on the transformation of cadmium fractions in alkaline soil. *Heliyon*. 9(1): 298-307.
45. Sun, J., Lian, F., Liu, Z., Zhu, L., and Z. Song. 2014. Biochars derived from various crop straws: Characterization and Cd(II) removal potential. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 106: 226-231.
46. Song, W., and M. Guo. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Anal. Appl. Pyrolysis*. 94: 138-145.
47. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. *In: D.L. Sparks et al., (Eds) Methods of Soil Analysis. part 3-American Society of Agronomy., Madison. WI,* pp. 475- 490.

48. Thomas B.W., Sachdeva V., Gul S., Whalen J.K., and H. Deng. 2015. Physicochemical properties and microbial responses in biochar amended soils: Mechanisms and future directions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 206: 46-59.
49. Xu, C., Wen, D., Zhu, Q., Zhu, H., Zhang, Y., and D. Huang. 2017. Effects of Peanut Shell Biochar on the Adsorption of Cd(II) by Paddy Soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 98(3). 413-419.
50. Yuan, J.H., Xu, R.K., and H. Zhang. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresour. Technol.* 102:3488–3497.
51. Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., Bolan, N.S., Pei, J., and H. Huang. 2013. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20 (12):8472–8483.

Effect of Poplar Sawdust and Its Biochars on the Desorption Process of Cadmium in a Calcareous Soil

F. Baharvandi, M. Feizian*, A. Alinejadian and S. Abdi

Ph.D. Student Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail:

Baharvandi.bahar@yahoo.com

Corresponding Author, Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, , Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: Feizian.m@lu.ac.ir

Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, , Lorestan, Iran. E-mail: Alinezhadian.a@lu.ac.ir

Assistant Professor of Soil and Water research institute, Lorestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agriculture Research Lorestan, Iran. E-mail: Sabdi1100@yahoo.com

Received: July 3, 2023and Accepted: November 18, 2023

Abstract

Cadmium is one of the most hazardous heavy elements in the environment, and its removal from water and soil environments is necessary and important. In the present study, the effect of poplar sawdust and its biochars at two different temperatures of 300 and 600 °C on the process of cadmium desorption in a silty loam soil was investigated in Lorestan Faculty of Agriculture, in 2021. For this purpose, poplar sawdust and its biochars were added at three levels (zero, 2%, and 4% by weight) to a calcareous soil contaminated with 100 mg/kg of cadmium. Sampling of the treated soils was done 90 days after the soil was contaminated with cadmium and incubated under field moisture conditions. To study cadmium desorption, in different time periods from 5 to 2880 minutes, the samples were extracted by EDTA and the concentration of cadmium in the samples was determined. The results showed that the lowest amount of cadmium desorption was in the 4% sawdust biochar at 600 °C, which showed a decrease of 80.5% compared to the control. Also, cadmium desorption in the sawdust treatment did not show a significant difference compared to the control. Cadmium desorption in all treatments was high in the early times and decreased over time. In other words, 50% of cadmium desorption occurred in the first 2 hours. Based on the R^2 (0.94) and SE (0.23), the power function equation was obtained as the best equation predicting desorption of cadmium in the studied soil. Therefore, in this research, the treatment of 4% by weight of sawdust biochar at 600 °C is introduced as the best treatment to reduce soil pollution caused by cadmium.

Keywords: Pyrolysis, Soil pollution with cadmium, Cadmium removal

* Corresponding author's email: Feizian.m@lu.ac.ir

Effect of Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Biomass and Uptake of Nutrients of Hazelnut Seedlings in Field Condition

Y. Rostamikia *, M. Matinizadeh and A. Rahmani

Assist., Prof., Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, I.R. Iran: younesrostamikia@gmail.com

Assoc., Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran: mohamadmatinizadeh@yahoo.com

Assoc., Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran: arahmani39@gmail.com

