



انجمن علوم خاک ایران

نشریه علمی



موسسه تحقیقات خاک و آب

پژوهش‌های خاک

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

ISSN: 2228 -7124

الف / جلد ۳۵ / شماره ۱ / سال ۱۴۰۰

صفحه

فهرست

عنوان

- اثر کودآبیاری با نیتروژن بر عملکرد، کیفیت و ترکیب عناصر غذایی برگ کیوی رقم 'هایوارد' در منطقه رودسر..... ۱

محمود قاسم نژاد، محمدرضا خالدیان و سجاد علیزاده
- نقش قرق طولانی مدت مرتع بر بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و پایداری آن..... ۱۵

مسیب حشمتی و محمد قیطوری
- تغییرپذیری ویژگی‌های کیفی خاک در دو توده جنگل کاری بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و کاج رادیاتا (*Pinus radiata*)..... ۲۷

اعظم السادات نورایی، حمید جلیلوند، سید محمد حجتی و سید جلیل علوی
- برآورد سطح کشت چند محصول انتخابی با استفاده از تصاویر چند زمانه ستینل - ۲ در دشت بسطام..... ۴۱

میرناصر نویدی، منصور چترنور، محمد جمشیدی و احمد اخیانی
- برآورد پتانسیل تولید نیشکر با مدل‌های مختلف در اراضی جنوب استان خوزستان..... ۵۹

سیدعلیرضا سیدجلالی، میرناصر نویدی و علی زین الدینی میمند
- اثر اکزالیک اسید و ورمی کمپوست بر انتقال کلوئیدی سرب در دو نوع بافت خاک..... ۷۵

حسین شیرانی، حانیه گله‌داری، سمیه صدر و محسن حمید پور
- بررسی میزان جذب فلزات سنگین شیرابه زباله توسط گیاه و تیوردر یک خاک آلوده..... ۸۹

فرود گراوند، آپتین راهنورد و قربانعلی محمد پور

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

انجمن علوم خاک ایران

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه علمی
پژوهش‌های خاک

جلد 35 شماره (1)

1400

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

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

تمدید شده است

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

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر محمد بای بوردی

دکتر حسین بشارتی

دکتر محمدرضا بلالی

دکتر حسن توفیقی

دکتر غلامحسین حق نیا

دکتر کاظم خاوازی

دکتر محمد حسن روزی طلب

دکتر امیر فتوت

دکتر منوچهر گرجی

دکتر عزیز مؤمنی

دکتر محمدرضا نیشابوری

مدرس دانشگاه

استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب

استادیار 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 حمید سیادت

کبری علی نژاد

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 :
www.swri.ir
www.soiliran.org
majalehsoil@yahoo.com

پایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش‌های خاک
پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب:
پایگاه الکترونیکی انجمن علوم خاک ایران:
آدرس الکترونیکی دفتر مجله:

آدرس: کرج - میدان استانداری، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: 3177993545

آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: www.srjournal.areeo.ir

تلفن و نمابر: (026) 36208796

- اثر کودآبیاری با نیتروژن بر عملکرد، کیفیت و ترکیب عناصر غذایی برگ کیوی رقم 'هایوارد'
 در منطقه رودسر.....1
 محمود قاسم نژاد، محمدرضا خالدیان و سجاد علیزاده
- نقش قرق طولانی مدت مرتع بر بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و پایداری آن.....15
 مسیب حشمتی و محمد قیطوری
- تغییرپذیری ویژگی‌های کیفی خاک در دو توده جنگل کاری بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)
 و کاج رادیاتا (*Pinus radiata*).....27
 اعظم السادات نورایی، حمید جلیلوند، سید محمد حجتی و سید جلیل علوی
- برآورد سطح کشت چند محصول انتخابی با استفاده از تصاویر چند زمانه سنتینل - 2 در دشت بسطام.....41
 میرناصر نویدی، منصور چترنور، محمد جمشیدی و احمد اخیانی
- برآورد پتانسیل تولید نیشکر با مدل‌های مختلف در اراضی جنوب استان خوزستان.....59
 سیدعلیرضا سیدجلالی، میرناصر نویدی و علی زین الدینی میمند
- اثر اکزالیک اسید و ورمی کمپوست بر انتقال کلوئیدی سرب در دو نوع بافت خاک.....75
 حسین شیرانی، حانیه گله‌داری، سمیه صدر و محسن حمید پور
- بررسی میزان جذب فلزات سنگین شیرابه زباله توسط گیاه و تیوردر یک خاک آلوده.....89
 فرود گراوند، آپتین راهنورد و قربانعلی محمد پور

راهنمای تهیه مقاله برای انتشار در نشریه علمی پژوهش‌های خاک

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

الف) اصول کلی

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

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

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

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

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

عنوان مقاله

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

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

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

واژه های کلیدی:

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

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

مقدمه

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

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

مواد و روش‌ها

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

نتایج

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

در نمودارها از نشانه‌های 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 پیش بینی شده مقایسه شود. در پایان باید موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از تحقیق و نتیجه کلی پژوهش بیان گردد.

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (2002) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (2002) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (2002) گزارش کردند...

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

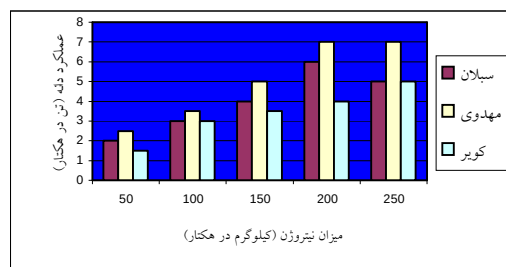
جدول نامناسب

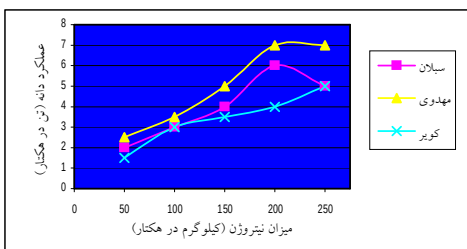
بافت	Mge xch	Kavail .	Pava il	OC (%)	TNV (%)	EC (dS. m- 1)	pH	عمق (cm)
	(Mg.kg-1)							
لومی رسی	300	290	3/6	0/62	28	7/6	8/2	0-30
لومی رسی	305	295	0/6	0/50	30	7/2	8/2	30-60
لومی شنی	286	332	0/5	0/21	33	9/5	7/8	60-90

جدول مناسب

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

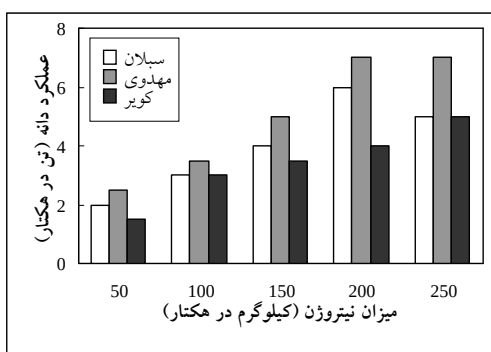
نامناسب



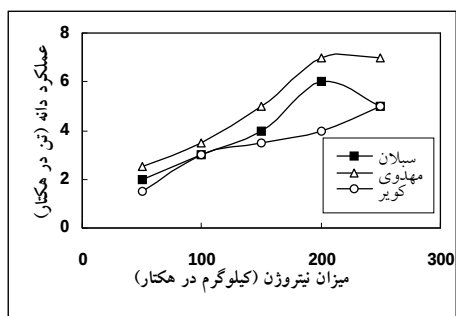


مناسب

نامناسب



مناسب



نشریه پژوهش‌های خاک

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های خاک

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

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

نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

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

دکتر شاهین اوسنان	2 مقاله	دکتر امیر فتوت	2 مقاله
دکتر علیرضا ایلدرومی	1 مقاله	دکتر مهدی کریمی	1 مقاله
دکتر حسن اسدی	1 مقاله	دکتر سید مجید موسوی	2 مقاله
دکتر حسین بشارتی	2 مقاله	دکتر هاجر مریخ پور	1 مقاله
دکتر مجید بصیرت	1 مقاله	دکتر فرهاد مشیری	1 مقاله
دکتر علیرضا جعفرنژادی	2 مقاله	دکتر سید حسین مهدیان	1 مقاله
دکتر علی چراتی	1 مقاله	دکتر محمد حسین محمدی	1 مقاله
دکتر سید علی محمد چراغی	1 مقاله	دکتر کامران میرزاشاهی	2 مقاله
دکتر حدیث حاتمی	4 مقاله	دکتر نصرت اله نجفی	3 مقاله
دکتر علیرضا حسین پور	1 مقاله	دکتر مهدی نجفی قیری	1 مقاله
دکتر هوشنگ خسروی	1 مقاله	دکتر محمدرضا نیشابوری	1 مقاله
دکتر امیر دلاور	1 مقاله	دکتر علیرضا واعظی	2 مقاله
دکتر مسعود دادپور	1 مقاله	دکتر کبرا هاشمی نسب	1 مقاله
دکتر حسن روحی پور	2 مقاله	دکتر مژگان یگانه	3 مقاله
دکتر عادل ریحانی تبار	1 مقاله		
دکتر سید علیرضا سید جلالی	2 مقاله		
دکتر سید علی غفاری	1 مقاله		

اثر کودآبیاری با نیتروژن بر عملکرد، کیفیت و ترکیب عناصر غذایی برگ کیوی رقم 'هایوارد' در منطقه رودسر

محمود قاسم نژاد، محمدرضا خالیدیان¹ و سجاد علیزاده

استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان؛ ghasemnezhad@guilan.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر،

رشت؛ khaledian@guilan.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان؛ Alizadeh11@guilan.ac.ir

دریافت: 99/2/17 پذیرش: 99/12/23

چکیده

در این پژوهش، اثر کودآبیاری با سطوح مختلف نیتروژن (3/83، 4/124 و 4/166 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به همراه چال‌کود بر عملکرد و کیفیت میوه کیوی رقم 'هایوارد' بررسی شد. تیمار شاهد تاک‌هایی بودند که مقادیر معین کود شیمیایی به صورت بخش سطحی (شاهد) دریافت کردند. نتایج نشان داد که مقدار عناصر غذایی برگ به طور معنی-دار تحت تأثیر تیمار کودی قرار گرفت. کودآبیاری با 4/166 کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با تیمار چال‌کود بیشترین تأثیر را در افزایش مقدار نیتروژن، پتاسیم و کلسیم برگ‌ها داشتند. اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر مقدار فسفر وجود نداشت. بیشترین مقدار نیتروژن میوه در تیمار چال‌کود (1/01%) مشاهده شد. بالاترین عملکرد هر تاک در تیمار چال‌کود (83/56 کیلوگرم) و تیمار کودآبیاری با 4/166 کیلوگرم نیتروژن (82/43 کیلوگرم) مشاهده شد. میانگین وزن میوه تمامی تیمارهای کودی بیشتر از 90 گرم و در درجه ممتاز قرار داشت و از شاهد (82/85 گرم) بیشتر بود. اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کودی از نظر درصد ماده خشک میوه وجود نداشت، و به جز چال‌کود، درصد ماده خشک بالاتر از 17% بود. اما سفتی بافت میوه در تیمار کودآبیاری 3/83 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و چال‌کود به ترتیب با 69/7 و 35/7 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بیشتر از سایر تیمارها بود. تیمار کودآبیاری باعث افزایش مواد جامد محلول (SSC) میوه‌ها در زمان برداشت و زودرسی میوه‌ها شد. به علاوه، کودآبیاری با 3/83 و 4/124 کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار میزان ویتامین ث میوه شد. در مجموع، کود آبیاری با 4/166 کیلوگرم نیتروژن به دلیل افزایش عملکرد و حفظ کیفیت میوه و همچنین کاهش هزینه‌های کوددهی و مسائل زیست محیطی در کنار روش چال‌کود توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سفتی بافت کیوی، درصد ماده خشک کیوی، عناصر غذایی برگ.

¹ نویسنده مسئول، آدرس: رشت، دانشگاه گیلان - دانشکده علوم کشاورزی، گروه مهندسی آب

مقدمه

آمار جهانی نشان می‌دهد که سطح زیر کشت میوه کیوی (*Actinidia spp*) در جهان حدود 270 هزار هکتار با تولید سالانه حدود 4 میلیون تن می‌باشد و کشور ایران با سطح زیر کشت حدود 13 هزار هکتار و تولید سالانه 350 هزار تن در مقام چهارم جهان قرار دارد (فائو، 2019). کیوی یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی صادراتی ایران می‌باشد، به‌طوری که این میوه نقش بسیار مهمی در ارزآوری کشور، بهبود وضعیت اقتصادی خانوارهای استان‌های شمالی ایران و اشتغال‌زایی آن‌ها دارا می‌باشد (عاشوری و اجاری و همکاران، 1393).

عملیات مختلف باغی به‌خصوص تغذیه مناسب تاک-های کیوی برای بهبود عملکرد و کیفیت میوه‌ها ضروری می‌باشد (پریا و همکاران، 2007؛ کوتیناس و همکاران، 2010). نحوه تغذیه تاک‌های کیوی اثرات مستقیم و غیرمستقیم روی عملکرد و کیفیت میوه‌ها دارد (اپستین و بلوم، 2005). خصوصیات کیفی از جمله سفتی بافت، درصد ماده خشک و مقدار قند میوه تحت تأثیر برنامه کوددهی قرا می‌گیرد. در بین عناصر غذایی، نیتروژن نقش مهمی در رشد رویشی، گلدهی، تشکیل میوه، رسیدگی و رفتار پس از برداشت دارا می‌باشد. منبع اصلی تامین کننده نیتروژن، کودهای شیمیایی است که عمدتاً به‌صورت پخش سطحی در دفعات مختلف به پای درختان کیوی اضافه می‌شود. اما مصرف بی‌رویه و نادرست کودها، ضمن آلودگی آب و خاک باعث کاهش کیفیت محصول تولیدی نیز می‌شود (جونز و بنتون، 2012؛ مارشنر، 2012). مدیریت دقیق مصرف کود نیتروژن در تاکستان-های کیوی برای حفظ سلامت درختان و نظم باردهی، بدون افزایش رشد رویشی نیاز است (میلز و همکاران، 2008). قدرت رشد رویشی اضافی با کیفیت ضعیف میوه و افزایش هزینه‌های کارگری برای مدیریت تاج درختان همراه خواهد بود (پترسون و کوری، 2011). بنابراین، روش کوددهی نقش مهمی در افزایش کارایی مصرف کود و آب دارا می‌باشد.

در روش مرسوم کوددهی باغ‌ها، کودهای شیمیایی گرانوله به تنهایی یا همراه کود آلی یک یا دو بار در طول سال به‌صورت پخش سطحی به پای تاک‌های کیوی اضافه می‌شود. وقتی که مقادیر زیادی کود به یک دفعه در اختیار گیاه قرار گیرد، ممکن است باعث صدمه به ریشه از طریق آسیب شوری شود. همچنین، کوددهی زیاد در دفعات محدود مسئله شستشو یا تصعید به جو را نیز به همراه داشته و برای ریزجانداران مفید خاک نیز مضر است (کفکفی و چارچیتزکی، 2011). لذا یکی از راه‌کارهایی که

در دهه‌های اخیر مورد توجه واقع شده است، استفاده از کود به همراه آب آبیاری یا اصطلاحاً کودآبیاری¹ است. در کودآبیاری زمان و مقدار اعمال کود به سهولت قابلیت حل و بر حسب نیاز واقعی گیاهان می‌باشد. از جمله مزایای کودآبیاری افزایش کارایی مصرف آب و کود، عدم تحمیل هزینه اضافی انجام کوددهی، تغذیه متعادل گیاهان با عناصر غذایی، بهبود رشد و عملکرد محصول، عدم شستشوی عناصر غذایی از ناحیه ریشه، عدم آلودگی آب-های زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی محیط زیست است (گرونولد و همکاران، 2019؛ الوی و همکاران، 2019).

رایج‌ترین ماده مغذی به‌کار گرفته شده در کود آبیاری نیتروژن است. سایر عناصر شامل فسفر، پتاسیم، گوگرد، روی و آهن به مقدار کمتر مصرف می‌شوند (هاشمی مجد، 1393). کارایی مصرف کود نیتروژن در روش کودآبیاری نسبت به دیگر روش‌های کوددهی از جمله پخش سطحی افزایش می‌یابد (ژانگ و همکاران، 1996). گزارش‌هایی وجود دارد که کودآبیاری در تاک‌های کیوی باعث افزایش کارایی مصرف کود می‌شود (چوهان و کندل، 2008). تاک‌های کیوی کودآبیاری شده در مقایسه با تاک‌های که به‌صورت چال‌کود تغذیه شده بودند، دارای شاخص‌های رشدی بیشتری مانند طول شاخساره و قطر تنه بودند و همچنین عملکرد محصول بالاتر از شرایط چال‌کود داشتند. گرانی و همکاران (1994) با مقایسه کاربرد خاکی مقادیر 200، 83 و 216 کیلوگرم در هکتار نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین کاربرد کود آبیاری 133، 55 و 144 کیلوگرم در هکتار نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان دادند که بیشترین عملکرد در شرایط کودآبیاری به‌دست آمد. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، مقایسه تأثیر کودآبیاری با روش رایج کوددهی بر عملکرد و کیفیت میوه کیوی رقم 'هایوارد' در منطقه شرق استان گیلان (شهرستان رودسر) می‌باشد.

مواد و روش

مکان آزمایش

این پژوهش در یک باغ تجاری کیوی‌فروت واقع در شهرستان رودسر روی تاک‌های 8 ساله کیوی رقم 'هایوارد' (*Actinidia deliciosa* cv. 'Hayward') در سال 1396 انجام شد. نسبت تاک‌های ماده به نر کیوی 8 به 1 و فاصله آن‌ها 4 × 6 متر به‌صورت داربستی از نوع تی-بار² تربیت شده بودند. ویژگی‌های آب و هوایی منطقه

¹ Fertigation

² T-bare

اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، 1996) و نیتروژن کل با روش برمنر (1996) تعیین شدند. فسفر قابل جذب با روش اولسن و سامرز (1984)، پتاسیم قابل جذب با روش هلمک و اسپارکس (1996)، کلسیم و منیزیم تبادل با روش تیتراسیون تعیین شدند (بیج و همکاران، 1982). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول 2 آمده است. خصوصیات کیفی آب نیز در جدول 3 آمده است. تجزیه آب نیز براساس روش استاندارد تجزیه آب و فاضلاب (رایس و همکاران، 2017) انجام شد.

مورد مطالعه در جدول 1 آمده است. نمونه مخلوطی از خاک در ناحیه سایه‌انداز تاک‌ها، جایی که ریشه‌های فعال وجود دارند، برداشته شد و بلافاصله به آزمایشگاه خاکشناسی برای تعیین عناصر غذایی مطابق با روش‌های استاندارد منتقل شد. درصد رس، سیلت، شن و بافت خاک با روش هیدرومتری تعیین شد (جی و باوذر، 1986). pH با روش توماس (1996) و هدایت الکتریکی با روش رودز (1996) به ترتیب با استفاده از pH متر و EC متر در آزمایشگاه تعیین شد. کربن آلی به روش

جدول 1- ویژگی‌های جغرافیایی و آب و هوایی شهرستان رودسر (سازمان هواشناسی کشور، 1396)

تقسیم‌بندی آب و هوایی	نیمه گرمسیری
ارتفاع از سطح دریا (متر)	19-
طول جغرافیایی (درجه شرقی)	50/3
عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	37/13
دمای میانگین سالانه (درجه سلسیوس)	15/8
میزان بارندگی سالانه (میلی‌متر)	1178

جدول 2- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ مورد آزمایش از عمق 0 تا 30 سانتی‌متری

بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)
لومی رسی شنی	26	28	46	1/46	0/15
فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)				منیزیم تبادل (meq 100g ⁻¹)
85/4	242				12/3

جدول 3- برخی خصوصیات کیفی آب مورد استفاده برای آبیاری

کیفیت آب	کلاس آب	سختی موقت (meq L ⁻¹)	سختی کل (meq L ⁻¹)	S.A.R	T.D.S (mg L ⁻¹)	EC (μs m ⁻¹)	pH
شوری کم و سدیم کم	C ₁ S ₁	0/98	1/28	0/18	80	150	7
CO ₃ ²⁻ (meq L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (meq L ⁻¹)	Cl ⁻ (meq L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (meq L ⁻¹)	Ca ²⁺ (meq L ⁻¹)	Mg ²⁺ (meq L ⁻¹)	Na ⁺ (meq L ⁻¹)	Fe (ppm)
0/00	1/98	0/62	0/00	0/64	0/64	0/15	0/00

دستگاه علف‌زن موتوری انجام شد. آبیاری به صورت قطره‌ای، براساس نیاز آبی گیاهان انجام گرفت.

اعمال تیمار

تیمارها در باغ به صورت طرح بلوک کامل تصادفی اجرا شد. به جزء عملیات کودآبیاری، سایر عملیات باغی در مورد کلیه تیمارها به طور مشابه انجام شد. تیمارهای کودی عبارت بودند از: 1- چال‌کود، 2- کودآبیاری با

در پایان مقدار تقریبی هر یک از عناصر غذایی با در نظر گرفتن نتایج آزمون خاک، مقدار متوسط عملکرد (30 تن در هکتار) و مقدار عناصری که هر ساله از طریق هرس شدید شاخه‌ها از باغ کیوی خارج می شود، تخمین زده شد. کنترل علف‌های هرز باغ به صورت مکانیکی طی چندین مرحله توسط

83/3 کیلوگرم نیتروژن در هکتار (200 گرم نیتروژن به ازای هر تاک (N100)، 3- کودآبیاری با 124/8 کیلوگرم نیتروژن در هکتار (300 گرم نیتروژن به ازای هر تاک (N125)، 4- کودآبیاری با 166/4 کیلوگرم نیتروژن در هکتار (400 گرم نیتروژن به ازای هر تاک (N150) و 5- تاک‌های که با روال قبلی و رایج باغ (170 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) کوددهی شدند (شاهد). توصیف هر کدام از تیمارها در ادامه آمده است.

در تیمار چال‌کود مقدار 120 کیلوگرم نیتروژن خالص یعنی 288 گرم نیتروژن خالص برای هر تاک (از منبع سولفات آمونیوم)، 50 کیلوگرم فسفر (سوپرفسفات تریپل)، 120 کیلوگرم پتاسیم (سولفات پتاسیم)، 60 کیلوگرم گوگرد پودری و 15 کیلوگرم منیزیم (سولفات منیزیم) در هکتار استفاده شد. دو سوم کود نیتروژن همراه با سایر کودهای پایه در آخر اسفند و یک سوم باقی‌مانده در خرداد ماه به صورت سرک داده شد. برای این منظور چاله‌های به ابعاد تقریبی 20 در 20 سانتی‌متر و با عمق 20 سانتی‌متر به تعداد دو تا در پای هر تاک به فاصله یک متر از تنه درخت کنده شد و سپس مقادیر کودشیمیایی به همراه ماسه رودخانه به چاله‌ها اضافه شد. در تیمار شاهد (روال معمول) تغذیه تاکستان کیوی طی دو مرحله در اسفند و فروردین ماه انجام شد. در مرحله اول

(15 اسفندماه) 100 کیلوگرم نیتروژن و 70 کیلوگرم پتاسیم و همچنین در مرحله دوم (10 فروردین) 70 کیلوگرم نیتروژن، 86 کیلوگرم پتاسیم و 23 کیلوگرم فسفر در هکتار به خاک اضافه شد. در این تیمار برای هر تاک 409 گرم نیتروژن خالص مصرف شده است. باغدار براساس تجربه به این مقادیر کودی و شیوه اعمال آنها رسیده است و در این پژوهش به عنوان یک تیمار مدنظر قرار گرفت.

به منظور انجام کودآبیاری از یک سامانه آبیاری قطره‌ای میکروجت استفاده شد. لوله‌های تیپ (فاصله قطره‌چکان-ها روی خط 20 سانتی‌متر از همدیگر و با ارتفاع 30 سانتی‌متر از سطح زمین) کنار ردیف‌های کشت قرار داشتند. به منظور تزریق کود به سامانه، از ونتوری تزریق استفاده شد. کودآبیاری در دفعات معین با فاصله هر 15 روز یکبار از اول فرودین تا آخر مرداد ماه صورت گرفت که مقادیر دقیق میزان نیتروژن مصرفی در هر نوبت در جدول 4 خلاصه شد. سایر عناصر غذایی از جمله فسفر، پتاسیم، منیزیم و گوگرد در تیمارهای کودآبیاری همانند تیمار چال‌کود بود که در اسفند ماه به پای تاک‌های کیوی اضافه شدند. ذکر این نکته ضروریست که با توجه به بالا بودن میزان فسفر قابل جذب خاک (جدول 2)، نیازی به اعمال کود فسفر نبوده است. هر چند ملاک اعمال مقادیر کودی آنالیز خاک نبوده است.

جدول 4- مقادیر دقیق نیتروژن استفاده شده در سامانه کودآبیاری از منبع کود اوره

مقدار نیتروژن مصرفی در هر ماه	مقدار نیتروژن خالص (گرم به ازای هر تاک)		
	400	300	200
فروردین	80	60	40
اردیبهشت	90	70	50
خرداد	90	70	50
تیر	70	50	30
مرداد	70	50	30
شهریور	0	0	0
مقدار کل (گرم نیتروژن به ازای هر تاک در سال)	400	300	200

ارزیابی صفات

با هدف پایش اثر تیمارهای کودی مختلف بر وضعیت عناصر غذایی موجود در برگ، نمونه‌های برگ در دو مرحله، اردیبهشت ماه قبل از تشکیل میوه که شامل جوان‌ترین برگ بالغ در هر شاخه با رشد نامحدود که حامل جوانه گل نیز می‌باشند و مرحله دوم در تیر ماه که از دومین برگ بالغ بلافاصله بعد از آخرین میوه در هر شاخه بارده با رشد نامحدود جمع‌آوری شد. ابتدا هضم نمونه‌های برگ به روش تر صورت گرفت و سپس برای تعیین مقدار نیتروژن کل برگ از دستگاه کجل‌تک مدل

Kjeltec Auto System 1030 Analyzer مطابق روش والینگ و همکاران (1989) انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار فسفر، کلسیم و منیزیم، ابتدا نمونه‌ها برگ در کوره الکتریکی سوزانده شد و سپس با هیدروکلریک اسید عصاره‌گیری شدند. در پایان میزان فسفر نمونه‌های برگ از طریق رنگ‌سنجی با استفاده از معرف مولیبدات وانادات (چاپمن و پرات، 1961) و میزان پتاسیم با استفاده از روش نشر شعله‌ای (فلیم فتومتر) اندازه‌گیری شدند (والینگ و همکاران، 1989). اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم

است. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD^1) انجام شد.

نتایج و بحث

نیتروزن برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان نمونه‌برداری بر میزان نیتروزن برگ کیوی فروت معنی‌دار نبود، اما اثر ساده تیمارهای کودی و برهمکنش زمان و تیمار کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 5). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در زمان اول (اردیبهشت ماه قبل از تشکیل میوه) بیشترین میزان نیتروزن برگ ($1/52$ درصد) در تیمار کودآبیاری با $166/4$ کیلوگرم نیتروزن در هکتار به‌دست آمد و در زمان دوم (تیر ماه) بیشترین میزان نیتروزن برگ به‌ترتیب در تیمار چال‌کود ($1/67$ درصد) و $N150$ ($1/56$ درصد) مشاهده شد (شکل 1).

تحقیقات قبلی نیز نشان داد که با افزایش میزان نیتروزن در خاک، میزان جذب نیتروزن در گیاه نیز افزایش پیدا می‌کند (میلارد و گرلت، 2010). در این پژوهش نیز با افزایش غلظت نیتروزن در کودآبیاری قابلیت دسترسی به نیتروزن افزایش یافته و به دنبال آن جذب نیتروزن توسط گیاهان بیشتر شد (سانیتا، 2006). تحقیقات قبلی نشان داد که مقدار بهینه نیتروزن در برگ در زمان اول ($3/9-3/5$ درصد) و در زمان دوم یعنی تیر ماه این میزان به $2/8-2/2$ درصد کاهش می‌یابد (وارینگتون و وستون، 1990). به نظر می‌رسد که هیچ یک از تیمارها نتوانسته است نیاز کامل نیتروزنی درختان کیوی را تأمین کند. در نتیجه مقدار نیتروزن برگ بجز در تیمار کودآبیاری 400 گرم نیتروزن برای هر تاک و تیمار چال‌کود، در مابقی تیمارها کمتر از حد کمبود نیتروزن برگ ($1/5$ درصد) در هر دو زمان نمونه‌برداری بوده است (شکل 1).

و عصاره گیاهی نیز با استفاده از روش کمپلکسی‌متری تعیین شد (والینگ و همکاران، 1989).

برای اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی میوه از هر تکرار 30 عدد میوه، در مجموع 90 عدد میوه برای هر تیمار برداشت شدند. برای تعیین طول و قطر میوه‌ها از کولیس دیجیتال مدل Insize استفاده شد. برای اندازه‌گیری قطر میوه در تمامی میوه‌ها، قطر بزرگ میوه مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت نسبت طول به قطر میوه‌ها نیز محاسبه شد. وزن تر و خشک میوه‌ها نیز توسط ترازوی دیجیتالی مدل Sartorius اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری ماده خشک میوه از یک سوم میانی میوه‌ها برش‌های 9 تا 10 میلی‌متری آماده شد و در داخل آون با دمای 65 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت قرار داده شدند. بعد از خشک شدن نمونه‌ها، درصد ماده خشک محاسبه شد. بعد از خشک شدن نمونه‌ها، وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد و درصد ماده خشک با فرمول زیر محاسبه شد (عاشوری و اجاری و همکاران، 1393):

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{100 \times \text{وزن خشک}}{\text{وزن تر}}$$

از نمونه‌های خشک شده برای اندازه‌گیری نیتروزن کل میوه همانند نمونه‌های برگ استفاده شد. برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه از قسمت میانی میوه برش از پوست به ضخامت یک یا دو میلی‌متر برداشت شد و سپس با استفاده از دستگاه پترومتر (سفتی‌سنج) Effegi، مدل FTO11 با نوک (پروب) 8 میلی‌متر میزان سفتی بافت در دو سمت میوه کیوی اندازه‌گیری شد و بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر نیرو بیان شد.

محتوای مواد جامد محلول (SSC) میوه‌ها به‌وسیله دستگاه رفرکتومتر دیجیتالی (Euromex RD 635, Holland) در دمای 22 درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. میزان اسید میوه (TA) با استفاده از هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال تا ظهور رنگ صورتی تعیین گردید برای اندازه‌گیری میزان ویتامین ث میوه‌ها از روش تیتراسیون با 2 و 6-دیکلروفنول ایندوفنول استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (9.1) و رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت. اثر زمان نیز تجزیه آماری شده

¹ Least Significant Difference (LSD)

جدول 5- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی و زمان نمونه برداری بر میزان عناصر غذایی برگ کیوی

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییر
منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن		
0/0001 ^{ns}	0/0002 ^{ns}	0/0078 ^{ns}	0/0001 ^{ns}	0/0004 ^{ns}	2	بلوک
0/0019 ^{**}	15/2226 ^{**}	3/1603 ^{**}	0/0406 ^{**}	0/0007 ^{ns}	1	زمان نمونه برداری
0/0017 ^{**}	0/1586 ^{**}	0/7059 ^{**}	0/0064 ^{**}	0/1745 ^{**}	4	تیمار کودی
0/0013 ^{**}	0/1934 ^{**}	0/1329 ^{**}	0/0044 [*]	0/0909 ^{**}	4	زمان × تیمار
0/0001	0/0027	0/0031	0/0014	0/0045	18	خطای آزمایشی
6/91	1/29	2/55	4/20	5/01	-	ضریب تغییرات

ns و * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال 1 درصد، 5 درصد و عدم معنی داری.

فسفر برگ

درصد و در تیر ماه 1/8-2/5 درصد گزارش شده است (وارینگتون و وستون، 1990). در موافقت با نتایج این پژوهش پاچکو و همکاران (2010) نیز نشان دادند که کودآبیاری نیتروژنه (30، 60 و 90 کیلوگرم در هکتار) به-طور معنی داری میزان پتاسیم کیوی فروت را افزایش داد. همچنین مارش و استونول (1993) بیان کردند که کودآبیاری نیتروژن مقدار پتاسیم برگ کیوی فروت را تحت تأثیر قرار داد. کمترین مقدار پتاسیم در هر دو زمان اندازه گیری به ترتیب تیمار شاهد (کوددهی رایج) و تیمار چال کود مشاهده شد، هر چند هیچ کدام از آنها در محدوده کمبود پتاسیم (1/5 درصد) قرار نگرفتند (شکل 3). گزارش های قبلی نیز نشان داد که با افزایش کاربرد نیتروژن، میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش می یابد (راجیو و میسرا، 2011).

کلسیم برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل زمان نمونه برداری و تیمارهای کودی بر مقدار کلسیم برگ کیوی به طور معنی داری در سطح احتمال 1 درصد معنی دار بوده است (جدول 5). مقایسه میانگین داده ها نشان داد در زمان اول اندازه گیری تیمار N125 با 3/51 درصد بیشترین مقدار کلسیم برگ را داشت، در حالی که در زمان دوم اندازه گیری بیشترین مقدار کلسیم برگ به ترتیب در تیمارهای کودآبیاری N150 و چال کود به ترتیب با 5/05 و 5/01 درصد به دست آمد و کمترین مقدار کلسیم در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل 4).

مقدار بهینه کلسیم در برگ های کیوی در اردیبهشت ماه (1/35-1/45 درصد) و در تیر ماه (3-3/5 درصد) در دامنه متغیر می باشد (وارینگتون و وستون، 1990). با توجه به نتایج آنالیز برگ در دو زمان مقدار کلسیم برگ در تمامی تیمارها و شاهد در دامنه بهینه قرار

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر ساده زمان نمونه برداری، تیمار کودی و برهمکنش زمان نمونه برداری و تیمارهای کودی بر مقدار فسفر برگ کیوی معنی داری بودند (جدول 5). مقایسه میانگین ها نشان داد که در اردیبهشت ماه تیمار شاهد کمترین مقدار فسفر برگ را نشان داد، اما بین سایر تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشت. در تیر ماه بیشترین مقدار فسفر برگ در تیمار کودآبیاری N100 مشاهده شد (شکل 2).

مقدار بهینه فسفر در برگ های کیوی در اردیبهشت ماه (0/6-0/7 درصد) و در تیر ماه (0/22-0/18 درصد) گزارش شد (وارینگتون و وستون، 1990). در این پژوهش، مقدار فسفر برگ در تمامی تیمارهای کودی و شاهد در هر دو زمان آزمایش بالاتر از حد بهینه قرار داشت. این امر به دلیل بالا بودن فسفر خاک (جدول 2) و قرار دادن مقدار بیشتر فسفر در سطوح بالای کود-آبیاری و تیمار چال کود بوده که باعث افزایش جذب و مقدار فسفر برگ در تاک های کیوی شده است، که در مطالعات پیشین نیز مشاهده شده است (سالینرو و همکاران 2010). هر چند مقدار فسفر هنوز به حد سمیت (1/2 درصد) نرسیده است (مرادی و رئیس، 1395).

پتاسیم برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که برهم-کنش زمان نمونه برداری و تیمارهای کودی در سطح احتمال 1 درصد بر مقدار پتاسیم برگ معنی دار بود (جدول 5). میانگین داده ها نشان داد که درصد پتاسیم برگ در اردیبهشت ماه به طور معنی داری کمتر از تیر ماه بود. تیمار کود آبیاری به طور معنی داری مقدار پتاسیم برگ را افزایش داد.

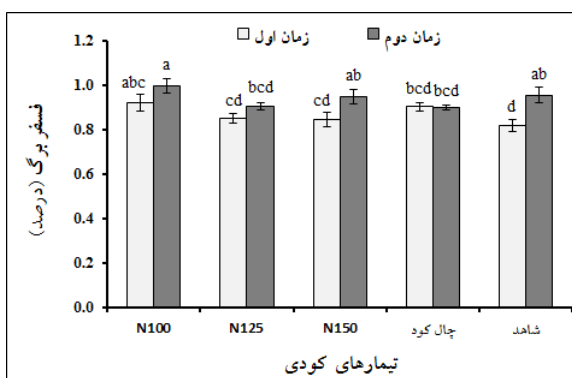
مقدار بهینه پتاسیم برگ های کیوی در ماه اردیبهشت، یعنی 6 هفته قبل از تشکیل میوه ها 2/65-2/76

اردیبهشت بیشترین مقدار پتاسیم در تیمارهای N125 و N100 (به ترتیب 0/21 و 0/19 درصد) مشاهده شده، در حالی که در تیر ماه اندازه‌گیری تمامی تیمارهای کودی به طور معنی‌داری میزان منیزیم برگ را کاهش دادند، به طوری که بیشترین میزان منیزیم برگ با 0/19 درصد در تیمار شاهد (کوددهی رایج باغدار) مشاهده شد (شکل 5). مقدار بهینه منیزیم برگ‌های کیوی در اردیبهشت ماه (0/35-0/3 درصد) و در تیر ماه (3/5-3 درصد) می‌باشد. مقدار کمبود منیزیم کمتر از 0/1 درصد می‌باشد. به نظر می‌رسد که در هیچ یک از تیمارها مقدار منیزیم در محدود کمبود 0/1 قرار نداشتند. علیرضا و همکاران (1387) مشخص نمود که نیتروژن می‌تواند روی جذب سایر عناصر مانند پتاسیم، منیزیم، کلسیم و فسفر تأثیرگذار باشد. در پژوهش مارش و استول (1993) مشخص شد که کودآبیاری به طور معنی‌داری میزان منیزیم برگ کیوی فروت را افزایش داده است.

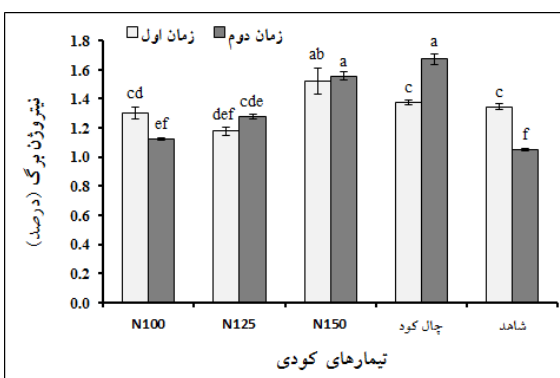
داشته است. با افزایش جذب نیتروژن ممکن است سرعت فتوسنتز نیز افزایش یافته و در نتیجه نیاز گیاه به مواد غذایی مانند کلسیم، فسفر و پتاسیم افزایش یابد و در نتیجه مقادیر بیشتری از آنها را جذب کند (یولداس و همکاران، 2008). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های مرادی و همکاران (1395)، سالیانو و همکاران (2010) و پاچکو و همکاران (2010) که نشان دادند میزان کلسیم در تاک کیوی فروت به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر کودآبیاری قرار گرفت، مطابقت دارد.

منیزیم برگ

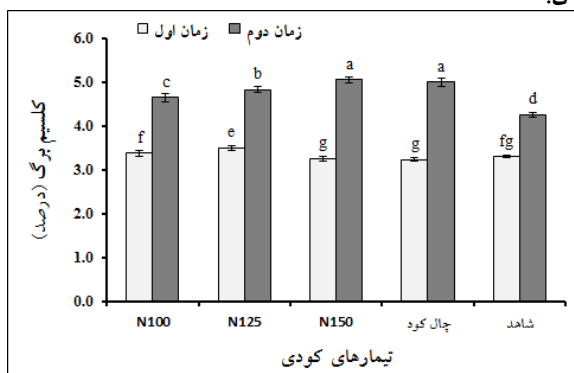
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده و اثر متقابل زمان نمونه‌برداری و تیمارهای کودی در سطح احتمال 1 درصد بر مقدار منیزیم برگ کیوی فروت معنی‌دار شد (جدول 5). برخلاف سایر عناصر اندازه‌گیری شده مقدار منیزیم در تیر ماه در برگ‌های کیوی فروت به طور معنی‌داری کاهش یافت. در ماه



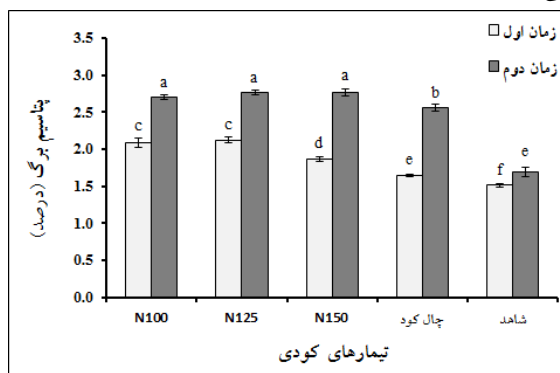
شکل 2- اثر تیمارهای کودی بر تغییرات میزان فسفر برگ کیوی- فروت در دو زمان اندازه‌گیری، اردیبهشت و تیر ماه. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد آزمون LSD می‌باشد.



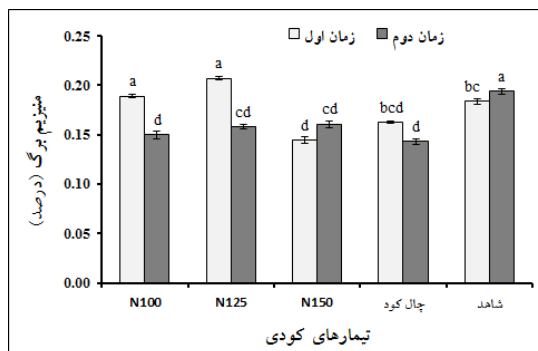
شکل 3- اثر تیمارهای کودی بر میزان نیتروژن برگ کیوی فروت در دو زمان اندازه‌گیری، اردیبهشت و تیر ماه. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد آزمون LSD می‌باشد.



شکل 4- اثر تیمارهای کودی بر میزان کلسیم برگ کیوی فروت در دو مرحله اندازه‌گیری، اردیبهشت و تیر ماه. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد آزمون LSD می‌باشد.



شکل 5- اثر تیمارهای کودی بر مقدار پتاسیم برگ کیوی فروت در دو مرحله اندازه‌گیری، اردیبهشت و تیر ماه. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد آزمون LSD می‌باشد.



شکل 5- اثر تیمارهای کودی بر میزان منبذیم برگ کیوی فروت در دو مرحله اندازه‌گیری، اردیبهشت و تیر ماه. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد آزمون LSD می‌باشد.

عملکرد و ویژگی‌های میوه عملکرد هر تاک

کود عناصر غذایی در کنار ریشه درختان قرار گرفته و این امر باعث جذب بهتر آن‌ها و در نتیجه افزایش عملکرد شد (رئیزی و همکاران، 1396). اما در مورد کودآبیاری، تنها تیمار 150 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار توانست ضمن تامین نیتروژن مورد نیاز تاک‌ها باعث کسب عملکرد بالا شود، سایر تیمارهای کودآبیاری نتوانست حداکثر نیاز نیتروژنی تاک‌های کیوی را تامین کند. در موافقت با یافته‌های این پژوهش مرادی و همکاران (1395) نیز نشان دادند که روش‌های مختلف کوددهی شامل کودآبیاری، چال‌کود و محلول‌پاشی می‌تواند بر میزان عملکرد تاک‌های کیوی فروت تأثیرگذار باشد. از طرف دیگر چوهان و کندل (2008) و مارش و استوول (1993) نیز بیان نمودند که کودآبیاری با غلظت‌های مختلف کود NPK به‌طور معنی‌داری باعث افزایش رشد درخت و عملکرد تاک کیوی فروت شد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر عملکرد هر تاک در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 6). مقایسه میانگین‌ها داده‌ها نشان داد بیشترین عملکرد هر تاک مربوط به تیمار چال‌کود (با 56/83 کیلوگرم در هر تاک) و تیمار کودآبیاری با N150 (43/82 کیلوگرم در هر تاک) بود و تیمارهای کودآبیاری N125 (31/55)، شاهد (35/29) و N100 (34/61) کیلوگرم) در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول 7). برای کسب حداکثر عملکرد، بایستی روش‌های کوددهی به‌گونه‌ای باشد که عناصر غذایی بر اساس نیاز واقعی گیاهی در اختیارشان قرار گیرد. در بررسی حاضر مشخص شد که تیمار چال‌کود بیشترین عملکرد را دارد که این امر می‌تواند به این دلیل باشد که در حالت چال

جدول 6- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر میانگین وزن تک میوه و عملکرد هر تاک کیوی فروت

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد	میانگین وزن تک میوه		
0/37 ^{ns}	2/44 ^{ns}	2	بلوک
314/82 ^{**}	130/85 ^{**}	4	تیمار کودی
0/18	5/22	8	خطای آزمایشی
1/04	2/37	-	ضرب تغییرات

ns و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد، 5 درصد و عدم معنی‌داری.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای کودی بر میانگین وزن تک میوه و عملکرد هر تاک کیوی فروت

تیمارها	میانگین وزن تک میوه (گرم)	عملکرد (کیلوگرم بر تاک)
N100	94/10b	34/61c
N125	101/34a	31/55d
N150	98/74ab	43/82b
چال کود	101/62a	56/83a
شاهد	85/82c	35/29c

* در هر ستون، حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی داری در سطوح متناظر آزمون LSD می‌باشد.

میانگین وزن میوه

بنابراین به غیر از تیمار شاهد سایر تیمارها باعث تولید میوه‌های بزرگ‌تر از 90 گرم شدند.

طول میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که طول میوه کیوی فروت به طور معنی دار و در سطح احتمال 1 درصد تحت اثر تیمارهای کودی قرار گرفت (جدول 8). مقایسه میانگین داده‌ها (جدول 9) نشان داد که همه تیمارهای کودی در مقایسه با شاهد، طول میوه را افزایش دادند که در این میزان تیمار چال کود با 69/19 میلی‌متر بیشترین طول میوه را در بین تیمارها داشت و تیمارهای کودآبیاری نیز با یکدیگر اختلاف معنی داری را نشان ندادند. کمترین طول در تیمار شاهد مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر میانگین وزن تک میوه کیوی در سطح احتمال 1 درصد معنی دار بود (جدول 6). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که به ترتیب تیمارهای چال کود، کودآبیاری N125 و N150 بیشترین میزان میانگین وزن تک میوه را داشتند و البته از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند و تیمار N100 با 94/10 گرم میانگین وزن تک میوه کیوی در رتبه بعدی قرار داشت و در نهایت کمترین میزان میانگین وزن تک میوه در تیمار شاهد با 85/82 گرم مشاهده شد (جدول 7). بر اساس دستورالعمل صادرات میوه‌های کیوی که اندازه بالاتر از 90 تا 120 گرم دارند، در درجه ممتاز یا کلاس اول قرار می‌گیرند و ارزش صادراتی بالاتری در مقایسه با میوه‌های دیگر پیدا می‌کنند.

جدول 8- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر ابعاد فیزیکی و سفتی بافت میوه کیوی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		طول	قطر	نسبت طول به قطر
بلوک	2	0/42 ^{ns}	0/13 ^{ns}	0/0004 ^{ns}
تیمار کودی	4	9/63 ^{**}	0/87 ^{**}	0/0021 ^{**}
خطای آزمایشی	8	0/25	0/16	0/0001
ضریب تغییرات	-	0/74	0/77	0/93

**، * و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال 1 درصد، 5 درصد و عدم معنی داری.

جدول 9- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر ابعاد فیزیکی و سفتی بافت میوه کیوی

تیمارها	طول (میلی متر)	قطر (میلی متر)	نسبت طول به قطر	سفتی (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)
N100	67/58b	52/54a	1/28c	7/69a
N125	66/75b	49/68b	1/34a	6/23b
N150	66/89b	50/48b	1/32ab	6/65b
چال کود	69/19a	53/02a	1/30bc	7/35a
شاهد	64/23c	50/09b	1/28c	6/37b

* در هر ستون، حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی داری در سطوح متناظر آزمون LSD می‌باشد.

قطر میوه

تجزیه واریانس داده‌ها مشخص کرد که تیمارهای کودی به‌طور معنی‌داری قطر میوه کیوی را تحت تأثیر قرار دادند (جدول 8). در این میان تیمارهای چال‌کود و N100 به‌ترتیب با 53/02 و 52/54 میلی‌متر بیشترین قطر میوه را داشتند و سایر تیمارها از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول 9).

نسبت طول به قطر میوه

براساس جدول 8 نسبت طول به قطر میوه کیوی به‌طور معنی‌دار و در سطح احتمال 1 درصد تحت تأثیر اثر تیمارهای کودی قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز حاکی از آن بود که تیمارهای N125 و N150 به‌ترتیب با 1/34 و 1/32 بیشترین نسبت طول به قطر میوه را به خود اختصاص دادند، در واقع باعث تولید میوه‌های کشیده‌تر شدند و کمترین نسبت به‌ترتیب با 1/28 در تیمار شاهد و N100 مشاهده شد (جدول 9).

اندازه و شکل محصول تعیین می‌کند که چه تعداد میوه یا سبزی را می‌توان درون جعبه‌ها، کارتن‌ها و ظروف بسته‌بندی با یک اندازه مشخص قرارداد (صفی‌یاری و همکاران، 1391). علت تأثیر مثبت نیتروژن در رشد میوه به‌دلیل نقش این عنصر در ساخت پروتئین‌ها که در عمده فعالیت‌های سلولی نقش دارند، می‌باشد مارشنر (2012). در موافقت با یافته‌های این پژوهش چوهان و کندل (2008) گزارش کردند که اندازه، شکل و وزن میوه کیوی به‌طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر کودآبیاری با NPK قرار گرفت.

سفتی بافت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای کودی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد بر سفتی بافت میوه کیوی فروت تأثیر گذاشت (جدول 8). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای N100 و چال‌کود به‌ترتیب با 7/69 و 7/35 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بیشترین سفتی بافت میوه را به‌خود اختصاص دادند و سایر تیمارها از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول 9). سفتی بافت میوه یک معیار کلیدی مهم برای بررسی مناسب بودن میوه‌های کیوی برای مصرف و صادرات است وودوارد (2006). در موافقت با یافته‌های این پژوهش مرادی و همکاران (1395) نیز نشان دادند که میزان سفتی بافت میوه کیوی فروت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار کوددهی قرار گرفت.

درصد ماده خشک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد ماده خشک میوه کیوی فروت در زمان برداشت تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار نگیرد (جدول 10). برخلاف نتایج این پژوهش، مرادی و همکاران (1395) گزارش کردند که تیمارهای کودآبیاری به‌طور معنی‌داری روی درصد ماده خشک میوه کیوی تأثیر می‌گذارد. حد قابل قبول ماده خشک میوه کیوی 15 درصد می‌باشد که از این لحاظ تمامی تیمارهای کودی توانستند میوه‌های با ماده خشک بالاتر از 15 درصد تولید کنند. اما حد ترجیحی درصد ماده خشک میوه کیوی در بازارهای بین‌المللی 17 درصد است که به غیر از چال‌کود سایر تیمارهای کودی درصد ماده خشک بالاتر از این میزان را نشان دادند.

نیتروژن میوه

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای کودی در سطح احتمال 1 درصد بر مقدار نیتروژن میوه تأثیر معنی‌داری داشته است (جدول 10). مقایسه میانگین داده‌ها مشخص کرد که تیمار چال‌کود با 1/01 درصد بیشترین میزان نیتروژن میوه را داشت (جدول 11). مطابق با بررسی حاضر، مرادی و همکاران (1395) نیز گزارش کردند که مقدار عناصر غذایی بافت میوه کیوی فروت از جمله نیتروژن، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های مختلف کوددهی شامل کودآبیاری، چال‌کود و محلول‌پاشی قرار گرفت. افزایش مقدار نیتروژن بافت میوه در روش چال‌کود می‌تواند به‌دلیل قرار گرفتن کود در تماس مستقیم با ریشه‌های فعال تاک و جذب بهتر آن باشد.