Received: December 18, 2023 and Accepted: December 18, 2023

Abstract

Mycorrhizal fungi are one of the useful soil microorganisms, which can increase the growth of the host plant by absorbing and transferring more water and nutrients to the plant due to symbiosis with plant roots. Therefore, in order to investigate the effect of mycorrhizal fungi on the biomass and nutrient absorption of hazelnut seedlings, a factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design in field conditions. The investigated factors included the three origins of the seedlings (Fandoghlou, Makesh, and Makidi regions) and fungal inoculation in three levels (*Rhizophagus irregularis*, Myco root inoculum and control) with three replications of 25 at a distance of 3x3 m, in an area of 6075 m² in the agricultural lands on the edge of Fandoghlou Forest in Ardabil, Iran. After four years, the results showed that the inoculated seedlings of all three origins were superior in terms of all the examined characteristics compared to the control (non-inoculated) seedlings. The highest traits belonged to Fandoghlou seedlings with *R. irregularis* inoculation. In these seedlings, root colonization, dry mass of root, stem and leaf were, respectively, 51.9%, 54.4%, 45.1%, and 40.7% higher, and N, P, K, Fe, and Zn were, respectively, 38.8%, 45.4%, 62.9%, 35.5%, and 42.6% more compared to the control seedlings. Finally, it can be concluded that planting of hazelnut seedlings inoculated with mycorrhizal fungi (especially *R. irregularis*) will have higher vegetative growth.

Keywords: Fandoghlou Forest, Bio-fertilizer, Root dry weight

*Corresponding Author's email: younesrostamikia@gmail.com

Investigating the Relationship between Soil Acidity and Some Quality Characteristics of Tea Green Leaves in Tea Plantations of Gilan Province

A. Shirinfekr*, S. Oustan , N. Najafi and A. Reyhanitabar

Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, AREEO, Lahijan, Iran - Former student of University of Tabriz:shirinfekr@gmail.com

Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran oustan@hotmail.com

Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, n-najafi@tabrizu.ac.ir

Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran areyhani@tabrizu.ac.ir
Iran

Received: September 25, 2023and Accepted: December 18, 2023

Abstract

Tea is a permanent and evergreen plant that grows adeptly in acidic soils. The tea plant naturally absorbs aluminum and accumulates it in various shoot parts. Although aluminum is essential for tea growth, it is harmful to human health. Evaluating aluminum status in both soils and tea green leaves is necessary to better understand their relationships in order to improve the quality as well as quantity of tea yields. For this purpose, 38 samples of the soils and the third green leaves of tea (as an index leaf) were collected randomly from tea plantations of Guilan Province. In soil samples, besides the general properties, the values of pH_w , pH_{CaCl_2} , exchangeable aluminum, calcium and magnesium, total nitrogen and available concentrations of phosphorus and potassium were determined. Concentrations of the aforementioned nutrients along with iron and zinc were also evaluated in the tea leaves. Based on the results, the mean values of pH_w and pH_{CaCl_2} , and the mean concentrations of soil exchangeable aluminum and leaf aluminum were 4.51, 4.04, 256 mg/kg, and 1362 mg/kg, respectively. The soil exchangeable aluminum had inverse power relationships with pH_w and pH_{CaCl_2} with the coefficients of determination of 66% and 84%, respectively. This indicated that the pH_{CaCl_2} was more valid than pH_w . Leaf Al concentration showed no significant correlation with soil pH, but had significant relationship with soil exchangeable aluminum ($r=0.69^{**}$). Furthermore, the total polyphenol content of the green tea leaves had no significant correlation with leaf Al concentration, but had significant relationship with $\frac{Fe+Zn}{Al}$ ratio in tea leaves ($r=0.64^{***}$). According to the lower limit of optimum pH for tea plantations ($pH=4.5$), the maximum permissible concentration of soil exchangeable aluminum was estimated to be 153 mg/kg. In order to control soil exchangeable aluminum and adjusting soil pH, it is recommended to use lime or dolomite, based on the soil buffering capacity.

Keywords: Exchangeable aluminum, Third green leaf, Total polyphenol, Available concentration

* Corresponding author's email: shirinfekr@gmail.com

Heavy Metals Accumulation in Root and Shoot of Forage Corn Grown in a Soil Treated with Sewage Sludge

Y.R. Bagheri*, A. Golchin, H. Rezaei and L. Esmaeelnejad

^aPh.D candidate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran, Email: bagheriyo@yahoo.com

Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran, Email: agolchin2011@yahoo.com

Associate Professor, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: rezaei_h@yahoo.com

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: esmaeelnejad.leila@gmail.com

Received: August, 2023, and Accepted: November, 2023

Abstract

To apply sludge in agriculture, knowing its effects and transfer of heavy metals to plant is vital. For this purpose, a greenhouse experiment was conducted in the form of randomized complete block design in 2021, in the greenhouse of Soil and Water Research Institute in Karaj, Iran, to investigate the accumulation of heavy metals in forage corn grown in soil treated with different levels of sludge. The selected soil was treated with 4 different levels of urban sewage sludge at the rate of 0%, 0.5%, 2%, and 4%, with 3 replications. The results showed that, compared to the control treatment, all treatments using sludge increased wet and dry yield ($P < 0.05$). The highest yield of shoot with an average of 214.9 gr per pot (300% increase) was obtained from the use of 4% sludge, and this treatment had a significant difference compared to the other levels of sludge ($p < 0.05$). Compared to each other, sludge treatments did not have a significant effect on dry yield. Use of sewage sludge caused a significant increase in the concentration of Pb, Ni and Cu elements in the shoot of corn. The value of the transfer factor (TF) among the studied elements in all treatments was as follows: $Cd > Cu > Pb > Ni > As > Cr > Co$, where the highest average value of the TF was related to the Cd, followed by copper and Pb. Sewage sludge caused significant changes in the TF of Cd, Ni, As, Cu and Pb compared to the control. However, these changes were not significant for Cr and Co ($p < 0.05$). The average value of root BCF_{root} had the following trend: $Cd > Cu > Pb > Ni > As > Co > Cr$. The trend for BCF_{shoot} was as follows: $Cd > Pb > Cu > Ni > As > Cr > Co$. Among the investigated heavy metals, the BCF of Cd for roots and shoots, as well as its transfer factor, was higher than other heavy metals. In general, the highest concentrations for Cd, Pb and As in the shoot of the corn were 0.17, 1.94, and 0.74 mg/kg, respectively, while the permissible values of the maximum standard tolerance in livestock feed for animals raw materials from plant sources are 1, 30, and 2 mg/kg, respectively. Therefore, the increase in the concentration in the shoots was not more than the permissible limits in the national standard of Iran. However, it should be noted that the results of this investigation were only related to one-time use of the sludge sample, while the quality and contents of sludge have many variations. Considering deficiency of organic matter and phosphorus in the country's agricultural soils, the use of treated sewage sludge should be considered due to its high percentage of organic carbon and phosphorus. However, due to the changes in the quality of sludge and its multiple uses in cultivated lands, it is suggested that additional studies be conducted for different sludge in order to provide a specific agronomic recommendation based on that.

Keywords: Healthy crop, Wastewater treatment, Soil pollution, Increasing soil organic matter

* Corresponding author's email: bagheriyo@yahoo.com

Effect of Soil Moisture and Type of Tillage and Sowing Machinery on Yield and Yield Components of Wheat in Saline Soils of Mahshahr, Iran

S. Rismanbaf, S.K. Marashi *and T. Babaeinejad

M.S. of Agronomy, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

sepideh.rismanbaf@gmail.com

Assistant Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

marashi_47@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Soil science, Ahvaz branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