مواد جامد محلول (SSC)

محتوی مواد جامد محلول (SSC) میوه در زمان برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت (جدول 10). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تیمارهای کودآبیاری باعث افزایش میزان SSC میوه‌ها در زمان برداشت شد (جدول 11). کمترین میزان SSC میوه‌ها نیز در تیمار چال‌کود (8/24 درصد) مشاهده شد، که البته از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (8/85 درصد) نداشت.

تغییرات قندها و میزان SSC نقش مهمی در کیفیت محصولات باغبانی به‌خصوص میوه کیوی دارد، به‌طوری که تغییرات میزان SSC میوه باعث تغییر در طعم و مزه آن خواهد شد بر بونی و همکاران (2010). گزارش شد با افزایش کود نیتروژن بر رشد رویشی و میزان کربوهیدرات‌های ساختمانی افزوده می‌شود و از میزان قندهای محلول کاسته می‌شود لیتورجیدیس و همکاران

(2006). مرادی و همکاران (1395) بیان کردند که میزان SSC میوه کیوی در زمان برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های مختلف کوددهی قرار گرفت. همچنین

سالی‌نرو و همکاران (2010) نشان دادند که SSC میوه کیوی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کودآبیاری قرار گرفت.

جدول 10- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه کیوی

منابع تغییر	درجه آزادی	ماده خشک	نیترژن	SSC	TA	SSC/TA	ویتامین ث
بلوک	2	0/072 ^{ns}	0/002 ^{ns}	0/856 ^{**}	0/005 ^{ns}	0/053 [*]	219 ^{ns}
تیمار کودی	4	0/709 ^{ns}	0/030 ^{**}	0/849 ^{**}	0/167 ^{**}	0/043 [*]	4259 ^{**}
خطای آزمایشی	8	0/323	0/003	0/055	0/027	0/010	64
ضریب تغییرات	-	3/30	6/81	2/60	5/09	3/73	5/93

ns و **، * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد، 5 درصد و عدم معنی‌داری.

جدول 11- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه کیوی

تیمارها	ماده خشک (درصد)	نیترژن (درصد)	SSC (درصد)	TA (درصد)	SSC/TA	ویتامین ث (میلی گرم بر 100 میلی لیتر)
N100	17/78a	0/83b	9/26ab	3/54a	2/61b	181/05a
N125	17/49a	0/78b	9/68a	3/42ab	2/83ab	159/47ab
N150	17/32a	0/77b	9/10ab	3/21ab	2/84ab	95/17c
چال کود	16/49a	1/01a	8/24c	3/01b	2/74ab	143/58b
شاهد	17/11a	0/79b	8/85bc	3/03b	2/93a	98/92c

* در هر ستون، حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر آزمون LSD می‌باشد.

اسیدیته قابل تیتر (TA)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای کودی بر میزان TA در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 10). به‌طور کلی، تیمارهای کودآبیاری در مقایسه با چال‌کود و شاهد میزان TA بالاتری نشان دادند، هرچند تنها تیمار N100 با 3/54 درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد و چال‌کود نشان داد (جدول 11).

در موافقت با یافته‌های این پژوهش مرادی و همکاران (1395) گزارش کردند که روش‌های مختلف کوددهی بر میزان TA میوه کیوی تأثیر معنی‌داری دارد. سالی‌نرو و همکاران (2010) نتیجه گرفتند که کودآبیاری توانسته بود به‌طور معنی‌داری میزان TA میوه کیوی‌فروت را افزایش دهد. به نظر می‌رسد تیمار کود آبیاری به خصوص N100 با افزایش میزان فتوسنتز و تجمع فرآورده‌های فتوسنتزی باعث افزایش اسیدمیوه شد.

ویتامین ث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر میزان ویتامین ث میوه در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 10). تیمار N100 با داشتن 181/05 میلی گرم بر 100 میلی لیتر آب میوه بیشترین میزان ویتامین

ث را داشت، که البته از لحاظ آماری با تیمار N125 اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین تیمارهای N150 و شاهد به ترتیب با 95/17 و 98/92 میلی گرم بر 100 میلی لیتر کمترین مقدار ویتامین ث میوه کیوی را به خود اختصاص دادند (جدول 11). در موافقت با یافته‌های این پژوهش مرادی و همکاران (1395) گزارش کردند مقدار ویتامین ث میوه کیوی در زمان برداشت تحت تأثیر روش‌های مختلف کوددهی قرار گرفت.

نتیجه گیری

برای دستیابی به تولید و صادرات پایدار کیوی ضروریست ضمن افزایش عملکرد و کیفیت بالای میوه در زمان برداشت برای عرضه طولانی‌تر محصول به بازار و حفظ محیط زیست نیز توجه شود. در این خصوص مدیریت تغذیه تاک‌ها قبل از برداشت بسیار با اهمیت است. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار کودآبیاری با 166/4 کیلوگرم نیترژن در هکتار به همراه تیمار چال‌کود باعث افزایش مقدار نیترژن، پتاسیم و کلسیم برگ‌ها شد. بالاترین عملکرد هر تاک مربوط به تیمار چال‌کود و تیمار کودآبیاری با 166/4 کیلوگرم نیترژن در هکتار بود. به طور کلی، در کنار تیمار چال‌کود، تیمار کودآبیاری به

خصوص 166/4 کیلوگرم نیتروژن ضمن افزایش عملکرد میوه و حفظ کیفیت آن، با افزایش قند محلول باعث زودرسی میوه‌ها شد. همچنین کودآبیاری موجب صرفه-جویی در هزینه‌های کوددهی نیز می‌شود.

فهرست منابع:

1. رئیسی، ط، مرادی، ب، وفتاحی‌مقدم، ج. 1396. عملکرد و ترکیب معدنی برگ و میوه کیوی در روش‌های مختلف کوددهی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). 31(4): 488-473.
2. سالاردینی، اع. 1388. حاصلخیزی خاک. انتشارات موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران. 434 صفحه.
3. صفی‌یاری، ح، زمردیان، ع، رحمانیان، ح. و سلمانی‌زاده، ف. 1391. بررسی روند تغییرات خواص فیزیکی میوه خرمالو (رقم خرمندی) در طول دوره انبارمانی در شرایط محیطی. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. 8(4): 417-426.
4. عاشوری واجاری، م، قاسم نژاد، م، صبوری، ع، ابراهیمی، ر. 1393. مطالعه همبستگی بین مقدار و نسبت عناصر معدنی میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت با عمر پس از برداشت آن در باغ‌های کیوی شرق گیلان. نشریه تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. 4 (13): 87-100.
5. مرادی، ب، رئیسی، ط، و شاهنظری، س. 1395. اثر روش‌های مختلف کوددهی برویژگی‌های کمی و کیفی میوه ی کیوی. فصلنامه پژوهش‌های خاک. 30(3): 248-237.
6. هاشمی مجد، ک. 1393. حاصلخیزی خاک و کودها (مقدمه‌ای بر مدیریت عناصر غذایی). انتشارات آبیژ. 392 صفحه.
7. Abd el-razak, E., Treutter, D., Saleh, M.M.S., El-Shammaa, M., Amera, A. and Abdel-Hamid, N. 2011. Effect of nitrogen and potassium fertilization on productivity and fruit quality of crimson seedless grape. Agriculture and Biology Journal of North America. 2(2): 330-339.
8. Barboni, T., Cannaca, M. and Chiavamonti, N. 2010. Effect of cold storage and ozone treatment on physiochemical parameters, soluble sugars and organic acid in *Actinidia deliciosa*. Food Chemistry. 12: 946-952.
9. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. P: 1085-1121. In: D.L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
10. Chapman, H.D. and Pratt, P.F. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. Division of Agricultural Sciences, University of California, Riverside.
11. Chauhan, N. and Chandel, J.S. 2008. Effect of fertigation on growth, yield, fruit quality and fertilizer-use efficiency of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). The Indian Journal of Agricultural Sciences, 78(5): 389-393.
12. Epstein, E. and Bloom, A.J. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives, second ed., Sinauer Associates, Sunderland, MA.
13. FAO, Countries by commodity, Rankings, Production. 2019. Food and Agriculture organization of the United Nations.
14. Gee, G.H., Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P: 383-409. In: A. Klute (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, physical properties. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
15. Granelli, G., Lovati, F. and Testoni, A. 1994. Fertigation in kiwifruit growing. Informatore Agrario. 50(34): 65-68.
16. Groenvelde, T., Kohn, Y.Y., Gross, A. and Lazarovitch, N. 2019. Optimization of nitrogen use efficiency by means of fertigation management in an integrated aquaculture-agriculture system. Journal of Cleaner Production. 212: 401-408.

17. Helmke, Ph.A., Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: D.L. Sparks (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods*. SSSA, Madison, USA.
18. Jones, J. and Benton, J. 2012. *Plant nutrition and soil fertility manual*, 2nd Edition, CRC Press Inc., Boca Raton, FL. pp. 304.
19. Kafkafi, U. and Tarchitzky, J. 2011. Fertigation, a tool for efficient fertilizer and water management. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Potash Institute (IPI) Paris, France.
20. Koutinas, N., Sotiropoulos, T., Petridis, A., Almaliotis, D., Deligeorgis, E., Therios, I. and Voulgarakis, N. 2010. Effects of preharvest calcium foliar sprays on several fruit quality attributes and nutritional status of the kiwifruit cultivar Tsechelidis. *Hortscience*. 45: 984-987.
21. Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dhima, K.V., Dordas, C.A. and Yiakoulaki, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*. 99: 106-113.
22. Lv, H., Lin, S., Wang, Y., Lian, X., Zhao, Y., Li, Y., Du, J., Wang, Z., Wang, J. and Butterbach-Bahl, K. 2019. Drip fertigation significantly reduces nitrogen leaching in solar greenhouse vegetable production system. *Environmental Pollution*. 245: 694-701.
23. Marschner, P. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Waltham, MA, USA.
24. Marsh, K.B. and Stowell, B.M. 1993. Effect of fertigation and hydrogen cyanamide on fruit production, nutrient uptake, and fruit quality in kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 21(3): 247-252.
25. Millard, P. and Grelet, G.A. 2010. Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. *Tree Physiology*. 30(9): 1083-1095.
26. Mills, T., Boldingh, H., Blattman, P., Green, S. and Meekings, J. 2008. Nitrogen application rate and the concentration of other macronutrients in the fruit and leaves of Gold kiwifruit. *Journal of Plant Nutrition*. 31: 1656-1675.
27. Nelson, D.W., Sommers, L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. P: 961-1011. In: D.L. Sparks (ed.), *Methods of Soil Analysis. Parts 3, chemical methods*. SSSA, Madison, USA.
28. Olsen, S.R., Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. p: 403-430. In: A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1, chemical and biological properties*. SSSA, Madison, USA.
29. Pacheco, C., Calouro, F., Santos, F., Vieira, S., Neves, N., Curado, F. and Rodrigues, S. 2010. Influence of Nitrogen and Potassium Fertilization on Mineral Composition of Kiwifruit. *Acta Horticulturae*. 868: 319-326.
30. Page, A.L., Miller, R.H., Keeny, D.R. 1982. *Methods of soil analysis*. Soil Science Society of America.
31. Patterson, K.J. and Currie, M.B. 2011. Optimising kiwifruit vine performance for high productivity and superior fruit taste. *Acta Horticulturae*. 753: 325-332.
32. Peryea, F.J., Neilsen, G.H. and Faubion, D. 2007. Start-timing for calcium chloride spray programs influences fruit calcium and bitter pit in 'Braeburn' and 'Honeycrisp' apples. *Journal of Plant Nutrition*. 30: 1213-1227.
33. Rajiv, K. and Misra, R.L. 2011. Studies on nitrogen application in combination with phosphorus or potassium on gladiolus cv. Jester Gold. *Indian Journal Horticultural Research*. 68(4): 535-539.
34. Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D. 2017. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

35. Rhoades, J.D. 1996. Salinity electrical conductivity and total dissolved solids. P: 417-437. In: D.L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, USA.
36. Sale, P.R. 1990. Kiwifruit Growing. Wellington, New Zealand. GP Books.
37. Salinero, C., Piñón, P., Lema, M.J. and Martinez, L. 2010. Effect of Fertilization and Training on the Sensory Properties of Kiwifruit in Orchards in Northern Portugal. Acta Horticulturae. 868: 373-380.
38. Sunitha, H.M. 2006. Effect of plant population, nutrition, pinching and growth regulators on plant growth, seed yield and quality of African marigold (*Tagetes erecta* L.). M.Sc. (Horticultural) Thesis. University Agriculture Science, Dharwad, India. 120p.
39. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. P: 475-491. In: D.L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, USA.
40. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G. and Van der lee, J.J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi part 7. Plant Analysis procedures. Wageningen Agriculture University.
41. Woodward, T.J. 2006. Variation in 'Hayward' kiwifruit quality characteristics. PhD Thesis, University of Waikato, New Zealand.
42. Yoldas, F., Ceylan S., Yagmur, B. and Mordogan, N. 2008. Effects of nitrogen fertilizer on yield quality and nutrient content in broccoli. Journal of Plant Nutrition. 31: 1333-1343.
43. Zhang, M., Alva, A.K., Li, Y.C. and Calvert, D.V. 1996. Root distribution of grapefruit trees under dry granular broadcast vs. fertigation method. Plant and Soil. 183: 79-84.

نقش قرق طولانی مدت مرتع بر بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و پایداری آن

مسیب حشمتی¹ و محمد قیطوری

دانشیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛

heshmati46@gmail.com

دانشیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛

gheitury42@gmail.com

دریافت: 99/10/8 و پذیرش: 99/12/23

چکیده

جرای بی‌رویه مهم‌ترین عامل آسیب به ویژگی‌های خاک مراتع نیمه‌خشک است. با این وجود، اعمال قرق روشی مؤثر و کم‌هزینه برای مقابله با این پیامد است. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر پنج سال قرق مراتع ییلاقی دالاهو در استان کرمانشاه (99-1394) بر برخی ویژگی‌های خاک مانند کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، میانگین نسبت وزنی خاکدانه‌ها و پایداری آن بود. به این منظور، دو ترانسکت خطی در محدوده قرق و چرا بطور تصادفی انتخاب گردید که در هر یک 12 نقطه نمونه‌برداری به فواصل 250 متر مشخص گردید. نمونه‌برداری سالانه از خاک سطحی در طول این ترانسکت‌ها انجام شد. هر سال از خاک سطحی نمونه برداشت و مورد تجزیه آزمایشگاهی انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین کربن آلی خاک تیمار قرق و چرا در سال اول به ترتیب 1/10% و 1/09% بود که با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند که در سال پنجم به ترتیب به 3/70% و 1/62% رسید و مقدار این عامل در تیمار قرق بطور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$) که سه برابر سال اول بود. میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک تیمار قرق و چرا در سال اول به ترتیب 1/56 و 1/57 گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما از سال دوم به بعد در خاک تحت قرق روندی کاهشی یافت و در سال پنجم به کمترین میزان (1/266 گرم بر سانتی‌متر مکعب) رسید. همچنین، میانگین نسبت وزنی خاکدانه‌های با قطر بیش از 1 میلی‌متر در تیمار قرق و چرا در سال اول به ترتیب 9/18% و 8/09% بود که با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. در حالیکه در سال پنجم به ترتیب به 30/29% و 6/90% افزایش یافت که در سایت قرق حدود 3/3 برابر افزایش یافت. در نهایت، شاخص پایداری خاک مرتع تحت چرا در طول پنج سال رتبه 4 (کلاس محدودیت زیاد) بود، اما در خاک مرتع قرق شده به رتبه 1 (کلاس بدون محدودیت) ارتقاء یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که پنج سال قرق پشت‌سر هم منجر به بهبود چشمگیر کیفیت خاک و پایداری آن شد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاک، کربن آلی، خاکدانه‌های درشت، مراتع دالاهو

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

مقدمه

چرای زودرس و بیش از حد ظرفیت مهم‌ترین عامل آسیب به کیفیت خاک مراتع نیمه‌خشک است. با این وجود، اعمال قرق روشی مؤثر و کم‌هزینه برای مقابله با این پیامدهاست. اهمیت این موضوع به دلیل وسعت زیاد مراتع و نقش آنها در تولید علوفه، حفاظت خاک و مقابله با تغییرات اقلیمی از طریق ترسیب کربن می‌باشد. با این وجود، مراتع و به‌ویژه مراتع ایران با تخریب روزافزون با همه اشکال آن مواجه هستند، بطوریکه مساحت آن از حدود 90 میلیون هکتار در سال 1382 به حدود 84/8 میلیون هکتار در سال 1391 تقلیل یافته و سطح مراتع خوب و متوسط به ترتیب از 10/3 و 42/2 درصد به ترتیب به 8/5 و 25 درصد تقلیل یافته است (بی‌نام، 1392). ضرورت این موضوع در شرایط تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های ممتد دو چندان است، زیرا حفظ اکوسیستم‌های طبیعی و تنوع زیستی و خاک آنها مهم‌ترین راهکار مقابله با پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی است (الن و همکاران، 2010). قرق و مدیریت مؤثر چرای دام مهم‌ترین راهکار حفظ تنوع زیستی و خاک مراتع است.

پژوهش نائل و همکاران (2004)، نشان داد که نقاط با چرای شدید دام در اراضی جنگلی و مرتعی زاگرس با کاهش 60 درصدی ماده آلی و افزایش 20 درصدی وزن مخصوص ظاهری مواجه بودند. همچنین بر اساس نتایج مطالعات قیطوری و همکاران (2012)، علاوه بر ماده آلی، نسبت خاکدانه‌های درشت چنین نقاطی بطور معنی‌داری کاهش یافته است. این روند منجر به تشدید ضریب رواناب و فرسایش خاک مناطق زاگرس گردیده است (حشمتی و همکاران، 2011). نتایج مشابه در مراتع چین نیز گزارش شده است (لی و پگ، 2010).

خاک مراتع بطور متوسط نیم تن کربن در هکتار در سال ترسیب می‌کنند که معادل 30 درصد کربن خاک در مقیاس جهانی است (نیلی و همکاران، 2009). البته میزان هدر رفت خاک و کربن آلی تابعی از تنوع و فرم رویشی است. تحقیقات چوپانیان (2012)، در این زمینه نشان داد که مقدار کربن ترسیب شده در مراتع دارای گون بوته‌ای¹ بیشتر است. به همین دلیل، ارزیابی کیفیت و پایداری خاک مراتع عامل مهمی بر اساس شاخص‌های کمی اهمیت بسزایی دارد. در این بین، شاخص پایداری خاک² یکی از معیارهای مناسب است که بیانگر تغییرات کربن آلی خاک بر اثر شیوه مدیریت اراضی است.

مطالعات محمدی و همکاران (1384)، دلیل این امر نقش اساسی کربن آلی و تأثیرپذیری آن از نوع بهره‌برداری است (ایکمورا و شوکلا، 2009).

شاخص پایداری با فاکتور فرسایش پذیری معادله جهانی فرسایش نیز مرتبط است. مطالعات آرخازلو و همکاران (1391)، نشان داد که شاخص پایداری خاک همبستگی معنی‌داری با تغییرات برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله کربن آلی (عامل مهم فرسایش‌پذیری معادله جهانی فرسایش خاک) دارد. این شاخص بیانگر وضعیت کیفیت خاک است و به دلیل در بر داشتن متغیرهای کمتری شاخص مناسبی برای بررسی تغییرات کیفیت خاک است.

البته چرای متعادل جزء ضروری حفظ مراتع است که موجب بذرافشانی گیاهان مرتعی، افزایش ازت خاک و متعادل نمودن اسیدیته آن می‌گردد که به نوبه خود گونه‌های علوفه‌ای وابسته به ازت را در مرتع افزایش داده و از ازدیاد گونه‌های مهاجم ممانعت خواهد نمود (بتین و همکاران، 2018).

تغییرات اقلیمی امروزه موجب شده که تکاپوی جهانی برای نجات منابع طبیعی از تخریب، دورنمای امیدوار کننده‌ای داشته باشد. این کار حاصل هوشیاری نهادهای مردم نهاد، توجه دولتها و تلاش مسئولان کارشناسان و پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا است. براساس گزارش فائو (2010)، علی‌رغم تداوم تخریب جنگل‌ها، آهنگ جنگل‌زدایی در دهه 2000-2010 نسبت به دهه 1990-2000 در خیلی از کشورها از جمله برزیل کاهش یافته و در مقابل جنگل‌کاری نیز افزایش یافته است. همینطور در برخی کشورها از جمله استرالیا، نیوزیلند برخی کشورهای اروپایی و هند بهره‌برداری مناسب از مراتع و مدیریت بهره‌برداری و چرای دام در خور توجه است.

در ایران نیز لازم است برای مصون ماندن از بحران‌های جدی از قبیل بیابان‌زایی، گرد و غبار، کم‌آبی، سیل و فرسایش نگاه اصلی به حفظ منابع طبیعی و بهره‌برداری اصولی و مدبرانه معطوف گردد. حفظ مراتع توأم با قرق و مدیریت چرای دام یکی از اولیتهای اجتناب ناپذیر در این زمینه است.

بدون تردید ایجاد این تعادل مستلزم به‌کار بردن روش مدیریتی متفاوتی است که از یک سو مبتنی بر بهره‌برداری‌های متوازن اقتصادی باشد و از سوی دیگر، برای کلیه دست اندرکاران و ذینفعان از جمله جوامع محلی نقش ویژه‌ای قائل شود، ضمن آن‌که ارتباط میان

¹ Astragalus sp.

² Sustainability Index

شامل 15 سامانه عرفی وجود دارد که هر ساله از اواخر فروردین تا اوسط تیرماه مورد چرای 15 تا 17 هزار دام قرار می‌گیرد.

عشایر در تابستان آب مورد نیاز خود را از چشمه‌های پایین دست و در مواردی نیز با تانکر سیار به محل اطراق حمل می‌نمایند. همچنین یک سد خاکی کوتاه نیز توسط اداره امور عشایری برای این منظور ایجاد شده است. اجرای پروژه قرق حدود 10 هزار هکتار از این مراتع را شامل گردید. که با تلاش اداره منابع طبیعی، نظر موافق سران عشایر و مشارکت عشایر ذینفع انجام یافته است. دامداران منطقه نیز به پیروی از توصیه بزرگان خود علاوه بر رعایت قرق از شکار حیات وحش نیز پرهیز نمودند.

در این منطقه 15 سامان عرفی با سامانه‌بر اساس مشاهدات میدانی (اوایل سال 1393)، خاک و پوشش گیاهی این مراتع به دلیل چرای زودرس و بیش از حد ظرفیت دچار تخریب شدید شده بود، بطوریکه تاج پوشش گیاهی کمتر از 40 درصد و سطح خاک لخت بین 50 تا 70 درصد بود. همچنین در اواسط فصل چرا به بعد به ندرت آثاری از گیاهان مرتعی کلاس یک و دو مشاهده می‌شد. فرسایش سطحی شدید با آثار کوبیدگی خاک قابل ملاحظه بود و حتی آثار چرای دام بر روی شاخ و برگ بوته‌ها و درختچه‌ها و درختان نیز مشهود بود.

روش تحقیق

تعیین نقاط نمونه برداری

با توجه به بررسی میدانی و شرایط یکنواختی مراتع دالاهو از نظر شرایط زمین‌شناسی، توپوگرافی، اقلیم و پوشش گیاهی و عمق خاک، دو ترانسکت خطی در محدوده قرق و شاهد (چرای متداول) انتخاب شد که معرف منطقه بودند. محل دو ترانسکت بطور تصادفی انتخاب شد که فاصله آنها از هم حدود 400 متر بود. در هر ترانسکت 12 نقطه نمونه برداری با فاصله 250 متر از هم انتخاب شد. مختصات نقاط نمونه برداری با GPS ثبت و شماره نمونه‌گیری نیز مشخص شد (شکل 1). در مدت پنج‌ساله تحقیق، آثار ورود دام به منطقه قرق مشاهد نشد و در طول دوره چرا نیز دامداران صرفاً در سامانه عرفی خود اطراق داشتند. همچنین مرتع دارای قرقبان بود.

اجزای مختلف منابع طبیعی و محیط زیست را نیز مورد توجه قرار دهد. بنابراین قرق مراتع یکی از راهکارهای موثر و کم‌هزینه حفظ تنوع زیستی و لازمه مدیریت چرای دام است. افزون بر این، نقش قرق موجب بهبود قابل توجه کیفیت خاک می‌گردد که به نوبه خود، افزایش ذخیره رطوبت، ترسیب کربن پایداری در مقابل فرسایش را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل هر نوع فرصت قرق و مشارکت جامعه بهره‌بردار در این زمینه را بایستی مغنم شمرد و با جدیت اجرا گردد. هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر پنج سال قرق مراتع ییلاقی دالاهو در استان کرمانشاه (99-1394) بر مهم‌ترین ویژگی‌های خاک، ترسیب کربن و پایداری خاک در مقایسه با مراتع مجاور با چرای متداول بود.

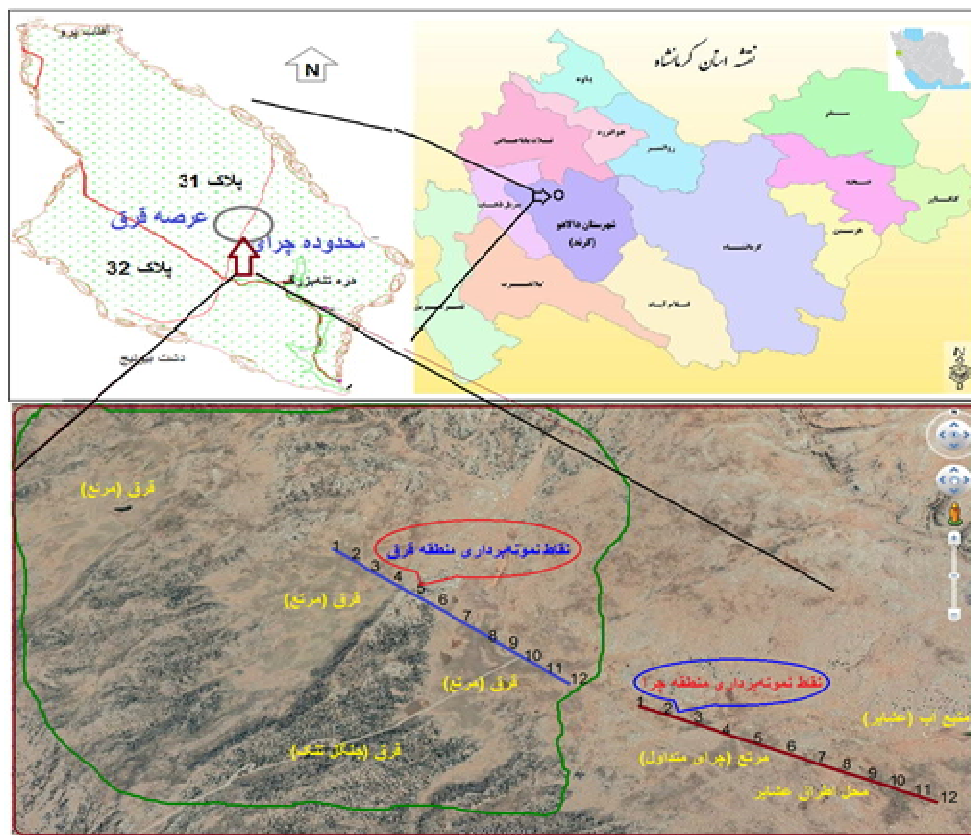
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مراتع دالاهو در شمال غرب شهر کرند با مختصات جغرافیایی $34^{\circ} 29' 27''$ و $46^{\circ} 06' 47''$ تا $34^{\circ} 32' 28''$ و $46^{\circ} 09' 32''$ با ارتفاع متوسط 2100 متر از سطح دریا قرار دارد. به دلیل ارتفاع از سطح دریا و موقعیت جغرافیایی و متأثر بودن از جبهه‌های بارشی، متوسط بارندگی آن 540 میلی‌متر است (اداره هواشناسی استان کرمانشاه، 1396). که در ارتفاعات به دلیل بارش بیشتر برف، بیشتر است.

زمین شناسی آن متشکل از واحدهای سنگی سازندهای آهکی آسماری و شهبازان است. مجموعه سه عامل آهک، برودت و بارش کافی موجب فعال بودن انحلال آهک شده است. انحلال زیاد سنگ آهک به همراه گسل‌های متعدد باعث شکل‌گیری کارست و فروچاله‌های متعددی اعم از دولین‌ها و اشکال زیر سطحی مانند غارها شده است. مراتع مورد مطالعه در واقع بر روی دولینی وسیع، مرتفع و کم‌شیب (کمتر از 10 درصد) قرار دارند. علی‌رغم بارندگی قابل، رواناب سطحی در فروچاله‌ها نفوذ کرده و چشمه‌ای تشکیل نگردیده است، اما در دامنه‌ها پایین‌دست چشمه‌ها و جریانات آب به وفور یافت می‌گردد. خاک این مراتع با اسیدیته حدود 7/3، بافت سنگین و کم‌عمق است.

مراتع حوزه بالغ بر 13 هزار هکتار است که پوشش گیاهی آن متنوع و شامل انواع گراس‌ها، پهن‌برگان علفی، بونه‌ای‌ها، درختچه و درختان است. این مراتع



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ترانسکت نمونه برداری مراتع دالاهو در استان کرمانشاه

روش نمونه برداری

نمونه برداری از خاک سطحی (0 تا 20 سانتی متر) در فصل بهار انجام شد. به این منظور، در طول ترانسکت و به فاصله 250 متری یک نمونه خاک مرکب (از سه تا چهار نقطه در اطراف ترانسکت) برداشت شد. نمونه دست نخورده نیز برای اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری نیز برداشت گردید. همچنین پوشش سطح زمین شامل نسبت خاک لخت، پوشش گیاهی، لاشبرگ، و سنگریزه در محل نقاط نمونه برداری با پلات یک مترمربعی اندازه گیری شد.

روش انجام آزمایشات خاک

آزمایشات خاکشناسی شامل بافت، اسیدیته، هدایت الکتریکی، آهک کل، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و نسبت وزنی خاکدانه ها بود. در سال های بعدی آزمایشات کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و نسبت وزنی خاکدانه ها که نقش کلیدی در کیفیت خاک، حفظ رطوبت و پایداری آن دارند، تکرار گردید. روش انجام آزمایشات به شرح زیر بود:

- اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری¹ با استفاده از سیلندر های با حجم ثابت 100 سانتی متر مکعبی استاندارد (ساخت هلند²) اندازه گیری شد. بر این مبنا در زمانی که رطوبت خاک در حد مزرعه بود، نمونه خاک دست نخورده تا عمق سیلندر (15 سانتی متر) برداشت و بلافاصله در پوش پلاستیکی آن نسب و در نایلون قرار داده شد تا رطوبت آن حفظ گردد. در آزمایشگاه توزین و پس از خشک کردن در آون، مجدداً توزین گردید که به این ترتیب جرم مخصوص ظاهری و رطوبت خاک اندازه گیری شد؛

- پایداری خاکدانه ها یکی از شاخص های کلیدی مؤثر بر کیفیت خاک، نگهداری رطوبت و مقاومت در مقابل عوامل فرساینده است که فراوانی خاکدانه های درشت تر نقش بیشتری دارند (سکاران و همکاران، 2021). برای پایداری خاکدانه ها دو عامل میانگین وزنی قطر خاکدانه ها (MWD³) به روش الک تر بر اساس دستور العمل منتشر شده موسسه تحقیقات خاک و آب

¹ Bulk Density

² Eijkelkamp

³ Mean Weighted Diameter

مقایسه تغییرات سالانه میانگین داده‌ها³ با آزمون دانکن به منظور بررسی تغییرات زمانی هریک از مشخصات مورد اندازه‌گیری شده در طول پنج سال قرق.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک در سال اول

در سال اول آزمایش آن بخش از ویژگی‌های خاک که تحت تأثیر عوامل خاکسازي از جمله مواد مادری بوجود آمده‌اند و کمتر متأثر از مدیریت و شرایط بهره‌برداری بوده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. این عوامل هر دو منطقه قرق و چرای متداول تفاوت معنی‌داری نداشتند که به دلیل یکسان بودن شرایط یکسان زمین‌شناسی، توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی و سیمای فرسایش بود. تجزیه آمار توصیفی نشان داد که میانگین نسبت شن دو منطقه قرق و چرا به ترتیب 19/73 و 20/10 درصد است که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. نسبت سیلت نیز به همان ترتیب 51/59 و 52/55 درصد و رس نیز 28/33 و 25/8 درصد بدست آمد. واریانس و انحراف معیار سه عامل فوق در هر دو تیمار تقریباً به هم نزدیک است (جدول 2). با این وجود مقدار زیاد سیلت خاک هر دو کاربری بیش از 50 درصد است که در صورت کاهش ماده آلی خاک، جداشدن ذرات خاک در مراحل مختلف فرسایش را سهولت می‌بخشد. همچنین با توجه به جدول فوق، هدایت الکتریکی هر دو تیمار قرق و چرا حدود 1 دسیمینز بر متر، اسیدیتیه حدود 7/15 و آهک کل نیز 4/7 درصد است. واریانس و انحراف معیار آنها نیز در دو کاربری با هم چندان متفاوت نبود. بطوریکه اشاره شد، تغییرات معنی‌دار این ویژگی‌ها در مقیاس مکانی وسیع، شیب زیاد و یا فرسایش شدید رخ خواهد داد.

(آریا و میرخانی، 1384) انجام شد. بر این اساس، 50 گرم خاک از خاک با قطر 2-4/6 میلی‌متر پس از خیس نمودن تدریجی با پیست بر روی یک سری الک‌های (به ترتیب از بالا به پایین) 2، 1، 0/5، 0/25، 0/106 و 0/075 میلی‌متر قرار داده شد و در مخزن آب الک تر قرار گرفت. در مرحله سری الک‌ها با سرعت 30 دور در دقیقه به مدت 10 دقیقه در دستگاه الک تر تکان داده شد و خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک به ظرف جداگانه منتقل و پس از خشک شدن در آون وزن گردید که نهایتاً نسبت آنها با هم محاسبه شد.

- بافت خاک به روش هیدرومتری انجام شد و با استفاده از مثلث بافت خاک کلاس های بافت خاک تعیین گردید؛

- هدایت الکتریکی و اسیدیتیه (pH) عصاره گل اشباع به ترتیب با EC متر و pH سنج؛

- کربن آلی خاک به روش والکی-بلک و تیتراسیون با فروآمونیم سولفات (نلسون و سامر، 1996)؛ و

- کربنات کلسیم معادل خاک از روش تیتراسیون برگشتی (لوپرت و سوارز، 1996).

بررسی شاخص محدودیت پایداری خاک

در این تحقیق شاخص‌های مهم در ارتباط با پایداری خاک شامل بافت، جرم مخصوص ظاهری، نسبت خاکدانه‌های درشت، کربن آلی، اسیدیتیه و هدایت الکتریکی مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص پایداری¹ با توجه به نسبت ذرات خاک و درصد کربن آلی خاک بر اساس رابطه 1 تعیین می‌گردد (ئل، 1994):

$$\text{Si} = \left(\frac{1.724 \cdot \text{OC}}{(\text{Silt} + \text{Clay})} \right) \cdot 100 \quad \text{رابطه 1}$$

حد بحرانی هر پارامتر نیز بر اساس میانگین هریک از این شاخص‌های فوق و بر اساس جدول 1 رتبه‌بندی می‌گردد (آرخازلو و همکاران، 1391).

عامل تأثیر هر شاخص از حاصل تقسیم مقادیر پارامتر مورد نظر در خاک مورد مطالعه بر حد بحرانی آن پارامتر محاسبه شد. به این منظور میانگین سالانه هر شاخص پس از تجزیه آماری مورد استفاده قرار گرفت و به این ترتیب تغییرات سالانه شاخص پایداری مشخص گردید.

روش تجزیه آماری داده‌ها

مقایسه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام شد که شامل:

- مقایسه میانگین داده‌های دو منطقه قرق و تحت چرا (شاهد)² بین سایت قرق و سایت شاهد (آزمون t-test)؛ و

³ within variables

¹ Soil Index

² between variables

جدول 1- حدود بحرانی و عامل وزنی نسبی ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک در روش رتبه‌بندی بحرانی شاخص پایداری*

محدودیت	رتبه	BD (mg/cm ³)	Si	OC (Mg/ha)	بافت	EC (dS/m)	pH
بدون محدودیت	1	<1.3	>0.050	70-130	Loam	<3	6-7
محدودیت کم	2	1/3-1/4	0.042-0/050	45-70	SiL-Si	3-5	5/8-6/0
محدودیت متوسط	3	1/4-1/5	0/035-0/042	14-45	SiCL	5-7	7/0-7/4
محدودیت زیاد	4	1/5-1/6	0/020-0/035	7/5-14	CL,SL	7-10	5/4-5/8 7/4-7/8 5/0-5/4, 7/8-8/2
محدودیت شدید	5	>1/6	<0/020	<7/5	C,S	>10	>8/2, <5/0

BD= جرم مخصوص ظاهری خاک، Si= شاخص پایداری، OC= کربن آلی بر حسب تن /مگاگرم در هکتار، EC= هدایت الکتریکی، خاکدانه‌ها،
* در این پژوهش شاخص موثر در خاکورزی (ویژه اراضی زراعی) بررسی نگردید Gr= مرتع با چرای متداول Ex= مرتع قرق شده

جدول 2- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک سطحی مراتع دالاهو

آماره	تیمار	تعداد نمونه	نسبت ذرات خاک (%)			هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	آهک کل (%)
			شن	سیلت	رس			
حداقل	فرق	12	7/60	46/50	19/5	0/80	7/07	3/30
	چرا	12	7/63	38/7	22/5	0/54	6/98	2/00
	فرق	12	31/10	57/90	42/6	1/20	7/34	6/11
حداکثر	چرا	12	29/60	58/5	44/6	1/20	7/49	6/75
	فرق	12	19/73	51/59	28/33	1/00	7/16	4/63
	چرا	12	15/85	50/55	33/57	0/94	7/15	4/91
میانگین	فرق	12	20/10	52/55	25/8	1/02	7/12	4/70
	چرا	12	14/10	50/30	34/4	0/96	7/11	5/45
	فرق	12	52/15	19/76	64/31	0/025	0/008	0/69
واریانس	چرا	12	50/64	32/46	67/66	0/045	0/020	1/82
	فرق	12	10/29	8/56	8/01	0/14	0/090	0/83
	چرا	12	8/08	5/69	8/22	0/20	0/140	1/34

تأثیرات فرق بر تغییرات کربن آلی خاک

با توجه به جدول 3، میانگین کربن آلی خاک تیمار قرق و چرای متداول در سال اول به ترتیب 1/10 و 1/09 درصد بود که با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به مقایسه میانگین سال به سال کربن آلی درون هر تیمار¹ نشان داد که از سال دوم به بعد، به تدریج میزان کربن آلی خاک محدود قرق روندی افزایش داشت و از سال سوم به بعد بطور معنی‌داری افزایش یافت ($p<0.05$) رخ داد و در سال پنجم به 3/70 درصد افزایش یافت که بیش از سه برابر سال اول بود.

دلیل افزایش معنی‌دار کربن آلی مرتع تحت قرق رعایت کامل قرق توسط دامداران بود که فرصت کافی برای افزایش بیومس گیاهان علوفه از نوع گندمیان و پهن‌برگان با ضریب خوشخوراکی و تجزیه بالا (با حداقل اندام خشبی) را فراهم نمود. بر این مبنا، میانگین بلندمدت

بارندگی ایستگاه کرندغرب (نزدیکترین ایستگاه به منطقه قرق) حدود 550 میلی‌متر است. در حالیکه مقدار بارش در طول دوره قرق، یعنی سال‌های 94، 95، 96، 97 و 98 به ترتیب 726، 687، 616، 953 و 625 میلی‌متر بود (بی‌نام، 1400). این روند حتی منجر به افزایش کربن آلی تیمار چرا در دو سال آخر نیز شد، بطوریکه میزان کربن آلی از 1/09 در سال اول به 1/62 درصد در سال پنجم رسید. همچنین مقایسه میانگین سال به سال دو تیمار² با هم نیز نشان داد که میزان کربن آلی خاک مرتع تحت قرق بطور معنی‌داری بیشتر از مرتع با چرای متداول بود ($p<0.05$) (جدول 4). بر اساس نتایج تحقیقات وانگ و همکاران (2014)، حداقل پنج سال فرق لازم است تا کیفیت خاک مرتع تحت چرای شدید را بر اساس شاخص‌های کربن آلی، عناصر غذایی و جرم مخصوص ظاهری بهبود بخشد. میزان تأثیر قرق بر افزایش کربن

² Between treatments¹ Within treatment

بررسی تأثیرات قرق بر خاکدانه‌های درشت

همچنین نسبت خاکدانه‌های بزرگتر از 1 میلی‌متر با گذشت زمان در دوره پنج‌ساله متاثر از اعمال قرق افزایش معنی‌داری یافت. بر این اساس، میانگین نسبت وزنی خاکدانه‌های درشت (با قطر بیش از 1 میلی‌متر) در تیمار قرق و چرای متداول در سال اول به ترتیب 9/18 و 8/09 درصد بود که با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. در حالیکه این نسبت در سال پنجم به ترتیب به 30/29 و 6/90 درصد تغییر یافت که در سایت قرق حدود 3/3 برابر افزایش یافت و برعکس در سایت تحت چرای متداول روندی کاهشی اما غیرمعنی‌دار داشت (جدول 2).

بطوریکه در جدول 3 مشاهده می‌گردد، نسبت خاکدانه‌های درشت خاک تحت قرق نسبت به مرتع با چرای متداول افزایش قابل توجه یافت ($p < 0.05$) (جدول 4-4). یکی از مهم‌ترین دلایل این تغییرات افزایش پوشش گیاهی و به تبع از آن افزایش لاشبرگ و کربن آلی خاک و نهایتاً ظهور گندمیان پایا با ریشه‌های افشان و متراکم است که موجب ایجاد چسبندگی خاکدانه‌ها گردیدند، بطوریکه در شکل 2 مشاهده می‌گردد، گیاهان واجد ریشه و پیاز زیرزمینی که غالباً در خاک سطحی انتشار می‌یابند، ذرات خاک را در اطراف ریشه‌های نازک خود متراکم می‌کنند. این گیاهان خوشخوراک و پایا هستند که زادآوری آنها به دلیل چرای زودرس و بیش از حد ظرفیت، دچار نقصان شده و در مواردی نیز در حال انقراض هستند. مطالعات قیطوری و همکاران (1392)، نشان داد که چرای شدید دام نسبت خاکدانه‌های بزرگتر از یک میلی‌متر خاک مراتع را در مقایسه با چرای مدیریت شده بطور معنی‌داری کاهش داد. بنابراین نقش چرای مفرط دام در تخریب خاکدانه‌ها همسنگ نقش خاکورزی نامناسب در اراضی زراعی است. مهم‌ترین دلیل این روند افزایش سریع بیومس گیاهی و تبدیل آن به ماده آلی بر اثر قرق مرتع است که پس از تبدیل به ماده آلی خاک پیوند لازم برای به هم چسبیدن خاکدانه‌های ریز فراهم می‌آورد. نتایج پژوهش‌های قسیم و همکاران (2017)، نشان داد که در چنین شرایطی نسبت افزایش ماده آلی خاک 53 درصد بیشتر از مراتع تحت چرای متداول بود. پژوهش‌های تکمیلی فیک و همکاران (2020)، نشان داد که نتیجه نهایی این روند کاهش چشمگیر سله و درز و شکاف سطحی و بهبود نفوذپذیری خاک بود که منجر به افزایش ذخیره رطوبت خاک و پایداری آن در مقابل فرسایش گردید.

آلی خاک بستگی به عوامل مختلفی از جمله نوع پوشش گیاهی، اقلیم، خاک و دوره قرق دارد. بطور کلی تأثیر پنج سال قرق در مراتع نیمه‌خشک با پوشش گندمیان و چمنزار موجب افزایش معنی‌دار اجزاء کربن آلی خاک اعم از گیاهی (ذرات کربن سبک و سنگین) و کربن میکروبی می‌گردد و علاوه بر آن، روند معدنی شدن آن برای استفاده گیاهان نیز سریع‌تر رخ می‌دهد (لوان و همکاران، 2014).

تأثیرات قرق بر جرم مخصوص ظاهری خاک

میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک تیمار قرق و چرای متداول در سال اول اعمال قرق به ترتیب 1/56 و 1/57 گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما از سال دوم به بعد جرم مخصوص ظاهری خاک تحت قرق بطور معنی‌داری ($p < 0.05$) روندی کاهشی داشت که در سال پنجم به کمترین میزان (1/266 گرم بر سانتی‌متر مکعب) رسید (جدول 3). همچنین مقایسه سال به سال میانگین دو تیمار در طول پنج سال نشان داد که بجز سال اول، در بقیه سال‌ها تغییرات با هم تفاوت معنی‌دار داشتند ($p < 0.05$) (جدول 4). به عبارت دیگر، تأثیر قرق بر بهبود جرم مخصوص ظاهری خاک از سال دوم نمود یافته است که دلیل اصلی آن عدم کوبیدگی بر اثر تردد دام و افزایش ریشه افشان گیاهان مرتعی در خاک سطحی بوده است. معمولاً در مراتع تحت چرای زود هنگام و بیش از حد ظرفیت دام، تردد دام و سطح کم سم آنها (که فشار بر واحد سطح را افزایش می‌دهد) به همراه کمبود مواد آلی منجر به کوبیدگی شدید خاک و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد. در مقابل قرق مرتع این دو عامل برطرف شده و با کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک ظرفیت ذخیره رطوبت و تهویه بیشتری نیز در خاک فراهم می‌گردد. این روند حتی با قرق و اعمال چرای تناوبی در مراتع با خاک شور نیز به خوبی رخ می‌دهد (کریستین و همکاران، 2018). تحقیقات هاشمی و همکاران (2019)، در این زمینه نشان داد که افزایش کوبیدگی سطح خاک توسط سم دام منجر به افزایش 35 درصدی جرم مخصوص ظاهری خاک شد که به نوبه خود کاهش رطوبت و تهویه خاک و متعاقباً کربن آلی، عناصر غذایی و فعالیت آنزیمی خاک را به همراه داشت.

جدول 3- نتایج مقایسه میانگین سال به سال ویژگی‌های فیزیکی خاک مراتع دالاهو (تحت فرق و چرای متداول)*

P-value**	سال					آماره	متغیر
	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول		
0/0002	3/70 ^(a)	2/66 ^(b)	1/65 ^(c)	1/53 ^(c)	1/14 ^(d)	متوسط	OC Ex (%)
	2/156	1/049	0/556	0/433	0/302	انحراف معیار	
	33/90	22/84	19/66	28/20	26/55	ضریب تغییرات	
0/0049	1/62 ^(a)	1/37 ^(a)	1/19 ^(a)	1/06 ^(b)	1/09 ^(b)	متوسط	OC Gr (%)
	0/515	0/327	0/398	0/266	0/157	انحراف معیار	
	31/56	23/85	33/32	25/15	15/33	ضریب تغییرات	
0/006	1/266 ^(c)	1/280 ^(c)	1/356 ^(b)	1/410 ^(b)	1/555 ^(a)	متوسط	BD Ex (g/cm ³)
	0/106	0/077	0/082	0/071	0/058	انحراف معیار	
	8/43	6/06	6/06	5/08	3/76	ضریب تغییرات	
0/123	1/572 ^(a)	1/569 ^(a)	1/593 ^(a)	1/586 ^(a)	1/575 ^(a)	متوسط	BD Gr (g/cm ³)
	0/105	0/096	0/121	0/124	0/130	انحراف معیار	
	6/71	6/13	7/599	7/823	8/29	ضریب تغییرات	
0/0021	27/87 ^(a)	-	-	-	9/180 ^(b)	متوسط	SAS >1 mm (%)
	10/95	-	-	-	3/834	انحراف معیار	
	39/29	-	-	-	41/003	ضریب تغییرات	
0/243	6/903 ^(a)	-	-	-	8/090 ^(a)	متوسط	SAS D-Gr >1 mm (%)
	1/566	-	-	-	4/060	انحراف معیار	
	22/68	-	-	-	52/68	ضریب تغییرات	

BD= جرم مخصوص ظاهری خاک، SASD= نسبت اندازه خاکدانه‌ها، Gr= مرتع با چرای متداول، Ex= مرتع فرق شده

*تعداد نمونه هر تیمار در هر سال 12 نمونه، **میانگین با حروف متفاوت، با هم تفاوت معنی‌دار دارند.

جدول 4- نتایج مقایسه میانگین پنج‌ساله ویژگی‌های شیمیایی خاک مراتع فرق و چرای متداول دالاهو (T-test)

متغیر	تیمار	سال اول		سال دوم		سال سوم		سال چهارم		سال پنجم	
		P-value	میانگین	P-value	میانگین	P-value	میانگین	P-value	میانگین	P-value	میانگین
OC (%)	فرق	1/14	3/70	0/374	1/53	0/004	1/65	0/001	2/66	0/006	1/62
	چرا	1/09	1/62	1/06	1/19	0/001	1/37	0/001	1/37	0/006	1/62
BD (g/cm ³)	فرق	1/555	1/266	0/635	1/410	0/005	1/356	0/002	1/280	0/001	1/266
	چرا	1/575	1/572	1/586	1/593	0/002	1/569	0/001	1/569	0/001	1/572
SASD >1 mm (%)	فرق	9/180	27/87	-	-	-	-	-	-	-	-
	چرا	8/090	6/90	-	-	-	-	-	-	-	-

BD=جرم مخصوص ظاهری خاک، SASD= نسبت اندازه خاکدانه‌ها، *میانگین با حروف متفاوت، با هم تفاوت معنی‌دار دارند.

شاخص پایداری خاک

محدودیت بدست آمد. میزان کربن خاک مرتع با چرای متداول در همه سال‌ها از حدود 50 مگاگرم در هکتار بیشتر نشد بود و به همین دلیل کلاس محدودیت متوسط بدست آمد. در مقابل، میزان این محدودیت در خاک مرتع فرق شده در سال سوم و چهارم به رتبه کم بهبود یافت و در سال چهارم به کلاس بدون محدودیت بود. محدودیت خاک بر اساس شاخص پایداری نیز در خاک مرتع تحت چرا، به تبع از تغییرات کربن آلی خاک، در پنج سال در کلاس زیاد با رتبه 4 باقی ماند، اما در خاک مرتع فرق شده در سال دوم نزدیک به کلاس محدودیت متوسط و در

کلاس و رتبه بحرانی ویژگی‌های مؤثر در پایداری خاک در جدول 1 درج شده است که شامل کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، شاخص پایداری، بافت، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک است. هریک از این شاخص‌ها در دو مرتع تحت فرق و چرای متداول محاسبه گردید که نتایج آن در جدول 5 درج شده است. بر این اساس، کلاس محدودیت پایداری خاک مرتع تحت چرا در طول پنج سال زیاد (با رتبه 4) بود، اما در خاک مرتع فرق شده در سال اول، دوم و سوم به‌ترتیب زیاد، متوسط و کم بود و در سال‌های چهارم و پنجم بدون

سال‌های سوم، چهارم و پنجم بدون محدودیت بدست آمد (جدول 5).

کاهش کلاس و رتبه محدودیت خاک بر اساس شاخص‌های جرم مخصوص ظاهری، کربن آلی، نسبت خاکدانه‌های درشت و شاخص پایداری بیانگر ارتقاء کیفیت خاک و نقش مؤثر آن در تغذیه، نگهداری رطوبت،

ترسیب کربن و مقاومت به فرسایش و سیل است (لی و همکاران، 2020؛ مظفری و همکاران، 1398؛ لل، 2011) کلاس محدودیت پایداری خاک در هر دو تیمار قرق و تحت چرا بر اساس دو ویژگی اسیدیته و هدایت الکتریکی بدون محدودیت تا محدودیت کم و بر اساس بافت نیز محدودیت متوسط بدست آمد.



شکل 2- تأثیر سیستم متراکم گیاه مرتعی بروموس با کلاس خوشخوراکی I (A) و جو وحشی با کلاس خوشخوراکی II (B) بر افزایش معنی‌دار خاکدانه‌های درشت، نفوذپذیری و پایداری خاک مراتع تحت قرق در سال پنجم.