timoorba@yahoo.com

Received: July 2, 2023 and Accepted: December 18, 2023

Abstract

This experiment was conducted to evaluate the effect of soil moisture and tillage and sowing machinery on yield and yield components of wheat in the saline soils of Mahshahr, Iran. The experiment was carried out as a split-plot according to a randomized complete block design with three replications. Independent variables included soil moisture during tillage at three levels of 10%, 15%, and 20% as the main factor. Sub-factor included the type of tillage and sowing machinery at four levels including 1) without the use of chisel-piler and sowing with flat seeder machine, 2) without the use of chisel-piler and sowing with furrow seeder machine, 3) one time use of chisel-piler to a depth of 20 cm and sowing with flat seeder machine, and 4) one time use of chisel-piler to a depth of 20 cm and sowing with furrow seeder machine. In order to prepare the land, irrigation was done before tillage according to the region's customs to reduce the tensile strength of the soil against tillage machines. After the soil moisture was suitable according to the main factors, the tillage was done with a 24-bladed disk machine once to a depth of 15 cm. The maximum clod weight was obtained in the condition of not using a chisel-piler and soil moisture of 20%, and the lowest was obtained in using a chisel-piler and soil moisture of 10%. The maximum number of tiller/plant, number of spikes/m², number of spikelet/spike, number of grain/spike, number of grain/spikelet, biological yield, and grain yield was under using chisel-piler and sowing with furrow seeder machine with 20% soil moisture, and the lowest in the treatment with no chisel-piler and sowing with flat seeder machine. In general, the results showed that the use of chisel-piler and sowing with furrow seeder machine under 20% soil moisture had the best results in terms of grain formation and yield in saline soils, which can be suggested to reduce the effects of salinity.

Keywords: Chisel, Flat seeder machine, Furrow seeder machine, Soil salinity

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

Integrated Soil and Water Management at Farm Level in Honam Sub-Catchment

(Part I: Determination of Homogeneous Soil and Water Management Units)

M. R. Balali ^{1*}, S. Mallah ¹, K. Eftekhari ¹, H. Rezaei ¹, K. Bazargan ¹, V. Nangia ¹, F. Moshiri ¹, S. Ghalebi ¹, M. N. Navidi ¹, B. Delsouz Khaki ¹, A. Ziaei Javid ¹, M. Panahi ¹, M. R. Emdad ¹, N. Davatgar ¹, Sh. Omidvari ¹, M. H. Davoudi ¹, A. Esmaeilizad ¹, F. Rejali ¹, Z. Mohammedsmaeil ¹, M. Sepahvand ³, M. A. Ghanbarpour ³, S. Abdi ³, M. Matinkia ⁴, M. Sepahvand ⁴ and M. Azizollahi ⁵

¹ Researcher, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

² International Center for Agricultural Research in Dry Areas, Rabat, 6299, Morocco

³ Researcher, Agricultural and Natural Resources Research Center of Lorestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khoramabad, Iran

⁴ Extension of Aliabad Agricultural Jihad Center, Alashtar, Lorestan, Iran

⁵ Local facilitator

*Corresponding author: mrbalali68@gmail.com

Received: December 6, 2023 and Accepted: December 18, 2023

Abstract

This study expresses the steps of achievement to the indigenous-executive framework of integrated soil and water management at farm level through a mega project with 19 sub-projects. The projects were carried out during 2013-2020 with active participation of international, national and regional experts as well as local farmers in Honam Sub-basin, Lorestan Province, Iran. To understand the soil and water management problems for agriculture in the same homogeneous units (HSWMUs), farmlands were classified regarding physical, chemical and biological characteristics of soil, making it possible to convert soil maps into thematic maps. In this research, the fertility capability classification (FCC) method that integrates surface and sub-surface soil textures with modifiers was used. In addition, several modifiers were revised for soils of semi-arid regions and new modifiers were introduced for Irrigation Capability Classification (ICC). The required information was collected from 119 soil profiles and 101 surface soil samples in detailed scale of 1:25000 and the corresponding measurements were made. Accordingly, different data layers including detailed soil map were produced via geopedological method including land limitation, land suitability, and land production potential (LPP) of major crops, land degradation, location of water withdrawal, land use and agricultural cadastre of 2395 farms were prepared. To evaluate the current soil and water behavior of farmers within HSWMUs, the multidisciplinary team recorded the issues through field visits and open semi-structured questionnaire of 84 selected farmers in 24 villages who were interviewed during 2018-2019. The results showed that 23 and 30 HSWMUs that covered, respectively, 93% and 90% of the irrigated and rainfed areas were delineated on the map. Investigations showed that the sub-basin suffers from problems such as plow pan, phosphorus and zinc deficiencies, poor irrigation scheduling, and three types of farmers. Finally, recommended packages were prepared and validated for each HSWMU, which will be discussed in the part 2.