جدول 5- کلاس و رتبه محدودیت پایداری خاک بر اساس مهم‌ترین ویژگی اندازه‌گیری شده

کلاس محدودیت										تیمار	محدودیت
سال قرق											
پنجم		چهارم		سوم		دوم		اول			
درجه	رتبه	درجه	رتبه	درجه	رتبه	درجه	رتبه	درجه	رتبه		
محدودیت		محدودیت		محدودیت		محدودیت		محدودیت			
بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	کم	2	متوسط	3	زیاد	4	قرق	BD (mg/cm ³)
زیاد	4	زیاد	4	زیاد	4	زیاد	4	زیاد	4	چرا	OC (Mg/ha)
بدون محدودیت	93/68	کم	68/09	کم	45/15	متوسط	41/45	متوسط	34/21	قرق	
کم	50/90	متوسط	43/10	متوسط	37/90	متوسط	33/59	متوسط	34/40	چرا	Si
بدون محدودیت	0/090	بدون محدودیت	0/064	بدون محدودیت	0/040	متوسط	0/036	زیاد	0/026	قرق	
متوسط	0/042	زیاد	0/035	زیاد	0/030	زیاد	0/027	زیاد	0/029	چرا	بافت
متوسط	3	متوسط	3	متوسط	3	متوسط	3	متوسط	3	قرق	
متوسط	3	متوسط	3	متوسط	3	متوسط	3	متوسط	3	چرا	EC
بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	قرق	
بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	بدون محدودیت	1	چرا	pH
کم	2	کم	2	کم	2	کم	2	کم	2	قرق	
کم	2	کم	2	کم	2	کم	2	کم	2	چرا	

BD=جرم مخصوص ظاهری خاک Si=شاخص پایداری OC=کربن آلی بر حسب تن /مگاگرم در هکتار EC=هدایت الکتریکی ، خاکدانه‌ها

نتیجه‌گیری

متغیر از محدودیت شدید و زیاد (به ترتیب با رتبه 5 و 4) به متوسط، کم و بدون محدودیت (با رتبه‌های 3، 2 و 1) تقلیل یافت. به عبارت دیگر فرق از طریق افزایش پوشش گیاهی و کاهش اثرات تردد دام موجب بهبود چشمگیر کیفیت خاک در مقابل فرسایش و بستر مناسبتری برای ذخیره رطوبت و رشد گیاهان مرتعی خواهد شد.

سپاس‌گزاری

اعتبار این پروژه تحقیقاتی (با شماره مصوب 24-55-29-94123) توسط اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه تأمین گردید و به تصویب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری رسید که بدینوسیله از همکاری آنها سپاس‌گذاری می‌گردد.

نتایج این تحقیق نشان داد که پنج سال فرق پشت‌سر هم منجر به افزایش چشمگیر کربن آلی خاک به عنوان بهترین ویژگی شیمیایی خاک گردید، بطوریکه در سال پنجم به 3/70 درصد افزایش یافت که در مقایسه با سال اول (1/14 درصد)، بیش از سه برابر است. در این مدت جرم مخصوص ظاهری خاک نیز از حدود 1/7 به 1/3 کاهش یافت. همچنین نسبت خاکدانه‌های درشت (بیش از یک میلی‌متر) خاک در مقایسه با مرتع تحت چرای متداول (بی‌رویه) بیش از سه برابر افزایش یافت. بازخورد این روند بهبود شاخص پایداری کیفیت خاک بود، بطوریکه کلاس محدودیت خاک بر مبنای این سه

فهرست منابع:

1. آرخازلو، ح. ش.، امامی، ح. و غ. حق‌نیا. 1391. ارزیابی رابطه مدل‌های تعیین کیفیت خاک و شاخص‌های پایداری آن در زمین‌های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، 26 (3): 39-30.
2. بی‌نام. 1400. آمار کاربریدی هواشناسی، بولتن خبری و آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کرندغرب <http://www.kermanshahmet.ir>
3. بی‌نام. 1398. اطلاعات کاربردی هواشناسی، اداره هواشناسی استان کرمانشاه. www.kermanshahmet.ir
4. بی‌نام. 1392. مرکز آمار ایران، سالنامه آمار، مساحت جنگل‌ها، مراتع و پدیده‌های بیابانی کشور www.amar.org
5. قیطوری، م.، حشمتی، م. و ی. پرویزی. 1392. تأثیر مدیریت مراتع بر تغییرات کربن آلی خاک و خاکدانه‌ها در چهار منطقه استان کرمانشاه. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف 27 (3): 249-257.
6. مظفری، ح.، موسوی، س. و ع. سپاسخواه. 1398. اثر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک خاک آهکی. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، 33 (4): 540-525.
7. محمدی، ج.، ح. خادمی و م. نائل. 1384. بررسی تغییر پذیری کیفیت خاک سطحی در اکوسیستم‌های انتخابی در منطقه زاگرس مرکزی.
8. مرکز آمار ایران. 1392. سالنامه آمار، مساحت جنگل‌ها، مراتع و پدیده‌های بیابانی کشور www.amar.org
9. Allen, C.C, Macalady A.K, Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, M., Vennetier., M., Kitzberger, T., Rigling, A. and D., Breshears. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, *Forest Ecology and Management*, 259 (4), pp. 660–684.
10. Badripour, H. 2006. Country Pasture/Forage Resource Profile, Islamic Republic of Iran, FAO publication, Italy, Rome.
11. Benthien, O., Matthias, B., Riemann, J.C. and Stolter, C. 2018. Long-term effect of sheep and goat grazing on plant diversity in a semi-natural dry grassland habitat, *Heliyon*, 4(3): 1-12.
12. Choupanian, A., Gheitury, M., Heshmati, M., Mahdavi, K. and Mahdavi, M. 2012. Effects of topographic factors on carbon sequestration in *Astragalus Gossypinus* (Case Study: Bazan, Kermanshah Province). *J. Rangeland Science*, 2 (3): 577-582.

13. Cristina, M., Vecchio, R., Golluscio, A., Rodríguez, A.M. and M.A. Taboada. 2018. Improvement of Saline-Sodic Grassland Soils Properties by Rotational Grazing in Argentina, *Rangeland Ecology & Management*, 71 (6): 807-814.
14. FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010, Forestry Paper, Main report (163)FAO,
15. Fick, S.E., Belnap, J. and M.C. Duniway. 2020. Grazing-Induced Changes to Biological Soil Crust Cover Mediate Hillslope Erosion in Long-Term Exclosure Experiment, *Rangeland Ecology & Management*, 73 (1): 61-72.
16. Gheitury, M., Jafary, M., Azarnivand, H., Arzani, H., Javady, S.A. and M. Heshmati. 2012. Contribution of soil organic carbon levels, different grazing and converted rangeland on aggregates size distribution in the rangelands of Kermanshah Province, Iran, *African Journal of Agricultural Research*, 7(6): 2622-2631.
17. Hashemi, A., Ghasemi, F.A., Zarafshar, M. and S. Bazot. 2019. 80-years livestock transit impact on permanent path soil in Zagros oak forest, Iran, *Applied Soil Ecology*, 138: 189-194.
18. Heshmati, M., Arifin, A., Shamshuddin, J. and Majid, N.M. 2011. Effects of Land Use Practices on the Organic Carbon Content, Cation Exchange Capacity and Aggregate Stability of Soils in the Catchment Zones. *American Journal of Applied Sciences* 8 (12): 1363-1373.
19. Ho, P. and Azadi, H. 2010. Rangeland degradation in North China: Perceptions of pastoralists. *Environmental Research*, 110:302-307.
20. Lal R. 1994. Soil Methods and guidelines for Sustainable use of soil and water resources in the tropics Soil Management Support System, USDA,-NRCS. Washington, DC.
21. Ikemura, Y. and Shukla, M.F. 2009. Soil quality in organic and conventional farms of New exico, USA, Vol.4 No.1
22. Lal R. 1994. Soil Methods and guidelines for Sustainable use of soil and water resources in the tropics. Soil Management Support System, USDA,-NRCS. Washington, DC.
23. Li, N., Wen, S., Wei, S., Li, H., Feng, Y., Ren, G., Yang, G., Han, X., Wang, X. and C., Ren, 2020. Straw incorporation plus biochar addition improved the soil quality index focused on enhancing crop yield and alleviating global warming potential, *Environmental Technology & Innovation*, XXXX.
24. Li, G.L., Pang, X.M. 2010. Effect of land-use conversion on C and N distribution in aggregate fractions of soils in the southern Loess Plateau, China. *Land Use Policy*, 27: 706-712.
25. Loeppert, R.H., and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474. In: D.L. Sparks et al. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3.3rded. Chemical and Microbiological Properties*. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
26. Luan, J., Cui, L., Xiang, C., Wu, J., Song, H., Ma, Q. and Z. Hu. 2014. Different grazing removal exclosures effects on soil C stocks among alpine ecosystems in east Qinghai-Tibet Plateau, *Ecological Engineering*, 64: 262-268.
27. Nael, M., Khademi, H.A. and Hajabbasi, M. 2004. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. *Applied Soil Ecology*, 27(3): 221-232.
28. Neely, C., Bunning, S. and Wilkes, W. 2009. Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation. Food and Agriculture Organization of the United Nations publications, Rome.
29. Nelson, D.W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In: D.L. Sparks et al. (eds.). *Method of Soil Analysis. Part 3.3rded. Chemical and Microbiological Properties*. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.

30. Qasim, S., Gul, S., Shah, M.H., Hussain, F., Ahmad, S., Islam, M., Rehman, G., Yaqoob and M., S.Q. Shah. 2017. Influence of grazing enclosure on vegetation biomass and soil quality, *International Soil and Water Conservation Research*, 5 (1):62-68.
31. Sardf, south African rural development framework. 2005. "report":available on <http://cbdd.wsu.edu/kew/content/tr501>.
32. Sekaran, S., Laxmisagara, K., Sandeep Kumar, S. 2021. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems, *Soil and Tillage Research*, 208: 104885.
33. Wang, Z., Yun, X., Wei, Z., M., Schellenberg, P., Wang, Y., Yang, X. And X. Hou. 2014. Responses of Plant Community and Soil Properties to Inter-Annual Precipitation Variability and Grazing Durations in a Desert Steppe in Inner Mongolia, *Journal of Integrative Agriculture*, 13 (6): 1171-1182.
34. Yan, Y. and X. Lu. 2020. Are N, P, and N:P stoichiometry limiting grazing exclusion effects on vegetation biomass and biodiversity in alpine grassland?, *Global Ecology and Conservation*, 24:XXX
35. Zutshi, A., Sohal, A. s., 2005. Integrated Management System. *Journal of manufacturing technology Management*, 16(2), 211-232.

تغییرپذیری ویژگی‌های کیفی خاک در دو توده جنگل کاری بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و کاج رادیاتا (*Pinus radiate*)

اعظم السادات نورایی، حمید جلیوند¹، سید محمد حجتی و سید جلیل علوی

دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران؛

Noraiy.azam@yahoo.com

استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران؛ hj_458_hj@yahoo.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران؛

s_m_hojjati@yahoo.com

دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران؛ j.alavi@modares.ac.ir

دریافت: 99/6/22 و پذیرش: 99/12/23

چکیده

ویژگی‌های کیفی خاک‌های جنگلی می‌تواند تحت تأثیر فعل و انفعالات پیچیده آب و هوایی، نوع خاک (سنگ بستر)، نحوه مدیریت و نوع گونه درختی دچار تغییر شود. هدف از این مطالعه بررسی تغییرپذیری ویژگی‌های کیفی خاک در دو توده جنگل کاری بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey) و کاج رادیاتا (*Pinus radiata* D. Don) در جنگل‌های چوب و کاغذ استان مازندران بود. به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در چهار فصل (پاییز، زمستان، بهار و تابستان) در مجموع 36 نمونه در هر توده انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت. ویژگی‌های فیزیکی (رس، سیلت، شن، رطوبت، چگالی ظاهری و آهک)، ویژگی‌های شیمیایی (EC، pH، نیتروژن، فسفر، کربن خاک، پتاسیم و نسبت کربن به نیتروژن) و ویژگی‌های زیستی خاک (تنفس خاک، زی توده میکروبی کربن، زی توده ریزریشه، ضریب سوخت‌وساز و فعالیت آنزیم اوره‌آز) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت نیتروژن، فسفر و فعالیت آنزیم اوره‌آز در توده بلندمازو به طور معنی‌داری بیشتر از کاج رادیاتا بود ($p < 0/01$)؛ ولی میزان پتاسیم در توده کاج رادیاتا بیشتر بود ($p < 0/01$). نتایج مقایسه میانگین‌ها در ارتباط با تنفس خاک نشان داد که در تمام فصول میزان تنفس خاک در توده کاج رادیاتا بیشتر از بلندمازو است ولی این اختلاف تنها در تابستان از لحاظ آماری معنی‌داری بود ($p < 0/01$). ویژگی‌هایی مانند کربن خاک، زی توده میکروبی کربن و ریزریشه، نسبت کربن به نیتروژن و ضریب سوخت‌وساز در تمام فصول در توده کاج رادیاتا به طور معنی‌داری بیشتر از توده بلندمازو بود ($p < 0/01$). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در بخش ویژگی‌های نیتروژن خاک، توده بلندمازو، ولی در رابطه با ویژگی‌های کربن خاک توده کاج رادیاتا مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع نتیجه کاربردی این تحقیق نشان داد که برای احیای خاک‌های فقیر عرصه‌های جنگلی تخریب یافته، کاشت گونه‌های درختی با توانایی بالای تقویت خاک، مورد نیاز است. بنابراین، به منظور بهبود خاک در عرصه‌های آسیب دیده، کاشت گونه بلندمازو در جنگل‌های شمال ایران مرجح به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: چرخه کربن، زی توده میکروبی، آنزیم اوره‌آز، تنفس خاک، جنگل کاری

¹ نویسنده مسئول، آدرس: استان مازندران، شهرستان ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، صندوق پستی: 587

مقدمه

کیفیت خاک به منظور حفظ بهره‌وری گیاهان و حیوانات، حفظ و ارتقاء کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت انسان و زیستگاه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است (کارلن و همکاران، 1997). معیارهای ارزیابی کیفیت خاک باید دارای پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی باشند، زیرا این مشخصه‌ها نسبت به هر گونه تغییر در شرایط خاک حساس هستند (دوران، 2002). دوران و پارکین (1996) مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی را به منظور بررسی کیفیت خاک پیشنهاد دادند. شاخص‌های زیستی مانند زی توده میکروبی، تنفس خاک و ضریب سوخت‌وساز (qCO_2) به دلیل حساسیت نسبت به تغییرات محیطی و فعالیت‌های انسانی، سهولت در اندازه‌گیری و تکرارپذیری پیشنهاد شده‌اند (بلوم و همکاران، 2006؛ کوتسچ و همکاران، 2009).

مشخصه‌های کیفی خاک‌های جنگلی می‌توانند تحت تأثیر فعل و انفعالات پیچیده آب و هوایی، نوع خاک (سنگ بستر)، نحوه مدیریت و نوع گونه درختی دچار تغییر شوند (لال، 2005). در این ارتباط نتایج مطالعات مختلف در داخل و خارج از کشور نشان دادند که جنگل‌کاری با گونه‌های درختی مختلف می‌تواند مشخصه‌های فیزیکی، زیستی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار داده و از این رو بر کیفیت خاک اثرگذار باشند (کوچ و بیرانوند، 1396؛ حق وردی و همکاران، 1397؛ ژبونگ و همکاران، 2008). ترکیبات شیمیایی لاشبرگ گونه‌های پهن برگ و سوزنی‌برگ در فصول سال، ترکیب لایه آلی خاک را تغییر داده و بر مشخصه‌های کیفی خاک تأثیر متفاوت دارند (کوچ و همکاران، 2016).

گونه‌های درختی ممکن است از طریق مشخصه‌های مختلفی در خاک از جمله: تقسیم ترشحات گیاهی بین بافت‌های روزمینی و زیرزمینی (کوئواس، 1991)، عمق ریشه‌دوانی (کارواله‌یرو و نستاد و همکاران، 1996)، مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی بافت‌ها و لاشبرگ‌ها (گارسیا-بنگوئکسا، 2016)، تأثیر بر ریزاقلیم (مونتاگینی و همکاران، 1993)، ظرفیت توزیع مجدد مواد مغذی (آلبان، 1982؛ ماکسول و همکاران، 2020)، تثبیت و معدنی‌شدن نیتروژن (اوول، 2006؛ کوچ و همکاران؛ 2020) و جمعیت موجودات خاکزی (وارن و زوو، 2002؛ هوبی و همکاران، 2006؛ فو و همکاران، 2020) بر کیفیت خاک اثرگذار باشد. از این رو، شناخت مشخصه‌های گونه‌های درختی و تأثیر آن بر خاک می‌تواند در اجرای برنامه‌های کاربردی نظیر احیاء و مدیریت مناطق تخریب شده،

مدیریت گونه‌های بومی و غیربومی، انتخاب گونه‌های مناسب جهت اجرای پروژه‌های جهانی ترسیب کربن و گرمایش جهانی و بهبود مدل‌های زیست‌زمین‌شیمیایی مؤثر باشند (راسل، 2007).

از آنجا که طی دهه‌های اخیر سالیانه 100 هزار هکتار از جنگل‌های شمال کشور دچار تخریب شدند و سطح جنگل‌ها از هیجده میلیون هکتار به دوازده میلیون هکتار رسیده است، ضرورت جنگل‌کاری به منظور احیاء و توسعه این مناطق از اولویت زیادی برخوردار است (احمدی ملکوت و همکاران، 1390) و در نتیجه شناخت ویژگی‌های گونه‌های بومی و غیربومی و تأثیر آنها بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این مطالعه تعیین تغییرپذیری مشخصه‌های کیفی خاک در دو گونه جنگل‌کاری شده بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey) و گونه سوزنی‌برگ وارداتی کاج رادیاتا (*Pinus radiata* D. Don) در جنگل‌های چوب و کاغذ مازندران ساری بود.

مواد و روش‌ها

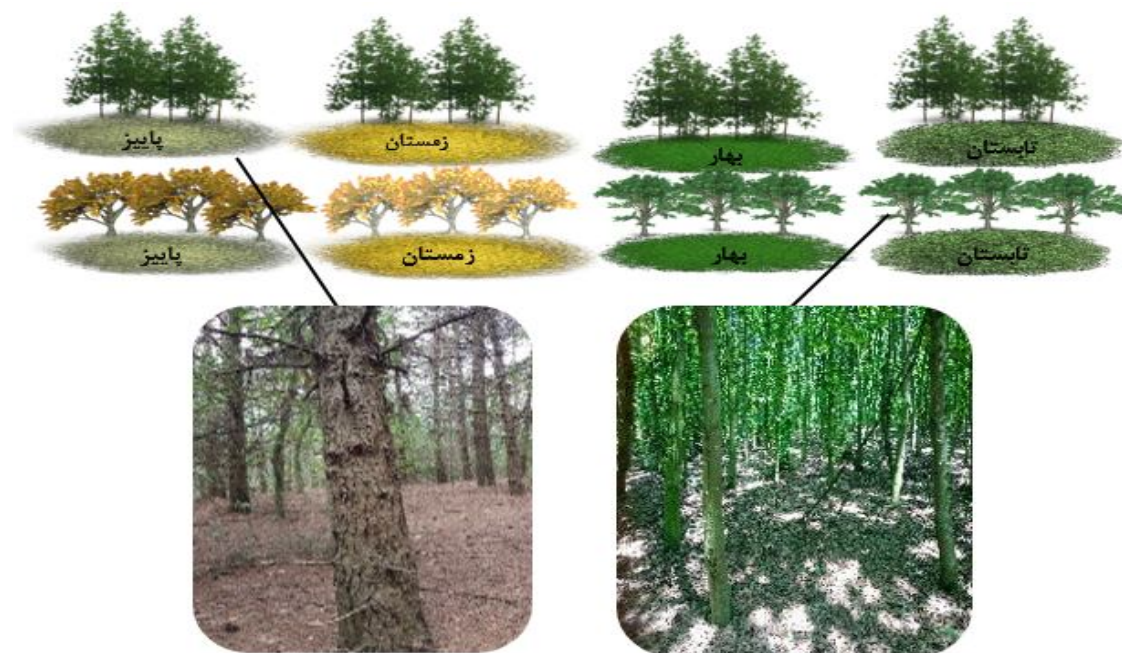
منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در دو توده جنگل‌کاری دست‌کاشت گونه بلندمازو که به‌طور طبیعی در جنگل‌های هیرکانی می‌روید و گونه سوزنی‌برگ وارداتی کاج رادیاتا انجام شد. توده دست‌کاشت یا جنگل‌کاری کاج رادیاتا در سری مهدشت و توده بلندمازو در سری افراخت جنگل‌های چوب و کاغذ مازندران در شهرستان ساری قرار دارد (شکل 1). سری مهدشت که در فاصله حدود هفت کیلومتری شمال غربی مرکز اداری و مجتمع صنعتی شرکت چوب و کاغذ مازندران و حدود شش کیلومتری جنوب غربی شهرستان ساری واقع شده و سری افراخت در فاصله حدود پانزده کیلومتری شمال غربی مرکز اداری و مجتمع صنعتی شرکت چوب و کاغذ مازندران و حدود شش کیلومتری جنوب غربی شهرستان ساری واقع است. توده کاج رادیاتا به‌صورت خالص و دست‌کاشت و در محدوده (20°، 29'، 36" تا 38°، 29'، 36" عرض شمالی و 53°، 04' تا 53°، 10.04' طول شرقی و توده بلندمازو نیز به‌صورت خالص و دست‌کاشت و در محدوده (40°، 29'، 36" تا 20°، 29'، 36" عرض شمالی و 53°، 14' تا 53°، 04' طول شرقی واقع شده است.

توده کاج رادیاتا دارای مساحت سه هکتار و توده بلندمازو دارای مساحت پنج هکتار است، در سری مه‌دشت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک با سابقه چند ساله وجود دارد که در این بررسی از آمار و اطلاعات 29 ساله

دارند و عملیات پرورشی در این دو توده انجام نشده است. در هر دو توده اشکوب غلفی بین پنج تا بیست و پنج درصد در نوسان بوده و توده کاج رادیاتا دارای ارتفاع 25 متر و قطر برابر سینه 40 سانتی‌متر و تاج پوشش 75 درصد است و توده بلندمازو دارای میانگین ارتفاع 20 متر و قطر برابر سینه 30 سانتی‌متر و تاج پوشش 80 درصد است (بی‌نام، 1390).

آن استفاده شد. میانگین بارش سالیانه در این ایستگاه 947/4 میلی‌متر است. در هر دو توده متوسط دما در گرمترین ماه سال (مرداد ماه) 31/6، متوسط دما در سردترین ماه سال (دی ماه) 2/7 و متوسط دمای سالیانه 16/9 درجه سانتی‌گراد است؛ ضمن این‌که کمینه و بیشینه دمای مطلق که به ترتیب به ماه‌های دی و خرداد تعلق دارد 9- و 44 درجه سانتی‌گراد است. میانگین سنی دو توده 30 سال و دارای فاصله کاشت تقریبی 3×3 متر بوده و در ارتفاع 400 متری از سطح دریا با شیب پنج درصد استقرار



شکل 1- تصویری شماتیک از منطقه مورد مطالعه و زمان‌های انجام تحقیق

مخصوص هدایت الکتریکی (EC متر)، نیتروژن کل با روش کج‌لدا (دستگاه کج‌لتک)، فسفر به روش اولسن (دستگاه اسپکتروفتومتر)، پتاسیم با استفاده از روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (دستگاه فلیم‌فتومتر) و کربن به روش کوره (احتراق) اندازه‌گیری شد (جعفریان حقیقی، 2003).

اندازه‌گیری تنفس خاک

برای اندازه‌گیری تنفس خاک در شهریور 96 در هر دو توده، تعداد نه عدد لوله پلاستیکی (PVC) به قطر ده و ارتفاع بیست سانتی‌متر تا عمق ده سانتی‌متری خاک نصب شد. تنفس خاک هر ماه (از شهریور 96 تا شهریور 97) با استفاده از دستگاه CO₂ port (ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد و میانگین تنفس در هر فصل مورد بررسی قرار گرفت. برای افزایش دقت جلوگیری از اثر بارندگی، تنفس خاک 48 تا 72 ساعت پس از رخداد بارندگی

بررسی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

به‌منظور بررسی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، در هر دو توده نه نمونه خاک به‌طور تصادفی انتخاب شد (حق‌وردی و همکاران، 1397). نمونه‌های مشخصه‌های فیزیکی در یک فصل (پاییز) و مشخصه‌های شیمیایی و زیستی در چهار فصل (پاییز، زمستان، بهار و تابستان) (در مجموع 36 نمونه در هر توده) به‌وسیله استوانه فلزی (به قطر هشت و ارتفاع ده سانتی‌متر) برداشت شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه مشخصه‌های فیزیکی خاک مانند: درصد رطوبت به روش توزین و خشک کردن، چگالی ظاهری به روش کلوخه، بافت خاک به روش هیدرومتری، آهک معادل مواد خثی‌شونده به روش تیتراسیون و مشخصه‌های شیمیایی: اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه

اندازه گیری شد. تمام اندازه گیری ها در فاصله زمانی هشت تا یازده صبح انجام شد (حجتی و همکاران، 2009).

عدد قرائت شده توسط دستگاه مزبور $(\text{ppm}/\text{min}/\text{cm}^2)$: میلی گرم CO_2 بر کیلوگرم خاک در دقیقه در سطح لوله مورد استفاده (عدد 785 cm^2) مساحت سطح مقطع لوله)

فرمول 1: $((\text{عدد تنفس} \times 60 \times 100000) / \text{مساحت سطح مقطع لوله}) = 10000 \text{ ppm}/\text{h}/\text{m}^2$ (میلی گرم CO_2 بر کیلوگرم خاک در ساعت در مترمربع)

فرمول 2: (عدد محاسبه شده در بالا $\times 12000$) / $44000 = \text{mol C}/\text{h}/\text{m}^2$ (مول $\text{CO}_2\text{-C}$ در ساعت در مترمربع)

زی توده میکروبی کربن خاک

به منظور اندازه گیری زی توده میکروبی کربن نه نمونه خاک در هر توده و در هر فصل به روش تدخین- استخراج، ابتدا خاک مرطوب با کلروفرم به مدت 24 ساعت در درون دسیکاتور تدخین شد. سپس خاک تدخین شده، با محلول عصاره گیر سولفات پتاسیم نیم مولار (20 میلی لیتر) به مدت 30 دقیقه لرزش و عصاره گیری شد. همین کار با خاک شاهد (تدخین نشده) هم انجام شد. مقدار چهار میلی لیتر از عصاره استخراج شده برداشته و به درون لوله های هضم انتقال داده شد. سپس مقدار دو میلی لیتر پتاسیم دی کرومات و پنج میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به این محلول اضافه شد. پس از آن سه قطره (0/3 میلی لیتر) از محلول شناساگر که 40 میلی لیتر آب مقطر و یک گرم دی فنیل آمین را مخلوط نموده و به آرامی 200 میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد و در نهایت با استفاده از فروآمونیم سولفات، تیتراسیون نمونه ها صورت گرفت. با توجه به تفاوت کربن آلی استخراج شده از خاک مقدار کربن زی توده میکروبی کربن بر مبنای میلی گرم بر کیلوگرم محاسبه شد (علی اصغرزاد، 1390).

فعالیت آنزیم اوره آز

به منظور اندازه گیری فعالیت آنزیم اوره آز در خاک (نه نمونه خاک در هر توده و در هر فصل در مجموع 36 نمونه در هر توده)، پس از نمونه برداری خاک در یخدان به آزمایشگاه منتقل و سپس از الک دو میلی متری عبور داده شد. نمونه های الک شده در فریزر و در دمای 20- درجه سانتی گراد نگهداری شدند؛ به طوری که تا زمان انجام آزمایش ها فعالیت آنزیم ها در سطح مورد نظر حفظ شود. فعالیت آنزیم اوره آز با استفاده از واکنش آنزیم- سوبسترا و محصول به دست آمده از این واکنش به وسیله اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد (اولینگر و همکاران،

1996). در این روش برای اندازه گیری فعالیت آنزیم اوره آز از پنج گرم خاک مرطوب استفاده شد. نمونه ها به مدت دو ساعت در انکوباتور و در دمای 37 درجه سانتی گراد قرار گرفتند. طول موج مورد استفاده در دستگاه اسپکتروفتومتر برای اندازه گیری آنزیم اوره آز 690 نانومتر بود.

اندازه گیری زی توده ریزریشه

در این پژوهش به منظور اندازه گیری زی توده ریزریشه (قطر کمتر از دو میلی متر)، نمونه برداری از خاک با استفاده از استوانه فلزی (قطر هشت و ارتفاع ده سانتی متر) پس از کنار زدن لایه آلی، از عمق 10-0 سانتی متر خاک به روش کاملاً تصادفی و در هر یک از توده های مورد مطالعه انجام شد. پس از برداشت از نمونه های خاک و انتقال به آزمایشگاه، ریزریشه ها از نمونه ها جداسازی و با استفاده از الک دو میلی متری عبور داده شده و شستشو شدند. سپس این نمونه ها در آون و در دمای 75 درجه سانتی گراد و به مدت 24 ساعت خشک شدند. در نهایت پس از توزین نمونه های خشک شده، مقدار زی توده آنها در متر مربع محاسبه شد (اسدیان و همکاران، 1393).

تجزیه آماری

به منظور انجام کلیه تجزیه های آماری در این مطالعه از نرم افزار SPSS v.22 استفاده شد. به منظور آزمون نرمال بودن داده ها در ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک و همگنی واریانس ها با آزمون لون بررسی شد. جهت تجزیه ترکیبی تفاوت بین گونه و فصول از تجزیه واریانس استفاده شد. مقایسه بین دو گونه از آزمون t مستقل و برای مقایسه اثرات متقابل فصل و گونه از تجزیه واریانس دو طرفه (GLM) و مقایسه گروهی چند دامنه ای دانکن استفاده شد. به منظور تعیین ارتباط بین دو توده و عوامل مختلف اندازه گیری شده خاک از برش دهی (Slice) اثرات متقابل با استفاده از نرم افزار SAS v.9.4 و تعیین تمایز بین دو گونه از روش تجزیه به مؤلفه های اصلی (PCA) استفاده شد.

نتایج

در این مطالعه مشخصه های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در دو توده جنگل کاری کاج رادپاتا و بلندمازو مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق نتایج به دست آمده در توده کاج رادپاتا، درصد شن، رس و سیلت به ترتیب 39/46، 26/39، 34/13 بود و این متغیرها در توده بلندمازو به ترتیب 37/26، 13/26، 45/47 بود که درصد شن و رس بین دو توده اختلاف معنی دار نشان داد ($p < 0/01$)؛ ولی در رابطه با درصد سیلت این اختلاف معنی دار نبود. رطوبت خاک در توده کاج رادپاتا 18/85 و

درصد بود و تفاوتی در سطح پنج درصد دیده نشد. اسدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) در توده کاج رادایاتا به ترتیب 6/6 و 0/4 دسی زیمنس در متر و در توده بلندمازو به ترتیب 6/1 و 0/49 دسی زیمنس در متر برآورد شد (جدول 1).

در توده بلندمازو 29/51 درصد بود که اختلاف آنها معنی‌دار بود ($p < 0/01$). چگالی ظاهری در توده کاج رادایاتا 1/6 گرم در سانتی‌متر مکعب و در توده بلندمازو 1/35 گرم در سانتی‌متر مکعب خاک بود ($p < 0/01$), میزان آهک خاک در دو توده به ترتیب 2/82 درصد و 2/85

جدول 1- میانگین مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک ($\pm$ اشتباه معیار) دو توده جنگل کاری کاج رادایاتا و بلندمازو

مشخصه‌های خاک	بلندمازو	کاج رادایاتا	آماره t	Sig
شن (درصد)	45/1±47/56	34/2±13/26	5/563**	0/000
رس (درصد)	13/1±26/11	26/1±39/28	7/712**	0/000
سیلت (درصد)	37/0±26/98	39/1±46/69	1/123 ^{ns}	0/273
رطوبت (درصد)	29/1±50/27	18/0±58/40	8/164	0/000
آهک (درصد)	2/0±85/07	2/0±82/06	1/154 ^{ns}	0/185
چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	1/0±35/06	1/0±61/05	3/197**	0/000
pH	6/0±6/1	6/0±1/1	5/313**	0/000
EC (دسی زیمنس بر متر)	0/0±49/01	0/0±4/01	1/917 ^{ns}	0/053

**، معنی‌دار در سطح یک درصد؛ ns، نبود اختلاف معنی‌دار

سوخت‌وساز و نسبت کربن به نیتروژن در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کلیه مشخصه‌های کربن در دو توده بلندمازو و کاج رادایاتا و اثرات متقابل آنها دارای اختلاف معنی‌دار ($p < 0/01$) بود (جدول 2).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عناصر خاک نشان داد که غلظت نیتروژن، فسفر و فعالیت آنزیم اوره‌آز در دو توده بلندمازو و کاج رادایاتا در فصول مختلف و اثرات متقابل آنها دارای اختلاف معنی‌دار ($p < 0/01$) بود. در ارتباط با مشخصه‌های مرتبط با کربن، تنفس خاک، کربن خاک، زی‌توده میکروبی کربن، زی‌توده ریزریشه، ضریب

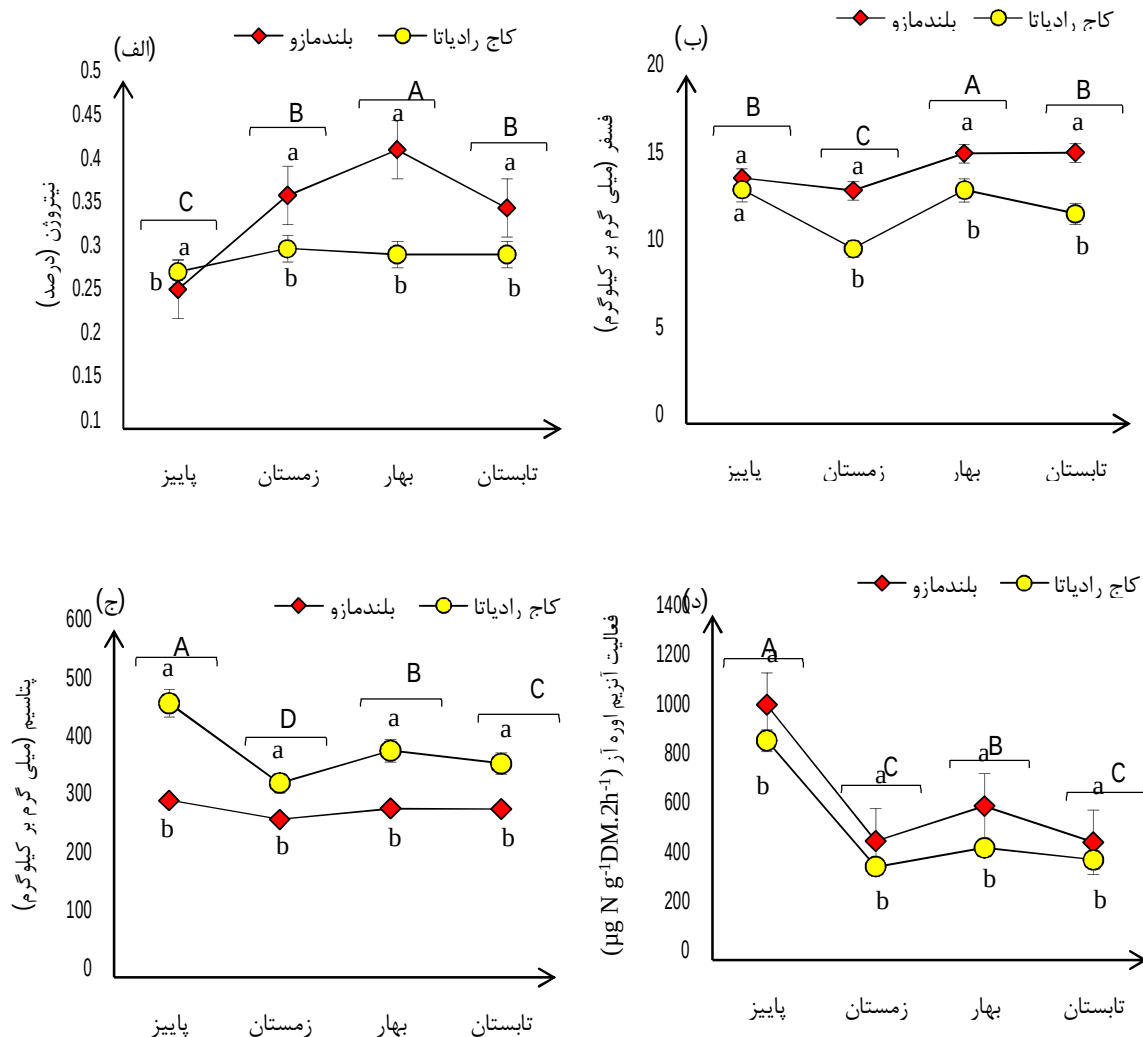
جدول 2- تجزیه واریانس مشخصه‌های کیفی خاک دو توده بلندمازو و کاج رادایاتا در فصول مختلف (پاییز 96 تا پاییز 97)

عناصر	منبع تغییرات	آماره F	عناصر	منبع تغییرات	آماره F
نیتروژن کل	گونه	118/439**	نسبت کربن به نیتروژن	گونه	166/667**
	فصل	60/304**		فصل	38/128**
	گونه×فصل	33/936**		گونه×فصل	27/367**
	گونه	742/595**		گونه	17/616**
پتایسم	فصل	91/153**	تنفس خاک	فصل	259/705**
	گونه×فصل	38/218**		گونه×فصل	1/618 ^{ns}
	گونه	799/704**		گونه	73/137**
فسفر	فصل	195/853**	زی‌توده ریزریشه	فصل	65/139**
	گونه×فصل	59/442**		گونه×فصل	27/199**
	گونه	14/256**		گونه	247/505**
آنزیم اوره‌آز	فصل	59/569**	زی‌توده میکروبی کربن	فصل	61/619**
	گونه×فصل	0/443 ^{ns}		گونه×فصل	14/960**
	گونه	74/340**		گونه	73/173**
کربن	فصل	15/295**	ضریب سوخت‌وساز	فصل	65/139**
	گونه×فصل	25/170**		گونه×فصل	27/199**

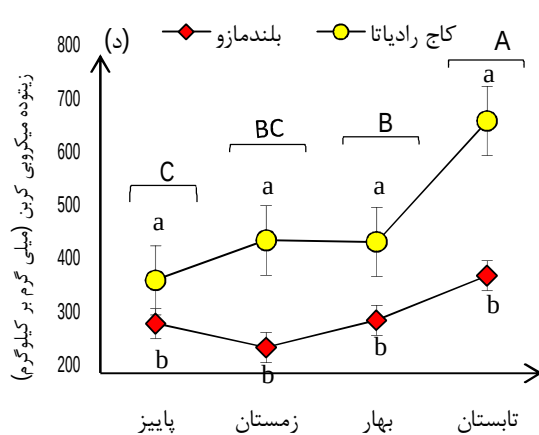
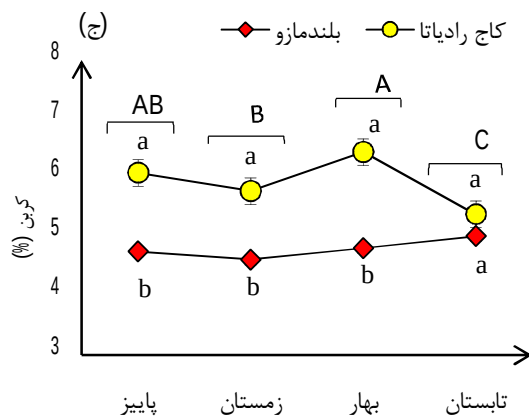
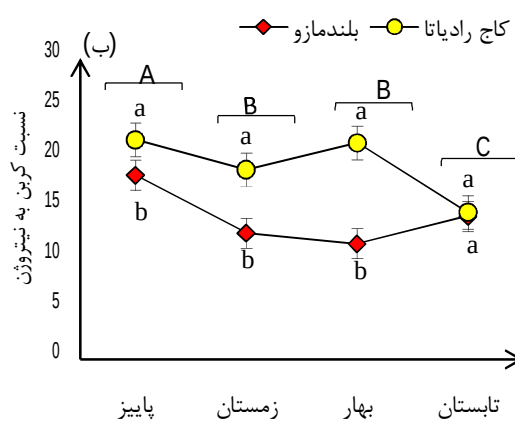
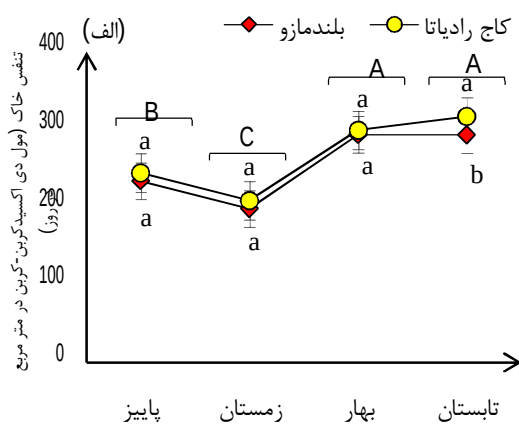
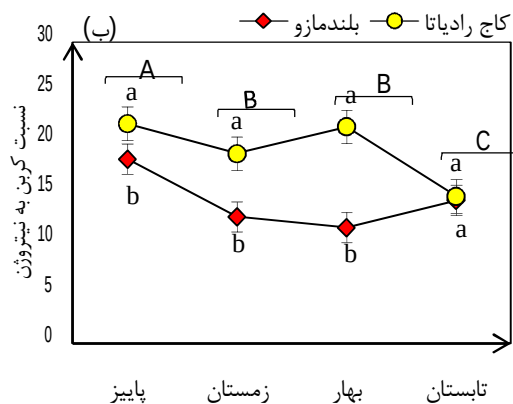
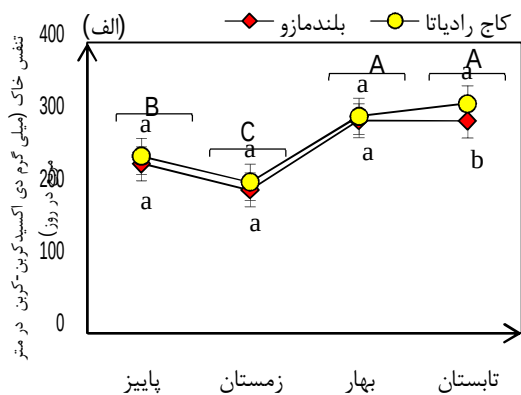
**، معنی‌دار در سطح یک درصد؛ ns، نبود اختلاف معنی‌داری

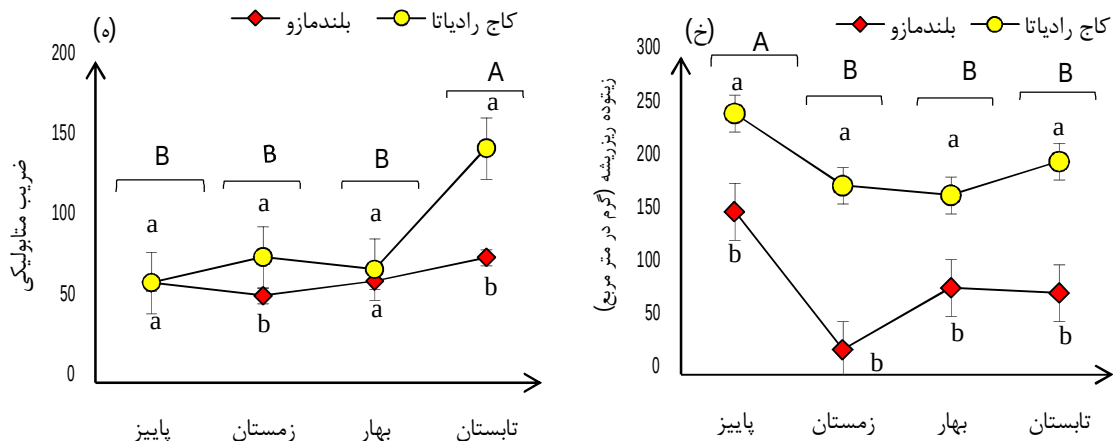
مشخصه‌هایی مانند زی‌توده میکروبی، نسبت کربن به نیتروژن، کربن خاک، زی‌توده میکروبی کربن، زی‌توده ریزریشه و ضریب سوخت‌وساز نیز در تمام فصول در توده کاج رادیاتا به‌طور معنی‌داری بیشتر از بلندمازو بود ($p < 0/01$). در مقایسه میانگین‌ها بین فصول مختلف سال، بیشترین میزان تنفس خاک، ضریب سوخت‌وساز و زی-توده ریزریشه مربوط به تابستان و بهار و کمترین مقدار مربوط به زمستان بود ($p < 0/01$). بیشترین میزان کربن خاک و نسبت کربن به نیتروژن مربوط به بهار و پاییز بود که از دیگر فصول بیشتر بود. زی‌توده ریز ریشه نیز در پاییز و تابستان بیشتر از دیگر فصول بود ($p < 0/01$) (جدول 2؛ شکل 3).

نتایج مقایسه میانگین‌ها معلوم کرد که غلظت نیتروژن، فسفر و فعالیت آنزیم اوره‌آز در توده بلندمازو به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاج رادیاتا ولی مقدار پتاسیم در توده کاج رادیاتا بیشتر بود ($p < 0/01$). میزان نیتروژن و فسفر در دو توده در بهار و تابستان به‌طور معنی‌داری ($p < 0/01$) بیشتر و در زمستان کمترین میزان را به خود اختصاص داد؛ اما در ارتباط با پتاسیم و فعالیت آنزیم اوره‌آز در بهار و پاییز بیشتر بود (شکل 2). نتایج مقایسه میانگین‌ها در ارتباط با تنفس خاک نشان داد که در تمام فصول میزان تنفس خاک در توده کاج رادیاتا بیشتر از بلندمازو است؛ ولی این اختلاف تنها در تابستان معنی‌دار بود ($p < 0/01$).



شکل 2- میانگین ($\pm$ اشتباه معیار) غلظت عناصر شیمیایی و زیستی خاک: نیتروژن (الف)، فسفر (ب)، پتاسیم (ج) و آنزیم اوره‌آز (د) در توده‌های کاج رادیاتا و بلندمازو در فصول مختلف (پاییز 96 تا پاییز 97) (حروف کوچک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو گونه و حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار میان فصول مختلف است) (سطح احتمال معنی‌داری پنج درصد)





شکل 3- مشخصه های چرخه کربن شامل: تنفس خاک (الف)، نسبت کربن به نیتروژن (ب)، کربن (ج)، زی توده میکروبی کربن (د) ضریب سوخت و ساز (ه) و زی توده ریزش (خ) در توده های کاج رادیاتا و بلندمازو در فصول مختلف (پاییز 96 تا پاییز 97) (حروف کوچک تفاوت بین دو گونه و حروف بزرگ تفاوت فصول را در سطح احتمال معنی داری پنج درصد نشان می دهند).

اختصاص داده است و میزان فعالیت آنزیم اوره آز نیز در پاییز و بهار در این توده بیشترین مقدار بوده است. کربن خاک در پاییز و بهار در توده کاج بیشترین میزان و بیشینه نسبت کربن به نیتروژن نیز در بهار و پاییز و در توده کاج به دست آمد. بیشترین میزان زی توده میکروبی کربن، زی-توده ریزش و ضریب سوخت و ساز نیز در تابستان و در توده کاج به دست آمد (جدول 3).

در این مطالعه پس از معنی دار شدن اثر متقابل، کلیه مشخصه های خاک به روش برش دهی (Slice) مورد بررسی آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن خاک در توده بلندمازو در بهار به دست آمده است. میزان پتاسیم در بهار و پاییز در توده کاج به طور معنی داری بیشتر بوده است. غلظت فسفر در بهار و پاییز در توده بلوط بلندمازو بیشترین مقدار را به خود

جدول 3- برش دهی اثرات متقابل مشخصه های خاک در دو توده بلندمازو و کاج رادیاتا در فصول مختلف (پاییز 96 تا پاییز 97)

مشخصه های خاک	Fal O	Fal P	Win O	Win P	Spr O	Spr P	Sum O	Sum P
نیتروژن کل	0/26 ^f	0/28 ^d	0/36 ^b	0/3 ^c	0/42 ^a	0/3 ^c	0/35 ^b	0/3 ^c
پتاسیم	305 ^e	423 ^a	272 ^f	334 ^d	390 ^b	291 ^e	291 ^e	368 ^c
فسفر	14/3 ^b	13/4 ^c	13/3 ^c	10/0 ^f	13/3 ^c	15/4 ^a	15/5 ^a	12/0 ^d
آنزیم اوره آز	1033 ^a	889/4 ^b	482/5 ^d	378/8 ^d	455/0 ^d	624/5 ^c	477/3 ^d	405/6 ^d
کربن	4/7 ^{cd}	6/1 ^{ab}	4/6 ^{cd}	5/7 ^b	6/4 ^a	4/8 ^c	5/01 ^c	4/4 ^d
نسبت کربن به نیتروژن	18/3 ^b	21/9 ^a	12/6 ^d	18/8 ^b	21/5 ^a	11/6 ^d	14/2 ^c	14/6 ^c
زی توده ریزش	153/5 ^c	245/8 ^a	23/2 ^e	177/9 ^{bc}	168/7 ^{bc}	81/7 ^d	76/8 ^d	200/5 ^b
زی توده میکروبی کربن	293/2 ^d	374/6 ^c	248/5 ^e	449/6 ^b	446/7 ^b	299/6 ^d	383/5 ^c	674/5 ^a
ضریب سوخت و ساز	61/7 ^c	61/9 ^c	53/9 ^{dc}	77/8 ^b	70/3 ^{bc}	62/8 ^c	77/6 ^b	145/4 ^a

((Fal)) پاییز؛ ((Spring)) بهار؛ ((Summer)) تابستان؛ ((winter)) بهار؛ ((Pine)) کاج؛ ((Oak)) بلندمازو؛ ((Fal P)) پاییز کاج؛

((Fal O)) پاییز بلوط؛ ((Win P)) زمستان کاج؛ ((Win O)) زمستان بلوط؛ ((Spr P)) بهار کاج؛ ((Spr)) بهار بلوط؛ ((Sum P)) تابستان کاج؛ ((Sum O)) تابستان بلوط

عامل 36/6 و محور دوم: مقدار ویژه = 3/56 درصد و واریانس متناظر با عامل 20/94 به طوری که توده های جنگلی و مشخصه های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک روی محورهای اول و دوم پراکنش متفاوتی را نشان دادند. توده بلندمازو در ربع اول و چهارم با مشخصه هایی

نتایج تجزیه ی مؤلفه های اصلی دو توده جنگل - کاری و مشخصه های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نشان داد که مؤلفه های اصلی اول و دوم، در مجموع 57/53 درصد از تغییرات واریانس را توجیه می کنند (محور اول: مقدار ویژه = 6/22 و درصد واریانس متناظر با

بالای خاک را به طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می دهند. به عبارت دیگر کرم های خاکی با ایجاد حفره هایی در خاک موجب کاهش چگالی ظاهری و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک می شوند. اگرچه در این مطالعه زیتوده مرتبط با کرم های خاکی مورد بررسی قرار نگرفت، اما در این ارتباط نتایج مطالعه سنجی و همکاران (1396) نشان داد که فعالیت کرم های خاکی در توده سوزنی برگ کاج سیاه به طور معنی داری از توده ون و بلوط کمتر بوده است و این مسئله خود می تواند موجب افزایش چگالی ظاهری در توده کاج نسبت به توده بلوط بوده باشد، آنها دلیل کاهش فعالیت کرم های خاکی در توده های سوزنی برگ را افزایش اسیدیته خاک دانسته و بیان نمودند که معمولاً خاک های اسیدی فعالیت های موجودات خاکزی را مهار می کنند، در این رابطه بررسی ها بیانگر آن است که تجزیه و مخلوط شدن مواد آلی با حضور کرم های خاکی، 1/5 تا 1/6 سریعتر از حالتی است که این جانداران در خاک وجود نداشته باشند (مصلحی و نظری، 1391). بیشترین میزان EC و pH در توده بلندمازو مشاهده شد. در این ارتباط نتایج حقوردی و همکاران (1397) در توده های سوزنی برگ و پهن برگ نشان داد که بیشترین EC در توده پهن برگ زبان گنجشگ و بلندمازو و کمترین میزان pH در توده سوزنی برگ پیسه آ و کاج سیاه مشاهده شد.

نتایج حاصل از مقایسه اجزای خاک در دو توده نشان داد که به جز در میزان سیلت که اختلاف معنی داری در دو توده مشاهده نشد، میزان شن و رس در دو توده دارای اختلاف معنی دار بود؛ عموماً تغییرات درصد اجزای بافت خاک (سیلت، رس، شن) به دلیل ساختار تاج پوشش (نوع گونه های درختی یا پوشش گیاهی) در لایه های بالایی خاک اتفاق می افتد، چراکه با توجه با اطلاعات کتابچه طرح جنگلداری قطعه های مربوط، نوع سنگ مادر و خاک در دو توده یکسان است. طبق مطالعات انجام شده در جنگل (کوچ و پارساپور، 1395؛ رحمتی و همکاران 1399)، احتمال این اتفاق وجود دارد که در اثر تجمع لاشبرگ و تغییراتی که به واسطه آن در میزان رطوبت و آبشویی در خاک ایجاد می شود، این اختلاف حاصل شده است. افزون بر آن، نمی توان این اختلاف را به زمان برش یکسره جنگل طبیعی (سال 1366) در دو منطقه که یکسان بوده و کاشت هر دو توده هم با یکدیگر و سن دو توده حدود 30 سال بوده است، نسبت داد. همچنین فعالیت موجودات خاکزی به ویژه کرم های خاکی نیز موجب تغییر در اجزای خاک می شود. البته این مسأله (وجود اختلاف معنی دار در میزان سیلت، رس و شن) در توده های مختلف غالباً در لایه بالایی (topsoil) اتفاق می -

افتد که متأثر از میزان وجود لایه لاشبرگ و تفاوت ایجاد شده در میزان آبشویی و فعالیت موجودات خاکزی است. همان طور که نتایج مطالعات قید شده در بالا نشان داد با افزایش عمق، تفاوتی در میزان سیلت، رس و شن در دو توده مشاهده نشده است (به دلیل شرایط اداپیکایی یکسان) و این مسأله حاصل تأثیرات به سزای گونه های درختی است.

نتایج حاصل از مقایسه بین دو گونه نشان می دهد که نیتروژن در زمستان، بهار و تابستان در تمام فصول در توده بلندمازو بیشتر از توده کاج بود ولی در پاییز به دلیل خزان کننده بودن و کاهش غلظت عناصر در مسیرهای ورودی عناصر غذایی در بلندمازو، میزان آن در کاج بیشتر بود (گاتر و همکاران، 2015). فعالیت آنزیم اوره آز در بهار و پاییز در هر دو توده بیشتر بوده است و توده بلندمازو میزان بیشتری را به خود اختصاص داده است. کلر و همکاران (2008) بیان نمودند که آنزیم ها ترکیبات غنی از نیتروژن هستند. بنابراین، تولید آنها به میزان زیادی به دسترس بودن نیتروژن وابسته است، زیرا اوره آز در هیدرولیز ترکیبات آلی نیتروژنی (آنزیم دستیابی به نیتروژن) نقش دارد. در نتیجه نیتروژن بیشتر در توده بلندمازو موجب افزایش فعالیت آنزیم اوره آز گردیده است.

فسفر از عناصر غذایی مهم برای رشد گیاهان محسوب می شود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بیشترین میزان فسفر در خاک در تابستان و بهار بوده است که دلیل این امر را می توان در افزایش غلظت فسفر در میسرهای ورودی عناصر غذایی (لاشه ریزی و تاج بارش) در این فصول در لایه بالایی خاک دانست (سیر و همکاران، 2006). در این رابطه نتایج پوتر و همکاران (1991) نشان داد که پتاسیم و فسفر (به شکل فسفات) می تواند به سرعت به وسیله تاج بارش آبشویی شود در نتیجه غلظت آن در تاج بارش و لاشه ریزی در فصولی که درخت دارای تاج پوشش است، افزایش می یابد. اما میزان فسفر در توده کاج در پاییز تغییر محسوسی در مقایسه با بهار و تابستان نشان نمی دهد؛ می توان دلیل این مسأله را سوزنی برگ و پاسخ تأخیری به تغییرات فصلی این گونه دانست. در مقایسه بین دو توده میزان پتاسیم در توده کاج در تمام فصول بیشتر از توده بلوط بوده است. دلیل این امر احتمالاً به دلیل میزان پتاسیم در لاشبرگ بیشتر در تاج بارش و لاشبرگ گونه کاج نسبت به بلوط و در نتیجه کاهش آزادسازی پتاسیم از لاشبرگ به خاک و همچنین افزایش جذب پتاسیم توسط درخت بلوط از دلایل کاهش پتاسیم در خاک این توده ها است.

نمودند. در مقایسه بین زی‌توده ریزریشه بین دو گونه کاج رادیاتا و بلندمازو، زی‌توده ریزریشه در توده کاج رادیاتا به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده بلندمازو بود. جکسون و همکاران (1996) گزارش دادند که عمق ریشه‌دوانی در گونه‌های سوزنی‌برگ شمالی کمتر از گونه‌های برگ‌ریز در جنگل‌های معتدله است. به‌همین دلیل زی‌توده ریزریشه در افق سطحی خاک توده‌های کاج از توده بلندمازو بیشتر بود؛ زیرا بلندمازو گونه‌ای با ریشه‌های عمیق‌تر است. افزایش زی‌توده ریزریشه و میکروبی در توده کاج رادیاتا منجر به افزایش تنفس خاک در این توده نسبت به بلندمازو شد که از این نظر با مطالعه کوچ و پارساپور (1395) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مشخصه‌های کیفی خاک تحت تأثیر نوع گونه درختی و تغییرات تاج-پوشش و فصول مختلف سال قرار گرفته و به شکل پویایی نوسان دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، مشخصه‌های بیوشیمی خاک در بهار به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصول دیگر بوده است و میزان نیتروژن، فسفر و فعالیت آنزیم اوره‌آز در توده بلندمازو بیشتر از کاج رادیاتا بود؛ اما در ارتباط با مشخصه‌های مرتبط با کربن مانند تنفس خاک، نسبت کربن به نیتروژن، کربن زی‌توده میکروبی خاک، زی‌توده ریزریشه و ضریب سوخت‌وساز نیز در تمام فصول در توده کاج رادیاتا بیشتر از توده بلندمازو بوده است. اما بیان این‌که کدام گونه در ارتباط با کیفیت و پایداری زیستی خاک تأثیرات بیشتری داشتند، ذکر این نکته ضروری است که تأثیر بیشتر گونه‌های سوزنی‌برگ در رابطه با دی اکسید کربن، ترسیب کربن و ... در بسیاری از مطالعات گذشته نیز بدست آمده است. سوزنی برگان به دلیل رشد بیشتر، شاخص سطح برگ بیشتر و در نتیجه فتوسنتز بیشتر ولی تجزیه دیرتر لاشبرگ‌ها غالباً کربن بیشتری را در خاک ذخیره می‌نمایند. اما به لحاظ پایداری و تداوم زیستی به-دلیل اسیدی کردن خاک، کاهش بازگشت عناصر مغذی به خاک به دلیل تجزیه دیرتر لاشبرگ‌ها، امکان سازگاری کمتر با گونه‌های بومی، کاهش فعالیت موجودات خاکی مانند کرم‌های خاکی (به‌دلیل افزایش اسیدیته خاک) و بسیاری عوامل دیگر در درجه اهمیت بعدی در رابطه با گونه‌های بومی و پهن برگ‌های شمال ایران دارند. لذا به-طور کلی می‌توان بیان نمود که گونه پهن‌برگ بلندمازو در افزایش میزان مواد مغذی خاک موفق‌تر از سوزنی‌برگ عمل نموده است؛ ولی تأثیرات بیشتر سوزنی برگان بر میزان کربن خاک در توده جنگل کاری نمایان‌تر می‌باشد.

ریز موجودات در فرآیند چرخه عناصر در خاک فعالیت داشته و نقش مهمی در تجزیه و تبدیل مواد آلی و معدنی بازی می‌کنند (آگیلرا و همکاران، 1999؛ اکباد و نوردگرن، 2002). آنها اهمیت زیادی در بازگشت و آزادسازی عناصر غذایی و جریان انرژی خاک دارند و به-سرعت در برابر تغییرات شرایط محیطی، رطوبت، دما و نوع و میزان مواد آلی و شیمی خاک واکنش نشان می‌دهند (پاوول، 1984). بنابراین، می‌توانند به‌عنوان شاخص باروری خاک در مطالعات بوم‌شناختی خاک (یاداو، 2012) و مدیریت پایدار زیست‌محیطی استفاده شوند. در این مطالعه زی‌توده میکروبی در هر دو توده الگویی از تغییرات فصلی با یک اوج در تابستان را نشان داد، زمانی-که دمای هوا بیشینه بود و هنوز هم رطوبت کافی از بارش زمستان وجود داشت. چنین شرایطی نه تنها به زیست‌توده میکروبی و فعالیت آن، بلکه به فرآیندهای تجزیه کربن آلی خاک نیز کمک می‌کند. در مقایسه‌ی زی‌توده میکروبی کربن بین دو گونه، در کاج به‌طور معنی‌داری از توده بلندمازو بیشتر بود. کوچ و پارساپور (1395) در مطالعه خود زی‌توده میکروبی کربن را در جنگل‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ مورد مطالعه قرار دادند، مطابق با نتایج به-دست آمده در این مطالعه، میزان زی‌توده میکروبی کربن در مطالعه آنها نیز در توده سوزنی‌برگ بیشتر از توده پهن‌برگ بوده است. چن و همکاران (2006) گزارش داده‌اند که زی‌توده میکروبی کربن به میزان زیادی به کربن آلی خاک و میزان و نوع ریزریشه خاک بستگی دارد. بنابراین، کربن آلی و ریزریشه بیشتر در توده کاج رادیاتا نسبت به توده بلندمازو می‌تواند از عوامل اصلی افزایش زی‌توده میکروبی کربن در این توده باشد که این نتیجه مطابق با نتایج جیا و همکاران (2005) و وانگ و وانگ (2011) نیز می‌باشد.

تنفس خاک از مجموعه‌ای از فرآیندهای پیچیده مانند: دما، رطوبت، زی‌توده میکروبی، زی‌توده ریزریشه، ورودی لاشبرگ و اسیدیته خاک تشکیل شده است. در این مطالعه تنفس خاک الگویی فصلی از تغییرات با نرخ بیشینه در فصل تابستان و نرخ کمینه در زمستان را در هر دو توده به نمایش گذاشت. این نتایج مطابق با بسیاری از نتایج گزارش شده در جنگل‌های معتدله (دانگ و همکاران، 1996؛ رایچ و شلینگر، 1992؛ زانگ و همکاران، 2001؛ بوودن و همکاران، 2004) و همچنین در جنگل‌های سوزنی برگ (ماتسون، 1995؛ مایر و کرس، 2004) است. در جنگل‌های شمال نیز کریمیان بهنمیری و همکاران (1397) در مطالعه خود در توده‌های جنگلی مختلف در فصول سال، بیشترین میزان تنفس خاک را در تابستان بیان

فهرست منابع:

1. احمدی ملکوت، ا.، سلطانی، ع.، یارعلی، ن. 1390. بررسی اثر جنگلکاری بر تنوع گیاهی زیراشکوب (مطالعه موردی لنگرود، گیلان). مجله جنگل ایران، 3 (2): 157-167.
2. اسدیان، م.، حجتی، س.، م. پورمجیدیان، م. ر. و فلاح، ا. 1393. تأثیر انواع متفاوت کاربری زمین بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، و زیستی خاک در جنگل الندان ساری. جنگل و فرآورده های چوب (منابع طبیعی ایران)، 66 (2): 377-388.
3. بی نام 1390. کتابچه طرح جنگلداری مهدشت و افراتخت، چوب و کاغذ مازندران.
4. جعفریان حقیقی، م. 1381. روش های آنالیز خاک. انتشارات ندای زها، 195 ص.
5. حقوردی، ک.، طریقت، ق.س.، کوچ، ی. 1397. کیفیت لاشریزه و اجزای ناپایدار ماده آلی خاک در عرصه های جنگلی احیا شده ناحیه خزری. نشریه پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل، 25 (2): 51-64.
6. رحمتی، ح.، رستمی شاهراجی، ت.، صالحی، ع.، حیدری، ابوزر. 1399. مقایسه کمی و کیفی و خاک جنگلکاری بلندمازو و کاج رادپاتا در حوزه 25 شنرود گیلان. مجله بوم شناسی جنگل های ایران، 8 (15): 104-114.
7. سنجی، ر.، کوچ، ی.، طبری کوچکسرای، م. 1396. مقایسه زیتوده ریزریشه، جمعیت کرم های خاکی و نمادهای خاکری در خاک سطحی توده های طبیعی و دست کاشت جنگلی. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، 24 (3): 219-234.
8. علی اصغرزاد، ن. 1390. روش های آزمایشگاهی بیولوژی خاک، انتشارات دانشگاه تبریز، 255 صفحه.
9. کریمیان بهنمیری، ع.، طاهری آبکنار، ک.، کوچ، ی.، صالحی، ع. 1398. اثر ترکیب تاج پوشش گونه های درختی بر مشخصه های آلی و معدنی خاک جنگل های هیرکانی غربی (مطالعه موردی: جنگل کرکرد نوشهر). جنگل و فرآورده های چوب (منابع طبیعی ایران)، 72 (1): 47-56.
10. کوچ، ی.، بیرانوند، م. 1396. تحلیل تغییرپذیری شاخص های کیفی لاشبرگ، نیتروژن معدنی، تنفس و زیتوده میکروبی خاک در توده های جنگلی دست کاشت. جنگل و فرآورده های چوب، مجله منابع طبیعی ایران، 70 (3): 451-460.
11. کوچ، ی.، پارساپور، ک. 1395. اثر پوشش های جنگلی پهن برگ و سوزنی برگ بر شاخص های میکروبی خاک. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، 23 (2): 195-210.
12. مصلحی، م.، نظری، ج. 1391. روابط متقابل کرم خاکی و درختان و اثرات آن بر خاک های جنگلی. انسان و محیط، 10 (1): 108-113.
13. Aguilera, L.E., Gutierrez, J.R., and Meserve, P.L. 1999. Variation in soil microorganisms and nutrients underneath and outside the canopy of *Adesmia bedwellii* (*Papilionaceae*) shrubs in arid coastal Chile following drought and above average rainfall. *Journal of Arid Environments*, 42 (1): 61-70.
14. Alban, D.H. 1982. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. *Soil Science Society of America Journal*. 46 (4):853-861.
15. Bloem, J., Hopkins, D.W., and Benedetti, A. 2006. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. CABI, Wallingford, UK.
16. Carvalho, K.D., and Nepstad, D.C. 1996. Deep soil heterogeneity and fine root distribution in forests and pastures of eastern Amazonia. *Plant Soil*, 182 (2):279- 285.
17. Challinor, D. 1968. Alteration of surface soil characteristics by four tree species. *Ecology* 49 (2):286-290.
18. Chen, W., Zheng, X., Chen, Q., Wolf, B., Butterbach-Bahl, K., Brüggemann, N., and Lin, S. 2013. Effects of increasing precipitation and nitrogen deposition on CH₄ and N₂O fluxes and ecosystem respiration in a degraded steppe in Inner Mongolia, China. *Geoderma*, 192:335-340.

19. Cuevas, E., Brown, S., and Lugo, A.F. 1991. Above- and belowground organic matter storage and production in a tropical pine plantation and a paired broadleaf secondary forest. *Plant Soil*, 135:257–268.
20. Dong, Y.S., Peng, G.B., and Li, J. 1996. Seasonal variations of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes from temperate forest soil. *Acta Geographica*. 51:120-8.
21. Doran, J.W. 2002. Soils health and global sustainability: translating science into practice. *Agric. Ecosystems. Environ*, 88, 119–127.
22. Doran, J.W., Parkin, T.B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, WI, USA.
23. Ekblad, A., and Nordgren, A. 2002. Is growth of soil microorganisms in boreal forests limited by carbon or nitrogen availability. *Plant and Soil*, 242(1), pp.115-122.
24. Ewel, J. 2006. Species and rotation frequency influence soil nitrogen in simplified tropical plant communities. *Ecol. Appl*, 16:490–502.
25. Fu, D., Wu, X., Qiu, Q., Duan, C. and Jones, D.L. 2020. Seasonal variations in soil microbial communities under different land restoration types in a subtropical mountain's region, Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 153, p.103634.
26. Gartzia-Bengoetxea, N., Kandelerb, E., Martínez de Arano, I., and Arias-González, A. 2016. Soil microbial functional activity is governed by a combination of tree species composition and soil properties in temperate forests. *Applied Soil Ecology*, 100: 57–64.
27. Hobbie, S.E., Reich, P.B., Oleksyn, J., Ogdahl, M., Zytowskiak, R., Hale, C., and Karolewski, P. 2006. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. *Ecology*, 87:2288–2297.
28. Hojjati, S.M., Hagen-Thorn, A., and Lamersdorf, N.P. 2009. Canopy composition as a measure to identify patterns of nutrient input in a mixed European beech and Norway spruce forest in central Europe. *European Journal of Forest Research*, 128: 13–25.
29. Jia, G., Jing, C., Wang, C. and Wang, G. 2005. Microbial biomass and nutrients in soil at the different stages of secondary forest succession in Ziulin, Northwest China. *Forest Ecology and Management*, 217 (1), 117–125.
30. Jouquet, P., Bottinelli, N., Podwojewski, P., Hallaire, V., and Duc, T.T. 2008. Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma*, 146(1): 231-238.
31. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4–10.
32. Keeler, B. L., Hobbie, S. E. and Kellogg, L. E. 2009. Effects of long-term nitrogen addition on microbial enzyme activity in eight forested and grassland sites: Implications for litter and soil organic matter decomposition. *Ecosystems*, 12, 1–15.
33. Kooch, Y., Moghimian, N. and Alberti, G. 2020. C and N cycle under beech and hornbeam tree species in the Iranian old-growth forests. *CATENA*, 187, p.104406.
34. Kooch, Y., Rostayee, F., and Hosseini, S.M., 2016. Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. *Catena*, 144(2): 65-73.
35. Kutsch, W.L., Schimel, J., Denef, K. 2009. Measuring soil microbial parameters relevant for soil carbon fluxes. In: Kutsch, W., Bahn, M., Heinemeyer, A. (Eds.), *Soil Carbon Dynamics. An Integrated Methodology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 169–186.
36. Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220:242– 258.

37. Mao, R., Zhang, X.H., and Meng, H.N. 2014. Effect of Suaeda salsa on soil aggregate-associated organic carbon and nitrogen in tidal salt marshes in the Liaohe Delta, China. *Wetlands*, 34(1): 189-195.
38. Mattson, K.G. 1995. CO₂ efflux from coniferous forest soils: comparison of measurement methods and effects of added nitrogen. *Soils and Global Change*, pp.329-342.
39. Maxwell, T.L., Augusto, L., Bon, L., Courbineau, A., Altinmazis-Kondylis, A., Milin, S., Bakker, M.R., Jactel, H. and Fanin, N. 2020. Effect of a tree mixture and water availability on soil nutrients and extracellular enzyme activities along the soil profile in an experimental forest. *Soil Biology and Biochemistry*, p.107864.
40. Meier, R.A., Melillo, J.M., Moore III, B., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Reichenau, T., Schloss, A., Tian, H., Williams, L.J. and Wittenberg, U. 2001. Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: analysis of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global Biogeochemistry Cycles*, 15:183-206.
41. Montagnini, F., Ramstad, K., and Sancho, F. 1993. Litterfall, litter decomposition and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry System*, 23:39-61.
42. Ohlinger, R., Schinner, F., Kandeler, E. and Margesin, R. 1996. Acid and alkaline phosphomonoesterase activity with the substrate p-nitrophenyl phosphate. In: (Eds) *Methods in Soil Biology*, Springer-Verlag Berlin, 214p.
43. Paul, E.A. 1984. Dynamics of organic matter in soils. *Plant Soil*, 76:275-285.
44. Potter, C.S., Ragsdale, H.L., and Swank, W.T. 1991. Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern Appalachian forest canopy. *The Journal of Ecology*, 97-115.
45. Prieme, A., and Christensen, S. 2001. Natural perturbations, drying-welting and freezing thawing cycles and the emission of nitrous oxide, carbon di oxide and methane from farmed organic soils. *Soil. Bio. Chem*, 33: 2083-2091.
46. Raich, J.W., and Schlesinger, W.H. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44B: 81-99.
47. Russell, A.E., Raich, J.W., Valverde-Barrantes, O.J., and Fisher, R.F. 2007. Tree species effects on soil properties in experimental plantations in tropical moist forest. *Soil Science Society of America Journal*, 71(4):1389-1397.
48. Sayer, E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* 81(1): 1-31.
49. Wang, Q., Wang, S. 2011. Response of labile soil organic matter to changes in forest vegetation in subtropical regions. *Appl. Soil Ecology*, 47 (3):210-216.
50. Warren, M.W., and Zou, X. 2002. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 170:161-171.
51. Xiong, Y., Xia, H., Li, Z.A., Cai, X.A., and Fu, S. 2008. Impacts of litter and understory removal on soil properties in a subtropical Acacia mangium plantation in China. *Plant and Soil*, 304(1-2): 179-188.
52. Yadav, R. 2012. Soil organic carbon and soil microbial biomass as affected by restoration measures after 26 years of restoration in mined areas of Doon Valley. *Int. J. Environ. Sci*, 2:1380-1385.
53. Zhang, X.J., Xu, H. and Chen, G.X. 2001. Major factors controlling nitrous oxide emission and methane uptake from forest soil. *Journal of Forestry Research*, 12: 239-242.

برآورد سطح کشت چند محصول انتخابی با استفاده از تصاویر چند زمانه

سنتینل-2 در دشت بسطام

میرناصر نویدی¹، منصور چترنور، محمد جمشیدی و احمد اخیانی

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ nnavidi@swri.ir
دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران؛ m.chatrenor@gmail.com
استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ mohammadjamshidi@yahoo.com
استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران؛ ahmadakhyani@yahoo.com

دریافت: 1400/1/15 و پذیرش: 1400/4/20

چکیده:

هدف از این پژوهش استفاده از تصاویر چند زمانه سنتینل-2 در تفکیک و تعیین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی منطقه بسطام با کمک دوره فنولوژیکی است. برای این منظور، ابتدا محصولات کشت شده منطقه و دوره فنولوژیکی آن‌ها شامل باغات زردآلو، انگور، گندم و ذرت علوفه‌ای شناسایی گردید. در ادامه با بهره‌گیری از نقاط برداشت زمینی و استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان، و مدل‌های حداکثر تشابه و حداقل فاصله از میانگین، طبقه‌بندی انجام گرفت. سپس نقشه محدوده اراضی کشاورزی در منطقه به‌دست آمد. مقایسه دقت مدل‌ها نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان بهترین عملکرد را با دقت کلی² و ضریب کاپای³ به ترتیب 0/86 و 0/82 و مدل حداقل فاصله از میانگین، کمترین عملکرد طبقه‌بندی را با دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0/69 و 0/61 داشتند. بر اساس مدل ماشین بردار پشتیبان برای گندم بیش‌ترین مساحت (3423 هکتار) و برای ذرت علوفه‌ای کمترین مساحت (738 هکتار) به‌دست آمد. نتایج حاصله نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و شاخص فنولوژیکی، توانایی قابل قبولی را در تفکیک محصولات زراعی و تعیین مساحت و تهیه نقشه اراضی کشاورزی داشت.

واژه‌های کلیدی: ماشین بردار پشتیبان، مدل حداکثر تشابه، مدل حداقل فاصله، دوره فنولوژیکی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، بخش تحقیقات ارزیابی

اراضی

² Overall Accuracy

³ Kappa Coefficient

مقدمه

تعیین نقشه پوشش اراضی از نیازهای اساسی مدیران در نظارت بر محیط‌زیست بوده و قابلیت استفاده در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌ها را دارد. در این میان استفاده از ابزار سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای با توجه به قدرت تفکیک مکانی، باندی و زمانی مناسبشان ابزار خوبی برای تهیه این‌گونه نقشه‌ها و استفاده از آن‌ها برای برنامه‌ریزی الگوی کشت اراضی کشاورزی را فراهم می‌نماید (خلفی و همکاران، 1387). بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای نه تنها خطای انسانی را کاهش می‌دهد بلکه با کاهش مراجعه مستمر به مزرعه، سبب صرفه‌جویی در هزینه و زمان می‌شود (علیپور و همکاران، 1393).

یکی از قابلیت‌های داده‌های سنجش از دور شناسایی نوع محصول است. بر این اساس از تصاویر چند زمانه استفاده می‌شود که به دلیل تناوب اخذ تصاویر، ثبت طول موج‌های مختلف در یک زمان و امکان پردازش و تفسیر سریع داده‌ها، امکان استفاده در انواع پژوهش‌های کشاورزی را دارد (سفیانیان و خداکریمی، 1390). قابلیت تهیه سری‌های زمانی و به روز بودن داده‌ها و اطلاعات، همراه با امکان آشکارسازی سریع تغییرات در روند رشد و نمو گیاهان همانند شناسایی آفات و بیماری‌ها و رفع نیازهای کودی محصولات به کمک این ابزار به کرات در ادبیات علمی جهان گزارش شده است (بارت و کورتیس، 1999).

در زمینه تعیین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی و مشخصات آن‌ها پژوهش‌های گسترده‌ای انجام شده است. رحیم زادگان و پورغالم (1395) طی پژوهشی به منظور تعیین سطح زیر کشت گیاه زعفران از تصاویر لندست 8 در شهرستان تربت‌حیدریه استفاده کرده و مشاهده نموده‌اند که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان¹ بهترین عملکرد را در تفکیک و تخمین مساحت اراضی تحت کشت زعفران داشته است. رضایی مقدم و همکاران (1398)، پژوهشی را به منظور مقایسه قابلیت روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در استخراج نقشه‌های پوشش اراضی بر اساس شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده² و تجزیه به مؤلفه اصلی³ به انجام رسانده‌اند. آن‌ها برای افزایش دقت طبقه‌بندی شاخص‌های مذکور را به عنوان ورودی در کنار دیگر باندها مورد استفاده قرار داده‌اند. بر طبق اظهارات

آن‌ها روش ماشین بردار پشتیبان با ضریب تعیین 0/92 و ضریب کاپای 0/91 و روش شبکه عصبی با ضریب تعیین 0/92 و ضریب کاپای 0/87 دقت قابل قبولی را در طبقه‌بندی داشتند.

کامکار و همکاران (1398)، طی پژوهشی سطح زیر کشت اراضی برنج و سویا را در استان گلستان با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-2 و روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله مایلانوبی برآورد کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد روش حداکثر احتمال که با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب معادل 92 درصد و 95/5 درصد، بهترین عملکرد را داشت. ژانگ و همکاران (2017) در پژوهشی مشابه برای اندازه‌گیری سطح زیرکشت محصولات برنج، سویا و ذرت از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده در تصاویر ماهواره مادیس⁴ استفاده نمودند و به یافتن نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل طبقه‌بندی با آمار ارائه شده از سازمان خواربار جهانی⁵ (فائو) برای برنج کمتر از 1/4 درصد، برای ذرت کمتر از 1/6 درصد و برای سویا 9 درصد اختلاف داشت. اصغریان و همکاران (2016)، از تصاویر لندست 8 به منظور نقشه برداری و تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در منطقه نجف آباد با روش ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند و برای درختان میوه، گندم، سیب زمینی و برنج دقت بسیار خوب در حدود 90٪ و برای یونجه دقت کمتر از 0/80 درصد مشاهده کردند که دلیل آن را به تداخل سایر پیکسل‌ها نسبت دادند.

در پژوهش دیگر ویلو و همکاران (2018) از اطلاعات حاصل از تصاویر چند زمانه سنتینل-2 به منظور طبقه‌بندی نوع محصول کشاورزی طی دو سال زراعی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در ابتدای فصل رشد محصول (مارس تا آوریل)، طبقه‌بندی دقت نسبتاً کمی داشته و مدل جنگل تصادفی قادر به پیش‌بینی قابل قبولی برای 9 نوع محصول با دقت کلی 95 درصد بود. خلیک و همکاران، (2018) از تصاویر چند طیفی سنتینل دو برای تعیین مساحت اراضی و طبقه‌بندی محصولات زراعی در منطقه کوچکی از ایتالیا استفاده کردند. در پژوهش آن‌ها از اطلاعات چند زمانی و تک زمانی مقایسه شدند و دقت کلی 0/91 و 0/62 را به دست آوردند. ویلو و همکاران (2018) طی پژوهشی در کشور چین از شاخص فنولوژیک برای ارزیابی وضعیت اراضی کشاورزی استفاده کردند و مشاهده کردند که استفاده از

⁴ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

⁵ Food and Agriculture Organization (FAO)

¹ Support Vector Machine (SVM)

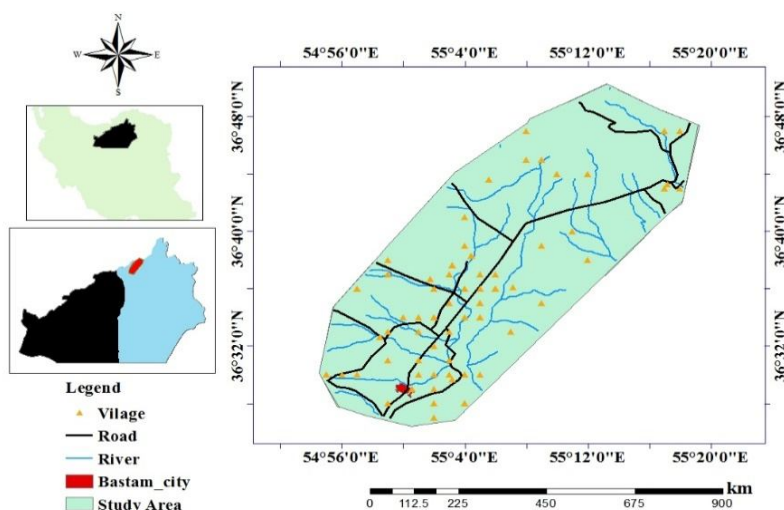
² Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

³ Principal Component Analysis (PCA)

مساحت اراضی کشاورزی منطقه بسطام واقع در استان سمنان با استفاده از تصاویر چند زمانه ماهواره‌ای سنتینل-2 است. به این منظور عملکرد مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر تشابه و حداقل فاصله از میانگین مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان سمنان و در محدوده اراضی کشاورزی شهر بسطام واقع در حد فاصل طول جغرافیایی 54 درجه و 56 دقیقه تا 55 درجه و 20 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 36 درجه و 32 دقیقه تا 36 درجه و 40 دقیقه شمالی انجام گرفت (شکل 1). این منطقه دارای اقلیم خشک با زمستان خنک و تابستان گرم است. هم‌چنین به دلیل آب و هوایی مطبوع در تابستان و زمستان سرد و باغات زردآلو سراسر شهر را احاطه کرده‌اند. بسطام از غرب به رشته‌کوه‌های شاهوار و شهر مجن و از شرق به منطقه میامی و دشت کویر و از شمال و شمال غرب به استان گلستان مرتبط است.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

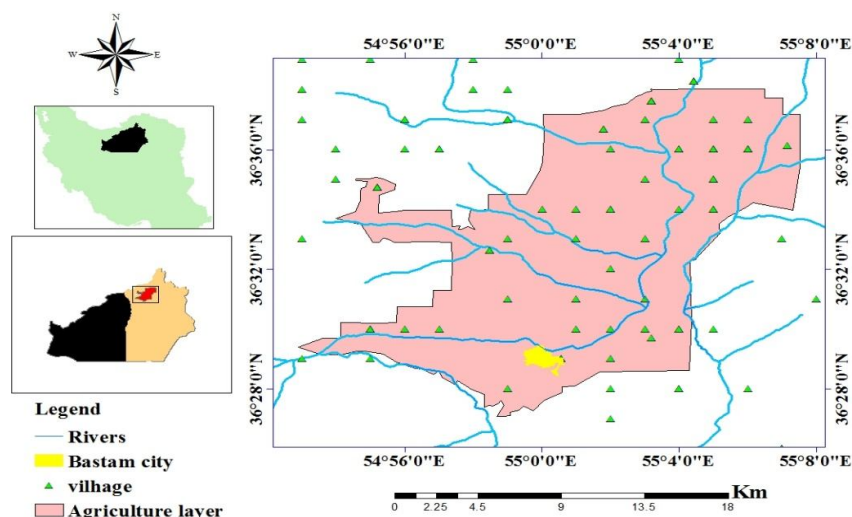
تصاویر مادیس و لندست 8 دقت کلی 0/84 را نشان داد. وی و همکاران (2020) از تصاویر چند زمانه سنتینل 2 برای تعیین سطح زیر کشت اراضی چین استفاده کردند و با انواع ترکیب باندی و مقایسه تصویر در ماه‌های مختلف، اراضی کشاورزی را با دقت کلی 0/90 تفکیک کردند. کارسون و همکاران در پژوهشی مشابه از تصاویر سنتینل 2 برای تفکیک اراضی کشاورزی در آفریقا استفاده کردند و برای انواع اراضی کشاورزی دقت کلی 0/40 تا 0/84 را به دست آوردند.

در اغلب پژوهش‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بررسی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از انواعی از الگوریتم‌های ماشین یادگیری و داده‌های کمکی مانند شاخص‌های گیاهی استفاده شده است. با توجه به تفاوت زمان کاشت و برداشت و روند رشد محصول، در پژوهش‌های کمتری به اهمیت شاخص فنولوژیکی توجه شده است. هم‌چنین در موارد استفاده از شاخص فنولوژی و تصاویر چند زمانه سبب تفکیک دقیق‌تر اراضی کشاورزی شده است. در این راستا هدف از این پژوهش شناسایی، تفکیک و تعیین محدوده و

لایه اراضی کشاورزی

به منظور تفکیک اراضی کشاورزی از سایر کاربری‌ها از سری زمانی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده ماهواره مادیس در سال 1398 استفاده گردید و اراضی کشاورزی استان سمنان و به ویژه منطقه بسطام به

صورت یک لایه جداسازی گردید. جهت اجتناب از خطای حاشیه‌ای در فرایند طبقه‌بندی، فاصله‌ای در اطراف محدوده اراضی مذکور، صورت یک لایه برش داده و سپس وارد مراحل پردازش گردید (شکل 2).



شکل-2- لایه اراضی کشاورزی اطراف شهر بسطام

پردازش تصاویر ماهواره‌ای در سری زمانی

با فاصله زمانی حداقل یک ماهه در تاریخ‌های مشخص برای منطقه بسطام تهیه شد و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده برای هر ماه محاسبه گردید (جدول 1).

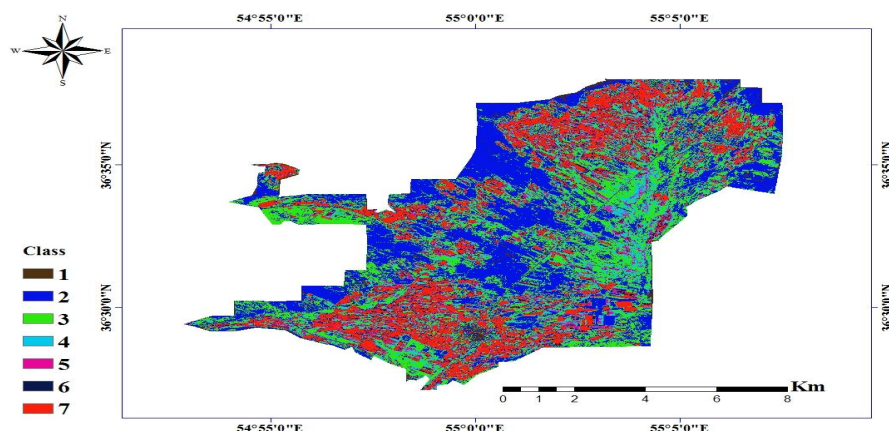
برای طبقه‌بندی اراضی کشاورزی در لایه اراضی جداشده منطقه، از تصاویر سری زمانی سنتینل-2 استفاده گردید. تصاویر سنتینل-2 از 1 مهر 1398 تا 1 مهر 1399

جدول 1- تاریخ تصویربرداری از منطقه

ماه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
تاریخ	98/7/5	98/8/12	98/9/15	98/10/16	98/11/12	98/12/5	99/1/16	99/2/15	99/3/15	99/4/17	99/5/25	99/6/24
ابر	کمتر از 5 درصد در تصاویر											

در ادامه با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از این لایه‌ها و همچنین با مراجعه به محل و برداشت پلی گون‌های زمینی برای هر کشت و کاربری، اطلاعات لازم برای طبقه‌بندی فراهم شد. و طبقه‌بندی با روش‌های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر شباهت و حداقل فاصله از میانگین انجام گرفت.

به منظور طبقه‌بندی اراضی کشاورزی، تصویر سری زمانی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده در نرم‌افزار ان‌وی 1 نسخه 5.3 پردازش شد. برای شناسایی قدرت تصاویر چند زمانه در نشان دادن اراضی و تفکیک لایه‌ها، طبقه‌بندی نظارت نشده بر روی تصاویر انجام گرفت (شکل 3). بر اساس قابلیت تصویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی، هفت لایه قابل تفکیک و دارای خصوصیات متفاوت طیفی در منطقه شناسایی شدند.



شکل 3- تصویر طبقه‌بندی نظارت نشده منطقه مطالعاتی بسطام

نقاط تعلیمی و جدول فنولوژیکی اراضی

محصولات زراعی ارائه شده است (موسسه تحقیقات خاک و آب، 1398).

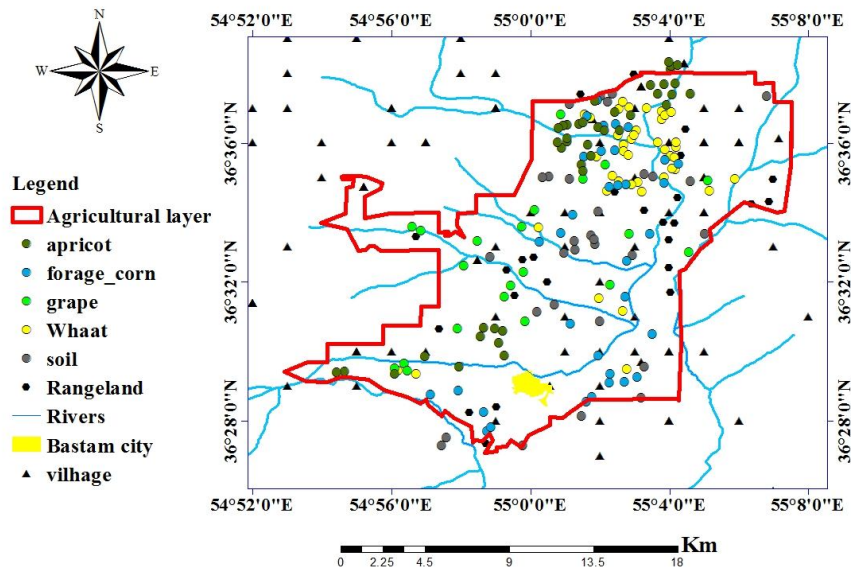
مزارع انتخاب شده برای تعیین نمونه تعلیمی

پس از شناسایی مزارع هدف، در مجموع 37 باغ زردآلو، 20 باغ انگور، 39 مزرعه گندم و 33 مزرعه ذرت علوفه‌ای انتخاب گردید شکل (4).

با بازدید از منطقه و استفاده از نظر کارشناسان جهاد کشاورزی مشخص گردید که گندم، جو و ذرت علوفه‌ای در قسمت عمده‌ای از منطقه کشت می‌شود، هم‌چنین باغات زردآلو، انگور و باغات جدیدی نیز در حال احداث است. در جدول 2 چرخه فنولوژیکی

جدول 2- دوره فنولوژی گیاه گندم استان سمنان در پهنه خشک با زمستان خنک و تابستان گرم

محصول	مرحله رشد	تاریخ		
		ماه شروع	روز شروع	ماه پایان / روز پایان
گندم	کاشت	مهر	25	آبان 25
	سبزی‌نگی	آبان	5	اسفند 5
	گل‌دهی	اسفند	5	فروردین 25
	رسیدگی	اردیبهشت	5	خرداد 25
	برداشت	خرداد	15	تیر 25
	کاشت	مهر	25	آبان 25
جو	سبزی‌نگی	آبان	25	بهمن 25
	گل‌دهی	بهمن	25	فروردین 25
	رسیدگی	فروردین	25	خرداد 5
	برداشت	خرداد	5	خرداد 25
	کاشت	خرداد	15	تیر 5
	سبزی‌نگی	خرداد	25	تیر 15
ذرت علوفه‌ای	گل‌دهی	تیر	15	مرداد 15
	رسیدگی	مرداد	5	مهر 5
	برداشت	مهر	5	مهر 25



شکل 4- موقعیت اراضی کشاورزی برای تعیین پلی گون های تعلیمی

کلاس های مختلف انجام می دهد و هدف آن حداکثر فاصله در دو کلاس است. مهم ترین ویژگی این الگوریتم استفاده از بخشی از نقاط تعلیمی با عنوان بردارهای پشتیبان است که کمترین فاصله را از فرا صفحه داشته باشند. در واقع بدون وجود هیچ فرضی در زمینه توزیع احتمال داده ها، فاصله بین کلاس ها بیشینه می شود (مونتریکس و همکاران، 2011). در ساختار هر مدل مجموعه از توابع پیش بینی تعیین می گردد و $F(x)$ به نوعی تعیین شده که x بیشترین فاصله را از مقادیر آموزشی y داشته باشد. در این روش منحنی با ضخامت ε ، با کمترین خطای برآورد به داده ها برازش داده می شود (سمولا چولکاف، 2004). مقدار انحراف از رابطه 3 تعیین شده و با وارد کردن متغیرهای کمبود و اصل کمینه سازی و بهینه سازی خطای ساختاری، رابطه 4 برقرار می شود (چترنور و همکاران، 1398).

$$f(x) = w.x + b \quad (2)$$

$$(3)$$

$$|\xi|_{\varepsilon} = \begin{cases} 0 & \text{if } |\xi| \leq \varepsilon \\ \xi - \varepsilon & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{if } |\xi| \leq \varepsilon$$

otherwise

$$\text{Minimize: } \frac{1}{2}(w.w) + C \sum_{i=1}^N (\xi_i^+ + \xi_i^-)$$

برای تفکیک و اجتناب از تداخل طیفی اراضی بایر و مرتعی در تفکیک اراضی کشاورزی، اطراف باغ ها و اراضی کشاورزی، مجموعاً 45 محدوده بایر و مرتعی انتخاب گردید. در هر مزرعه با توجه به وسعت آن تعدادی پلی گون های برداشت شد و به عنوان نمونه های تعلیمی مورد استفاده قرار گرفت. از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده به عنوان پرکاربردترین شاخص های ارزیابی استفاده شد. این شاخص بر اساس وجود کلروفیل در گیاهان است که نور قرمز را جذب و نور مادون قرمز نزدیک را منعکس می کنند. مقدار عددی این شاخص بین مثبت و منفی 1 متغیر است (رابطه 1). مقادیر زیاد حاکی از افزایش تراکم و مقادیر کم، تراکم کمتر پوشش گیاهی را نشان می دهد (آدامچاک و همکاران، 2003).

$$\text{رابطه (1)} \quad \text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

در رابطه فوق NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند 8)، RED باند قرمز (باند 4) در ماهواره سنتینل-2 است. قابل ذکر است که باندهای 4 و 8 این ماهواره دارای قدرت تفکیک زمینی 10 متر هستند.

مدل های طبقه بندی

به منظور طبقه بندی از مدل های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر شباهت و حداقل فاصله از میانگین استفاده گردید. ماشین بردار پشتیبان (SVM) روش طبقه بندی نظارت شده غیر پارامتریکی است. این مدل با استفاده از الگوریتم بهینه سازی، طبقه بندی مرزی را در

کننده از نظر ریاضی ساده و از نظر محاسباتی پرکاربرد بوده اما مبنای تنوری قوی همانند حداکثر تشابه ندارد (تسو و مادر، 2009).

ارزیابی دقت

در این پژوهش از روش اعتبارسنجی متقابل برای ارزیابی دقت مدل‌های طبقه‌بندی استفاده شده و شاخص‌های آماری ضریب کاپای و دقت کلی به کار گرفته شدند. دقت کلی بر اساس تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده بر اساس رابطه 5 محاسبه می‌شود.

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^C E_{ij}}{N} \quad \text{رابطه (5)}$$

رابطه 6 ضریب کاپای و جدول 3 شدت توافق بر اساس ضریب کاپا را نشان می‌دهد.

$$K = \frac{P(A) + P(E)}{1 - P(E)} \quad \text{رابطه (6)}$$

در این رابطه، K ضریب کاپا و P (A) احتمال قرارداد نسبی بین ارزیابی و P (E) احتمال فرضی قرارداد شانس است. مقدار ضریب کاپا بین صفر تا 1 است. اگر هیچ‌گونه توافقی بین موارد ارزیابی وجود نداشته باشد، ضریب کاپا صفر و در توافق کامل ضریب کاپا برابر با یک است (جدول 3) (ماری، 2012؛ ریچارد، 1999)

ماتریس خطا

بیانگر تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده را با واقعیت زمینی است و میزان قرار گرفتن اشتباهی یک کلاس در سایر کلاس‌ها را نشان می‌دهد. خطای اومیشن² (ستون هر طبقه در ماتریس خطا) برای محاسبه دقت تولیدکننده³ و خطای کمیشن⁴ (ردیف هر طبقه در ماتریس خطا) در محاسبه دقت کاربر⁵ استفاده می‌گردد. قطر جدول ماتریس خطا درصد کلاس‌های با طبقه‌بندی صحیح و سایر میزان خطای کمیشن و امیسیون هستند (لیلسند و همکاران، 2004).

نتایج و بحث

در شکل‌های 5 تا 9 نتایج نمودار طیفی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده که بیانگر دوره فنولوژی محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، زردآلو و انگور منطقه بسطام را نشان می‌دهد. بر این اساس، گندم در فصل پاییز و مهر و آبان ماه کشت شده و از آبان تا اسفندماه به دلیل سرمای زمستان تغییرات جزئی در مقدار سبزیگی و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده

$$\text{constraints:} \begin{cases} wx_i + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^+ \\ y_i - wx_i + b \leq \varepsilon + \xi_i^- \\ \xi_i^+ \geq 0, \xi_i^- \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$i=1,2,3,\dots,N$$

در این روابط w وزن بردار x، b مقدار بایاس، ξ_i^+ و ξ_i^- متغیرهای کمبود و C ثابت گنجایش که خطای مربوط به فاصله از ε را کنترل می‌کند.

مدل حداکثر شباهت¹: این مدل برای برآورد پارامترهای مدل آماری استفاده می‌شود. در واقع با عملیات مدل‌سازی بر روی مجموعه‌ای از داده‌ها، مدلی آماری به دست می‌آید و حداکثر درست‌نمایی با تخمینی از پارامترهای مدل ارائه می‌شود. در این روش ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته بوده و بر اساس واریانس و کوواریانس در یک طبقه از طیف قرار می‌گیرد. فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه بر اساس منحنی توزیع نرمال در اطراف میانگین پیکسل آن طبقه قرار گرفته است. برای طبقه‌بندی تصاویر در این روش، واریانس، کوواریانس و میانگین طبقه‌های مختلف هر تصویر محاسبه می‌شود تا هر یک از پیکسل‌ها به طبقه‌ای تعلق یابد که از احتمال بیشتری برخوردار است (تسو و مادر، 2009). با این حال خطاهایی از قبیل عدم تناسب و یا عدم برآوردگر درست نمود می‌یابد (روسی و همکاران، 2018).

حداقل فاصله از میانگین: این روش طبقه‌بندی مبتنی بر فاصله‌ای مرکز خوشه‌ها از یکدیگر است. در این الگوریتم فاصله اقلیدسی هر یک از پیکسل‌ها با مرکز خوشه‌ها محاسبه شده و هر پیکسل به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله را از مرکز آن برخوردار باشد. به عبارت دیگر ابتدا میانگین همه طبقه‌ها که قبلاً با استفاده از روش تعیین نواحی تعلیمی از همدیگر تفکیک گردیده‌اند، تعیین شده و سپس فاصله اقلیدسی بازتاب هر پیکسل را از میانگین تمام طبقه‌ها محاسبه می‌شود. هر پیکسل به طبقه‌ای تعلق می‌گیرد که کمترین مقدار فاصله را تا میانگین آن طبقه داشته باشد. این نوع طبقه‌بندی

2. Omission

3. Producer Accuracy

4. Commission

5. user accuracy

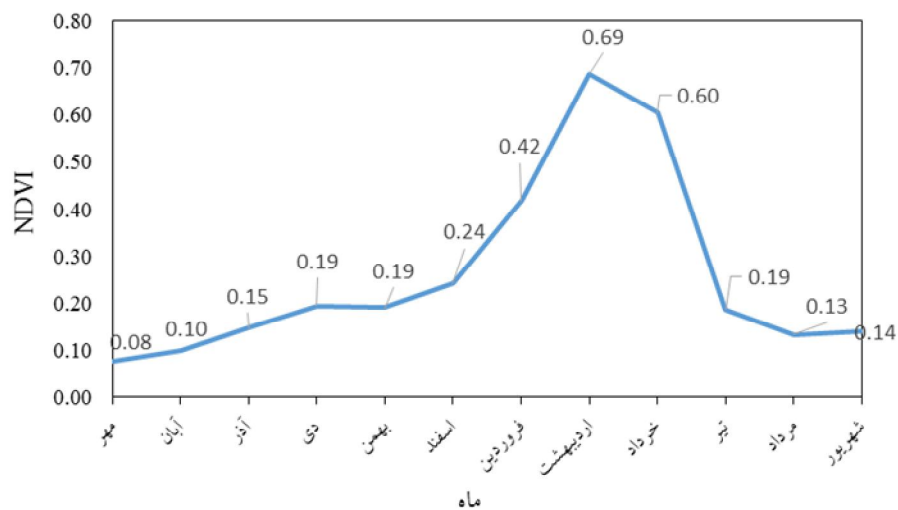
1. Maximum likelihood estimation

رسیده است. در مورد باغات زردآلو و انگور نیز با توجه به دوره سبز شدن و خزان سیکل پیوسته‌ای را در هر دو نوع باغ شاهد هستیم با این وجود در تصاویر با رنگ کاذب به دلیل تفاوت در تراکم انگور، رنگ آن شدت و وضوح متفاوتی دارد.