Keywords: Integrated management, Integrated watershed management, Yield gap, Management package, Participatory research.

* Corresponding author's email: mrbalali68@gmail.com

Contents

Subject	Page
Integrated Soil and Water Management at Farm Level in Honam Sub-Catchment (Part I: Determination of Homogeneous Soil and Water Management Units).....	13
M. R. Balali, S. Mallah, K. Eftekhari, H. Rezaei, K. Bazargan, V. Nangia, F. Moshiri, S. Ghalebi, M. N. Navidi, B. Delsouz Khaki, A. Ziaei Javid, M. Panahi, M. R. Emdad, N. Davatgar, Sh. Omidvari, M. H. Davoudi, A. Esmailizad, F. Rejali, Z. Mohammadesmaeil, M. Sepahvand, M. A. Ghanbarpour, S. Abdi, M. Matinkia, M. Sepahvand and M. Azizollahi	
Effect of Soil Moisture and Type of Tillage and Sowing Machinery on Yield and Yield Components of Wheat in Saline Soils of Mahshahr, Iran.....	14
S. Rismanbaf, S.K. Marashi and T. Babaeinejad	
Heavy Metals Accumulation in Root and Shoot of Forage Corn Grown in a Soil Treated with Sewage Sludge	15
Y.R. Bagheri, A. Golchin, H. Rezaei, and L. Esmaeelnejad	
Investigating the Relationship between Soil Acidity and Some Quality Characteristics of Tea Green Leaves in Tea Plantations of Gilan Province.....	16
A. Shirinfekr, S. Oustan, N. Najafi, and A. Reyhanitabar	
Effect of Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Biomass and Uptake of Nutrients of Hazelnut Seedlings in Field Condition.....	17
Y. Rostamikia, M. Matiniazadeh, and A. Rahmani	
Effect of Poplar Sawdust and Its Biochars on the Desorption Process of Cadmium in a Calcareous Soil.....	18
F. Baharvandi, M. Feizian, A. Alinejadian, and S. Abdi	

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. 37, No. 3
2023**

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

Editorial Board

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

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

Address: P. O. Box: 31785-311, Karaj – IRAN

Tel / Fax: 026-36208796

Soil and Water Institute Website: www.swri.ir

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

Volume 37 \ No. 3 \ 2023

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject	Page
Integrated Soil and Water Management at Farm Level in Honam Sub-Catchment (Part I: Determination of Homogeneous Soil and Water Management Units).....	13
M. R. Balali, S. Mallah, K. Eftekhari, H. Rezaei, K. Bazargan, V. Nangia, F. Moshiri, S. Ghalebi, M. N. Navidi, B. Delsouz Khaki, A. Ziaei Javid, M. Panahi, M. R. Emdad, N. Davatgar, Sh. Omidvari, M. H. Davoudi, A. Esmailizad, F. Rejali, Z. Mohammadesmaeil, M. Sepahvand, M. A. Ghanbarpouri, S. Abdi, M. Matinkia, M. Sepahvand and M. Azizollahi	
Effect of Soil Moisture and Type of Tillage and Sowing Machinery on Yield and Yield Components of Wheat in Saline Soils of Mahshahr, Iran.....	14
S. Rismanbaf, S. K. Marashi and T. Babaeinejad	
Heavy Metals Accumulation in Root and Shoot of Forage Corn Grown in a Soil Treated with Sewage Sludge	15
Y. R. Bagheri, A. Golchin, H. Rezaei and L. Esmailnejad	
Investigating the Relationship between Soil Acidity and Some Quality Characteristics of Tea Green Leaves in Tea Plantations of Gilan Province.....	16
A. Shirinfekr, S. Oustan, N. Najafi and A. Reyhanitabar	
Effect of Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Biomass and Uptake of Nutrients of Hazelnut Seedlings in Field Condition.....	17
Y. Rostamikia, M. Matinzade and A. Rahmani	
Effect of Poplar Sawdust and Its Biochars on the Desorption Process of Cadmium in a Calcareous Soil.....	18
F. Baharvandi, M. Feizian, A. Alinejadian and S. Abdi	