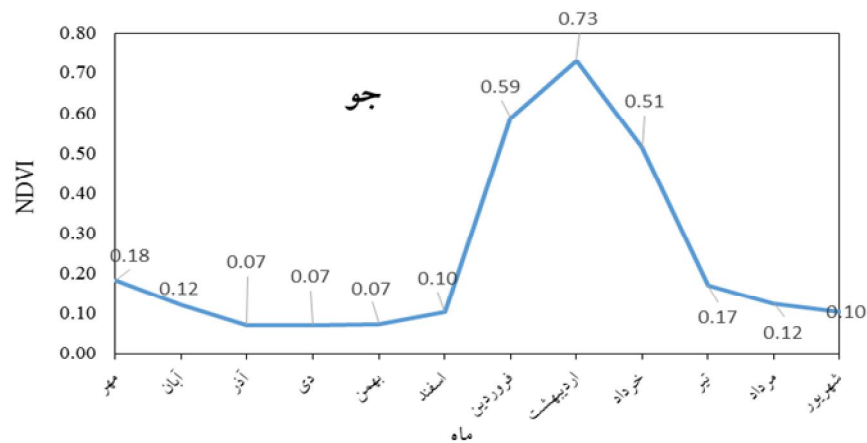
مشاهده می‌شود. در اسفندماه با گرم شدن هوا رشد گیاه تسریع شده و در اردیبهشت به بیش‌ترین رشد و حداکثر سبزی‌نگی می‌رسد. زرد و خشک شدن و برداشت محصول را در تیرماه شاهد هستیم. برای ذرت علوفه‌ای نتایج نشان می‌دهد که در تیرماه کشت شده و شهریورماه به اوج رشد

جدول 3- شدت توافق بر اساس ضریب کاپای (درصد)

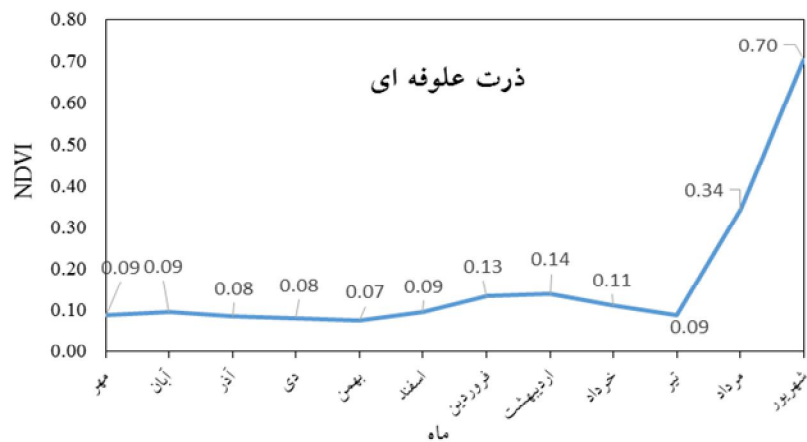
ضریب کاپا	شدت توافق
20-0	بدون توافق
39-21	حداقل
59-40	ضعیف
79-60	متوسط
90-80	قوی
بیشتر از 90	تقریباً کامل



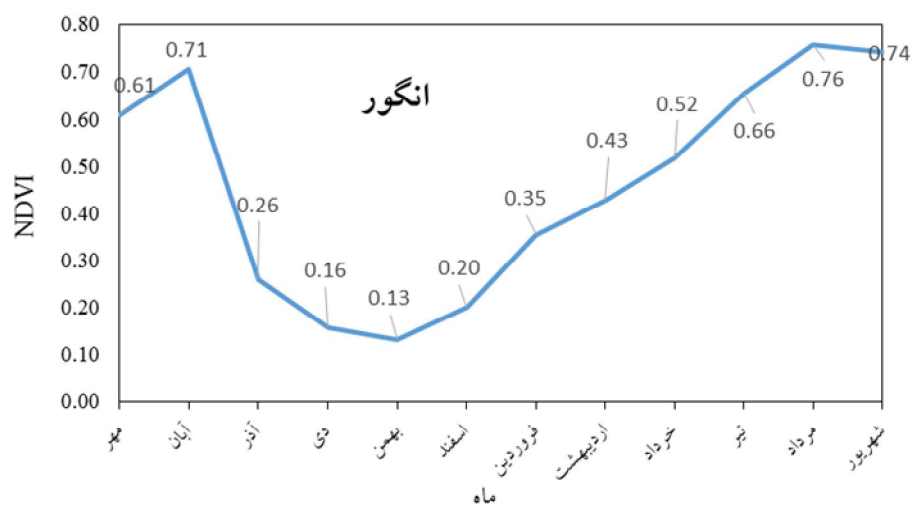
شکل 5- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی گندم



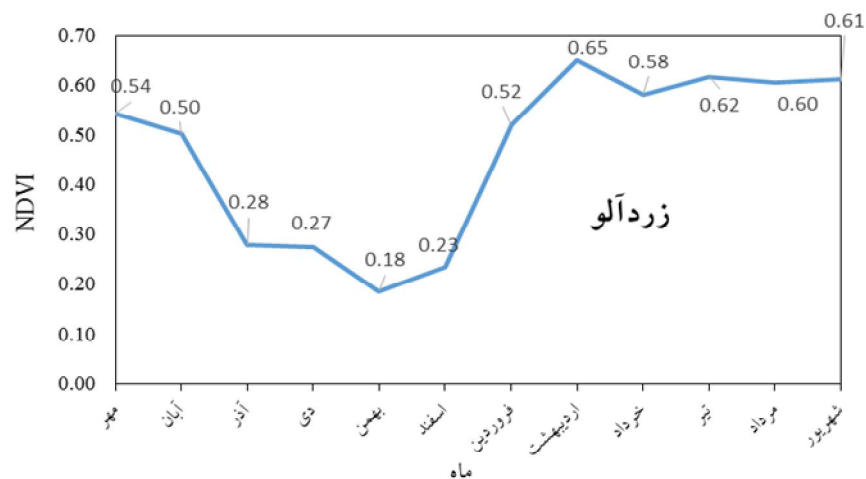
شکل 6- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی جو



شکل 7- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی ذرت علوفه‌ای



شکل 8- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی باغ انگور



شکل 9- پروفیل طیفی بر اساس شاخص فنولوژیکی باغ زردآلو

ارزیابی دقت مدل‌های طبقه‌بندی کننده، با مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی و معیارهای ارزیابی صحت، انجام شد. هدف از ارزیابی دقت، تعیین میزان همخوانی نقشه حاصل از طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی است. حاصل این ارزیابی به صورت جدول ماتریس خطا ارائه می‌گردد (محمدی و همکاران، 2005). جدول‌های 4 و 5 و 6 و همچنین شکل‌های 10 و 11 و 12 نتایج ماتریس خطا، دقت کلی و ضریب کاپای مدل‌های به ترتیب، ماشین بردار پشتیبان، حداکثر تشابه و حداقل اختلاف را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان بیشترین دقت را با شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0/86 و 0/82 داشته و مدل حداقل فاصله کمترین دقت طبقه‌بندی را با دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0/69 و 0/60 را نشان داد. مدل حداکثر تشابه نیز دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب 0/78 و 0/72 را داشت.

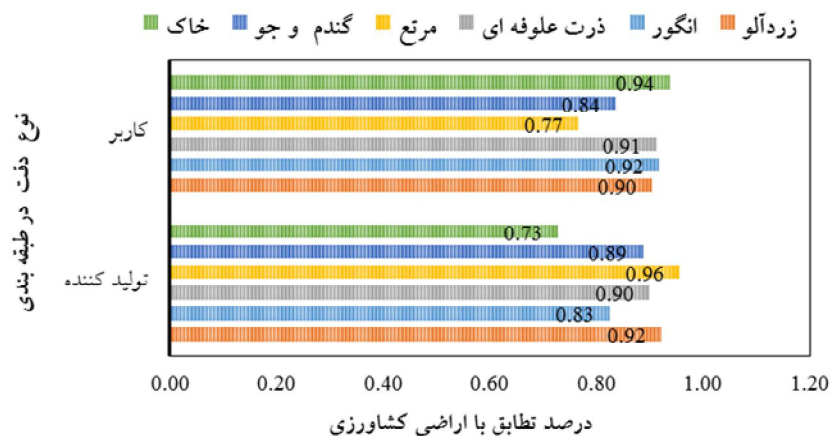
جدول ماتریس خطا دقت را به سه روش نشان می‌دهد. دقت کلی، به عنوان یک معیار ارزش‌گذاری در ارزیابی طبقه‌بندی است. با این وجود پیکسل‌هایی که به خطا به کلاس‌ها اختصاص یافته‌اند در محاسبه لحاظ نشده است (علیپور و همکاران، 1393). دقت تولیدکننده نیز، نشان‌دهنده میزان طبقه‌بندی صحیح پیکسل‌های یک طبقه نسبت به همان طبقه در واقعیت زمینی است، در محاسبه ضریب کاپا به دلیل این‌که پیکسل‌های درست طبقه‌بندی نشده را در نظر می‌گیرد از معیار دقت کلی گویاتر است.

مبنای خطای اومیشن قرار گرفتن اراضی یک کلاس که در کلاس‌های دیگر است، در مدل ماشین بردار پشتیبان برای کلاس زردآلو 153 نمونه برداشت شده و 12 نمونه از 153 نمونه به عنوان کلاس‌های دیگر تفسیر شده است. بر همین اساس خطای اومیشن کلاس زردآلو 8 درصد و دقت تولیدکننده 92 درصد محاسبه گردید.

مبنای خطای کومیشن اشاره به آن دسته از پیکسل‌هایی دارد که در مساحت اراضی به اشتباه طبقه‌بندی شده و در واقع به آن کلاس تعلق ندارد. به عنوان مثال برای کلاس زردآلو 15 پیکسل از 156 پیکسل به اشتباه طبقه‌بندی شده که خطای کومیشن 10 درصد و دقت کاربر 90 درصد است. برای کلاس انگور 14 پیکسل، کلاس گندم 13 پیکسل، ذرت علوفه‌ای 14 پیکسل، مرتع 18 پیکسل و کلاس اراضی بایر 97 پیکسل در سایر کلاس‌ها قرار گرفته و خطای امیسیون به ترتیب 18٪، 11٪، 10٪، 4٪ و 27٪ به دست آمد که بیشترین خطا مربوط به کلاس اراضی بایر و کمترین خطا مربوط به کلاس مرتع است. همچنین با توجه با شاخص آماری کومیشن به ترتیب 8٪، 16٪، 9٪، 23٪ و 6٪ پیکسل‌ها به اشتباه برای کلاس انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر طبقه‌بندی شده و جز کلاس اصلی نیستند. در شکل 10 درصد تطابق با اراضی کشاورزی بر اساس دقت تولیدکننده بر اساس مدل ماشین بردار پشتیبان ارائه شده است.

جدول 4- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر به روش ماشین بردار پشتیبان

محصول	زردآلو	انگور	گندم	ذرت علوفه‌ای	مرتع	بایر	کل	خطای (CO)	دقت کاربر
زردآلو	141	9	0	6	0	0	156	0/10	0/90
انگور	4	66	0	2	0	0	72	0/08	0/92
گندم	3	2	102	5	6	4	122	0/16	0/84
ذرت علوفه‌ای	0	2	2	126	4	4	138	0/09	0/9
مرتع	3	1	0	1	308	89	402	0/23	0/77
زمین بایر	3	0	11	0	4	258	275	0/06	0/94
کل	153	80	115	140	322	355	1165		
خطای اومیشن	0/08	0/18	0/11	0/10	0/04	0/27			
دقت تولیدکننده	0/92	0/83	0/89	0/90	0/96	0/73			
دقت کلی						0/86			
ضریب کاپای						0/82			



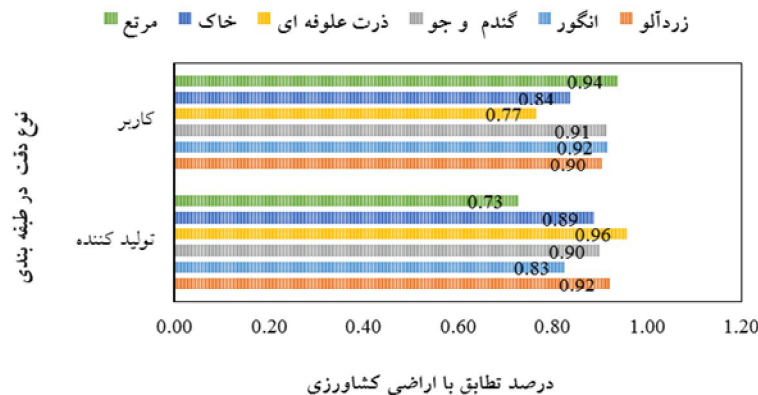
شکل 10- مقایسه دقت کلی در دو حالت کاربر و تولیدکننده با روش ماشین بردار پشتیبان

شاخص آماری کومیشن به ترتیب 16%، 17%، 13%، 37% و 2% پیکسل برای کلاس زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر به اشتباه طبقه‌بندی شده و جز کلاس اصلی نیستند. در شکل 11 درصد تطابق با اراضی کشاورزی بر اساس مقایسه بین دقت تولیدکننده و کاربر در مدل حداکثر تشابه ارائه شده است.

نتایج ارزیابی مدل حداکثر تشابه در جدول 5 ارائه شده است. در این مدل نیز بر اساس شاخص آماری اومیشن برای کلاس‌های زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر به ترتیب 15%، 26%، 14%، 12%، 3% و 49% پیکسل در سایر کلاس‌ها قرار گرفت و بیش‌ترین خطا مربوط به کلاس اراضی بایر و کمترین خطا مربوط به اراضی مرتعی است. هم‌چنین با توجه به

جدول 5- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر به روش حداکثر تشابه

محصول	زردآلو	انگور	گندم	ذرت علوفه‌ای	مرتع	بایر	کل	خطای (CO)	دقت کاربر
زردآلو	130	15	0	9	0	0	154	0/16	0/84
انگور	11	59	0	2	0	0	72	0/8	0/82
گندم	2	2	99	6	6	4	119	0/17	0/83
ذرت علوفه‌ای	4	4	2	123	4	4	141	0/13	0/87
مرتع	6	0	11	0	311	165	493	0/37	0/63
بایر	0	0	3	0	1	182	186	0/02	0/98
کل	153	80	115	140	355	322	1165		
خطای اومیشن	0/15	0/26	0/14	0/12	0/03	0/49			
دقت تولیدکننده	0/85	0/74	0/86	0/88	0/97	0/51			
دقت کلی					0/77				
ضریب کاپای					0/71				



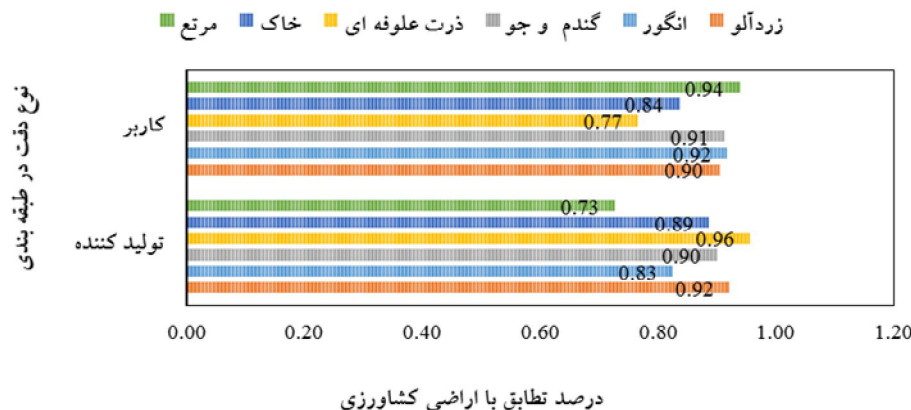
شکل 11- مقایسه دقت کلی در دو حالت کاربر و تولیدکننده با روش حداکثر تشابه

آماري کومیشن برای کلاس زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر به ترتیب 25%، 25%، 18%، 10%، 30% و 41% پیکسل‌ها به اشتباه طبقه‌بندی شده و جز کلاس اصلی نیستند. در شکل 12 درصد تطابق اراضی کشاورزی بر اساس مقایسه بین دقت تولیدکننده و کاربر در مدل حداقل فاصله از میانگین ارائه شده است.

در جدول 6 نتایج ارزیابی مدل حداقل فاصله از میانگین ارائه شده است. در این مدل نیز بر اساس شاخص آماری اومیشن برای کلاس‌های زردآلو، انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر به ترتیب 16%، 50%، 16%، 15%، 73% و 7% پیکسل‌ها در سایر کلاس‌ها قرار گرفته و بیش‌ترین خطا مربوط به کلاس اراضی مرتع و کمترین مربوط اراضی بایر است. با توجه به شاخص

جدول 6- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر به روش حداقل فاصله از میانگین

محصول	زردآلو	انگور	گندم	ذرت علوفه‌ای	مرتع	بایر	کل	خطای (CO)	دقت کاربر
زردآلو	128	34	0	9	0	0	171	0/25	0/75
انگور	11	40	0	2	0	0	53	0/25	0/75
گندم	4	2	97	6	6	4	119	0/18	0/82
ذرت علوفه‌ای	0	4	2	119	4	4	133	0/10	0/90
مرتع	4	0	13	4	86	16	123	0/30	0/70
بایر	6	0	3	0	226	331	566	0/41	0/59
کل	153	80	115	140	322	355	1156		
خطای (om)	0/16	0/50	0/16	0/15	0/73	0/07			
دقت تولیدکننده	0/84	0/50	0/84	0/85	0/27	0/93			
دقت کلی					0/69				
ضریب کاپای					0/61				



شکل 12- مقایسه دقت کلی در دو حالت کاربر و تولیدکننده با روش حداقل فاصله از میانگین

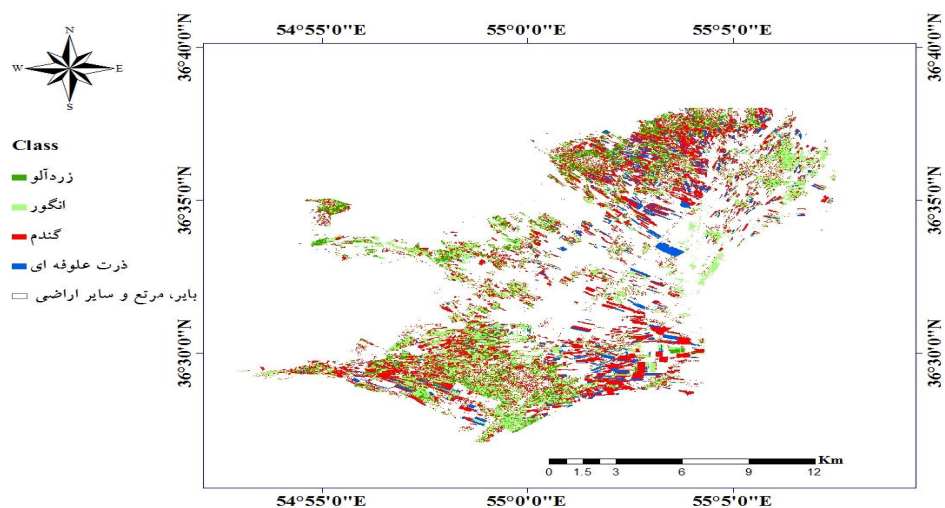
تعیین مساحت اراضی کشاورزی

گردید. ممکن است در آن مقطع زمانی مقادیری از محصولات برداشت شده و هم‌چنین به دلیل تأخیر در برداشت برخی از محصولات مانند ذرت علوفه‌ای، محاسبه مساحت با خطا مواجه گردد. هم‌چنین در مزارعی به علت عدم رعایت مدیریت بهینه، میزان رشد گیاه کمتر از مقدار واقعی است و تفاوت‌هایی از نوع شدت و تأخیر در دوره فنولوژیکی آن‌ها ایجاد گردد، به طوری که آن زمین در مساحت کلاس مربوطه محاسبه نگردد. برای باغات زردآلو و انگور با توجه به اینکه در این منطقه علاوه بر آن‌ها باغات دیگری نیز مانند پسته و هلو و هم‌چنین باغات شامل انواع درختان نیز وجود دارد، سبب تغییر در مساحت و ایجاد خطا گردیده است. برای گندم و جو به دلیل اینکه نوع گیاه پاییزی است و در این منطقه محصولی که همزمان با آن‌ها کشت نشده و تداخلی در دوره فنولوژی نبوده است، اختلاف برآورد کمتری با مقادیر واقعی نسبت به سایر محصولات داشته است. در نقشه‌های طبقه‌بندی شده در شکل‌های 13، 14 و 15 مشاهده می‌گردد که تمرکز باغات در نواحی جنوبی و شمال شرقی منطقه است که به دلیل نزدیک بودن به شهر بسطام و وجود آب کافی، در این اراضی اقدام به احداث باغات شده است. در نواحی شمالی منطقه به علت نزدیکی به دامنه رشته‌کوه شاهوار و استان گلستان، کشاورزان از بارندگی و رطوبت دامنه‌ای استفاده کرده و در مواردی با احداث استخر اقدام به کشت محصولات گندم و احداث باغات نموده‌اند.

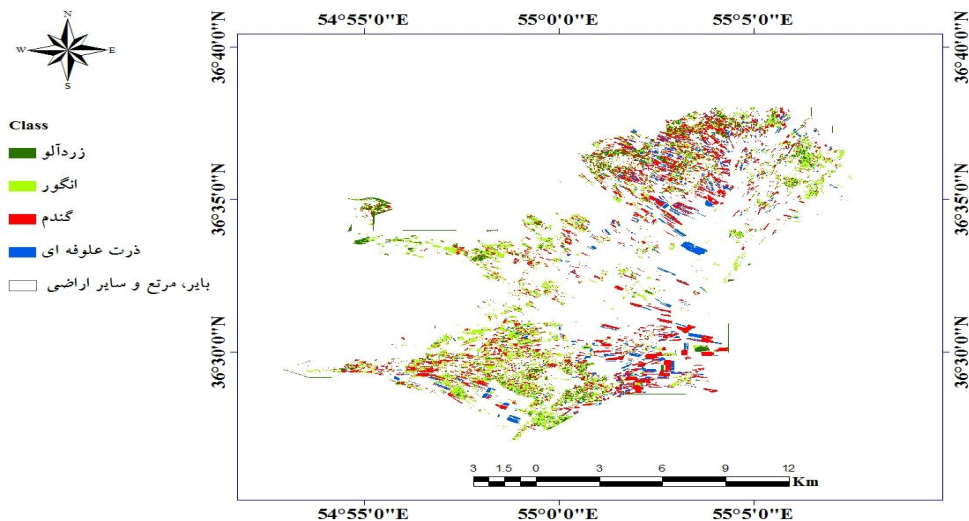
نقشه‌های طبقه‌بندی شده با روش ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال و حداقل فاصله، به نرم‌افزار GIS 10.7 منتقل گردید و مساحت محصولات کشاورزی محاسبه شد. با استناد بر شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپای که نشان‌دهنده برتری مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به دو مدل دیگر است، برای گزارش مساحت اراضی کشاورزی نیز همین مدل قرار مبنا قرار گرفت که نتایج آن در جدول 8 ارائه شده است. بر این اساس برای گندم بیش‌ترین مساحت (3423 هکتار) و برای ذرت علوفه‌ای کمترین مساحت (738 هکتار)، محاسبه گردید. نقشه توزیع اراضی کشاورزی در منطقه بسطام بر اساس سه مدل ماشین بردار پشتیبان، حداکثر فاصله و حداقل اختلاف با میانگین در شکل‌های 8، 9 و 10 ارائه شده است. مقایسه بین مقدار واقعی و مقدار برآورده شده با روش ماشین بردار پشتیبان نشان داد که ذرت علوفه‌ای بیش‌ترین اختلاف را با مقدار آمار واقعی مزارع کشت شده (11/9 درصد) داشته و گندم و جو کمترین اختلاف (2/3 درصد) را داشتند. در بررسی‌های میدانی مشاهده شد که مزارع گوجه و خیار و سایر صیفی‌جات نیز در منطقه کشت شده‌اند که با توجه به وسعت زیاد منطقه و تشابه دوره کشت این محصولات با ذرت علوفه‌ای، یکی از عوامل خطای در برآورد سطح زیر کشت این محصول است. در این پژوهش تصاویر در یک زمان خاص از هر ماه با توجه به نظر کارشناسان تهیه

جدول 7- سطح زیر کشت اراضی کشاورزی

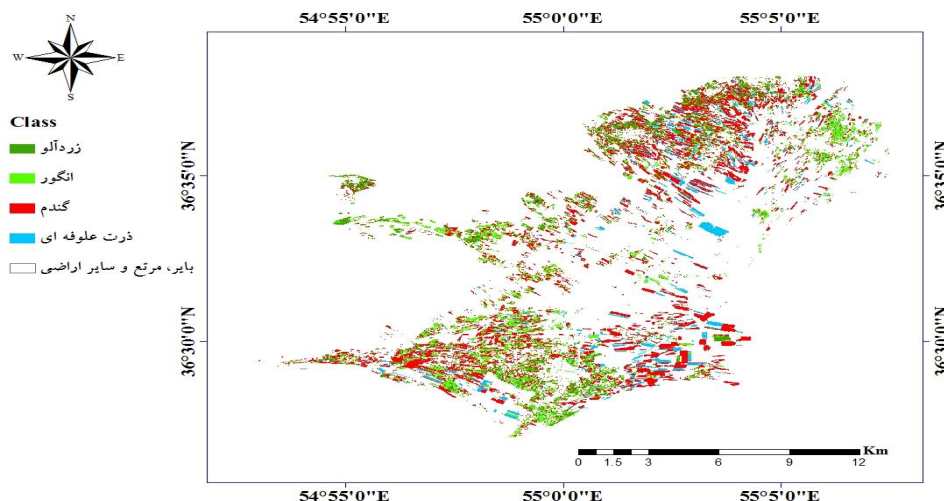
کلاس	مساحت برآورد شده (هکتار)	مساحت واقعی (هکتار)	درصد اختلاف
زردآلو	887	810	8/6
انگور	1612	1534	4/8
گندم و جو	3423	3343	2/3
ذرت علوفه‌ای	738	650	11/9



شکل 13- نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه بسطام با روش حداکثر تشابه



شکل 14- نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه بسطام با روش حداقل فاصله از میانگین



شکل 15- نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه بسطام با روش ماشین بردار پشتیبان

در روش استفاده از شاخص فنولوژیکی که از تصاویر سری زمانی استفاده می‌شود، از داده کمکی مانند شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده استفاده می‌شود (سفیانیان و همکاران، 1390). داده‌های کمکی علاوه بر کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت عمل، سبب زیاد شدن دقت طبقه‌بندی و تفکیک اراضی می‌گردد. در این پژوهش از سری زمانی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده به عنوان متغیر ورودی برای طبقه‌بندی استفاده گردید. رحیم زادگان و پور غلام (1395) در پژوهشی مشابه برای تعیین مساحت اراضی زعفران که با تصاویر ماهواره‌ای انجام داده‌اند دقت کلی 95 درصد را به‌دست آورده‌اند. در پژوهشی دیگر سفیانیان و همکاران (1390)، از تصاویر ماهواره‌ای لندست 8 استفاده کرده و اراضی کشاورزی را از سایر کاربری‌ها با ضریب کاپای و دقت کلی و به ترتیب 86 و 88 تفکیک کرده‌اند. علی‌پور و همکاران (1393)، طی پژوهشی مشابه از دو روش شبکه عصبی و حداکثر احتمال برای تفکیک اراضی کشاورزی استفاده کرده‌اند که دقت قابل قبول با ضریب کاپای بیشتر از 80 درصد را به‌دست آورده‌اند. در این پژوهش حاضر ماشین بردار پشتیبان از ضریب کاپای 82 درصد بیش‌ترین دقت را نشان داد. یکی از دلایل عملکرد مناسب مدل ماشین بردار پشتیبان را به پراکنش و تعداد مناسب نمونه-های تعلیمی و هم‌چنین تفاوت شاخص فنولوژیکی این محصولات در مراحل مختلف کشت نسبت داد. این نتیجه با پژوهش‌های یانگ و همکاران (2003)، خو و همکاران (2005) چوبی و همکاران (2006) که روش طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان نسبت به دیگر روش‌ها مانند

با مراجعه به جدول ماتریس خطا مشاهده می‌شود که کلاس‌های خاک و مرتع در هر سه روش دقت نسبتاً کمتر را بر اساس نظر کاربر داشته‌اند که دلیل آن را می‌توان به پوشش‌های گیاهی ضعیف در اراضی بایر و تداخل پیکسل‌ها در هر دو کلاس نسبت داد. با مشاهده منطقه و استفاده از تصاویر گوگل ارث و نظر کارشناسان مشخص گردید که در این مناطق، باغات بسیاری در سال‌های اخیر تأسیس شده و ارتفاع درختان کم است که سبب تداخل پیکسل‌ها با کلاس انگور شده است. در این مناطق با توجه به عدم مدیریت متولیان بخش کشاورزی و قیمت کم فروش، در برخی از نواحی ذرت علوفه‌ای مدت زمان دیرتری برداشت‌شده و متعاقباً آماده سازی زمین و کشت گندم نیز عقب افتاده است. در این مناطق صیفی‌جات نیز وجود دارد و با توجه به مساحت کم این کشت‌ها و هم‌زمانی با کشت ذرت علوفه‌ای ممکن است سبب بروز خطا گردد. با توجه به اندازه پیکسل ماهواره سنتینل-2 (100 مترمربع) نسبت به ماهواره لندست 8 (900 مترمربع)، استفاده از تصاویر سنتینل-2 دقت بیشتری را دارد. با این حال باغات و باغچه‌هایی که مساحت کمتر از 100 مترمربع دارند در برآورد آن‌ها خطا ایجاد می‌گردد که جهت رفع آن، نیاز به بازبینی‌های چند باره از مزارع و مستلزم صرف هزینه است. از دیگر مزایای ماهواره سنتینل امکان برداشت تصاویر در فاصله 5 روزه است، در پایش و تفکیک مزارع ذکرشده در این پژوهش، در فاصله 5 روز، عبور از یک فاز رویشی به فاز دیگر و یا تغییرات اساسی در وضعیت رشد گیاه و بازتابش امواج را نخواهیم داشت و امکان تفکیک و جداسازی مزارع بهتر صورت می‌گیرد (کامکار و همکاران، 1398).

که برای کلاس‌های کاربری اراضی دقت بسیار خوبی را با ضریب کاپای 97 درصد به دست آوردند.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش از تصاویر سنتینل-2 چند زمانه به منظور تعیین محدوده و سطح زیر کشت اراضی کشاورزی منطقه بسطام واقع در استان سمنان استفاده شد. برای افزایش دقت طبقه‌بندی از نقاط تعلیمی زمینی در باغات زردآلو، انگور، گندم و ذرت علوفه‌ای استفاده شد. با استفاده از تصاویر چند زمانه پروفیل طیفی برای هر محصول به دست آمد که با جدول شاخص فنولوژیکی مطابقت داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان دقت بیشتری را نسبت به روش‌های حداکثر شباهت و حداقل فاصله از میانگین در تفکیک اراضی کشت شده داشت. مشاهده گردید که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و شاخص فنولوژیکی در مناطقی که محصولات کشت شده تفاوت محسوسی در مراحل کاشت، داشت و برداشت دارند قابلیت استفاده برای تفکیک این اراضی با دقت قابل قبولی دارد. برای تفکیک اراضی کشت شده نیاز به نقاط تعلیمی دقیق با تعداد کافی است و باید در زمان‌های مشخصی از چرخه زندگی گیاه تصاویر ماهواره‌ای تهیه‌شده و مورد بررسی قرار گیرد. از مزیت‌های تصاویر چند زمانه سهل‌الوصول بودن، دسترسی به نقاط دورافتاده با دقت نسبتاً زیاد و استخراج اطلاعات در زمان کم، سطح گسترده پوشش تصاویر و قابلیت تکرار نسبت به سایر روش‌های نقشه‌برداری اشاره است. از نتایج این پژوهش در برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی کشاورزی و همچنین پیش‌بینی پتانسیل تولید محصولات کشت شده با توجه به شدت بازتاب در نقطه اوج پوشش محصول قابل استفاده است.

حداکثر تشابه، حداقل فاصله از میانگین و شبکه عصبی دقت بیشتری داشته است، مطابقت دارد.

در این پژوهش از جدول فنولوژی گیاهان، بازدیدهای میدانی و پرسش از کشاورزان و در نهایت تقویم زراعی محصولات کشاورزی استفاده شد. با بررسی تقویم زراعی، اوج سبزیگی گیاه گندم در اردیبهشت و برای ذرت علوفه‌ای در شهریور بود که با تاریخ اوج سبزیگی سایر محصولات تداخل نداشت. همچنین قابل ذکر است محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای با باغات از نظر تاریخ کاشت با یکدیگر تداخل ندارند و با حداقل تداخل طیفی از امکان تفکیک قابل قبولی از یکدیگر برخوردار هستند. با مشاهده نمودار طیف شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده در شکل 4 برای باغات زردآلو و گندم، و اهمیت این اینکه که این باغات خزان کننده هستند، امکان تفکیک از محصولات زراعی را دارند و همچنین با توجه به اینکه تاریخ گل‌دهی زردآلو با انگور متفاوت است، امکان تفکیک این دو باغ نیز وجود دارد.

امروزه در بسیاری از بخش‌ها کاربرد تصاویر ماهواره‌ای نه تنها هزینه چندانی ندارد، بلکه امتیازات آن به حدی است که هزینه خرید داده‌ها در مقابل سرعت انجام کار، دقت و حجم اطلاعات به دست آمده ناچیز است. از اطلاعات این پژوهش با توجه به دقت قابل قبولی که دارد، می‌توان در برنامه‌ریزی‌های کلان منطقه‌ای در قالب مصرف بهینه آب، تدوین الگوی کشت، پیش‌بینی عملکرد و سایر خدمات حمایتی استفاده کرد. کاهش هزینه آمار برداری و دقت زیاد در تعیین حدود مزارع و انطباق نقش‌های خروجی با خدمات و امکانات می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی بسیار کارآمد باشد. نتایج این پژوهش با تراهی و همکاران، 1396 تطابق دارد

فهرست منابع:

1. تراهی، ع. ا.، فیروزی نژاد، م.، و عبدالحانی، ع. (1396). ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربری اراضی جنگل‌های رودخانه‌ای با استفاده از سنجنده (OLI) منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های رودخانه‌ای مارون بهبهان). سنجش از دور و GIS ایران، 9(1)، 49-62.
2. چترنور، م.، لندی، ا.، فرخیان فیروزی، ا.، نوروژی، ع. ا.، و بهرامی، ح. ع. (1399). کاربرد طیف‌سنجی مرئی- مادون قرمز در کمی سازی میزان گچ خاک در کانون‌های مستعد تولید ریزگرد استان خوزستان. تحقیقات کاربردی خاک، 8(3)، 1-13.
3. خلفی، ج.، و داورپناه، غ. (1387). تخمین سطح و تهیه نقشه اراضی زیر کشت گندم دیم با استفاده از GIS و سنجش از دور در حوزه آبخیز زنجانرود. Paper presented at the 87 و چهارمین همایش یکسان سازی نام‌های جغرافیایی <https://civilica.com/doc/37099>.

4. رحیم زادگان، م.، و پورغلام، م. (1395). تعیین سطح زیر کشت گیاه زعفران با استفاده از تصاویر لندست (مطالعه موردی: شهرستان تربت حیدریه). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*, 7(4), 97-115.
5. رضایی مقدم، م.، ولیزاده کامران، خ.، اندریانی، ص.، و الماس پور، ف. (1395). مقایسه روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در استخراج نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست 8 (مطالعه موردی: حوضه صوفی چای). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*, 19(52), 163-183.
6. سفینیان، ع.، و خداکرمی، ل. (1390). تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه بندی فازی (مطالعه موردی سه زیر حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن - قهاوند و خونجین - تلخاب در استان همدان). *آمایش سرزمین*, 3(4), 95-114.
7. سفینیان، ع.، محمدی توفیق، ا.، خداکرمی، ل.، و امیری، ف. (1390). تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن و خونجین - تلخاب در استان همدان). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*, 2(1), 1-12.
8. کامکار، ب.، دشتی مرویلی، م.، و کاظمی، ح. (1398). تفکیک اراضی زیر کشت برنج و سویا با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنتینل-2 در الگوهای کاشت تابستانه جهت تحلیل تغییرات سطح زیر کشت دو محصول در چهار حوضه آبخیز استان گلستان. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*, 26(1), 151-167.
doi: 10.22069/jwsc.2019.15246.3044
9. علیپور، ف.، آق خانی، م.، عباسپور فرد، م.، و سپهر، ع. (1393). تفکیک محدوده و تخمین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به کمک تصاویر ماهواره‌ای. *ماشین‌های کشاورزی*, 24(2), 244-254. doi: 10.22067/jam.v4i2.34827254-244.
10. Adamchuk, V. I., Perk, R. L., & Schepers, J. S. (2003). EC03-702 Precision Agriculture: Applications of Remote Sensing in Site-Specific Management.
11. Barrett, E. C., & Curtis, L. F. (1999). Introduction to environmental remote sensing: Psychology Press.
12. Chubey, M. S., Franklin, S. E., & Wulder, M. A. (2006). Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(4), 383-394.
13. Barrett, E. C., & Curtis, L. F. (1999). Introduction to environmental remote sensing: Psychology Press.
14. Chubey, M. S., Franklin, S. E., & Wulder, M. A. (2006). Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(4), 383-394.
15. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation: John Wiley & Sons.
16. Liu, J., Zhu, W., Atzberger, C., Zhao, A., Pan, Y., & Huang, X. (2018). A phenology-based method to map cropping patterns under a wheat-maize rotation using remotely sensed time-series data. *Remote Sensing*, 10(8), 1203.
17. McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282.
18. Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 247-259.
19. Karlson, M., Ostwald, M., Bayala, J., Bazié, H. R., Ouedraogo, A. S., Soro, B., Reese, H. (2020). The Potential of Sentinel-2 for Crop Production Estimation in a Smallholder Agroforestry Landscape, Burkina Faso. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 85.
20. Khaliq, A., Peroni, L., & Chiaberge, M. (2018). Land cover and crop classification using multitemporal sentinel-2 images based on crops phenological cycle. Paper presented at the

- 2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS).
21. Richards, J. A., & Richards, J. (1999). Remote sensing digital image analysis (Vol. 3): Springer.
22. Rossi, R. J. (2018). Mathematical statistics: an introduction to likelihood based inference: John Wiley & Sons.
23. Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and computing*, 14(3), 199-222.
24. Tso, B., & Mather, P. (2009). M." Classification Methods for Remotely Sensed Data", Chapter 2-3: Taylor and Francis Group, America.
25. Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C., & Ng, W.-T. (2018). How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 72, 122-130.
26. Xu, M., Watanachaturaporn, P., Varshney, P. K., & Arora, M. K. (2005). Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 322-336.
27. Yang, C.-C., Prasher, S. O., Enright, P., Madramootoo, C., Burgess, M., Goel, P. K., & Callum, I. (2003). Application of decision tree technology for image classification using remote sensing data. *Agricultural Systems*, 76(3), 1101-1117.
28. Yi, Z., Jia, L., & Chen, Q. (2020). Crop Classification Using Multi-Temporal Sentinel-2 Data in the Shiyang River Basin of China. *Remote Sensing*, 12(24), 4052.
29. Zeaiean, P., Rabiei, H. R., & Alimohamadi, A. (2005). Detection of Land Use/Cover Changes of Isfahan by Agricultural Lands around Urban Area Using Remote Sensing and GIS Technologies. *The Journal of Spatial Planning*, 9(4), 41-54.

برآورد پتانسیل تولید نیشکر با مدل‌های مختلف در اراضی جنوب استان خوزستان

سیدعلیرضا سیدجلالی¹، میرناصر نویدی و علی زین الدینی میمند

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

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

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ ali_zeinadin@yahoo.com

دریافت: 99/7/14 پذیرش: 1400/4/20

چکیده

درک شناخت عواملی که پیش‌بینی عملکرد منطقه‌ای محصول نیشکر را محدود کرده و روش‌های مدیریت را بهبود بخشد، امری ضروری است. هدف از این تحقیق انتخاب مدلی بود که پتانسیل تولید نیشکر را با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقلیمی، گیاهی و خاکی و زمین‌نما منطقه برآورد کند. مناطق مورد مطالعه در جنوب استان خوزستان شامل کشت و صنعت‌های امیرکبیر، میزا کوچک خان، دعبل خزایی، سلمان فارسی و فارابی بود. بدین منظور 100 سایت در مزارع مناطق مختلف تحت کشت نیشکر در استان خوزستان بر اساس تنوع در ویژگی‌های خاک مورد مطالعه قرار گرفت. روش انجام این تحقیق طی دو سلسله‌مراتب انجام شد. در مرحله اول پتانسیل تولید نیشکر با استفاده از روش مدل رشد فائو برآورد شد و در مرحله دوم پتانسیل تولید اراضی برای نیشکر با توجه به تأثیر عوامل محدودکننده در خاک (که به‌صورت شاخص خاک به روش پارامتری محاسبه و موجب کاهش عملکرد محصول نیشکر در مرحله اول شد) برآورد گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، رگرسیون به روش‌های استاندارد، گام‌به‌گام و منحنی تخمین به کار رفت. در رگرسیون به روش استاندارد و گام‌به‌گام ویژگی‌های خاک به‌عنوان متغیر مستقل و عملکرد مشاهده‌شده به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و در روش منحنی تخمین به روش‌های خطی، درجه دوم و درجه سوم، عملکرد مشاهده‌شده نیشکر به‌عنوان متغیر مستقل و عملکرد پیش‌بینی‌شده به‌عنوان متغیر وابسته انتخاب شدند. نتایج مرحله اول نشان داد که پتانسیل تولید محصول به روش مدل رشد فائو 95/8 تن در هکتار است و نتایج مرحله دوم نشان داد که پتانسیل تولید اراضی برای نیشکر در منطقه در سطوح مختلف مدیریتی از 18 تا 69/3 تن در هکتار تخمین زده شد. از عوامل کاهش عملکرد می‌توان به عوامل محدودکننده‌ای از قبیل محدودیت‌های آهک، بافت خاک سنگین و خیلی سنگین، زهکشی، شوری و سدیمی بودن و عدم مدیریت مناسب اشاره نمود. نتایج روش رگرسیون استاندارد و گام‌به‌گام نشان دادند که به ترتیب ضریب تبیین 0/52 و 0/49 و خطای استاندارد (ME) برابر 10/13 و 9/77 تن در هکتار به دست آمد. ویژگی‌های خاک به روش استاندارد تا 52 درصد و به روش گام‌به‌گام تا 49 درصد توانست عملکرد را پیش‌بینی کند و در روش منحنی تخمین برای مدل خطی، درجه دوم و درجه سوم، ضریب تبیین به ترتیب 0/85، 0/87 و 0/87 و خطای استاندارد 5/8، 7/8 و 5/3 تن در هکتار محاسبه شد. بنابراین روش منحنی تخمین درجه سوم که از مدل رشد فائو برای پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده نموده دارای دقت بالاتر و خطای کمتر از مدل رگرسیون استاندارد و گام‌به‌گام است که فقط از اثر ویژگی‌های سرزمین بر عملکرد مشاهده‌شده را استفاده نموده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص خاک، پیش‌بینی عملکرد، مدل رشد فائو

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، بخش تحقیقات ارزیابی اراضی

مقدمه

نیشکر با نام علمی "Saccharum officinarum"

یکی از گیاهان عمده زراعی مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است و به عنوان یکی از محصولات مهم کشاورزی در بیش از 69 کشور بین عرض جغرافیایی 36/7 درجه شمالی و از خط استوا تا عرض جغرافیایی 31 درجه جنوبی در منطق گرمسیری و نیمه گرمسیری کشت می‌گردد. در ایران کشت نیشکر تنها محدود به 3 استان مازندران، گیلان و خوزستان می‌شود در استان‌های مازندران و گیلان کشت به صورت دیم بوده و در سطح کم صورت می‌گردد. کشت متداول آن در ایران بیشتر در استان خوزستان با سطح زیر کشت تقریبی 120 هزار هکتار و با عملکرد میانگین 75 تن در هکتار است (فائو، 2017). نیشکر از سطح دریا تا ارتفاع 1500 متری کشت می‌شود ولی با کاهش دما، ارتفاع آستانه از سطح دریا کاهش می‌یابد. نیشکر از مهم ترین گیاهان قندی در جهان محسوب می‌شود. این گیاه پتانسیل تولید شکر با کیفیت بالا به مقدار زیاد در واحد سطح زمین را دارا است (خواجه پور، 1370).

در سال زراعی 98-1397، محصولات صنعتی با سطح برداشت حدود 638 هزار هکتار، معادل 5/4 درصد از کل سطح برداشت محصولات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است. از این مقدار 93/4 درصد به صورت کشت آبی و 6/6 درصد به صورت کشت دیم بوده است. محصول کلزا با 33/5، چغندر قند با 12/5، نیشکر با 10/9 درصد از سطح برداشت محصولات صنعتی در رتبه‌های اول تا سوم سطح این گروه قرار دارند. از لحاظ میزان تولید کل محصول صنعتی محصول نیشکر با 49/0 درصد از تولید محصولات صنعتی در جایگاه نخست قرار گرفته و محصول چغندر قند با 41/4 درصد تولید در جایگاه دوم و محصول کلزا با 4/29 درصد در جایگاه سوم قرار دارد. به عبارت دیگر حدود 90/4 درصد از تولید محصولات صنعتی به دو محصول چغندر قند و نیشکر تعلق دارد (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، 1399).

در برزیل حدود یک درصد اراضی تحت کشت نیشکر، در استرالیا 60 % و در آفریقای جنوبی 40 % آبیاری می‌شوند. در حال حاضر برزیل، هند، چین، تایلند، پاکستان، مکزیک، کلمبیا، استرالیا، آمریکا و اندونزی بزرگ ترین کشورهای تولیدکننده نیشکر در دنیا محسوب می‌شوند (فائو، 2013). براین اساس در سال 2017 در ایران میزان سطح زیر کشت 93654 هکتار و عملکرد

میانگین 80740 کیلوگرم در هکتار بوده است و در رتبه 27 دنیا قرار دارد.

علت اختلاف عملکرد پتانسیل تولید نیشکر با عملکرد واقعی آن مربوط به ویژگی‌های خاک، اقلیم و مدیریت استفاده از اراضی است در مطالعاتی اثر شوری بر عملکرد نیشکر دیده شده است. گیاه نیشکر نسبتاً به شوری حساس است و آستانه آن برای کاهش عملکرد 1/7 دسیسیمز بر متر است (آزمایشگاه شوری ایالات متحده، 1954، برن استین و همکاران، 1966، ماس و هافمن، 1977). ویگند و همکاران (1966) دریافتند که درازای هر یک دسیسیمز بر متر شوری در ناحیه ریشه نیشکر عملکرد 13/7 مگاگرم در هکتار کاهش یافته و با افزایش شوری خاک میزان قند (ساکاروز) نیشکر کاهش می‌یابد (لینگل و ویرگند، 1977، لینگل و همکاران، 2000). برای کشت آبی نیشکر نیاز به استفاده از زهکش زیر زمینی برای جلوگیری از تجمع نمک است و لازم است ضریب آبشویی نیز برای شستشوی نمک اضافی در ناحیه ریشه لحاظ گردد (روزف، 1998، ویدنفلد و همکاران، 2005). سینق و همکاران (2019) گزارش کردند که وزن نی برای واریته های مختلف از 12 تا 41 درصد در اراضی ماندابی کاهش نشان داد کاهش وزن نی به علت کاهش عملکرد فتوسنتز، توسعه ریشه، سطح برگ، مرگ نی، افتادگی و شکستگی نی است (جیفنگ و همکاران، 2017: گوماتی و همکاران، 2015 و ویاتور و همکاران، 2012). ارشاد و همکاران (2019) گزارش کردند که در مناطق تحت کشت نیشکر در دره هربرت استرالیا، بافت خاک می‌تواند بر عملکرد محصول مؤثر باشد در این منطقه بافت خاک سبک موجب ظرفیت قابل تبادل کاتیونی پایین و در نتیجه حاصلخیزی پایین گشته و عملکرد نیشکر را کاهش می‌دهد. ادی آرمانتو (2019) گزارش کرد که مدیریت یکنواخت در مزارع نیشکر بدون آگاهی از تغییرات خاک باعث می‌شود در بعضی از مزارع کود به مقدار زیاد و در بعضی کود به مقدار کم استفاده شود. همچنین ایشان گزارش نمودند که عملکرد نیشکر در زمین شیب‌دار کاهش و در زمین پست با شیب ملایم عملکرد تا 105 تن در هکتار افزایش نشان داد.

برای تعیین میزان تقاضا برای مواد غذایی لازم است که بر عملکرد محصول در مناطق تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان نظارت و کنترل شود. افزایش تقاضا برای مواد غذایی در سراسر جهان و منابع محدود در دسترس برای تولید، لزوم استفاده از ابزارهای جدید برای برآورد تولید محصول را می‌طلبد (پادیل و همکاران،

روش پارامتری محاسبه گردید و در نهایت موجب کاهش عملکرد محصول نیشکر در مرحله اول می‌گردد.

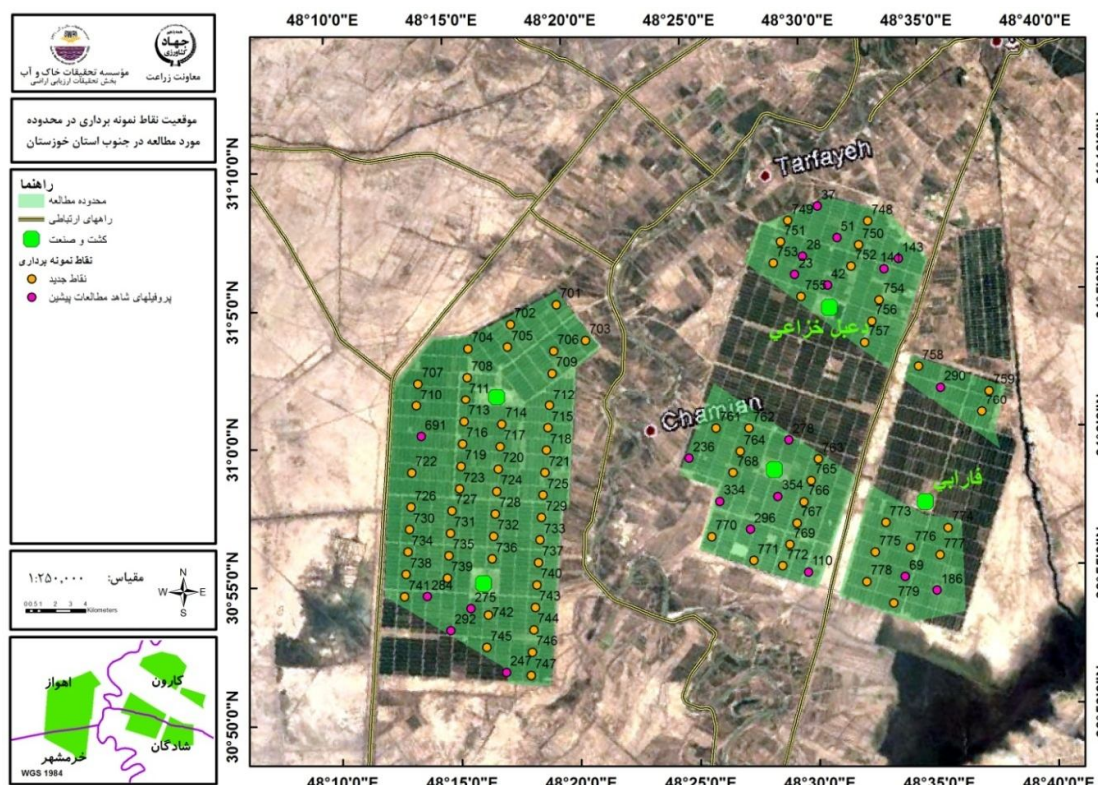
مواد و روش‌ها

با توجه به وجود منابع غنی آب و خاک در جلگه خوزستان و همچنین شرایط مناسب اقلیمی منطقه برای کشت نیشکر و اینکه گیاه نیشکر ازجمله گیاهانی است که در شرایط گرم و خشک و با انجام آبیاری از لحاظ فیزیولوژیکی بهره‌وری فیزیکی فوق‌العاده‌ای را برای تولید شکر دارا بوده و همچنین با توجه به گسترش صنایع جانبی متعددی مانند کاغذسازی، نئوپان، خوراک دام و تهیه الکل، گسترش کشت آن در استان خوزستان رو به فزونی است. و بنابراین، با توجه به اهمیت و قدمت کشت و تولید نیشکر در استان خوزستان، برای اجرای پروژه کشت و صنعت‌های امیرکبیر، میرزا کوچک، سلمان فارسی، دعبل خزاعی و فارابی، برای این مطالعه انتخاب گردید. تخمین پتانسیل تولید نیشکر با در نظر گرفتن شرایط محیطی منطقه از قبیل اقلیم، گیاه، خاک و زمین‌ما طی مراحل زیر است. در مرحله اول تخمین پتانسیل تولید نیشکر با استفاده از مدل رشد فائو (1379) و در مرحله دوم تخمین پتانسیل تولید اراضی برای خاک‌های مختلف با استفاده از تأثیر محدودیت‌های خاک که به‌صورت شاخص خاک به روش پارامتریک محاسبه می‌گردد انجام می‌شود. یک مزیت مهم استفاده از این مدل ساده در این است که اجرای آن در منطقه با استفاده از اطلاعات در دسترس امکان‌پذیر است.

بدین منظور 100 پروفیل و مته در مزارع کشت و صنعت‌های امیرکبیر، میرزا کوچک خان، سلمان فارس، دعبل خزایی و فارابی از استان خوزستان حفر و مورد مطالعه قرار گرفت. که از این تعداد 45 سایت برای بررسی مدل پتانسیل تولید استفاده شده و 30 سایت کنار گذاشته شد و برای صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت و 25 تا بقیه با توجه به داده‌های پرت عملکرد در مطالعه مورد استفاده قرار نگرفت. در ضمن موقعیت کشت و صنعت‌ها و نقاط مورد مطالعه در شکل (1) نشان داده شده است. و پرسشنامه توصیف کاربری اراضی برای این نقاط برای تعیین میزان تولید واقعی و مدیریت کشت، تکمیل شد (سایس و همکاران، 1991). در انتخاب مزارع سعی شد که دامنه عملکردی مناسبی از کمترین عملکرد تا بیشترین آن در منطقه، لحاظ شود.

(2012). درک شناخت عواملی که پیش‌بینی عملکرد منطقه‌ای محصول را محدود می‌کند و روش‌های مدیریت را بهبود می‌بخشد امری ضروری است (بودونگ، 2009). برای پیش‌بینی عملکرد محصول قبل از برداشت، طیف وسیعی از فن‌ها مانند برآوردهای چشمی، نمونه‌برداری با قالب و اندازه‌های مشخص، روش آنالوگ، مدل‌های شبیه‌سازی محصول، و فوست، کراپسیست، سنجش‌ازدور و روش‌های رگرسیون وجود دارد (چیپانچی و همکاران، 1999، دورایوامی و همکاران، 2003؛ ماسلی و همکاران، 2001؛ پیتتر و همکاران، 1981؛ وال و همکاران، 2007، زو و همکاران، 2018 و تودوریک و همکاران، 2009). در رن، چن و همکاران. (2008) از یک مدل رگرسیون خطی برای پیش‌بینی عملکرد گندم زمستان در استان شان‌دونگ استفاده کردند. مدل‌های محصول غالباً در اکولوژی، زراعت و علوم محیطی برای شبیه‌سازی محصول و متغیرهای محیطی استفاده می‌شود. در سال‌های گذشته، مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک ابزار مهم برای بررسی رشد محصول و وارپته‌ها در شرایط مختلف اقلیمی برای به حداقل رساندن ریسک، مورد استفاده قرار گرفته است. (تسکانو و همکاران، 2012).

با توجه به موارد ذکر شده کشور ایران از این مسائل مستثنای نیست با توجه به خشک بودن ایران و جمعیت رو به افزایش کشور نیاز به مدلی که بتواند که ضمن پیش‌بینی عملکرد محصول به علل کاهش عملکرد نیز پی ببرد و بتوان عملکرد محصول در سطح را افزایش دهد احساس می‌گردد. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول به‌عنوان یکی از اجزای مهم دستگاه‌های یادگیری و تصمیم‌گیری کشاورزی رو به افزایش است (پارک و همکاران، 2005). و فوست، مطالعات جهانی غذا، مدل عمومی شبیه‌سازی رشد محصول است که برای طیف وسیعی از محصولات با داده‌های خاص مورد استفاده قرار گیرد. (روئتر و همکاران، 2005؛ وو و همکاران، 2006). فرضیات این تحقیق این است که مدل ارائه‌شده می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر استفاده شود و در ضمن ویژگی‌های خاک بر میزان عملکرد تأثیر دارند. هدف از انجام این تحقیق، در مرحله اول برآورد پتانسیل تولید نیشکر با استفاده از روش مدل رشد فائو و در مرحله دوم برآورد پتانسیل تولید نیشکر در اراضی جنوب استان خوزستان با توجه به تأثیر عوامل محدودکننده خاک بر تولید است که به‌صورت شاخص خاک و با استفاده از



شکل 1- مناطق مورد مطالعه و محل حفر پروفیل و مته در کشت و صنعت‌های خوزستان

روش‌ها

پردازش آماری داده‌ها

تأیید می‌نماید. تمام تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن 24 و Minitab ورژن 17 انجام شد. از آنجایی که سطح مدیریت و سایر عوامل مؤثر بر تولید محصول مهم است و همیشه عوامل ناشناخته‌ای وجود دارد که باعث اختلاف عملکرد پتانسیل محصول و کشاورز می‌شود بدین منظور برای آگاهی از شناخت این عوامل پرسشنامه‌ای تحت عنوان فرم توصیف کاربری اراضی نیز تهیه گردید. که بر اساس آن مدیریت در سه سطح تعریف شد (جدول 2).

نقاط مطالعاتی به نحوی انتخاب شدند که تا حد ممکن اثرات سایر عوامل مانند مدیریت، اقلیم تا حد ممکن برای تمام مزارع شرایط تقریباً مشابهی داشته باشد تا بتوان اثرات ویژگی‌های اراضی بر عملکرد نیشکر را از نظر آماری تجزیه و تحلیل نمود. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون‌ها بین متغیر مستقل و وابسته این وضعیت را

جدول 1- شرح تعاریف سطوح مدیریت

تعاریف سطوح	سطح مدیریت
تمام فعالیت‌های میدانی از قبیل شخم زدن، کاشت، برداشت توسط کشاورزان به صورت مکانیزه انجام می‌شود. و کشاورز از سطح دانش بالا برخوردار است و به تمام فنون نوین کشاورزی از قبیل کاربرد کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز و سایر مسائل مدیریتی آگاه است	مدیریت بالا
فعالیت‌های میدانی از قبیل شخم زدن، کاشت، برداشت توسط کشاورزان به صورت نیمه مکانیزه انجام می‌شود. و کشاورز از سطح دانش متوسطی برخوردار است و تا حدودی به فنون نوین کشاورزی از قبیل کاربرد کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز و سایر مسائل مدیریتی آگاه است	مدیریت متوسط
فعالیت‌های میدانی از قبیل شخم زدن، کاشت، برداشت توسط کشاورزان تا حدودی به صورت نیمه مکانیزه انجام می‌شود. و کشاورز از سطح دانش پایینی برخوردار است و به فنون نوین کشاورزی از قبیل کاربرد کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، کنترل علف‌های هرز آشنایی ضعیفی دارد	مدیریت پایین

منبع: سیدجلالی، 1392.

برای محاسبه پتانسیل تولید آبی یا پتانسیل تولید حرارتی - تابشی محصول از رابطه (2) استفاده می‌شود:
رابطه (2)

$$RPP = Bn \times Hi$$

RPP: پتانسیل تولید آبی یا پتانسیل تولید حرارتی-تابشی³
(کیلوگرم در هکتار)
Bn: تولید کل وزن زنده خالص گیاه (کیلوگرم در هکتار)
Hi: شاخص برداشت

شاخص برداشت (Hi)⁴ یعنی نسبتی از بیوماس خالص محصول که از نظر اقتصادی مفید است (مثل قسمت دانه در غلات، شکر در نیشکر و چغندر قند). مقدار شاخص برداشت بستگی به پتانسیل ژنتیکی واریته محصول (واریته با عملکرد بالا یا پائین) و رژیم آب (محصول دیم یا آبی) و عملیات زراعی دارد. در این مدل تنها واریته‌های با عملکرد بالا در نظر گرفته شده است. در این تحقیق میزان شاخص برداشت از منابع فائو (1981) برابر 0/25 گرفته شده است.

ارزیابی ویژگی‌های اراضی

برای ارزیابی اراضی، ویژگی‌های اراضی با نیازهای نیشکر تطبیق داده شد و شاخص خاک به روش پارامتری از نوع ریشه دوم (رابطه 3) تعیین گردید (سایس و همکاران، 1991، 1993). در روش پارامتری به هر خصوصیت از اراضی یک درجه‌بندی عددی اختصاص داده می‌شود (بین 0 و 100). اگر ویژگی اراضی برای نوع استفاده از اراضی دارای شرایط مطلوب باشد به آن عدد 100 و اگر شرایط نامطلوب باشد نسبت به محدودیتی که ایجاد می‌کند عدد کمتری اختصاص می‌یابد. از این درجه‌بندی عددی برای تعیین شاخص استفاده خواهد شد. در این تحقیق با توجه به نیمه‌خشک بودن اقلیم منطقه از هشت خصوصیات اقلیم، توپوگرافی، سیل‌گیری، زهکشی، ترکیب بافت-سنگریزه و عمق، گچ، آهک و شوری و/یا قلیائیت استفاده گردید.

شاخص خاک به روش ریشه دوم (خدی، 1986)

رابطه (3)

$$SI = R \min \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots}$$

SI: شاخص خاک

R min: درجه حداقل

(A, B, C, ...: درجه‌بندی ویژگی‌های خاک)

پتانسیل تولید آبی یا پتانسیل تولید حرارتی-تابشی (مدل رشد محصول)¹

این مدل مقدار تولید وزن زنده خالص گیاه و عملکرد محصول را برای بهترین واریته در شرایط مطلوب از نظر تابش خورشید، دما، آب و مواد غذایی و در شرایط کنترل آفات و بیماری‌ها، تخمین می‌زند (فائو، 1979).

برای محاسبه وزن خالص زنده گیاه از رابطه زیر استفاده شد:

رابطه (1)

$$Bn = \frac{0.36 \times bgm \times KLA I}{\left(\frac{1}{I_t}\right) + 0.25 \times ct}$$

Bn: تولید کل خالص وزن زنده گیاه (kg/ha)

bgm: حداکثر کل ناخالص وزن زنده گیاه (kg/ha)

KLAI: فاکتور تصحیح شاخص سطح برگ برای میزان حداکثر تولید بیوماس زمانی شاخص سطح برگ دارای سطحی کمتر از 5 مترمربع در مترمربع باشد. $LAI < 5m^2$ M⁻² فائو (1979) یک رابطه‌ای بین نسبت میزان حداکثر رشد و LAI به وجود آورد نسبت میزان رشد حداکثر به عنوان فاکتور تصحیح (KLAI) در فرمول برای bgm و برای جبران کردن LAI در زمانی است که میزان تولید بیوماس ناخالص کمتر از 5m²/m² است بکار می‌رود. میزان شاخص سطح برگ در این تحقیق از فائو (1981) اقتباس گردید.

L: تعداد روزهای بین کاشت و برداشت

ct: ضریب تنفس

$$ct = c30(0.044 + 0.0019t + 0.001t^2)$$

ضریب تنفسی بستگی به متوسط دمای روزانه (از آنجایی که تنفس در هنگام روز و شب انجام می‌گیرد) و نوع عوامل مربوط به عملکرد دارد. اگر تولید عملکرد شامل تولید و حفظ قند یا نشاسته (غیر لگوم²) باشد تنفس کمتر از شکل پیچیده تولید که شامل تولید حفظ پروتئین‌ها (لگوم) خواهد بود.

ضریب تنفس به شرح زیر تعیین می‌گردد.

ct: ضریب تنفس

t: متوسط دمای روزانه (°C)

c30: برای غیر لگوم‌ها برابر 0/0108 است.

c30: برای لگوم‌ها برابر 0/0283 است.

³ Radiation-Thermal Production Potential

⁴ Harvest index

¹ Irrigated potential yield (radiation-thermal production potential yield)=RPP

² Non-legume

پتانسیل تولید اراضی

برای تخمین پتانسیل تولید اراضی با استفاده از پتانسیل تولید آبی در مرحله اول و تأثیر محدودیت‌های خاک که به صورت شاخص خاک محاسبه شده از رابطه (4) استفاده شده است. در این رابطه اثر کاهش عملکرد به علت محدودیت‌های آب و هوایی تابش خورشید، دما و خصوصیات خاک دیده شده و پتانسیل تولید اراضی برای نیشکر تخمین گردید

رابطه (4)

$$LPP = \frac{RPP \times SI}{100}$$

LPP: پتانسیل تولید اراضی

SI: شاخص خاک (این شاخص بر اساس روش پارامتری تعیین گردید)

روش‌های آماری

برای مقایسه عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل با عملکرد کشاورز، روش‌های آماری زیر مورد بررسی قرار گرفت.

همبستگی ساده: در این روش ماتریس همبستگی برای عملکرد کشاورز، ویژگی‌های اراضی از قبیل سیلت، رس، ماسه، گچ، آهک، شوری، درصد سدیم قابل تبادل (قلیائیت)، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و اکسایش خاک، شاخص‌های اراضی و عملکردهای محاسبه شده به روش ریشه دوم تهیه گردید.

رگرسیون خطی چندگانه استاندارد: رگرسیون خطی چندگانه و ضریب تبیین (R^2) برای عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد کشاورز و ویژگی‌های اراضی به منظور تعیین مدل پیش‌بینی عملکرد نیشکر طبق رابطه (5) تعیین می‌شود:

رابطه 5

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$$

رگرسیون خطی چندگانه گام به گام: این روش توسط دراپر و اسمیت (1966) برای تعیین سهم هر متغیر در تغییرات عملکرد ارائه شد. روش گام به گام طی یک مراحل گام به گام رگرسیون چند متغیره را محاسبه می‌کند. در هر مرحله یک متغیر به معادله رگرسیون اضافه می‌شود. متغیر اضافه شده متغیری است که بیشترین کاهش خطای مجموع مربعات¹ را داشته باشد و همچنین دارای بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته داشته باشد و علاوه بر آن بیشترین مقدار F را داشته باشد.

رگرسیون تخمین منحنی: با استفاده از منحنی‌های تخمین می‌توان مدل‌های مختلف رگرسیون تخمین تولید کرد. در صورتی که رابطه رگرسیونی بین دو متغیر به صورت خطی نباشد، باید مدل‌های دیگر مثل مدل رگرسیون تخمین درجه دوم، سوم، هاپربولیک و سایر مدل‌ها را بررسی نمود بدین منظور برای بررسی منحنی‌های تخمین از نرم افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث

پتانسیل تولید آبی یا پتانسیل تولید حرارتی-تابشی (مدل رشد محصول)

این مدل مقدار تولید وزن زنده خالص گیاه و عملکرد محصول را برای بهترین وارینه در شرایط مطلوب از نظر تابش خورشید، دما، آب و مواد غذایی و در شرایط کنترل آفات و بیماری‌ها، تخمین می‌زند. پتانسیل تولید نیشکر به روش مدل رشد فائو 95/8 تن در هکتار تخمین زده شد.

ارزیابی ویژگی‌های خاک برای نیشکر

نتایج ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول در جدول (2) ارائه شده است. ارزیابی ویژگی‌های خاک برای محصول نیشکر به روش پارامتری (ریشه دوم) انجام گردید با توجه به نتایج حاصل شاخص‌های به دست آمده به روش ریشه دوم از 18/8 تا 72/4 تن در هکتار به دست آمد.

پتانسیل تولید اراضی برای نیشکر

پتانسیل تولید اراضی برای نیشکر با توجه به پتانسیل تولید حرارتی تابشی یا پتانسیل آبی و تأثیر عوامل محدودکننده در خاک که به صورت شاخص خاک محاسبه شده برای سطوح مختلف مدیریتی از 18 تا 69/3 تن در هکتار برای روش ریشه دوم تخمین زده شد. و کاهش عملکرد به علت عوامل محدودکننده از قبیل محدودیت‌های آهک، زهکشی، شوری و قلیائیت و عدم مدیریت صحیح است.

¹ Sum Square Error

جدول 2- ویژگی‌های خاک و عملکرد نیشکر در کشت و صنعت‌های نیشکر

ردیف	ESP	EC	pH	شن	سیلت	رس	TNV	SI	RPP	LPP	OBY
		Ds.m ⁻¹			%				t.ha ⁻¹		
1	7/9	2/2	7/9	21/3	40/3	38/6	40/8	72/4	95/8	69/3	80/0
2	7/0	2/6	8/0	32/6	34/0	33/4	37/2	70/5	95/8	67/6	75/0
3	8/2	4/2	8/0	13/4	43/9	43/8	38/5	69/9	95/8	66/9	70/0
4	6/7	1/8	7/7	11/2	50/6	38/2	33/4	67/9	95/8	65/1	63/0
5	7/2	1/8	7/9	14/6	43/8	41/6	43/8	66/9	95/8	64/0	62/3
7	8/0	2/2	8/0	18/0	46/0	36/0	38/2	66/3	95/8	63/5	60/0
8	5/8	1/8	7/9	13/0	46/7	40/3	41/6	65/8	95/8	63/0	59/0
9	8/4	2/6	8/1	15/4	48/6	36/0	36/0	65/8	95/8	63/0	59/0
10	19/7	3/9	7/7	10/2	45/7	44/2	28/0	60/6	95/8	58/1	55/0
10	14/2	6/5	8/0	17/1	40/4	38/5	36/5	56/7	95/8	54/6	54/0
11	5/8	1/7	8/3	13/3	38/6	48/2	44/2	53/2	95/8	50/9	54/0
12	7/0	1/9	8/0	24/8	44/5	30/8	38/5	49/4	95/8	47/3	52/5
13	7/9	3/1	7/9	13/4	46/6	40/0	40/3	65/4	95/8	62/7	51/9
14	5/6	4/2	7/8	13/3	38/6	48/2	36/0	65/2	95/8	62/5	51/0
15	6/0	1/5	7/9	16/2	48/9	35/0	40/0	63/9	95/8	61/2	51/0
16	6/0	1/5	7/9	16/2	48/9	34/0	48/2	63/0	95/8	60/4	51/0
17	8/7	3/4	7/9	18/0	54/0	28/0	35/0	62/8	95/8	60/2	50/0
18	6/3	1/4	8/1	30/1	33/5	36/5	35/0	61/5	95/8	58/9	40/8
19	8/7	5/7	7/7	15/8	50/0	34/2	48/2	48/2	95/8	46/2	40/0
20	13/4	7/7	8/0	8/4	45/7	45/9	30/8	47/0	95/8	45/0	40/0
21	24/3	8/2	8/0	13/1	40/0	46/9	34/2	45/4	95/8	43/5	39/5
22	7/2	1/9	8/4	42/9	39/3	17/9	45/9	43/0	95/8	41/2	39/5
23	13/4	7/7	8/0	8/4	45/7	45/9	46/9	39/4	95/8	37/8	38/0
24	14/2	7/7	7/6	3/3	49/3	47/4	17/9	39/4	95/8	37/8	38/0
25	14/2	6/5	8/0	12/0	53/0	35/0	45/9	34/1	95/8	32/7	38/0
26	11/1	5/7	7/7	24/4	44/8	30/8	47/4	31/9	95/8	30/6	37/0
27	5/4	4/2	7/8	21/2	56/0	22/8	35/0	30/1	95/8	28/8	37/0
28	7/8	5/7	7/7	13/9	49/4	37/7	30/8	28/7	95/8	27/5	37/0
29	5/8	1/7	7/5	10/0	62/0	28/0	22/8	23/9	95/8	22/9	32/0
30	11/4	5/9	8/0	13/4	44/5	42/2	37/7	18/8	95/8	18/0	32/0

ESP: درصد سدیم قابل تبادل، TNV: آهک، SI: شاخص خاک، RPP: پتانسیل تابشی -حرارتی یا پتانسیل تولید آبی، LPP: پتانسیل تولید اراضی، OBY: عملکرد واقعی، t.ha-1: تن در هکتار، Ds.m-1: دسی‌سیمنز بر متر.

روش‌های آماری

آمار توصیفی

جدول 3، خلاصه پارامترهای توصیفی متغیرها را نشان می‌دهد. بررسی نتایج آمار توصیفی ویژگی‌های اراضی انتخابی تحت کشت نیشکر خوزستان را نشان می‌دهد دامنه تغییرات آهک به علت شرایط اقلیمی خشک منطقه و کمبود بارندگی و عدم شستشویی آهک زیاد نبوده و مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب 37/2، 49/5 و 45/7 درصد است. شوری خاک از 1/4 تا 44/1

دسی‌سیمنز بر متر متغیر است. مقدار میانگین این ویژگی در اراضی موردبررسی 4/9 دسی‌زیمنس بر متر است. حداقل، حداکثر و میانگین، درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) در پروفیل‌های مطالعه شده به ترتیب 5/4، 24/3 و 9/8 درصد است. با توجه به اینکه اراضی کشت و صنعت‌های مناطق مورد مطالعه دارای سیستم زهکشی می‌باشند و قبلاً اراضی آبشویی شده است میزان شوری و قلیائیت خاک‌ها کم است. به‌جز موارد خاصی که به علت

بافت خیلی سنگین می‌باشند و آبشویی به‌خوبی انجام‌نشده دارای شوری زیاد می‌باشند.

بررسی نتایج نشان داد که میانگین درصد شن حدود 19/6 درصد و حداقل و حداکثر آن 5/9 و 65/2 درصد است. نکته قابل‌توجه این است که بافت خاک در غالب مزارع نیشکر درکشت صنعت‌های نیشکر خوزستان بافت‌های سنگین است. میزان رس در مزارع نیشکر بررسی‌شده متغیر و از 12 تا 50/5 درصد تغییر می‌کند. تأثیر مقادیر رس بر رشد و عملکرد نیشکر متفاوت است. اسیدیته خاک (pH) در اراضی بررسی‌شده از 7/5 تا 8/4 متغیر و میانگین اسیدیته خاک 7/9 گزارش‌شده است. دامنه تغییرات این ویژگی نسبت به سایر ویژگی‌های اراضی محدودتر است. حداقل، حداکثر و میانگین، شاخص خاک به ترتیب 9/8، 72/4 و 57/8 است و حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد پیش‌بینی‌شده به ترتیب 9/4، 69/3 و 53/3 تن در هکتار و حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد واقعی به ترتیب 28/3، 103/5 و 53/3 تن در هکتار است. و علت کاهش عملکرد محصول به علت محدودیت‌های خاکی آهک، شوری، قلیائیت و بافت سنگین و مدیریت نامناسب در بعضی از اراضی در منطقه است.

در متغیرهای مطالعه شده با توجه به درصد شاخص پراکندگی (CV)، اسیدیته خاک، درصد سیلت و درصد آهک در یک دامنه کم پراکنده هستند. درصد رس، عملکرد مشاهده‌شده و عملکرد پیش‌بینی‌شده نیشکر در دامنه تغییرات متوسط پراکنده و درصد شن، درصد سدیم قابل‌تبادل و شوری خاک در یک دامنه زیاد تغییرات پراکنده هستند.

شاخص‌های آماری مهم بررسی‌شده دیگر شامل چولگی و کشیدگی می‌باشند. این شاخص‌ها برای بررسی انحراف داده‌ها از توزیع نرمال استفاده می‌شوند. که نتایج آن‌ها در جدول 2 ارائه شده است. ضریب چولگی و کشیدگی دو شاخص اساسی توزیع داده‌ها هستند که توسط آن‌ها می‌توان نرمال بودن توزیع داده‌ها را مشخص کرد. در یک توزیع متقارن، مقدار چولگی صفر و کشیدگی، یک است. در توزیع نامتقارن، مقادیر مثبت و منفی می‌باشند و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، عدم تقارن شدیدتر است. مقادیر چولگی و کشیدگی بین 2 تا -2 قرار داشت. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد از نظر چولگی و کشیدگی، اکثر داده‌ها نرمال می‌باشند به‌استثنای داده‌های درصد سدیم تبادلی، شوری و درصد شن که این دو مورد نیز نرمال شدند بیشترین مقدار چولگی و کشیدگی مربوط به شوری و سدیمی خاک بود. بررسی نتایج،

داده‌ها و مطالعات میدانی مشخص کرد که مقادیر شوری در مناطق مورد مطالعه در استان خوزستان زیاد بوده که باعث افزایش چولگی و کشیدگی شده است. البته لازم به توضیح است که برخی از ویژگی‌های دیگر هم دارای مقادیر چولگی و کشیدگی زیاد بودند که پس از بررسی داده‌های پرت، مشخص شد این ویژگی‌های دارای داده پرت هستند. پس از حذف داده‌های پرت، مقادیر چولگی و کشیدگی این ویژگی‌های نیز در دامنه مورد قبول برای توزیع نرمال قرار گرفت.

آنالیز همبستگی ساده

ضرایب همبستگی ساده متغیرها باهم در جدول ماتریس (3) ارائه‌شده است. مقادیر نزدیک به 1 نشان می‌دهد که دو متغیر تقریباً شبیه هم هستند و باهم همبستگی مثبت دارند و بالعکس مقادیر نزدیک به -1 رفتار عکس دارند و نشان می‌دهد که دو متغیر باهم همبستگی منفی دارند. به عبارت دیگر وقتی مقدار یک متغیر افزایش می‌یابد دیگری کاهش می‌یابد. و مقدار 0 نشان می‌دهد که دو متغیر مستقل از هم هستند و هیچ‌گونه همبستگی باهم ندارند.

شناخت رابطه بین عملکرد نیشکر و ویژگی‌های خاک اهمیت زیادی دارد. بر اساس ویژگی‌های خاک ضرایب همبستگی ساده بین ویژگی‌های مختلف خاک، عملکرد مشاهده‌شده نیشکر، و عملکردهای پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل به روش ریشه دوم، شاخص خاک به روش ریشه دوم، سیلت، رس، ماسه، گچ، آهک، شوری، درصد سدیم قابل‌تبادل (قلیائیت)، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و واکنش خاک مورد بررسی قرار گرفت نتایج همبستگی ساده در جدول (2) نشان می‌دهد که عملکرد نیشکر مشاهده‌شده در سطح یک درصد، با شوری، درصد سدیم قابل‌تبادل (قلیائیت) و شن همبستگی بسیار معنی‌دار دارد. و در سطح 5 درصد با سیلت همبستگی معنی‌دار و با رس و آهک بدون همبستگی و غیر معنی‌دار است.

جدول 3- جدول آمار توصیفی متغیرهای استفاده‌شده در اراضی کشت صنعت جنوب خوزستان

ویژگی‌ها	N	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	CV	%CV	چولگی	کشیدگی
pH	45	7/5	8/4	7/9	0/17	0/02	2/15	-0/01	0/66
EC(ds.m ⁻¹)	45	1/4	44/1	4/9	6/38	1/3	130/2	5/57	34/53
TNV(%)	45	37/2	49/5	45/7	2/75	0/06	6/02	-1/23	1/74
Clay(%)	45	12	50/5	36/5	8/5	0/23	23/29	-0/82	0/72
Silt(%)	45	22/8	56	44	6	0/14	13/64	-0/93	2/60
Sand(%)	45	5/9	65/2	19/6	11/6	0/59	59/18	1/82	4/44
ESP	45	5/4	24/3	9/8	4/4	0/45	44/90	2/1	4/4
Oby(t.ha ⁻¹)	45	28/3	103/5	53/3	16/2	0/30	30/39	0/95	0/85
SI	45	9/8	72/4	57/8	12/9	0/22	22/32	-1/94	4/16
LPP(t.ha ⁻¹)	45	9/4	69/3	55/3	12/4	0/22	22/42	-1/94	4/16

CV: coefficient variance (ضریب تغییرات), N: number of samples (تعداد نمونه)

TNV: آهک, Oby: عملکرد واقعی, SI: شاخص خاک, LPP: عملکرد پیش‌بینی شده

آنالیز رگرسیون خطی چندگانه

آنالیز رگرسیون چندگانه خطی¹ به روش‌های استاندارد، گام‌به‌گام و منحنی تخمین با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه 17 انجام و برای بررسی هم‌زمان متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای وابسته از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. در این مدل، متغیرهای شوری خاک، درصد سدیم قابل‌تبادل، اسیدیته، آهک، شن، سیلت و عملکرد نیشکر به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل شدند. نتایج رگرسیون چند متغیره استاندارد در جدول 5 نشان می‌دهد که دارای ضریب تبیین حدود 0/52 و ضریب تبیین تعدیل‌شده 0/36 و خطای استاندارد برابر 10/13 تن در هکتار است. مفهوم آن این است که متغیرهای واردشده به مدل توانسته‌اند حدود 52 درصد از واریانس تغییرات مربوط به متغیر وابسته را تعیین نمایند.

ضریب تبیین تعدیل‌یافته از ضریب رگرسیون، حقیقی‌تر است زیرا کمتر تحت تأثیر حجم و تعداد نمونه قرار می‌گیرد (غیاثوند، 1391). نتایج تجزیه واریانس معادله چندمتغیره در جدول 4 ارائه‌شده است. با توجه به اینکه ارزش P value کمتر از 0/01 است بنابراین با اطمینان 99 درصد می‌توان گفت که رابطه مذکور دارای معنی‌داری است و تجزیه واریانس و ایجاد معادله با دقت قابل قبول انجام‌شده است.

نتایج رگرسیون به روش گام به گام

در این مدل، متغیرهای شوری خاک، درصد سدیم قابل‌تبادل، اسیدیته، آهک، شن، سیلت، رس به‌عنوان متغیر مستقل و عملکرد نیشکر به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل شدند. نتایج حاصل بیانگر آن است که از میان متغیرهای مستقل واردشده به مدل به ترتیب شوری، شن، سیلت و رس با توجه به معنی‌داری وارد مدل شده و متغیرهای اسیدیته، آهک و رس و درصد سدیم قابل‌تبادل با توجه به درصد پایین معنی‌داری از مدل حذف گردید. نتایج رگرسیون چند متغیره استاندارد در جدول 5 نشان می‌دهد که دارای ضریب تبیین حدود 48/85 و ضریب تبیین تعدیل‌شده 40/67 و خطای استاندارد برابر 9/77 تن در هکتار است. مفهوم آن این است که متغیرهای واردشده به مدل توانسته‌اند حدود 48/85 درصد از واریانس تغییرات مربوط به متغیر وابسته را تعیین نمایند.

¹. Multilinear Regression

جدول 4- نتایج همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل و عملکرد

ویژگی‌های خاک و عملکرد	عملکرد واقعی تن در هکتار	TNV %	EC ds.m ⁻¹	pH	شن %	سیلت %	رس	SAR	ESP %	SQRTSAND	LNESP
عملکرد	1	0/165	0/812**	0/123	0/348**	-0/302*	-0/191	-0/430**	-0/445**	0/358**	-0/481**
TNV	.165	1	-0/106	-0/103	0/185	0/145	-0/360**	0/142	0/149	0/127	0/170
EC	-.812**	-.106	1	-0/243*	-0/351**	0/252*	0/236	0/601**	0/617**	-0/366**	0/646**
pH	0/123	-0/103	-0/243*	1	0/125	-0/314**	0/107	-0/120	-0/126	0/139	-0/136
شن	0/348**	0/185	-0/351**	0/125	1	-0/605**	-0/750**	-0/254	-0/254	0/974**	-0/231
سیلت	-0/302*	0/145	0/252*	-0/314**	-0/605**	1	-0/070	0/121	0/140	-0/592**	0/197
رس	-0/191	-0/360**	0/236	0/107	-0/750**	-0/070	1	0/258	0/245	-0/728**	0/177
SAR	-0/430**	0/142	0/601**	-0/120	-0/254	0/121	0/258	1	0/998**	-0/279	0/963**
ESP	-0/445**	0/149	0/617**	-0/126	-0/254	0/140	0/245	0/998**	1	-0/280	0/978**
SQRTSAND	0/358**	0/127	-0/366**	0/139	0/974**	-0/592**	-0/728**	-0/279	-0/280	1	-0/260
LNESP	-0/481**	0/170	0/646**	-0/136	-0/231	0/198	0/177	0/963**	0/978**	-0/260	1

همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد. **.

همبستگی معنی‌دار در سطح پنج درصد. *.

SQRTSAND: ریشه دوم شن: TNV, LNESP: Natural logarithm of ESP, ESP: درصد سدیم قابل تبادل

جدول 5- تجزیه واریانس رابطه رگرسیون چندمتغیره بین عملکرد و متغیرهای مستقل

مدل	مجموع مربعات	Df	میانگین مربعات	F	P value
رگرسیون	2405/9	7	343/7	3/35	0/014
باقیمانده	2258	22	102/6		
مجموع	4663/9	29			

جدول 6- جدول نتایج رگرسیون چند متغیره به روش خطی و گام به گام

نوع رگرسیون	معادله رگرسیون	درصد ضریب تبیین (R-Sq)	درصد ضریب تبیین تعدیل شده (R-Sq(adj))	خطای استاندارد (SE)
رگرسیون چندگانه خطی	$OBY(t,ha-1) = -1836 + 0.543ESP - 4.11EC - 10.9pH + 19.8sand + 19.3silt + 20.2clay + 0.193TNV$	51/6	36/3	10/13
رگرسیون به روش گام به گام	$OBY(t,ha-1) = -1758 - 3.31EC + 18silt + 18sand + 19clay$	48/85	40/67	9/77

OBY(t,ha-1): عملکرد واقعی

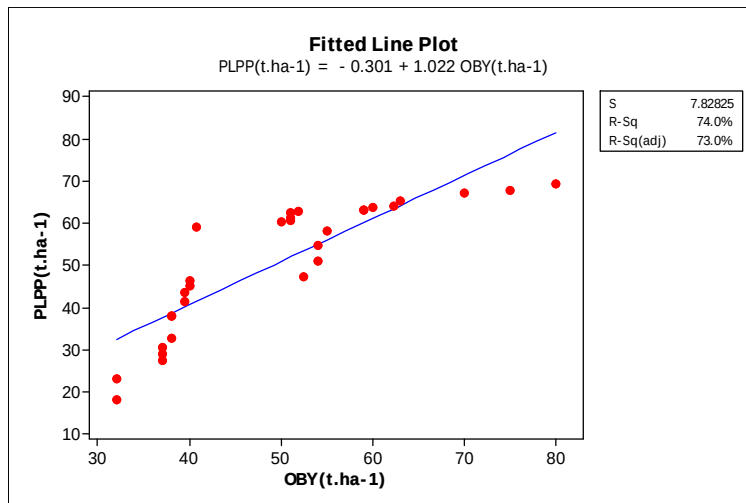
رگرسیون به روش تخمین منحنی

در این تحقیق از رگرسیون منحنی تخمین سه مدل خطی، درجه دوم و درجه سوم استفاده گردید. در این روش عملکرد پیش‌بینی شده به روش ریشه دوم به عنوان متغیر مستقل و عملکرد مشاهده شده به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. با توجه به جدول (6) ضریب تبیین برای مدل‌های خطی، درجه دوم و درجه سوم به ترتیب 74، 85/3 و 87/5 است. که این نشان می‌دهد که منحنی درجه سوم نسبت به درجه یک و درجه دو ضریب تبیین (R^2) را افزایش داد و رابطه بهتری بین عملکرد واقعی و عملکرد پیش‌بینی شده

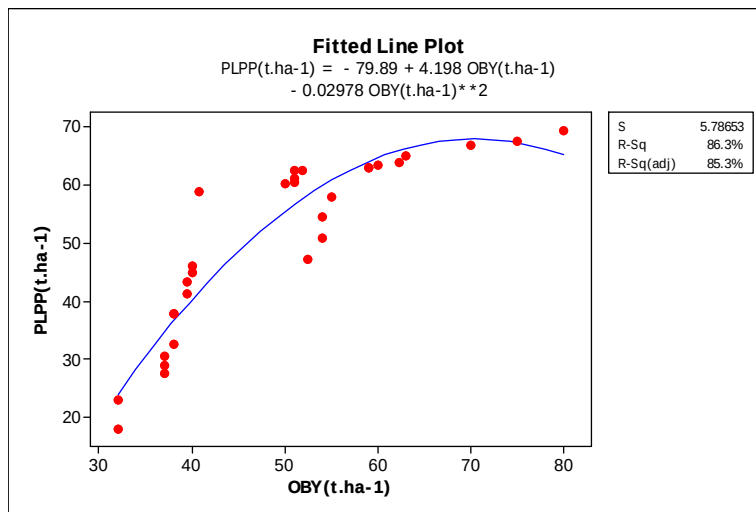
وجود دارد بطوریکه در مدل خطی تنها 74 درصد تغییرات عملکرد توسط مدل پیش‌بینی می‌شود ولی در مدل درجه دوم و سوم به ترتیب 85 و 88 درصد تغییرات عملکرد توسط این دو مدل پیش‌بینی می‌شود. در ضمن معنی دار بودن F در هر سه مدل کمتر 0.0001 است که بدین معنی است که تغییرات در مدل به طور اتفاقی نیست. همان‌طور که ملاحظه می‌شود سهم افزایش پیش‌بینی عملکرد توسط معادله درجه یک 74 درصد، سهم درجه دوم 85 درصد و سهم درجه سوم 88 درصد است. شکل 2، 3 و 4 به ترتیب منحنی رگرسیون برای مدل‌های درجه یک، درجه دوم و سوم را نشان می‌دهد.

جدول 7- خلاصه پارامترهای تخمینی رگرسیون منحنی تخمین برای روش ریشه دوم

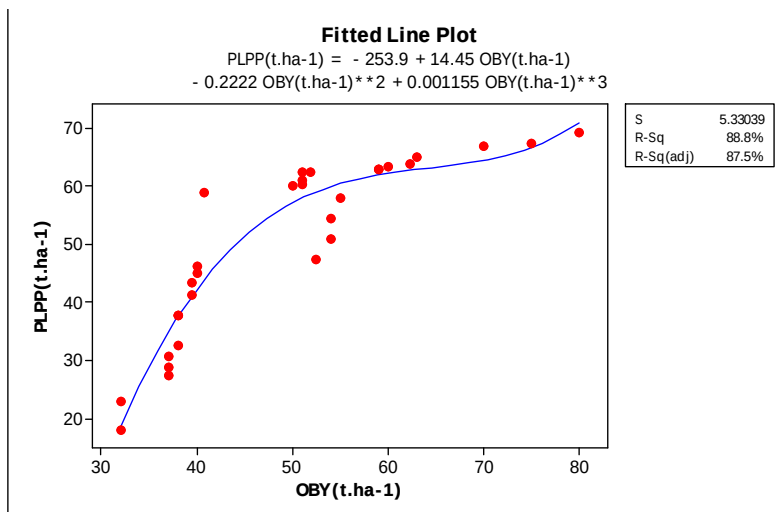
معادله	ضریب تبیین	F	درجه آزادی	سطح معنی داری	ضریب ثابت	b1	b2	b3
خطی	0/74	79/5	1	0/000	-0/301	1/022		
درجه دوم	85/3	84/9	2	/000	79/9	4/2	0/029	
درجه سوم	87/5	68/6	3	/000	239/9	14/45	-0/222	0/001



شکل 2- رگرسیون منحنی تخمین مدل خطی بین عملکرد پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده



شکل 3- رگرسیون منحنی تخمین مدل درجه دوم بین عملکرد پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده



شکل 4- رگرسیون منحنی تخمین مدل درجه سوم بین عملکرد پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده

بحث

نسبت به شوری آستانه 1/7 دسیسیمز بر متر، عملکرد محصول نیشکر 17/5 تن در هکتار کاهش یافت. و عملکرد واقعی 13/2 تن نسبت به عملکرد پیش‌بینی‌شده کاهش نشان داد. که با نتایج ویرگند و همکاران (1996) که گزارش کردند که در شوری 3/4 دسیسیمز بر متر نسبت به شوری آستانه 1/7 دسیسیمز بر متر، عملکرد محصول نیشکر 23/3 تن در هکتار کاهش یافت. و عملکرد واقعی 14/1 تن نسبت به عملکرد پیش‌بینی‌شده کاهش نشان داد مطابق دارد. شناخت رابطه بین عملکرد نیشکر و ویژگی‌های خاک اهمیت زیادی دارد. نتایج درروش رگرسیون استاندارد و گام‌به‌گام نشان داد که به ترتیب ضریب تبیین 0/52 و 0/49 و خطای استاندارد برابر 10/13 و 9/77 تن در هکتار است. که نشان داد ویژگی‌های خاک به روش استاندارد تا 52 درصد و به روش گام‌به‌گام تا 49 درصد می‌تواند عملکرد را پیش‌بینی کند و خطای پیش‌بینی آن‌ها به ترتیب 10/13 تن و 9/77 تن در هکتار است و درروش منحنی تخمین برای مدل خطی، درجه‌دو و سه، ضریب تبیین به ترتیب 0/۸۵/74 و 0/۸۷ و خطای استاندارد 7/8، 5/8 و 5/3 تن در هکتار است. که این نشان می‌دهد که منحنی درجه سوم نسبت به درجه یک و درجه‌دو دقت بالاتر و خطای تخمین پایین‌تری در پیش‌بینی عملکرد نیشکر دارد. بنابراین روش منحنی تخمین درجه سوم که از مدل تخمین عملکرد برای پیش‌بینی محصول استفاده نموده دارای دقت بالاتر و خطای کمتر از مدل تأثیر ویژگی‌های خاک بر عملکرد دارد.

نتیجه‌گیری

استفاده از مدل رشد فائو به همراه شاخص خاک و مدیریت می‌تواند ابزار مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد محصول باشد. در این مطالعه نیز از روش پارامتری (ریشه دوم) و ویژگی‌های اراضی برای پیش‌بینی محصول استفاده گردید. برای مقایسه عملکرد محصول کشاورز با عملکرد پیش‌بینی‌شده از روش رگرسیون چندگانه استاندارد، رگرسیون گام‌به‌گام و رگرسیون منحنی تخمین استفاده شد. و برای ارزیابی مدل از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تعدیل‌شده ($R^2\text{-adj}$) و خطای استاندارد (S) استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش ریشه دوم نسبت به استفاده از ویژگی‌های اراضی با توجه به ضریب تشخیص بالاتر و خطای کمتر در اولویت استفاده قرار دارد. با توجه به نتایج رگرسیون منحنی تخمین مدل درجه سوم، برای عملکرد

ارزیابی ویژگی‌های اراضی برای محصول نیشکر به روش پارامتری (ریشه دوم) انجام گردید با توجه به نتایج حاصل شاخص به‌دست‌آمده به روش ریشه دوم از 19 تا 72 به دست آمد. نتایج حاصل از مرحله اول نشان می‌دهد که پتانسیل تولید نیشکر به روش مدل رشد فائو 95/8 تن در هکتار تخمین زده شد. پتانسیل تولید اراضی برای نیشکر با توجه به پتانسیل تولید حرارتی تابشی یا پتانسیل آبی و تأثیر عوامل محدودکننده در خاک که به‌صورت شاخص خاک محاسبه‌شده برای سطوح مختلف مدیریتی از 18 تا 69/3 تن در هکتار برای روش ریشه دوم تخمین زده شد. و کاهش عملکرد به علت عوامل محدودکننده از قبیل محدودیت‌های بافت سنگین تا خیلی سنگین، آهک، زهکشی، شوری و قلیائیت و عدم مدیریت صحیح است. اراضی تحت کشت در خوزستان در اراضی پست با شیب ملایم کشت می‌شود و عملکرد 104 تن در هکتار گزارش‌شده که با نتایج ادی آرمانتو (2019) که عملکرد نیشکر در اراضی پست با شیب ملایم را تا 105 تن در هکتار گزارش نموده مطابقت دارد. در مزارع تحت کشت نیشکر خوزستان باوجود تنوع در تغییرات خاک کود بر اساس نیاز مصرف می‌شود که خود موجب مدیریت صحیح کشت و افزایش عملکرد می‌شود.

در کشت و صنعت‌های خوزستان نیز یکی از عوامل کاهش عملکرد نیشکر محدودیت زهکشی نامناسب است که موجب کاهش عملکرد نیشکر گردید که با تحقیقات سینیق و همکاران (2019) و جیفنگ و همکاران، 2017: گوماتی و همکاران، 2015 و ویاتور و همکاران، 2012 که گزارش کردند که وزن نی برای وارپته‌های مختلف از 12 تا 41 درصد در اراضی ماندابی کاهش نشان داد و کاهش وزن نی در اراضی ماندابی به علت کاهش عملکرد فتوسنتز، توسعه ریشه، سطح برگ، مرگ نی، افتادگی و شکستگی نی است مطابق دارد. درکشت و صنعت‌های جنوب خوزستان بافت خاک سنگین و خیلی سنگین است و بافت خیلی سنگین و تراکم ایجادشده در سطح خاک به علت استفاده زیاد ماشین‌آلات کشاورزی در زمان کاشت و برداشت باعث کاهش عملکرد نیشکر گردیده است. ارشاد و همکاران (2019) گزارش کردند که در مناطق تحت کشت نیشکر در دره هربرت استرالیا، بافت خاک می‌تواند بر عملکرد محصول مؤثر باشد در این منطقه بافت خاک سبک موجب ظرفیت قابل‌تبادل کاتیونی پایین و در نتیجه حاصلخیزی پایین گشته و عملکرد نیشکر را کاهش می‌دهد. در این تحقیق در شوری 3/4 دسیسیمز بر متر

از اراضی است. نتایج آمار توصیفی نشان داد، شوری و قلیائیت خاک، از عوامل اصلی و مؤثر در کاهش عملکرد است. بنابراین اعمال مدیریت مناسب در این خصوص و انجام عملیات اصلاحی و آبشویی بسیار ضروری است. کمبود مقدار ماده آلی و پایین بودن وضعیت حاصلخیزی خاک‌های اکثر مزارع به‌خصوص کشت و صنعت‌های نیشکر استان خوزستان، سبب افت عملکرد شده است، تهیه نقشه‌های تناسب اراضی برای مزارع نیشکرهای کشور و شناخت عوامل محدودکننده تولید می‌تواند به اصلاح و مدیریت مناسب آن‌ها کمک کند. به‌عنوان مثال می‌تواند به شناخت اراضی نامناسب برای نیشکر و اصلاح وضعیت تولید منجر شود. نتایج این پژوهش نشان داده عوامل اصلی محدودکننده تولید نیشکر در خوزستان، شوری و قلیائیت خاک و ویژگی‌های فیزیکی خاک از قبیل بافت سنگین و خیلی سنگین و ساختمان ضعیف در استان خوزستان است. لذا معرفی ارقام سازگار با این شرایط خاک بسیار ضروری است.

پیش‌بینی‌شده به روش پارامتریک از نوع ریشه دوم برای نیشکر با عملکرد مشاهده‌شده نیشکر با ضریب تشخیص (R^2) برابر 0.87 نسبت به سایر روش‌ها دقت بالاتری را نشان داد. این روش می‌تواند با تخمین 87 درصد عملکرد مشاهده‌شده را با خطای 5/3 تن در هکتار پیش‌بینی کند. در روش ویژگی‌های اراضی مقدار R^2 رابطه ضعیفی را با عملکرد مشاهده‌شده را نشان داد. و خطای پیش‌بینی آن نسبت به سایر روش‌ها زیاد بود. بنابراین استفاده از ویژگی‌های اراضی بدون استفاده از مدل‌های پیش‌بینی محصول توصیه نمی‌گردد. می‌توان نتیجه گرفت که برای پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده از مدل رشد فائو با تلفیق شاخص‌های به‌دست‌آمده از روش ریشه دوم که از روش‌های پارامتری هستند نسبت به استفاده از ویژگی‌های اراضی در اولویت قرار دارد. بررسی‌ها نشان داد که برخی از مزارع نیشکر به‌رغم شاخص اراضی نسبتاً مشابه، عملکردهای متفاوت و برخی مزارع پایین‌تر از حد انتظار می‌باشند، که این مسئله مربوط به مدیریت متفاوت استفاده

فهرست منابع:

1. خواجه پور، م. 1370. تولید نباتات صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان، 257 صفحه.
2. سلطانی، ا. 1380. احتمالات و آمار برای علوم و مهندسی. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شیراز، 376 صفحه.
3. سیدجلالی، س.ع. 1392. مدل‌سازی ارزیابی تناسب اراضی و تخمین پتانسیل تولید اراضی برای گندم آبی با استفاده از نظریه‌ی سامانه‌های فازی و زمین‌آمار در دشت گتوند، استان خوزستان. رساله دکتری. دانشگاه تهران. 229 صفحه.
4. وزارت جهاد کشاورزی. 1399. آمارنامه کشاورزی سال زراعی 1378-1377. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی. دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
5. Armanto, M. 2019. Soil Variability and Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Biomass along Ultisol Toposequences. *Journal of Ecological Engineering*, 20(7).
6. Arshad, M., Li, N., Zhao, D., Sefton, M., & Triantafilis, J. (2019). Comparing management zone maps to address infertility and sodicity in sugarcane fields. *Soil and Tillage Research*, 193, 122-132.
7. Bernstein, L., Clark, R.A., Francois, L.E., Derderian, M.D., 1966. Salt tolerance of NCo varieties of sugar cane. II. Effects of soil salinity and sprinkling on chemical composition. *Agron.J.* 58, 503-507.
8. Budong Q, Reinder De J, and G. Samuel. 2009. Multivariate analysis of water-related agroclimatic factors limiting spring wheat yields on the Canadian prairies. *Europ. J. Agronomy* 30, 140-150
9. Chipanshi, A. C., Ripley, E. A., & , R. G., Lawford. 1999. Large-scale simulation of wheat yields in a semi-arid environment using a crop-growth model. *Agricultural Systems*, 59, 57-66.
10. Doraiswamy, P. C., Moulin, S., Cook, P. W., & V., Stern. 2003. Crop yield assessment from remote sensing. Photo .
11. FAOSTAT. 2013. World agricultural data, <http://apps.fao.org/faostat/grammetric> Engineering and Remote Sensing, 69, 665-674.
12. FAO statistic. 2017. Available: [http:// faostat.fao.org/site/567/default.aspx](http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx).

13. FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation.
14. Food and Agricultural Organization. 1979. Report on agro-ecological zones project. Vol. 1: Methodology and result for Africa. World soil resources report No. 48, FAO, Rome.
15. Gomathi, R., P.N. 2015. Gururaja Rao, K. Chandran and A. Selvi: Adaptive responses of sugarcane to waterlogging stress: An overview. *Sugar Tech.*, 17, 325–338.
16. Jaiphong, T., J. Tominaga, K. Watanabe, R. Suwa, M. 2017. Ueno and Y. Kawamitsu: Changes in photosynthesis, growth and sugar content of commercial sugarcane cultivars and *Erianthus* under flood conditions. *Plant Prod. Sci.*, 20, 126–135.
17. Khiddir, S. M. 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation. Ph. D. Thesis, State university of Ghent, Belgium.
18. Lingle, S.E., Wiedenfeld, R.P., Irvine, J.E., 2000. Sugarcane response to saline irrigation water. *J. Plant Nutr.* 23, 469–486.
19. Lingle, S.E., Wiegand, C.L., 1997. Soil salinity and sugarcane juice quality. *Field Crop Res.* 54, 259–26.
20. Maas, E.V., Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance—current assessment. *J. Irrig. Drain. Div.*, ASCE 103, 115–134.
21. Maselli, F., & F, Rembold. 2001. Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African countries. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67, 593–60.
22. Minitab, I. 2014. MINITAB release 17: statistical software for windows. *Minitab Inc, USA*, 371.2.
23. Padilla, F.L.M. , Maas, S.J., Gonz M.P., lez-Dugo, F. Mansilla, N. Rajan, Gavil, P., and J. Donguez. 2012. Monitoring regional wheat yield in Southern Spain using the GRAMI model and satellite imagery. *Field Crops Research* 130, 145–154
24. Park, S.J., C.S. Hwang and P.L.G. Vlek 2005. Comparison of adaptive techniques to predict crop yield response under varying soil and land management conditions. *Agricultural Systems* 85(1): 59–81.
25. Pinter, P. J., Jackson, R. D., Idso, S. B., & Reginato, R. J. (1981). Multidate spectral reflectance as predictors of yield in water stressed wheat and barley. *International Journal of Remote Sensing*, 2, 43–48.
26. Ren, J. Q., Chen, Z. X., Zhou, Q. B., & H. J, Tang. 2008. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, 403–413.
27. Roetter, R.P., C.T. Hoanh, A.G. Laborte, H. Van Keulen, M.K. Van Ittersum, C. Dreiser, C.A. Van
28. Diepen, N. De Ridder and H.H. Van Laar 2005. Integration of Systems Network (SysNet) tools for regional land use scenario analysis in Asia. *Environmental Modeling & Software* 20(3): 291–307.
29. FAO. 1979. Report on the Agro-ecological Zones Projects: Vol. 1 , Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report N° 48, FAO, Rome, 251 pp.
30. FAO, 1981. Report on the Agro-ecological Zones Project. Vol. 3. Methodology and results for south and central America. World Soil Resource Report N° 48/3. FAO, Rome, 237 pp.
31. Rozeff, N., 1998. Sugarcane irrigation management. In: Rozeff, N., Amador, J.M., Irvine, J.E. (Eds.), *South Texas Sugarcane Production Handbook*. Texas A&M University Research & Extension Center at Weslaco, and Rio Grande Valley Sugar Growers Inc., Santa Rosa, TX.
32. Singh, S; Singh, S P; Pathak, A D; Pandey, N. 2019 Assessment of water logging induced physiobiochemical changes in sugarcane varieties and its association with water logging tolerance.

33. Arifin, J. 2017. *SPSS 24 untuk Penelitian dan Skripsi*. Elex Media Komputind.
34. Sys, C, E, Van Ranst. J. Debaveye. 1991. Land evaluation, Part I and II. General Administration for development cooperation, Brussels.
35. Sys, C, E, Van Ranst. J. Debaveye. 1991. Land evaluation, Part I and II. General Administration for development cooperation, Brussels.
36. Sys, C, E, Van Ranst. J. Debaveye. 1993. Land evaluation, Part III. Crop requirements. General Administration for development cooperation, Brussels.
37. Sys, C, E, Van Ranst. J. Debaveye. 1993. Land evaluation, Part III. Crop requirements. General Administration for development cooperation, Brussels.
38. Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M. T. A., Stöckle, C., & Steduto, P. (2009). Assessment of Aqua Crop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*, 101(3), 509-521.
39. Toscano, P., Ranieri, R., Matese, A. ., Vaccari, F.P., Gioli, B. A. Zaldeia, M. Silvestri, C. Ronchi, P. La Cava, J.R. Porter and F. Miglietta. 2012. Durum wheat modeling: The Delphi system, 11 years of observations in Italy. *Europ. J. Agronomy* 43 (2012) 108–118
40. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agriculture Handbook No. 60.
41. Viator, R. P., Jr. P. M. White, A. J. Hale and H. L. 2012. Waguespack: Screening for tolerance to periodic flooding for cane grown for sucrose and bioenergy. *Biomass Bioenergy*, 44, 56–63.
42. Wall, L., Larocque, D., & P. M., Leger. 2007. The early explanatory power of NDVI in crop yield modeling. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 2211–2225.
43. Wiedenfeld, B., Enciso, J., Fipps, G., Robinson, J., 2005. Irrigation of sugarcane in Texas. Texas Cooperative Extension and Texas Agricultural Experiment Station B-6156. p. 15
44. Wiegand, C., Anderson, G., Lingle, S., Escobar, D., 1996. Soil salinity effects on crop growth and yield—illustration of an analysis and mapping methodology for sugarcane. *J. Plant Physiol.* 148, 418–424
45. Wu, D., Q. Yu, C. Lu and H. Hengsdijk 2006. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. *European Journal of Agronomy* 24(3): 226-235.
46. Zhu, J., Zeng, W., Ma, T., Lei, G., Zha, Y., Fang, Y., & Huang, J. (2018). Testing and Improving the WOFOST Model for Sunflower Simulation on Saline Soils of Inner Mongolia, China. *Agronomy*, 8(9), 172.

اثر اگزالیک اسید و ورمی کمپوست بر انتقال کلوئیدی سرب در دو نوع بافت خاک

حسین شیرانی، حانیه گله‌داری و سمیه صدر¹

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

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ galedari@yaho.com

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

دریافت: 99/8/12 و پذیرش: 1400/4/20

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی انتقال سرب توسط کلوئیدها در دو خاک با بافت‌های لوم شنی و لوم رسی تحت تیمارهای ورمی کمپوست و اسید آلی انجام گرفت. این آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. این آزمایش با سه فاکتور شامل بافت خاک در دو سطح (لوم شنی و لوم رسی)، ماده‌ی افزودنی در پنج سطح (سطوح 50 و 1000 میکرومولار برای اگزالیک اسید، 1% و 2% وزنی برای ورمی کمپوست، و یک سطح صفر به عنوان شاهد) و مقدار آب آب‌شویی در 10 سطح (10 حجم منفذی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. ستون‌های خاک از جنس PVC با قطر داخلی 15 و ارتفاع 25 سانتی‌متر تهیه شدند و تیمارها به آن‌ها اضافه شد. آب‌شویی بر اساس اندازه‌گیری مکش خاک صورت گرفت. نتایج نشان داد در خاک لوم رسی با کاربرد ورمی کمپوست آب‌شویی کلوئید از خاک افزایش و سرب خروجی کاهش یافت. افزودن اسید آلی موجب افزایش آب‌شویی کلوئید از خاک شد البته تیمار 50 میکرومولار اسید آلی موجب کاهش معنی‌دار کلوئید خروجی نسبت به تیمار شاهد و تیمار 1000 میکرومولار اسید آلی شد. کم‌ترین خروج سرب در تیمار شاهد رخ داد و با افزایش غلظت اسید مقدار سرب خروجی ناشی از آب‌شویی افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین سه سطح از نظر خروج سرب وجود نداشت. در خاک لوم شنی بیش‌ترین میزان خروج کلوئید مربوط به تیمار شاهد است و افزودن ورمی کمپوست به میزان قابل توجهی از خروج کلوئید از خاک جلوگیری کرد که با روند خروج سرب از خاک مطابقت داشت. افزودن اسید آلی نیز موجب کاهش خروج کلوئید شد و بیش‌ترین میزان کلوئید خروجی در تیمار شاهد دیده شد که با روند خروج سرب از خاک مطابقت داشت. علاوه بر این، رابطه‌ی بین سرب و کلوئید خروجی در خاک لوم رسی معنی‌دار نشد اما در خاک لوم شنی معنی‌دار شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حرکت سرب به صورت محلول در خاک ریز یافت بسیار ناچیز و کم اهمیت است، اما با جذب به سطوح کلوئیدها، حرکت آن همراه با ذرات کلوئیدی حائز اهمیت بوده و بدین صورت می‌تواند موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی گردد.

واژه‌های کلیدی: آب‌شویی، حجم منفذی، رس مونت‌موریلونیت، جذب کلوئیدی سرب، سرب محلول

¹ نویسنده مسئول، آدرس: رفسنجان، دانشگاه پیام نور مرکز رفسنجان، گروه کشاورزی

مقدمه

یکی از شناخته شده‌ترین راه‌های آب‌شویی آلاینده‌های با قدرت جذب زیاد مانند حشره‌کش‌ها (اسپاراگو و همکاران، 2000؛ بارتون و کاراتاناسیس، 2003)، فلزهای سنگین (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) (کی و همکاران، 2014؛ لی و همکاران، 2019؛ وان و همکاران، 2019) و رادیو نوکلیدها (Cs, Pu, Am) (کی و همکاران، 2014)، انتقال آن‌ها توسط کلویدها است. فهم حرکت کلویدها برای دانستن مهاجرت آلاینده‌ها در خاک ضروری است. کلویدها ذراتی با قطر مؤثر 1 نانومتر تا 10 میکرومتر هستند (دنویو و همکاران، 2004؛ ین و همکاران، 2010) که حد پایینی آن مربوط به ذرات کمی بزرگ‌تر از ذرات درشت محلول و حد بالایی آن برابر قطر ذرات معلقی است که در برابر ته‌نشینی در آب مقاومت می‌کنند (دنویو و همکاران، 2004). با توجه به سطح ویژه‌ی زیاد کلویدها، آلاینده‌های با تمایل جذب بالا به فاز جامد، می‌توانند به آنها متصل شوند. بنابراین کلویدها می‌توانند به‌عنوان عاملی برای انتقال آلاینده‌ها در محیط‌های متخلخل محسوب شوند (پائولوسکا، 2017). این پدیده، با نام "انتقال کلوییدی تسهیل شونده‌ی"¹ آلاینده‌ها شناخته می‌شود.

ابقاء و انتقال کلوییدی در خاک وابسته به عوامل متعددی از جمله نوع ذرات کلوییدی، اندازه و توزیع شکل هندسی و پیوستگی سیستم منفذی فعال، شیمی محلول خاک، رطوبت و دمای خاک است (لئو و همکاران، 2018) همچنین، افزایش سرعت آب منفذی، موجب افزایش تنش برشی جریان و افزایش تحرک کلویدها می‌شود. پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که منافذ درشت ساختمانی می‌توانند مسیرهای جریان ترجیحی را برای آب و کلویدهای معلق در آن فراهم کنند (کاموبرکو و همکاران، 1996)

سرب یک فلز سنگین و سمی است که به‌دلیل تأثیر آن بر سلامت انسان و محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. شسته شدن سرب از خاک و ورود آن به آب‌های زیرزمینی، خطرات بالقوه‌ای را بر اکوسیستم‌ها و محیط زیست تحمیل می‌کند. بنابراین درک وضعیت تحرک سرب در خاک‌ها مهم است. معمولاً تصور می‌شود که تحرک سرب به‌دلیل حلالیت کم و پیوند آن با ذرات در محیط خاک کم است. با این حال مطالعات متعددی نشان می‌دهد که کلویدها می‌توانند تحرک سرب را در خاک افزایش دهند (ین و همکاران، 2010). این عنصر

مانند برخی دیگر از فلزات سنگین توسط کلویدها جذب سطحی شده و همراه با آن‌ها به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شوند (گوناریس، 1993؛ بائون و کریستنسن، 2004). کلویدها در محیط‌های طبیعی شامل سیلیکات‌های رسی، مواد آلی، متابولیت‌های میکروبی، اکسیدهای آهن و آلومینوم و رسوبات معدنی هستند (مکارتی و همکاران، 1989).

از تجزیه مواد آلی، متابولیت‌های میکروبی و ترشحات ریشه گیاهان و قارچ‌ها، اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم (اسیدهای کربوکسیلیک) حاصل می‌شود. از جمله‌ی این اسیدها در خاک اگزالیک اسید است که به میزان بیش‌تری نسبت به سایر اسیدها در خاک وجود دارد و بر حرکت عناصر در خاک تأثیر می‌گذارد. این اسیدها می‌توانند از طریق هم‌آوری گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل با کاتیون‌های فلزی در خاک، بر وضعیت انتقال این عناصر در خاک اثر بگذارند (استروبل، 2001). با توجه به نقش مهم کلویدها در انتقال آلاینده‌ها در خاک و نظر به اینکه مطالعات در خصوص اثر ترکیباتی مانند اسیدهای آلی بر انتقال کلویدها و سرب چندان زیاد نیست، انجام پژوهش‌هایی بر روی انتقال کلویدها در خاک تحت تیمارهای مختلف مفید به‌نظر می‌رسد. از آنجا که ورمی‌کمپوست به عنوان یک اصلاح‌کننده و یک کود آلی بیولوژیکی، خاک را با مواد مغذی غنی می‌کند و می‌تواند با تغییر تخلخل و تقسیم منافذ در نتیجه افزایش کربن آلی، انتقال کلوییدی درون خاک را اصلاح کند (لنارتز و همکاران، 2007) لذا در این پژوهش، به بررسی اثر ورمی‌کمپوست و اگزالیک اسید بر انتقال کلوییدی سرب در دو نوع خاک ریزبافت و درشت‌بافت در مقادیر آب‌شویی یا حجم‌های منفذی² مختلف پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو نوع خاک با بافت لوم شنی (شهرستان ارزوئیه، منطقه‌ی دولت‌آباد) و لوم رسی (از شهرستان بافت، منطقه‌ی حسن‌آباد) در استان کرمان انجام گرفت. خاک‌ها از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری تهیه شد و پس از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول 1).

² pore volume¹ Colloid-facilitated transport of contaminants

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده (پیش از شروع آزمایش)

منبع	لوم رسی	لوم شنی	روش اندازه‌گیری	خصوصیات
	30	10		رس (درصد)
(Bouyoucos, 1951)	40	4	هیدرومتر	سیلت (درصد)
	30	86		شن (درصد)
(Clark, 1965)	21	17/5	خنثی سازی با HCl	کربنات کلسیم معادل (درصد)
(Rhoades, 1996)	1/7	1/1	EC متر ¹	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
	1/2	1/3	سیلندر	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
(Thomas, 1996)	8	7/8	pH متر ²	pH
(Chapman, 1965)	33/5	23/4	جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)
(Walkley and Black, 1934)	0/7	0/5	هضم تر	درصد ماده آلی

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

آماده‌سازی ستون‌های خاک

تأثیر تیمارها بر خواص خاک بهتر اعمال شود. پس از پایان دوره استراحت ستونها، سوسپانسیون کلئید با حجم 0/1 حجم منفذی به سطح خاک خشک افزوده شد.

برای تهیه سوسپانسیون کلئید محلولی حاوی 100 میلی‌گرم بر لیتر سرب از منبع نمک نیترات سرب ساخته شد. سپس به ازای هر کیلوگرم خاک، 300 میلی‌گرم کلئید (رس مونت‌موریلونیت) به محلول اضافه و برای مدت 24 ساعت و با سرعت 150 دور بر دقیقه تکان داده شد (تانگ و ویسبرود، 2009). مونت‌موریلونیت یک کانی رسی فیلوسیلیکات از گروه اسمکتیت‌ها است که دارای شکل بشقابی با میانگین قطری نزدیک به یک میکرومتر می‌باشد. این کانی از رس‌هایی است که سطح ویژه و فعالیت کلئیدی زیادی دارد. ویژگی‌های سطحی مونت‌موریلونیت مانند نقطه‌ی بار صفر (ZPC)، تراکم بار سطحی، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، گروه‌های عاملی سطحی و برهم‌کنش آن با یون‌های محلول در آب، موجب شده است که در تثبیت فلزات اهمیت ویژه‌ای داشته باشد (بهاتاچاریا و گوپتا، 2008).

پس از اضافه کردن سوسپانسیون آبیاری بر اساس مکش خاک انجام گرفت. بدین صورت که دو تانسومتر در ستون‌های شاهد حاوی دو نوع بافت خاک نصب گردید و هر گاه مقدار مکش خاک به حدود 80 سانتی‌بار می‌رسید، آبیاری به مقدار یک حجم منفذی (حدود 2400 میلی‌لیتر برای خاک لوم رسی و 2250 میلی‌لیتر برای خاک لوم شنی) انجام می‌شد. آبیاری ستون‌ها به صورت متناوب غرقابی

این پژوهش بر روی ستون‌های خاک دست‌خورده انجام شد. ستون‌های خاک از لوله‌های PVC با قطر داخلی 15 و ارتفاع 25 سانتی‌متر ساخته شدند. برای رسیدن وضعیت خاک درون ستون به چگالی ظاهری خاک در مزرعه، پر کردن ستون‌ها به صورت لایه لایه انجام گرفت. به این صورت که ابتدا با داشتن وزن مخصوص ظاهری و حجم ستون، مقدار کل خاک برای پر کردن ستون محاسبه شد. سپس ستون‌ها به سه قسمت 10، 10 و 5 سانتی‌متری تقسیم شدند. حجم ستون در این سه قسمت به صورت جداگانه محاسبه و برای هر قسمت با توجه به حجم و وزن مخصوص ظاهری، وزن خاک به دست آمد و در ستون ریخته شد، به گونه‌ای که خاک تا ارتفاع مورد نظر را پر کند و اگر سطح خاک بالاتر از این ارتفاع بود، فشرده سازی روی سطح خاک انجام شد. برای یکنواخت شدن ستون و جلوگیری از ایجاد حالت لایه‌لایه در خاک، سطح هر لایه خراشیده می‌شد. همچنین به منظور جلوگیری از به وجود آمدن جریان ترجیحی از طریق دیواره‌ی ستون، محیط دیواره با استفاده از پارافین عایق‌بندی شد (هاشمی نژاد و غلامی، 2008). در این مرحله تیمارهای ورمی‌کمپوست با دو غلظت 1 و 2 درصد و اگزالیک اسید با دو غلظت 50 و 1000 میکرومولار به خاک اضافه و با آن مخلوط شد و ستون‌ها به آرامی با خاک پر شد. همچنین، انتهای ستون‌های خاک به کمک یک توری ریز محکم بسته شد و ستون‌های خاک به مدت یک ماه در همین شرایط نگهداری شد و فقط چهار روز یک بار، مقدار کمی آب توسط پیست به ستون‌ها اضافه گردید که

محتویات آن از کاغذ صافی عبور داده شد و عصاره در بالن والیومتریکی 100 میلی‌لیتری با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شد و غلظت سرب با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل آوانتا جی بی سی) تعیین گردید. مقدار سرب محلول برای تمامی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی نیز قرائت شد، اما مقدار آن زیر حد تشخیص دستگاه برای تمامی نمونه‌ها بود لذا مطالعات بر روی سرب کل ادامه پیدا کرد.

رسم منحنی رخنه

رسم منحنی غلظت مایع خروجی از ستون خاک نسبت به حجم منافذ را منحنی رخنه می‌نامند (بیگار و نیلسن، 1976). برای رسم منحنی رخنه، غلظت سرب کل منتقل شده توسط کلوئیدها (C) بر مقدار سرب اولیه (C_0) که به ستون‌ها اضافه شده بود (100 میلی‌گرم بر لیتر) تقسیم گردید تا مقدار غلظت نسبی (C/C_0) به دست آید. همین کار برای رسم منحنی رخنه کلوئید نیز انجام گرفت. داده‌های به دست آمده از کدورت سنج ابتدا از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت. برای نرمال کردن داده‌های کلوئید ابتدا از آن‌ها جذر گرفته و سپس لگاریتم این اعداد محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد با تقسیم غلظت کلوئید خروجی (بر حسب NTU) (C) بر مقدار کلوئید اضافه شده به هر ستون خاک (C_0)، مقدار غلظت نسبی بر حسب NTU/g به دست آمد.

نتایج

نتایج تجزیه‌ی واریانس مربوط به انتقال سرب و کلوئید در خاک، در جدول (3) آورده شده است. ضریب تغییرات در مطالعه حاضر با توجه به جدول تجزیه واریانس معادل 15/2 و 12/5 درصد است که به ترتیب مربوط به خروج سرب و کلوئید در ستونهای خاک است. در این تجزیه واریانس، بافت خاک دارای دو سطح لوم رسی و لوم شنی است. ماده‌ی افزودنی شامل سطوح مختلف اسید آلی و ورمی کمپوست می‌شود و پنج سطح دارد. حجم منفذی تعداد دفعات آب‌شویی است و ده سطح دارد. با توجه به جدول آنالیز واریانس مربوط به این داده‌ها و معنی‌دار شدن اثر سه‌جانبه‌ی بین فاکتورها، منحنی‌های رخنه برای هر دو نوع خاک و تحت تیمارهای مختلف رسم گردید.

(مشابه آبیاری اراضی کشاورزی منطقه) انجام شد و تا 10 حجم منفذی ادامه یافت. برای آبیاری از آبی با EC مشابه آب آبیاری منطقه‌ی نمونه‌برداری استفاده شد و در هر مرحله از آبیاری، زه‌آب از انتهای ستون جمع‌آوری گردید.

طرح آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل با سه فاکتور شامل بافت خاک در دو سطح (لوم شنی و لوم رسی)، ماده‌ی افزودنی در پنج سطح (سطوح 50 و 1000 میکرومولار برای اگزالیک اسید، یک و دو درصد وزنی برای ورمی کمپوست و یک سطح صفر بدون ماده افزودنی شامل کلوئید) و مقدار آب آب‌شویی در 10 سطح (10 حجم منفذی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. همچنین دو ستون برای نصب تانسومتر و اندازه‌گیری مکش خاک و تعیین زمان آبیاری برای هر نوع بافت خاک در نظر گرفته شدند.

تعیین کدورت زه آب

میزان کدورت نمونه‌های زه‌آب جمع‌آوری شده در هر مرحله آب‌شویی با استفاده از دستگاه توربیدیتر تعیین گردید. به این منظور، حدود 30 میلی‌لیتر از نمونه‌ها درون ویال‌های مخصوص دستگاه ریخته شد و برای رسیدن به تعادل، پنج دقیقه به حالت سکون قرار داده شدند و سپس کدورت قرائت شد. مقدار کلوئید اندازه‌گیری شده توسط توربیدیتر با واحدی به نام NTU (Nephelometric Turbidity) Unit بیان می‌شود که نشان‌دهنده‌ی غلظت ذرات کلوئیدی در زه‌آب می‌باشد (نگ و همکاران، 2015).

تعیین سرب کل

نمونه‌های جمع‌آوری شده از هر مرحله از آب‌شویی، در آون در دمای 105 درجه‌ی سلسیوس به مدت 24 ساعت خشک شدند. سپس کلوئیدهای باقی مانده، توزین و درون لوله‌های مربوط به دستگاه هضم ریخته شد. 25 میلی‌لیتر عصاره‌گیر آکوآرژیا (مخلوط 3:1 اسید کلریدریک 37 درصد + اسید نیتریک 65 درصد) به کلوئید موجود در لوله‌ها اضافه گردید و دهانه‌ی لوله‌ها با پارافیلیم پوشانده و به مدت یک شبانه‌روز نگهداری شدند. سپس عمل هضم به مدت دو ساعت و در دمای 150 درجه‌ی سلسیوس انجام شد. پس از خنک شدن لوله‌ها

جدول 3- جدول تجزیه واریانس مربوط به داده های انتقال سرب و کلونید در خاک

سرب					متغیر
Sig.	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
0/795	0/07	3/26	3/26	1	بافت خاک
0/000	14/06	673/79	2695/17	4	ماده‌ی افزودنی
0/000	12/12	580/50	5224/52	9	حجم منفذی
0/002	4/53	216/88	867/52	4	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی
0/000	4/64	222/11	1999/01	9	بافت خاک × حجم منفذی
0/000	3/19	152/88	5503/73	36	ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
0/007	1/78	85/25	3068/90	36	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
		15/2			ضریب تغییرات
کلونید					متغیر
0/000	441/28	4/14693	4/14693	1	بافت خاک
0/000	52/04	0/48903	1/95611	4	ماده‌ی افزودنی
0/000	83/79	0/78741	7/08667	9	حجم منفذی
0/000	151/93	0/42755	5/71102	4	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی
0/000	18/53	0/17412	1/56710	9	بافت خاک × حجم منفذی
0/000	4/27	0/04012	1/44449	36	ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
0/000	9/15	0/08596	3/09451	36	بافت خاک × ماده‌ی افزودنی × حجم منفذی
		12/5			ضریب تغییرات

*: اختلاف در سطح 0/05 معنی دار است.

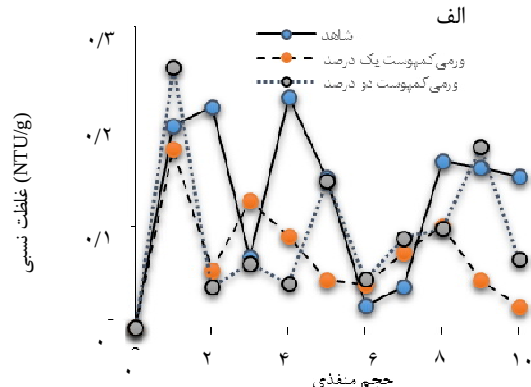
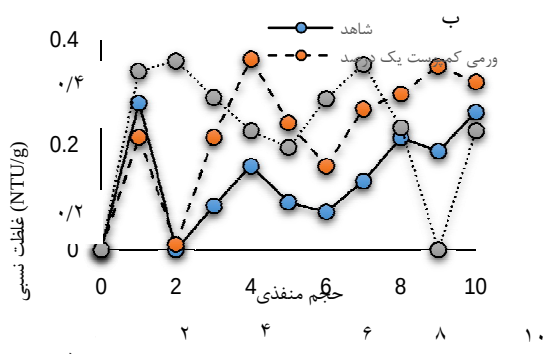
مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای مختلف

در خاک لوم رسی

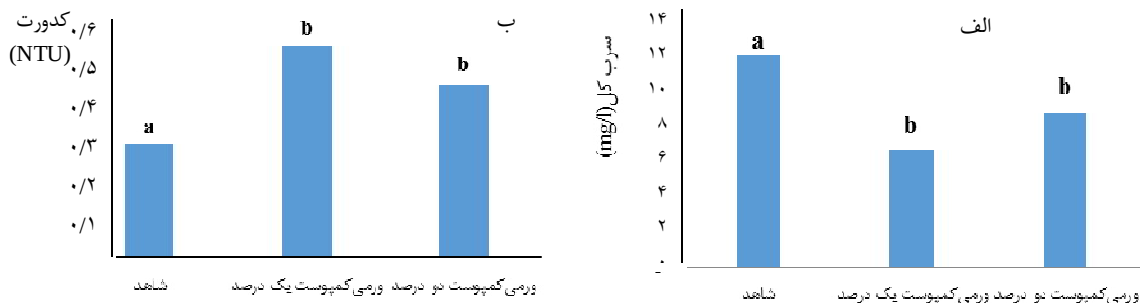
تیمار ورمی کمپوست

همان‌طور که در شکل (1- الف) دیده می‌شود، بیش‌ترین مقدار خروج سرب از خاک، در هر دو تیمار ورمی کمپوست در حجم منفذی اول اتفاق افتاده است و با افزایش آب‌شویی، مقدار سرب خروجی کاهش پیدا کرده است. نمودار دارای چندین نقطه‌ی بیشینه و کمینه است. علت این امر می‌تواند مربوط به وجود جریان

ترجیحی (PF) در خاک باشد. شکل (1- ب) نشان می‌دهد که با کاربرد ورمی کمپوست در خاک، مقدار خروج و آب‌شویی کلونید از خاک افزایش یافت. شکل (2- الف) نشان می‌دهد که خروج سرب در تیمار شاهد بیش‌تر است و افزودن ورمی کمپوست، مقدار سرب خروجی را نسبت به شاهد کاهش داده است. این روند با روند خروج کلونید از خاک تحت تیمار ورمی کمپوست مطابقت ندارد (شکل 2- ب).



شکل 1- منحنی‌های رخنه خروج الف. سرب و ب. کلونید مربوط به سطوح مختلف ورمی کمپوست در خاک لوم رسی

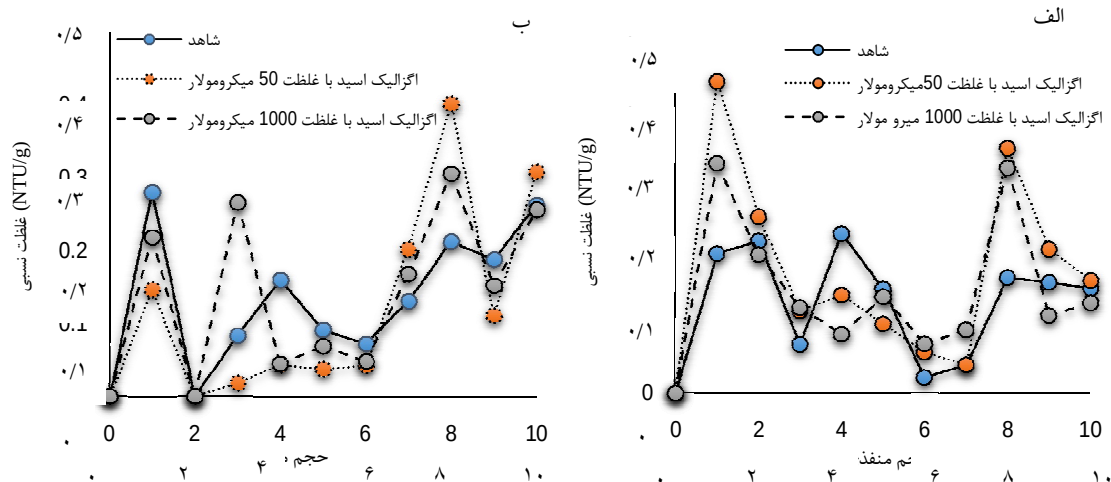


شکل 2- مقدار میانگین الف، سرب و ب، کلونید خروجی در تیمار ورمی کمپوست در خاک لوم رسی بعد از 10 حجم منفذی آبشویی

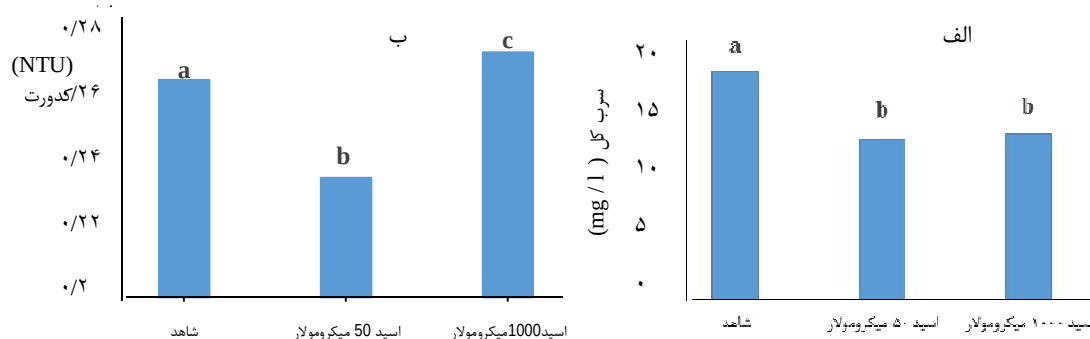
تیمار اسید آلی

با توجه به شکل (3-ب) افزودن اسید آلی به خاک نیز همانند تیمار ورمی کمپوست، موجب افزایش آبشویی کلونید در خاک لوم رسی شده است. همچنین تیمار 50 میکرومولار اسید آلی موجب کاهش معنی دار کلونید خروجی نسبت به شاهد و تیمار 1000 میکرومولار اسید آلی شده است (شکل 4).

کمترین خروج سرب در تیمار شاهد رخ داد و با افزایش اگزالیک اسید، مقدار سرب خروجی ناشی از آبشویی افزایش یافت (شکل 3-الف) اما پس از پایان آبشویی تفاوت معنی داری بین سه سطح اسید آلی از نظر خروج سرب وجود نداشت لذا از وارد کردن نمودار مربوطه صرف نظر شد.



شکل 3- منحنی های رخنه خروج الف، سرب و ب، کلونید مربوط به سطوح مختلف اسید آلی در خاک لوم رسی



شکل 4- مقدار میانگین الف، سرب و ب، کلونید خروجی در تیمار اسید آلی در خاک لوم رسی بعد از 10 حجم منفذی آبشویی

مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای مختلف

در خاک لوم شنی

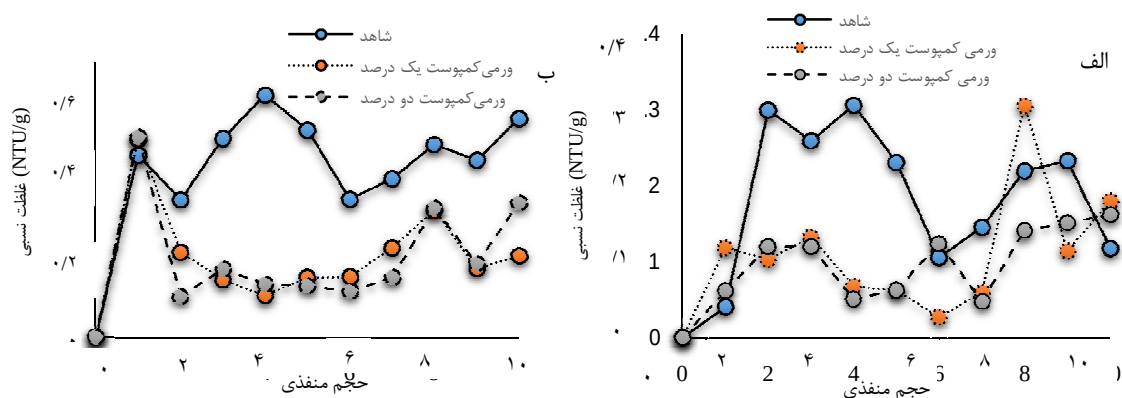
تیمار ورمی کمپوست

کاسته شده است (کرسنسن، 2001). مطابق نتایج حاصل از بررسی شکل (5-ب) به‌طور کلی با افزایش آبشویی، ابتدا روند افزایشی در خروج کلونید از ستون خاک لوم شنی دیده می‌شود و سپس روند کاهشی با افزایش آبشویی از مقدار حجم منفذی چهار به بعد مشاهده گردید. در واقع این روند در منحنی‌های رخنه‌ی خاک‌های همگن دیده می‌شود. خاک لوم شنی به‌علت درشت بافت بودن، همگنی بیشتری از نظر توزیع اندازه ذرات و منافذ را دارا است (شلده و همکاران، 2006).

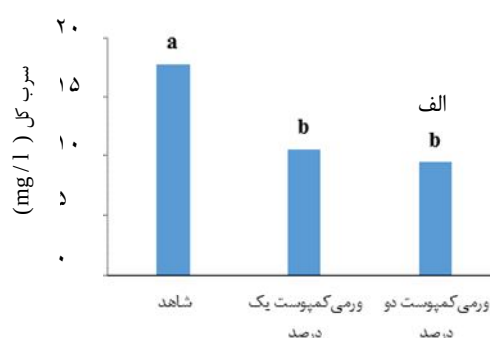
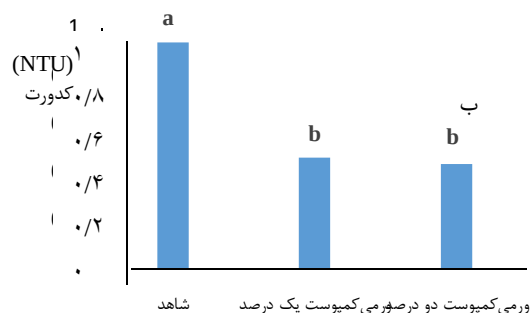
با توجه به شکل (6 - الف) کم‌ترین میزان خروج سرب مربوط به تیمارهای ورمی کمپوست و بیش‌ترین میزان خروج مربوط به تیمار شاهد است. ایجاد کمپلکس سه گانه بین ماده‌ی آلی، ذرات خاک و سرب منجر به کاهش خروج سرب از خاک شده است (کرسنسن، 2001). نظر به این‌که مقدار سرب محلول آبشویی شده از ستون‌های خاک بسیار ناچیز بود (زیر حد تشخیص دستگاه)، انتظار می‌رود که بخش اعظم سرب به‌همراه کلونید خارج شده باشد. با توجه به شکل (6-ب) بیش‌ترین میزان کلونید خروجی مربوط به تیمار شاهد است و افزودن ورمی کمپوست به‌میزان قابل توجهی از خروج کلونید از خاک جلوگیری کرده است. اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف ورمی کمپوست دیده نشد.

با توجه به شکل (5-الف) کم‌ترین میزان خروج سرب در حجم منفذی اول سه منحنی دیده می‌شود، تا حجم منفذی هفت، خروج سرب کل ابتدا کمی زیاد و سپس به صورت تدریجی کاهش می‌یابد. ولی ناگهان در حجم منفذی هشتم یک افزایش ناگهانی در خروج سرب از ستون خاک دیده می‌شود. این روند بیانگر کم تأثیر بودن جریان ترجیحی بر حرکت سرب در خاک می‌باشد. به‌گونه‌ای که در مقدار آبشویی بالا (حجم منفذی 8) پیک سرب به انتهای ستون خاک رسیده و خارج شده است. در مقایسه با منحنی رخنه‌ی خاک لوم رسی، مشاهده می‌شود که در این بافت (لوم شنی) نوسانات سرب خروجی خیلی کم‌تر است و روند منظم‌تری با افزایش آبشویی مشاهده می‌شود (ابتدا افزایش و سپس کاهش).

با توجه به شکل (5-الف) کم‌ترین خروجی سرب در حجم منفذی هفت دیده می‌شود. مقدار سرب خروجی نسبت به تیمار ورمی کمپوست یک درصد کاهش یافت. احتمالاً وقتی مقدار ورمی کمپوست در خاک افزایش یافته است، تشکیل کمپلکس سه‌گانه بین سرب، ماده‌ی آلی و کلونید افزایش یافته و از خروج سرب



شکل 5- منحنی‌های رخنه خروج الف، سرب و ب، کلوئید مربوط به سطوح مختلف ورمی کمپوست در خاک لوم شنی

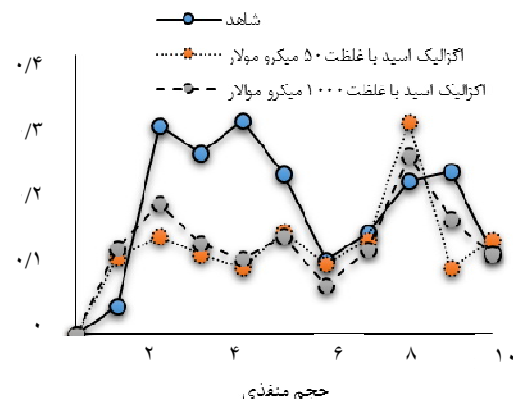
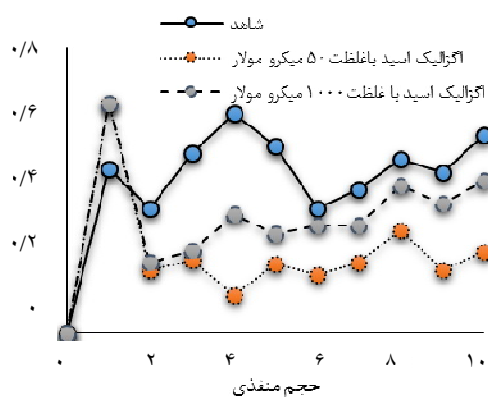


شکل 6- مقدار میانگین الف، سرب و ب، کلوئید خروجی در تیمار ورمی کمپوست در خاک لوم شنی بعد از 10 حجم منفذی آب شویی

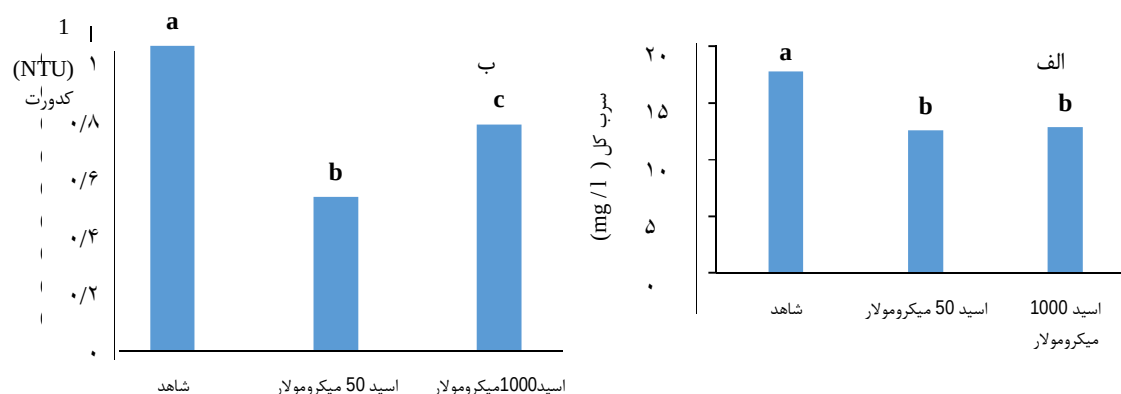
تیمار اسید آلی

رسوب اگزالات سرب در خاک اتفاق افتاده و خروج سرب از خاک کاهش یافته است. همچنین احتمالاً تشکیل رسوب اگزالات کلسیم منجر به هم‌آوری کلوئیدها شده و از خروج آن‌ها از خاک جلوگیری کرده است.

بر طبق شکل‌های (7-الف و ب) مشاهده می‌شود که با افزایش اسید آلی، خروج سرب کل و کلوئید از ستون خاک لوم شنی کاهش یافته است. احتمالاً تشکیل



شکل 7- منحنی‌های رخنه‌ی الف، سرب و ب، کلوئید مربوط به سطوح مختلف اسید آلی در خاک لوم شنی



شکل 8- مقدار میانگین الف، سرب خروجی و ب کلئید در تیمار اسید آلی در خاک لوم شنی بعد از 10 حجم منفذی آب‌شویی

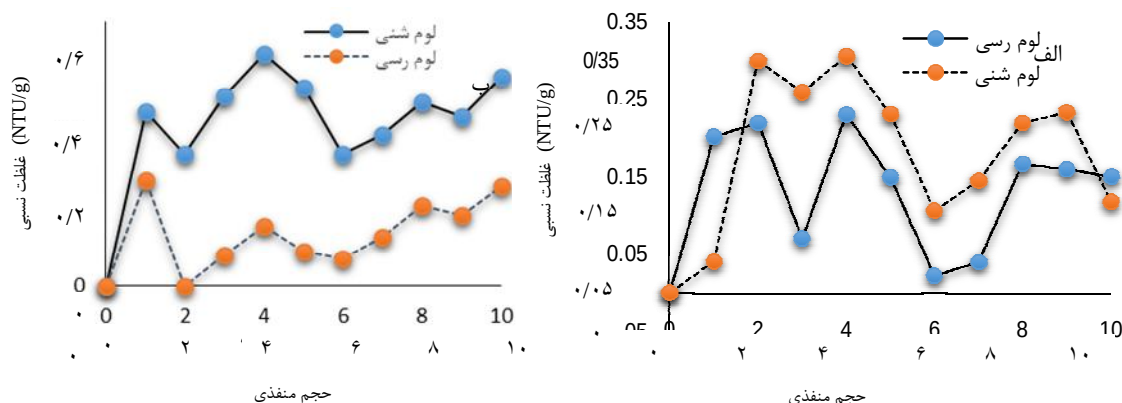
مقایسه‌ی تیمار شاهد در انتقال سرب و کلئید در دو

خاک لوم رسی و لوم شنی

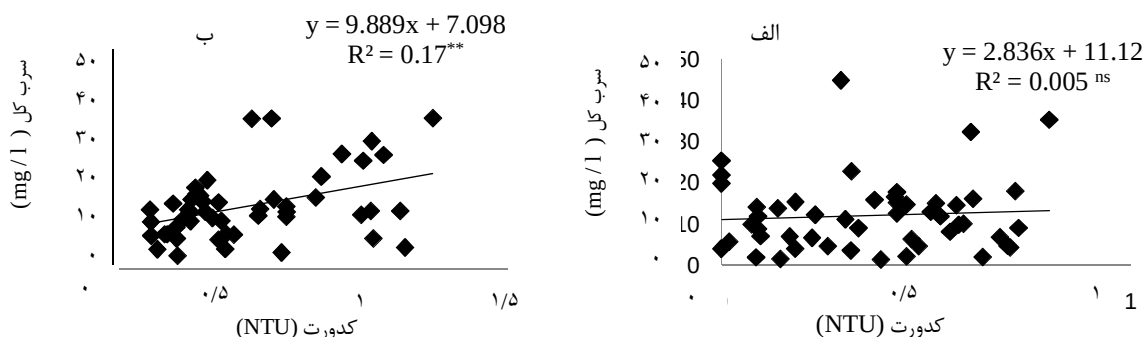
با توجه به شکل (9-الف) به‌جز در حجم منفذی‌های اول و دهم، در تمام حجم منفذی‌ها، میزان سرب خروجی در خاک لوم شنی بیشتر از لوم رسی بود. با توجه به شکل (9-ب) میزان آب‌شویی کلئیدها در خاک لوم شنی بیشتر از لوم رسی است. دلیل این امر مربوط به توزیع اندازه‌ی منافذ درشت‌تر خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی می‌باشد.

تعیین رابطه‌ی بین مقدار سرب و کلئید آب‌شویی شده در دو نوع بافت خاک

شکل 10 رابطه بین مقدار سرب و کلئید را نشان می‌دهد. در در خاک لوم رسی، همبستگی معنی‌داری بین سرب و کلئید در مقادیر مختلف آب آب‌شویی دیده نشد ($P > 0.05$) (شکل 10- الف).



شکل 9- منحنی‌های رخنه‌ی الف، سرب و ب، کلئید مربوط به تیمار شاهد در دو خاک لوم رسی و لوم شنی



شکل 10- رابطه بین سرب و کلوئید در خاک الف. لوم رسی و ب. لوم شنی برای تمامی تیمارها

با افزودن ورمی کمپوست به خاک، اگرچه خروج کلوئید نسبت به شاهد افزایش یافت، ولی مقدار سرب خروجی کاهش پیدا کرد. احتمالاً تشکیل کمپلکس سه گانه بین فلز، ماده‌ی آلی و کلوئید موجب کاهش خروج سرب از خاک شده است و کلوئیدی خروجی در اثر افزایش ورمی کمپوست به خاک، شامل کلوئیدی است که با سرب پیوند نداشته است و شامل کلوئید موجود در کمپلکس سه گانه نیست. محققان انتقال مس را در ستون‌های خاک و در حضور ماده‌ی آلی بررسی کرده و نشان دادند که حضور ماده‌ی آلی و pH بالا، منجر به کاهش سهولت انتقال مس در ستون خاک شد (جونز و سو، 2012).

اسید آلی در آبشویی کلوئیدهای خاک لوم رسی نقشی مشابه ورمی کمپوست نشان داد. دلیل آن می‌تواند مربوط به تشکیل شدن خاکدانه در اثر افزودن اسید آلی (وانگ، 2015) و پدیدار شدن منافذ درشت‌تر در خاک باشد. البته کاهش معنی‌دار کلوئید خروجی نسبت به شاهد در تیمار 50 میکرومولار اسید آلی را می‌توان به این شکل توجیه کرد که احتمالاً سطح 50 میکرومولار نتوانسته است بر ایجاد تخلخل در خاک لوم رسی تأثیر چندانی داشته باشد و این مقدار اسید آلی موجب به هم چسبیدن ذرات کلوئید و درشت‌تر شدن آن‌ها شده است، به‌طوری‌که از تحرک آن‌ها کاسته شده است. در سطح 1000 میکرومولار خروج کلوئید بیش‌تر از تیمار شاهد و 50 میکرومولار است. سلوئی و همکاران (2006) این روند را در مطالعات خود مشاهده کردند و اظهار داشتند که اسید آلی در غلظت زیاد، منجر به انحلال عوامل سیمان کننده بین ذرات کلوئیدی ذاتی خاک شده و باعث خروج بیش‌تر کلوئید نسبت به تیمار شاهد شده است.

در خاک لوم شنی (شکل 10- ب) رابطه‌ی بین سرب و کلوئید آبشویی شده در سطح یک درصد آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). اگرچه ضریب تبیین (R^2) برابر 0/17 بوده که چندان زیاد نیست.

بحث و نتیجه‌گیری کلی

مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای

مختلف در خاک لوم رسی

در این مطالعه وجود جریان ترجیحی (PF) در خاک، عامل بیش‌تر بودن مقدار خروج سرب از خاک در حجم منفذی اول تیمارهای ورمی کمپوست معرفی شد. در خاک‌های رسی به دلیل بالا بودن مقدار رس، میزان انبساط و انقباض زیاد است. لذا وجود درز و شکاف‌های بسیار در این خاک‌ها که در اثر خشک شدن پدید می‌آید، سبب ایجاد یک جریان از بین منافذ درشت خاک شده و بنابراین میزان سرب بیش‌تری از خاک شسته می‌شود. در پژوهشی، انتقال کادمیم همراه با کلوئیدهای خاک و مواد آلی محلول در سطح مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که انتقال کلوئیدها و کادمیم همراه با آن‌ها در اثر جریان‌های ترجیحی قابل توجه بود (لی و ژو، 2010). در مطالعه حاضر مشاهده شد که در خاک‌های لوم رسی به دلیل تشکیل خاکدانه و وجود منافذ درشت‌تر در این خاک مقدار خروج و آبشویی کلوئیدهای ذاتی از خاک افزایش داشت. ورمی کمپوست علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک و ویژگی‌هایی شیمیایی، بر خواص فیزیکی خاک نیز تأثیر دارد (اکساکال، 2016) در واقع مواد آلی می‌تواند با انعقاد ذرات کلوئیدی، از انتشار آن‌ها در خاک بکاهد ولی از آنجا که در خاک‌های ریزبافت در اثر کاربرد ماده‌ی آلی منافذ درشتی تشکیل می‌شود، لذا با افزایش ورمی کمپوست به خاک، درکل مقدار کلوئید خروجی افزایش یافته است.

مقایسه‌ی روند منحنی‌های رخنه تحت تیمارهای مختلف در خاک لوم شنی

در بافت لوم شنی نوسانات سرب خروجی خیلی کم‌تر از خاک لوم رسی گزارش شد دلایل این امر، مربوط به تأثیر خیلی کم‌تر جریان ترجیحی در بافت لوم شنی بر حرکت سرب کل است. هرچه خاک درشت‌تر بافت‌تر باشد، نقش جریان‌های ترجیحی در انتقال مواد و آب در آن کم‌تر است. در مقابل، در خاک‌های ریز بافت، جریان‌های ترجیحی یکی از عوامل مهم در انتقال آب و مواد در خاک محسوب می‌شوند. زیرا معمولاً در خاک‌های درشت بافت احتمال تشکیل درز و شکاف و منافذ درشت ساختمانی کم‌تر است. ضمن این‌که خاک‌های درشت بافت، خود منافذ درشت‌تری داشته و همگنی بیش‌تری دارند (نهوتا و همکاران، 2005).

در رابطه با نقش ورمی‌کمپوست در خاک‌های لوم شنی، به نظر می‌رسد که تیمارهای ورمی‌کمپوست تأثیر چندانی بر توزیع منافذ خاک لوم شنی نداشته است. دلیل آن می‌تواند این‌گونه باشد که مواد آلی با تجزیه‌ی تدریجی در خاک، منجر به تولید یک‌سری متابولیت‌ها در خاک شده که سبب چسبندگی کلونیدها به یکدیگر شده است (ژانگ و سلیم، 2007). احتمالاً با افزایش فشار گاز دی‌اکسید کربن، حلالیت ترکیبات معدنی حاوی کلسیم در خاک افزایش یافته، که با توجه به نقش کلسیم به‌عنوان عامل منعقدکننده‌ی ذرات رس، انتظار می‌رود پراکنش کلونیدها کاهش یابد که با نتایج (بارال و همکاران، 2007) مطابقت دارد.

در خاک لوم شنی با توجه به بافت نسبتاً درشت، انتظار می‌رود که مقدار کلونید ذاتی خیلی کم‌تری داشته باشد. هم‌چنین با توجه به منافذ درشت‌تر نسبت به خاک لوم رسی، تأثیر ورمی‌کمپوست بر ایجاد تخلخل درشت در آن قابل توجه نیست. ولی مقدار چشم‌گیری از کلونید اضافه شده به این خاک، توسط ماده‌ی آلی انعقاد یافته و خروج کلونید از منافذ خاک کاهش یافته است. به بیان دیگر تشکیل کمپلکس سه‌گانه بین سرب، ماده‌ی آلی و کلونید اضافه شده به خاک، از خروج کلونیدها از خاک جلوگیری کرده است (کریستنسن، 2001).

مقایسه‌ی تیمار شاهد در انتقال سرب و کلونید در دو خاک لوم رسی و لوم شنی

با توجه به شکل (8-الف) به‌جز در حجم‌های منفذی اول و دهم، در تمام حجم‌های منفذی میزان سرب خروجی در خاک لوم شنی بیش‌تر از لوم رسی بود. خاک شنی به‌دلیل داشتن منافذ درشت‌تر، جریان آب و انتقال مواد در آن بیش‌تر است (وانگ و همکاران، 2020). با

افزایش رس، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد می‌شود (ژائو و همکاران، 2018). بنابراین در خاک لوم رسی به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بیش‌تر، احتمالاً بخشی از سرب در فاز تبدلی (رس غیر قابل انتشار) محبوس شده و خروج آن از خاک کم‌تر بوده است. هم‌چنین در خاک لوم رسی، احتمالاً بخش قابل توجهی از کلونید خروجی مربوط به کلونید خود خاک بوده که پیوند کم‌تری با سرب برقرار نموده است.

با توجه به شکل (8-ب) میزان آب‌شویی کلونیدها در خاک لوم شنی بیش‌تر از لوم رسی است. دلیل این امر مربوط به توزیع اندازه‌ی منافذ درشت‌تر خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی می‌باشد. در خاک‌های با منافذ درشت و به‌هم پیوسته‌ی بیش‌تر، مقدار کلونید خروجی نیز بیش‌تر است. اگرچه مقدار کلونید خاک لوم رسی بیش‌تر از خاک لوم شنی است (به‌علت بافت ریزتر)، ولی مقدار کلونید خروجی آن به‌دلیل داشتن منافذ به‌مراتب ریزتر، نسبت به خاک لوم شنی (با منافذ درشت)، کم‌تر است (دیژانگ و همکاران، 2004؛ مولنار و همکاران، 2015). محققان بیان کردند که خاک دارای مقدار کلونید بیش‌تر، الزاماً در معرض آب‌شویی بیش‌تر کلونید قرار ندارد (پولسن و همکاران، 2006).

تعیین رابطه‌ی بین مقدار سرب و کلونید آب‌شویی شده در دو نوع بافت خاک

دلیل نبود رابطه‌ی معنی‌دار بین سرب و کلونید خروجی در کل تیمارهای اعمال شده را می‌تواند به مقدار کلونید ذاتی بیش‌تر خاک لوم رسی (به غیر از کلونید اضافه شده) ارتباط داد احتمالاً به این دلیل مقدار کلونید خروجی متناسب با سرب خروجی نبود. از طرفی به‌علت ظرفیت تبادل کاتیونی بیش‌تر خاک لوم رسی بخشی از سرب در فاز تبدلی (رس پراکنده نشده) جذب شده و خارج نمی‌شود و با مقدار کلونید خروجی رابطه‌ی مناسبی نشان نداده است (مولنار و همکاران، 2015). البته به‌علت تأثیر قابل توجه تیمارهای ورمی‌کمپوست و اسید آلی بر خروج کلونید و سرب در خاک لوم رسی، همبستگی در کل تیمارها بین این دو صفت زیاد نیست.

دلیل پایین بودن ضریب تبیین می‌تواند مربوط به اثر تیمارهای ورمی‌کمپوست و اسید آلی بر کلونید و سرب خروجی باشد. با توجه به این‌که رگرسیون برای تمامی تیمارها انجام شده است موجب کاهش R^2 گردیده است. البته با توجه به تأثیر کم‌تر تیمارهای گفته شده بر کلونید و سرب آب‌شویی شده نسبت به خاک لوم رسی، این رابطه کاملاً از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. ضمن این‌که در خاک لوم شنی با توجه به ظرفیت تبدلی کم و مقدار

خاک کاهش یافت و روند مشابهی نیز در تیمار اسید آلی دیده شد. به طور کلی این تحقیق نشان داد که حرکت سرب به صورت محلول در خاک‌های متوسط و ریزبافت بسیار ناچیز و کم اهمیت است، اما با جذب به سطوح کلوئیدها، حرکت آن همراه با ذرات کلوئیدی حائز اهمیت بوده و می‌تواند بدین صورت موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی گردد.

کلوئید ذاتی خیلی کم‌تر نسبت به خاک لوم رسی، رابطه‌ی بین کلوئید و سرب آب‌شویی شده قوی‌تر است. به طور کلی در خاک لوم رسی با افزودن ورمی‌کمپوست خروج کلوئید از خاک افزایش و خروج سرب از خاک کاهش یافت. با افزایش اسید آلی خروج کلوئید افزایش یافت و روند مشخصی بر خروج سرب در خاک دیده نشد. در خاک لوم شنی با افزودن ورمی‌کمپوست خروج کلوئید و میزان سرب خروجی از

فهرست منابع:

1. Aksakal, E. L., S. Sari, I. Angin, and Development. 2016. Effects of vermicompost application on soil aggregation and certain physical properties. *Land Degradation*. 27: 983-995.
2. Barral, M. T., E. Buján, R. Devesa, M. L. Iglesias, and M. Velasco-Molina. 2010. Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Science of the total environment*. 378: 174-178.
3. Barton, C., and A. Karathanasis. 2003. Influence of soil colloids on the migration of atrazine and zinc through large soil monoliths. *Water, Air, Soil Pollution*. 143: 3-21.
4. Bhattacharyya, K. G., and S. S. Gupta. 2008. Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe (III), Co (II) and Ni (II) in aqueous medium. *Applied Clay Science*. 41: 1-9.
5. Biggar, J., and D. Nielsen. 1976. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resources Research*. 12: 78-84.
6. Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy journal*. 43: 434-438.
7. Camobreco, V. J., B. K. Richards, T. S. Steenhuis, J. H. Peverly, and M. B. McBride. 1996. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. *Soil Science Society of America Journal*. 161: 740-750.
8. Chapman, H. 1965. Cation exchange capacity. In AG, N. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc.
9. Christensen, B. T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European journal of soil science*. 52: 345-353.
10. Clark, F. 1965. Agar plate method for total microbial count. In AG, N. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc.
11. de Jonge, L. W., C. Kjærgaard, and P. Moldrup. 2004. Colloids and colloid-facilitated transport of contaminants in soils: An introduction. *Vadose Zone Journal*. 3: 321-325.
12. DeNovio, N. M., J. E. Saiers, and J. N. Ryan. 2004. Colloid movement in unsaturated porous media: Recent advances and future directions. *Vadose Zone Journal*. 3: 338-351.
13. Hashemi nejhadi, Y. and M. Gholami. 2008. Introducing an appropriate packing method in disturbed soil columns and its verification to achieve a homogeneous porous media. *Water and soil*. 22(2): 447-455.
14. Jones, E. H., and C. Su. 2012. Fate and transport of elemental copper (CuO) nanoparticles through saturated porous media in the presence of organic materials. *water research*. 46: 2445-2456.

15. Lee, S., I.-W. Ko, I.-H. Yoon, D.-W. Kim, and K.-W. Kim. 2019. Colloid mobilization and heavy metal transport in the sampling of soil solution from Duckum soil in South Korea. *Environmental geochemistry health*. 41: 469-480.
16. Lennartz, B., A. H. Haria, and A. C. Johnson. 2007. Flow regime effects on reactive and non-reactive solute transport. *Soil Sediment Contamination*. 17: 29-40.
17. Li, Z., and L. Zhou. 2010. Cadmium transport mediated by soil colloid and dissolved organic matter: a field study. *Journal of Environmental Sciences*. 22: 106-115.
18. Liu, F., B. Xu, Y. He, P. C. Brookes, C. Tang, and J. Xu. 2018. Differences in transport behavior of natural soil colloids of contrasting sizes from nanometer to micron and the environmental implications. *Science of the Total Environment*. 634: 802-810.
19. Molnar, I. L., W. P. Johnson, J. I. Gerhard, C. S. Willson, and D. M. O'Carroll. 2015. Predicting colloid transport through saturated porous media: A critical review. *Water Resources Research*. 51: 6804-6845.
20. Pawlowska, A., I. Sznajder, and Z. Sadowski. 2017. The colloid hematite particle migration through the unsaturated porous bed at the presence of biosurfactants. *Environmental Science Pollution Research*. 24: 17912-17919.
21. Poulsen, T. G., P. Moldrup, L. W. de Jonge, and T. Komatsu. 2006. Colloid and bromide transport in undisturbed soil columns: Application of two-region model. *Vadose Zone Journal*. 5: 649-656.
22. Qi, Z., L. Hou, D. Zhu, R. Ji, and W. Chen. 2014. Enhanced transport of phenanthrene and 1-naphthol by colloidal graphene oxide nanoparticles in saturated soil. *Environmental science technology*. 48: 10136-10144.
23. Rhoades, J. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In AG, N. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. American Society of Agronomy, Inc.
24. Schelde, K., L. W. de Jonge, C. Kjaergaard, M. Laegdsmand, and G. H. Rubæk. 2006. Effects of manure application and plowing on transport of colloids and phosphorus to tile drains. *Vadose Zone Journal*. 5: 445-458.
25. Slowey, A. J., S. B. Johnson, J. J. Rytuba, and G. E. Brown. 2005. Role of organic acids in promoting colloidal transport of mercury from mine tailings. *Environmental science technology*. 39: 7869-7874.
26. Snehota, M., V. Jelinkova, J. Sacha, M. Frycova, M. Cislerova, P. Vontobel, and J. Hovind. 2015. Experimental investigation of preferential flow in a near-saturated intact soil sample. *Physics Procedia*. 69: 496-502.
27. Sprague, L. A., J. S. Herman, G. M. Hornberger, and A. L. Mills. 2000. Atrazine adsorption and colloid-facilitated transport through the unsaturated zone. *Journal of Environmental Quality*. 29: 1632-1641.
28. Strobel, B. W. 2001. Influence of vegetation on low-molecular-weight carboxylic acids in soil solution—a review. *Geoderma*. 99: 169-198.
29. Tang, X.-Y., and N. Weisbrod. 2009. Colloid-facilitated transport of lead in natural discrete fractures. *Environmental Pollution*. 157: 2266-2274.
30. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In AG, N. (Eds.) *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*. American Society of Agronomy, Inc.
31. Tng, K. H., Antony, A., Wang, Y., and G. L. Leslie. 2015. Membrane ageing during water treatment: mechanisms, monitoring, and control. *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment*, 349-378.
32. Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.

33. Wang, C., R. wang, Z. Huo, E. Xie, and H. E. Dahlke. 2020. Colloid transport through soil and other porous media under transient flow conditions-A review. *WIREs Water*. e1439.
34. Wang, D., Y. Jin, and D. P. Jaisi. 2015. Effect of size-selective retention on the cotransport of hydroxyapatite and goethite nanoparticles in saturated porous media. *Environmental science technology*. 49: 8461-8470.
35. Won, J., X. Wirth, and S. E. Burns. 2019. An experimental study of cotransport of heavy metals with kaolinite colloids. *Journal of hazardous materials*. 373: 476-482.
36. Yin, X., B. Gao, L. Q. Ma, U. K. Saha, H. Sun, and G. Wang. 2010. Colloid-facilitated Pb transport in two shooting-range soils in Florida. *Journal of Hazardous Materials*. 177: 620-625.
37. Zhang, H., and H. Selim. 2007. Colloid mobilization and arsenite transport in soil columns: Effect of ionic strength. *Journal of Environmental Quality*. 36: 1273-1280.
38. Zhao, D., X. Zhao, T. Khongnawang, M. Arshad, and J. Triantafilis. 2018. A Vis-NIR Spectral Library to Predict Clay in Australian Cotton Growing Soil. *Soil Science Society of America Journal*. 82: 1347-1357.

بررسی میزان جذب فلزات سنگین شیرابه زباله توسط گیاه و تیور در یک خاک آلوده

فرود گراوند، آبتین راهنورد¹ و قربانعلی محمد پور

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران؛ gravand92@gmail.com

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران؛ rahnava_d_aptin@yahoo.com

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران؛ G.mohammadpor@gmail.com

دریافت: 99/9/25 و پذیرش: 1400/4/20

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی پتانسیل جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل از شیرابه زباله شهری توسط گیاه و تیور در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. این تحقیق بر اساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با چهار تیمار، شامل شیرابه زباله با غلظت های صفر، 30، 60 و 100 درصد انجام شد. گیاهان در شرایط دمایی بهینه برای تیور (23-27 درجه سانتی‌گراد) و بر اساس نیاز آبی به مدت 5 ماه و 4 نوبت آبیاری در هفته که هر نوبت شامل دو لیتر شیرابه بود آبیاری شدند. نتایج نشان داد که در جذب فلزات سنگین توسط گیاه تفاوت معنی‌داری در سطح 1 درصد وجود داشت. همچنین با افزایش سطوح تیمار شیرابه تا سطح 60% در طول ریشه و اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح 1 درصد وجود داشت. سپس در تیمار با شیرابه 100% طول ریشه و اندام هوایی کاهش معنی‌داری داشت. با افزایش سطوح تیمار شیرابه جذب فلزات سنگین توسط گیاه افزایش یافت. بالاترین میزان جذب، مربوط به ریشه با مجموع میانگین 200/21 میلی گرم بر کیلو گرم در کل چهار تیمار بود، که بیشترین مقدار جذب مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین‌های 70/70، 52/73، 44/56 و 32/22 میلی گرم بر کیلو گرم در چهار تیمار بود. در بخش اندام هوایی میزان جذب در مجموع با میانگین 147/93 میلی گرم بر کیلو گرم در کل چهار تیمار بود، که بیشترین مقدار جذب مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین های 35/13، 38/35، 53/18 و 21/27 میلی گرم بر کیلو گرم در چهار تیمار بود. در بین سطوح تیمارهای بکار رفته نیز بیشترین میزان جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه و اندام هوایی مربوط به تیمار با سطح 100 درصد بود. همچنین برای همه عناصر در هر چهار تیمار فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF) بیشتر از یک و فاکتور انتقال (TF) کمتر از یک بود. نتایج نشان داد گیاه با در معرض قرار گرفتن غلظت‌های بیشتر شیرابه بطور معنی‌داری قادر به جذب مقادیر بالاتری از فلزات سنگین بود. با توجه به بیشتر بودن جذب فلزات سنگین شیرابه زباله در ریشه نسبت به اندام هوایی، گیاه و تیور بعنوان یک گیاه تثبیت کننده حرکت فلزات سنگین در خاک های آلوده عمل می کند.

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی، گیاه تثبیت کننده فلزات سنگین، فاکتور غلظت بیولوژیکی، فاکتور انتقال، خاک آلودگی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران.

مقدمه

توسعه سریع رشد جمعیت و شهرنشینی تحت تأثیر مهاجرت بدون برنامه از شهر به حومه شهر، بر میزان تأثیر و میزان مصرف و در نتیجه ایجاد زباله، افزایش و گسترش آلودگی و سلامت انسان و محیط زیست تأثیر گذاشته است. امروزه فعالیت‌های انسانی مانند مراکز دفن زباله توازن اکوسیستم را برهم زده است (وانگ و همکاران 2016). هنگامی که آب باران با زباله در محل - های دفن زباله مخلوط می‌شود، باعث ایجاد شیرابه در اثر مخلوط شدن با رطوبت موجود در زباله‌ها می‌شود. به‌طور کلی شیرابه زباله، آلاینده‌های زیادی به‌ویژه از نظر فلزات سنگین دارد. این شیرابه، هم در محل دفن و هم زمانی که جریان دارد، می‌تواند آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده کند (ریماس و همکاران، 2017). فلزات سنگین شیرابه، مهمترین تأثیر را بر سلامت انسان و محیط زیست دارند، فلزات سنگین تجزیه نمی‌شوند و در محیط زیست باقی می‌مانند و فراهمی زیستی این مواد شیمیایی با ترکیب خاک متفاوت است (واورکوا و همکاران، 2018). عناصر سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل حتی در مقادیر کم بسیار سمی هستند. تمام فلزات سنگین در غلظت‌های بالا باعث سمیت شدید شده و تمایل به تجمع و بزرگنمایی دارند (آنینگ و آکوئو، 2018). تصفیه شیرابه کار دشواری است زیرا شیرابه حاوی فلزات سنگین، مواد هومیک، ترکیبات برگشت ناپذیر و نمک‌های آلی و معدنی کلر دار است (آنینگ و آکوئو، 2018). روش‌های مرسوم تصفیه شیرابه، سه گروه هستند. اولین روش انتقال شیرابه: بازیافت و تصفیه ترکیبی با فاضلاب خانگی است، دومین روش تجزیه بیولوژیکی: فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی و سومین روش، روش‌های شیمیایی و فیزیکی: اکسیداسیون شیمیایی، جذب، رسوب شیمیایی، انعقاد/ لخته سازی، رسوب/شناورسازی و .. است (کافیل و همکاران، 2019). این روش‌ها با وجود کارآیی بالا، پرهزینه، و مخرب محیط زیست و خاک هستند. بنابراین، توسعه فن‌آوری‌های جدید که کم هزینه و سازگار با محیط زیست باشد ضروری است - در مواجهه با این مشکل، گیاه‌پالایی به عنوان تکنولوژی سبز پاکسازی آلاینده‌ها است که قادر به حذف، و تخریب طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های فلزات سنگین شیرابه و خاک با حداقل هزینه مورد نیاز بوده و غیر مخرب برای اکوسیستم طبیعی است (ان جی و همکاران، 2016). در روش گیاه‌پالایی از گیاهان برای از بین بردن آلودگی استفاده می‌شود. ایده آل‌ترین گیاه برای گیاه‌پالایی، گیاهی با

زیست توده زیاد، سرعت رشد بالا و توانایی بالاتر برای تجمع فلزات است (کافیل و همکاران، 2019). و تیور به عنوان یکی از گیاهان بسیار امیدوار کننده، با سرعت رشد سریع و امکان انطباق با بسیاری از شرایط محیطی و تنش‌ها، می‌تواند طیف گسترده‌ای از آلودگی شدید فلزات سنگین را در خاک تحمل کند. علف و تیور متعلق به خانواده *Poaceae* است و بومی جنوب و جنوب شرقی آسیا است. و تیور، یک گیاه چند ساله، شناخته شده برای کنترل فرسایش خاک است، که طیف گسترده‌ای از pH و سطح فلزات سمی و سنگین را تحمل می‌کند (افندی و همکاران، 2020). و تیور یک گیاه خاکی آب‌دوست است که ویژگی‌های آنتی بیولوژیکی مانند توانایی جذب عناصر غذایی محلول مانند N و P، کاهش BOD، COD، TSS، نشت روغن، تجمع فلزات سنگین، فاضلاب تولیدی Batic (فاضلاب رنگ‌بری)، فاضلاب تولیدی توفو Tofu (یک نوع فاضلاب لبنیاتی) و تحمل زیاد به علف کش‌ها و سموم دفع آفات دارد (تامبونان و همکاران، 2018). گرچه برخی از مطالعات گیاه‌پالایی از جمله مطالعات، سینگ (2015) با استفاده از علف و تیور، مطالعات گیاه‌پالایی - قائمی و همکاران در بررسی نیکل و سرب (1395): مطالعات نادری و همکاران در بررسی نقش گیاه‌پالایی و تیور در پاسخ‌های به غلظت‌های مختلف شیرابه در بررسی کبالت مطالعات منصوریان و همکاران (1396) در بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سیانید، صورت گرفته است. اما این مطالعات صرفاً بر ارزیابی گیاه روی تجمع یک فلز متمرکز شده‌اند. با این وجود، نگرانی فزاینده‌ای در مورد آلودگی فلزات ترکیبی مانند (Cd-Pb-Mn-Ni) در شیرابه زباله وجود دارد که نیاز به بررسی و تحقیقات دارد. در این تحقیق، علف و تیور از نظر کاربرد بالقوه آن در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، منگنز، نیکل) موجود در شیرابه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این مطالعه تعیین میزان جذب فلزات سنگین شیرابه (کادمیوم، سرب، منگنز، نیکل) زباله توسط گیاه مورد مطالعه است. همچنین به منظور درک بهتر انباشت و انتقال فلزات سنگین در اندام‌های گیاه، شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص غلظت بیولوژیکی، فاکتور تجمع بیولوژیکی و فاکتور انتقال محاسبه شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نهال و شیرابه زباله جهت کاشت گیاه

این تحقیق از اسفند سال 1398 و بهار سال 1399 در گلخانه اجرا شد، و با استفاده از شیرابه زباله

قرار گرفتند و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول 2 تعیین شد.

برداشت نمونه‌ها و آماده سازی نمونه‌ها، هضم اسیدی، آنالیز فلزات سنگین

پس از پایان دوره رشد و برداشت نمونه‌های گیاهی ریشه و اندام هوایی و شستشوی آنها با آب دو بار تقطیر و خشک کردن ابتدایی در برابر نور خورشید، نمونه‌ها کد گذاری شده، و به آزمایشگاه منتقل شدند. مطابق دستورالعمل آزمایشگاهی متد نمونه‌ها پس از خشک کردن و خرد کردن آنها، و همچنین تعیین وزن خشک اندام‌های گیاه (ریشه و اندام هوایی) (جدول 3)، با استفاده از اسید نیتریک غلیظ (65٪) برای فرآیند هضم اسیدی آماده شدند. پس از هضم، میزان غلظت فلزات در اندام‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin-Elmer PinAAcle 900TT تعیین شد (ASTM D5198 - 17, 2017; ASTM E1835-14, 2014; ASTM D3335 - 12, 2017 85a; ASTM D3831 - 12, 2017 85a).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار Spss19، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آنالیز آماری واریانس و آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد صورت گرفت، و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. در این مطالعه توانایی جابجایی و تجمع فلزات با استفاده از فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF^2)، ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC^3)، فاکتور انتقال (TF^4) به شرح زیر ارزیابی شده است:

/ غلظت فلزات سنگین در ریشه یا اندام هوایی = BCF
 غلظت فلزات سنگین در خاک
 غلظت / غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی = BAC
 فلزات سنگین در خاک
 (ان جی و / غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی = TF
 همکاران، 2016) غلظت فلزات سنگین در ریشه

نمونه‌برداری شده از محل لندفیل سراوان بر اساس نیاز آبی گیاهان در طول دوره رشد آبیاری شدند. نهال‌های انتخاب شده برای اجرای طرح از شرایط فیزیولوژیکی یکسانی برخوردار بودند (نهال‌های هم اندازه گیاه وتیور به ارتفاع متوسط 20-25 سانتی متر از مجتمع گلخانه‌ای فروش گیاه وتیور خریداری گردید و به گلخانه تعیین شده منتقل شدند). همچنین محل نمونه‌برداری شیرابه زباله جهت انجام پروژه واقع در لندفیل سراوان رشت در استان گیلان به مختصات جغرافیایی $39^{\circ}05'19.20''N$ $49^{\circ}37'50.73''E$ بود. تهیه شیرابه دقیقاً زمانی صورت گرفت که 3 روز قبل از تهیه آن هیچ‌گونه بارندگی صورت نگرفته بود. همچنین در مسیر رودخانه شیرابه هیچ‌گونه پساب یا آبراهه‌ای وارد آن نمی‌شد. با توجه به میزان آبیاری گیاه و نیاز آبی آن 10 گالن 25 لیتری شیرابه تهیه گردید. سپس جهت تثبیت آن به ازای هر لیتر شیرابه میزان 5 میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ 65 درصد اضافه گردید. این عمل باعث نگهداشتن مواد و عناصر داخل شیرابه به مدت شش ماه می‌گردد (یان و همکاران، 2014). پس از تثبیت، شیرابه به محل گلخانه انتقال و سپس تیمارهای صفر، 30، 60 و 100 درصد شیرابه جهت اجرای طرح و آبیاری نهال‌های وتیور تهیه گردید، و به مدت حدود 5 ماه از این شیرابه‌ها استفاده گردید. داشت

گیاهان وتیور در شرایط دمایی بهینه برای وتیور (23-27 درجه سانتی‌گراد) و بر اساس نیاز آبی یکسان به مدت 5 ماه و 4 نوبت آبیاری در هفته که هر نوبت شامل دو لیتر شیرابه بود آبیاری و نگهداری شدند. گیاه وتیور در 10 کیلوگرم از خاک آلوده مرکز دفن زباله کشت شد. در طول این مدت گیاهان از وجود علف‌های هرز پاکسازی شدند. مطالعه حاضر اثر سطوح تیمار شیرابه روی گیاه وتیور در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

تعیین میزان فلزات سنگین شیرابه و خاک

جهت تعیین میزان فلزات سنگین شیرابه زباله مورد استفاده برای آبیاری گیاه وتیور، از مرکز دفن زباله سراوان رشت تعداد 3 نمونه برداشت شد. نتایج تجزیه میزان فلزات سنگین شیرابه (با استفاده از دستگاه جذب اتمی¹ Perkin-Elmer PinAAcle 900TT) و حد آستانه این فلزات در شیرابه زباله در جدول 1 نشان داده شده است (راموس-آرکوس و همکاران، 2019). نمونه‌های خاک نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مورد تجزیه

². Bioconcentration Factor

³. Bio Accumulation Factor

⁴. Translocation Factor

¹. Atomic absorption

جدول 1- غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر لیتر) شیرابه محل مورد مطالعه و مقادیر حد آستانه

حد آستانه ($\mu\text{g/L}$)	غلظت (mg/L)	فلز
4/4	1/1	سرب
0/1	0/45	کادمیوم
11/52	2/56	منگنز
31	2/9	نیکل
	9/3	pH
	40/392 $\mu\text{ mho/cm}$	EC

جدول 2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انتخاب شده

پارامتر (واحد)	میانگین
بافت خاک شنی - لومی	
شن (%)	65/58
سیلت (%)	19/48
رس (%)	14/94
pH	7/4-6/5
ECe (dS.m^{-1})	1/8
محتوای آب (%)	2/03 $\pm$ 74/5
ظرفیت زراعی (%)	6/3 $\pm$ 43/93
سطح اشباع (%)	12/97
جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	1/62 $\pm$ 0/78
تخلخل (%)	37/67 $\pm$ 4/39
محتوای فلز (mg/kg)	
سرب (mg kg^{-1})	18/5 $\pm$ 4/5
کادمیوم (mg kg^{-1})	7/3 $\pm$ 2/1
منگنز (mg kg^{-1})	39/4 $\pm$ 3/8
نیکل (mg kg^{-1})	19/2 $\pm$ 4/8
فسفر قابل استفاده (mg kg^{-1})	5/2 $\pm$ 2/01
پتاسیم قابل استفاده (mg kg^{-1})	33/3 $\pm$ 3/4
نیتروژن کل (%)	15/4 $\pm$ 3/9

جدول 3- وزن خشک گیاه و تیور

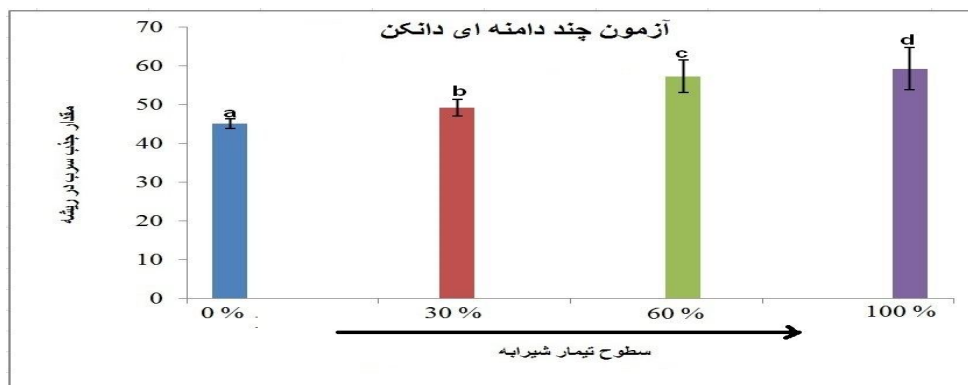
وزن خشک گیاه و تیور g/pot	انحراف معیار $\pm$ ریشه	سطوح تیمار شیرابه
انحراف معیار $\pm$ اندام هوایی		شاهد
18/6 $\pm$ 1/73	31/2 $\pm$ 2/03	شیرابه 30 %
19/5 $\pm$ 2/6	34/5 $\pm$ 1/45	شیرابه 60 %
25/01 $\pm$ 2/2	38/01 $\pm$ 1/62	شیرابه 100 %
17/1 $\pm$ 2/34	30/01 $\pm$ 2/68	

نتایج

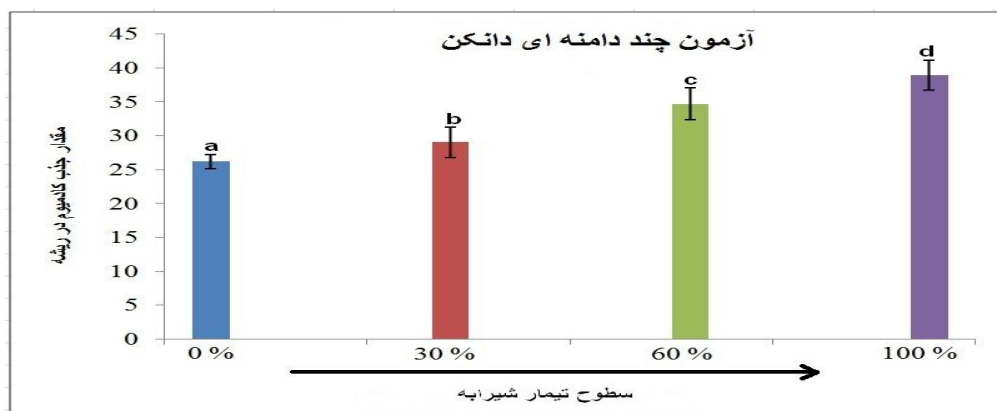
میانگین جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز، نیکل) در ریشه و اندام هوایی گیاه وتیور در تیمارهای مختلف شیرابه زباله

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل‌های 1-8، میانگین جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در تیمارهای مختلف شیرابه زباله (با غلظت‌های مختلف شیرابه 0، 30، 60 و 100 درصد در ریشه و اندام هوایی)، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود داشت. همچنین با افزایش سطوح تیمار شیرابه زباله، میزان جذب فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی افزایش یافت. نتایج نشان داد بالاترین میزان جذب، مربوط به ریشه با مجموع میانگین 200/21 میلی گرم بر کیلو گرم در کل چهار تیمار بود. بیشترین مقدار جذب در ریشه مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین‌های 70/70، 52/73، 44/56 و 32/22 میلی گرم بر کیلو گرم در چهار تیمار بود. در بخش اندام هوایی میزان جذب در مجموع با میانگین

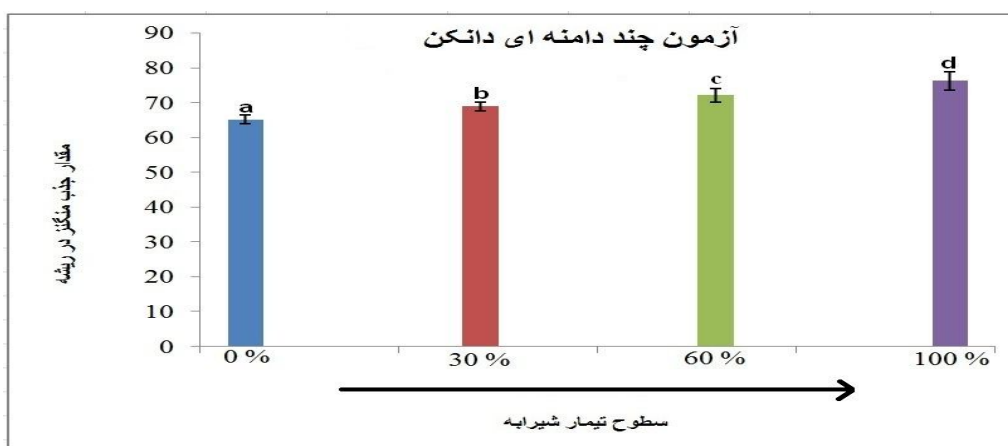
147/93 میلی گرم بر کیلو گرم در کل چهار تیمار بود. بیشترین مقدار جذب در ریشه مربوط به منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، نیکل و کادمیوم با میانگین‌های 53/18، 38/35، 35/13 و 21/27 میلی گرم بر کیلو گرم در چهار تیمار بود. در بین سطوح تیمارهای بکار رفته نیز بیشترین میزان جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه و اندام هوایی مربوط به تیمار با سطح 100 درصد بود. نتایج نشان می‌دهد اندام‌های گیاه (ریشه و اندام هوایی) با در معرض قرارگرفتن غلظت‌های بیشتر شیرابه (افزایش سطوح تیمار) بطور معنی‌داری قادر به جذب مقادیر بالاتری از فلزات سنگین می‌باشند. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل‌های 4-1 در بررسی آزمون چند دامنه‌ای دانکن در مورد تأثیر تغییر غلظت‌های مختلف شیرابه در خاک (سطوح تیمار شیرابه)، مشخص شد که با افزایش غلظت‌های مختلف شیرابه، میزان تجمع و جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در ریشه دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد است.



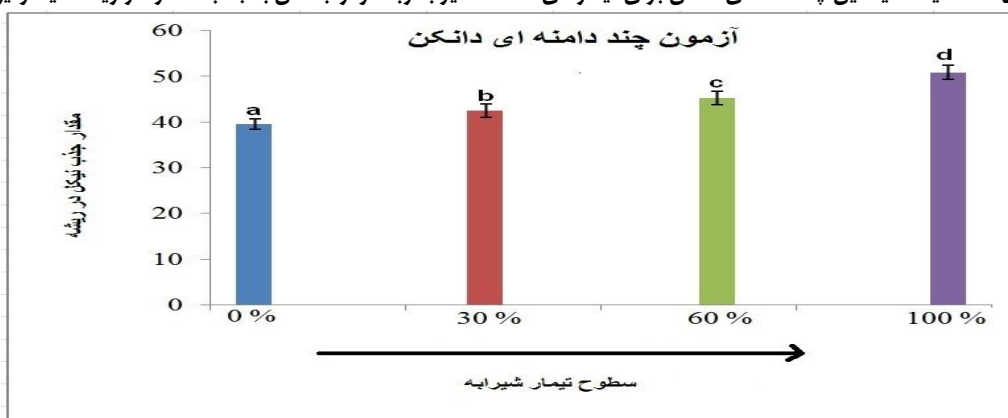
شکل 1- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب سرب، در ریشه گیاه وتیور



شکل 2- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب کادمیوم، در ریشه گیاه وتیور



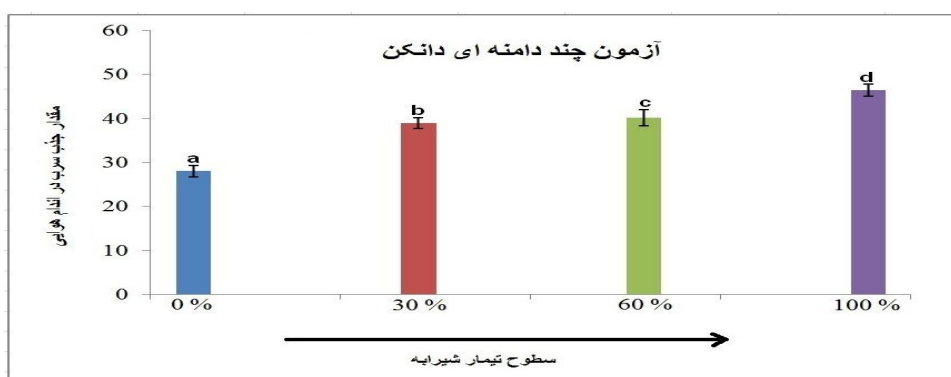
شکل 3- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب منگنز، در ریشه گیاه و تیور



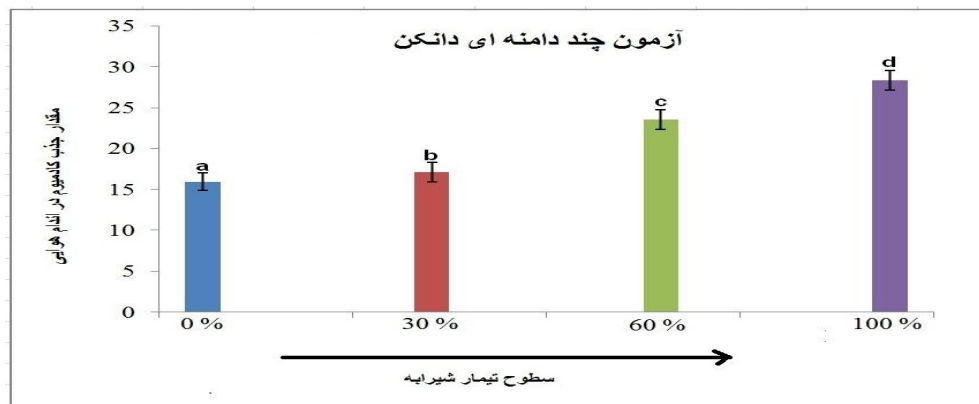
شکل 4- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب نیکل، در ریشه گیاه و تیور
* حروف مختلف حاکی از تفاوت معنی‌داری در تست چند بعدی دانکن در سطح احتمال 5% بین سطوح مختلف تیمار در جذب فلزات سنگین است.
* هر عدد در نمودار میانگین سه تکرار می باشد.

و جذب فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد.

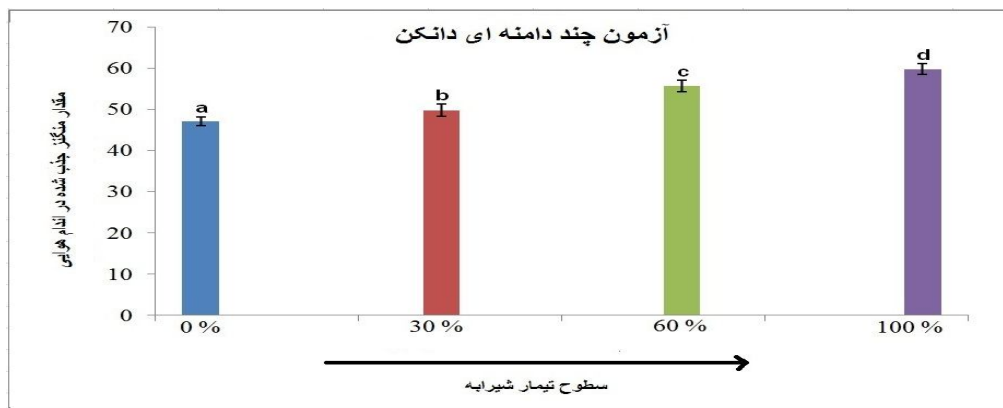
با توجه به شکل‌های 5-8 در بررسی آزمون چند دامنه‌ای دانکن در رابطه با تأثیر تغییر غلظت‌های مختلف شیرابه در خاک (سطوح تیمار شیرابه)، مشخص شد که با افزایش غلظت‌های مختلف شیرابه، میزان تجمع



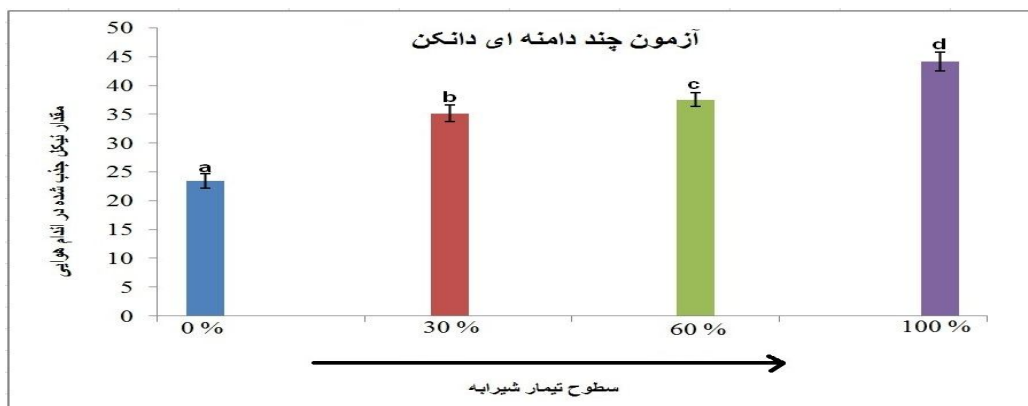
شکل 5- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب سرب، در اندام هوایی گیاه و تیور



شکل 6- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب کادمیوم، در اندام هوایی گیاه وتیور



شکل 7- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب منگنز، در اندام هوایی گیاه وتیور



شکل 8- مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن برای تیمارهای مختلف شیرابه زباله و ارتباط آن با جذب نیکل، در اندام هوایی گیاه وتیور
* حروف مختلف حاکی از تفاوت معنی‌داری در تست چند بعدی دانکن در سطح احتمال 5% بین سطوح مختلف تیمار در جذب فلزات سنگین است.

* هر عدد در نمودار میانگین سه تکرار می باشد.

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تیمارهای شیرابه زباله بر جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه گیاه و تیور

منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات			
		میزان فلزات سنگین (سرب؛ کادمیوم؛ منگنز و نیکل) در ریشه گیاه			
		سرب ریشه	کادمیوم ریشه	منگنز ریشه	نیکل ریشه
اثرات تیمار شیرابه	3	134/000**	89/763**	69/876**	54/110**
خطا	8	0/251	0/335	0/236	0/171
ضریب تغییرات (%)	-	8/70	6/44	16/23	3/47

**معنی داری در سطح احتمال 99٪ * معنی داری در سطح احتمال 95٪، ns: تفاوت معنی داری وجود ندارد.

تجزیه واریانس اثرات تیمارهای شیرابه زباله بر جذب فلزات سنگین

بر اساس جدول 4، تجزیه و تحلیل جدول واریانس با متغیرهای وابسته سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل و متغیر مستقل سطوح تیمارهای شیرابه (با غلظت های مختلف شیرابه 0، 30، 60 و 100 درصد) در ریشه نشان داده شده است. این جدول تأثیر سطوح تیمارهای شیرابه بر میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در ریشه گیاه و تیور را نشان می دهد، که تفاوت معنی داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش غلظت شیرابه در خاک گیاه، غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه های گیاه افزایش یافته است، و ریشه قادر به تجمع مقادیر بیشتری از فلزات سنگین است. این تأثیر سطوح شیرابه بر جذب فلزات سنگین توسط ریشه های گیاه، نیز در آزمون چند دامنه ای دانکن¹ تأیید شد.

با توجه به نتایج جدول 5، تجزیه و تحلیل جدول واریانس، با متغیرهای وابسته به سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل و متغیر مستقل سطوح تیمارهای شیرابه (با غلظت های مختلف شیرابه 0، 30، 60 و 100 درصد) در اندام هوایی، نشان داده شده است. این جدول تأثیر سطوح تیمارهای شیرابه بر میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در اندام های هوایی گیاه و تیور را نشان می دهد، که تفاوت معنی داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد. به عبارت دیگر، با افزایش غلظت شیرابه در خاک گیاه، غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در اندام هوایی گیاه افزایش یافته است، و اندام هوایی توانسته مقادیر بیشتری از فلزات

سنگین را جذب کند. این تأثیر سطوح شیرابه بر جذب فلزات سنگین توسط اندام هوایی گیاه نیز در آزمون چند دامنه ای دانکن تأیید شد.

توانایی در انتقال و تجمع فلزات سنگین

جدول 6 پتانسیل گیاه پالایی و تیور، از طریق فاکتورهای انتقال و غلظت بیولوژیکی را نشان می دهد. بر اساس نتایج مشخص گردید که فاکتور انتقال و غلظت بیولوژیکی در گیاه و تیور تفاوت معنی داری در سطح احتمال 1 درصد وجود دارد. با افزایش سطوح تیمار شیرابه، فاکتور انتقال و فاکتور غلظت بیولوژیکی افزایش یافته است. بیشترین فاکتور انتقال و غلظت بیولوژیکی مربوط به تیمار شیرابه با غلظت 100 درصد می باشد. نتایج نشان داد که فاکتور انتقال کمتر از یک ($TF < 1$) و فاکتور غلظت بیولوژیکی بیشتر از یک ($BCF > 1$) می باشد.

¹. Duncan's Multiple Range Test

جدول 5- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تیمارهای شیرابه زباله بر جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در اندام هوایی گیاه و تیور

میانگین مربعات				درجه آزادی df	منابع تغییرات
میزان فلزات سنگین (سرب؛ کادمیوم؛ منگنز و نیکل) در ریشه گیاه					
نیکل اندام هوایی	منگنز اندام هوایی	کادمیوم اندام هوایی	سرب اندام هوایی		
222/903**	97/400**	101/741**	182/149**	3	اثرات تیمار شیرابه
0/076	0/016	0/016	0/102	8	خطا
4/51	10/33	4/04	5/44	-	ضریب تغییرات (%)

**معنی‌داری در سطح احتمال 99٪، *معنی‌داری در سطح احتمال 95٪، ns: تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول 6- میانگین جذب و تأثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین بر فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF)، ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) و فاکتور انتقال (TF)

تیمارها	کل جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه و اندام هوایی (میلی گرم بر کیلو گرم خاک خشک)	BCF root فاکتور غلظت بیولوژیکی در ریشه	BAC غلظت تجمع بیولوژیکی	TF فاکتور انتقال
شیرابه 0% (شاهد)	290/82 ^b	1/30	0/58	0/65
شیرابه 30%	220/85 ^d	1/14	0/65	0/74
شیرابه 60%	266/65 ^c	1/16	0/66	0/75
شیرابه 100%	404/37 ^a	1/22	0/77	0/80

بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط گیاه و تیور

خالص (تیمار 100 درصد) و آنالیز آن مشخص گردید فاکتور انتقال و غلظت بیولوژیکی برای تمام فلزات سنگین مورد مطالعه در گیاه و تیور تفاوت معنی‌داری در سطح 1 درصد وجود دارد. همچنین فاکتور انتقال کمتر از یک ($TF < 1$) و فاکتور غلظت بیولوژیکی بیشتر از یک ($BCF > 1$) می‌باشد. بیشترین فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF) مربوط به فلز منگنز و سپس به ترتیب برای فلزات، سرب، کادمیوم و نیکل بود. همچنین بیشترین فاکتور انتقال (TF) مربوط به فلز نیکل و سپس به ترتیب برای فلزات، منگنز، سرب و کادمیوم بود.

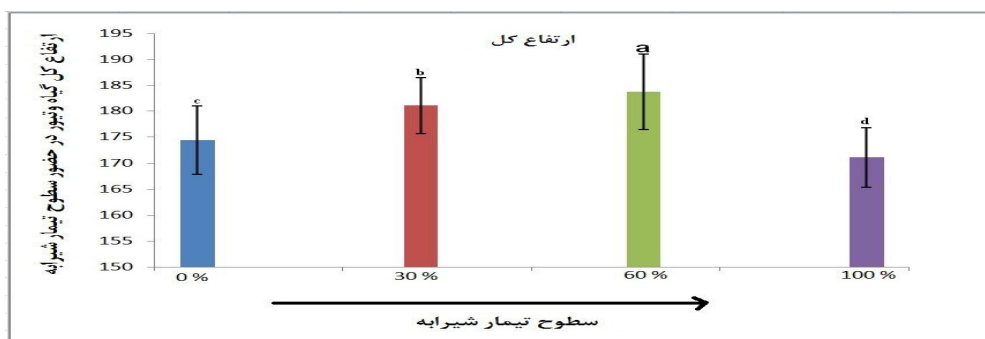
بر اساس نتایج جدول 7 با توجه به اینکه معیار در طبیعت، جهت برآورد پتانسیل گیاه در حذف فلزات سنگین شیرابه زباله، شیرابه حاصل از مرکز دفن زباله می‌باشد. در این تحقیق نیز از گیاه آبیاری شده با شیرابه خالص (تیمار 100 درصد) جهت تعیین پتانسیل گیاه‌پالایی و تیور از طریق فاکتورهای انتقال و غلظت بیولوژیکی، برای فلزات سنگین مورد مطالعه بصورت جداگانه استفاده شد. با توجه به میزان غلظت فلزات سنگین در ریشه و اندام‌هوایی در تیمارهای با شیرابه

جدول 7- فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF) و فاکتور انتقال (TF) برای فلزات سنگین مورد مطالعه

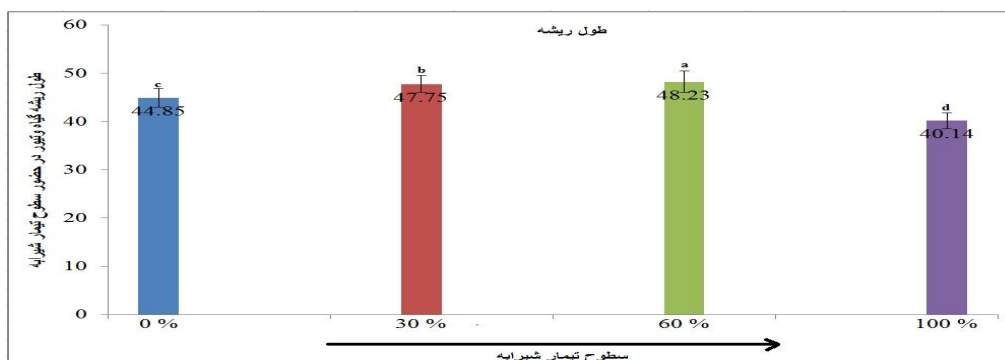
فلزات سنگین	TF فاکتور انتقال	BCF فاکتور غلظت بیولوژیکی در ریشه
سرب	0/8 ^c	1/4 ^b
کادمیوم	0/73 ^d	1/2 ^c
منگنز	0/82 ^b	1/5 ^a
نیکل	0/87 ^a	1/2 ^c

افزایش می‌یابد. زمانی که گیاه و تیور با تیمار شیرابه 100 درصد یا همان شیرابه خالص مواجه می‌شود بطور معنی-داری طول ریشه و اندام هوایی و همچنین ارتفاع کل نسبت به تیمارهای صفر، 30 و 60 درصد کاهش می‌یابد. بیشترین افزایش طول ریشه و اندام‌هوائی و همچنین ارتفاع کل برای تیمار شیرابه 60 درصد می‌باشد. کمترین طول ریشه و اندام‌هوائی و همچنین ارتفاع کل به تیمار شیرابه 100 درصد نسبت داده شده است.

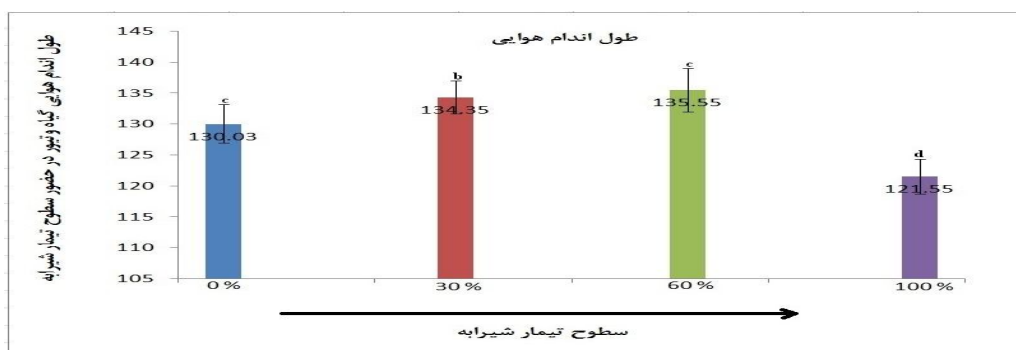
تغییرات مورفولوژیکی، گیاه و تیور در برابر سطوح تیمار شیرابه
اثر فلزات سنگین بر روی صفات رویشی (طول ریشه، اندام‌هوائی و ارتفاع کل) نهال‌های و تیور بر اساس نتایج موجود در شکل‌های 9-11، نشان داده شد که سطوح مختلف تیمارهای شیرابه تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات رویشی (طول ریشه و اندام‌هوائی و همچنین ارتفاع کل) نهال‌های مورد بررسی دارد. با افزایش غلظت شیرابه از صفر تا 60 درصد طول ریشه و اندام‌هوائی



شکل 9- تغییرات گیاه و تیور (ارتفاع کل) در برابر سطوح تیمار شیرابه



شکل 10- تغییرات مورفولوژیکی ریشه گیاه و تیور در برابر سطوح تیمار شیرابه



شکل 11- تغییرات مورفولوژیکی اندام هوایی گیاه وتیور در برابر سطوح تیمار شیرابه

بحث

عملکرد فیزیولوژیکی اندام‌های ریشه و اندام هوایی بر مقدار جذب فلزات سنگین در در خاک‌های آلوده تحت تأثیر شیرابه

مشترک در ریشه بیشتر از اندام هوایی است. با این حال، جذب فلزات سنگین در واکوئل و به خصوص در دیواره سلولی اثرات سمی کمتری بر روی گیاه ایجاد می‌کند (مبین و خان، 2007).

مکانیزم جذب فلزات از ریشه به این صورت می‌باشد که گیاهانی که به شدت جذب کننده فلزات هستند، در اطراف منطقه ریزوسفر خود پروتون‌هایی آزاد می‌کنند که با اسیدی کردن خاک، تحرک یون‌های فلزی را افزایش داده و آن را در دسترس ریشه قرار می‌دهند (ژائو و همکاران، 2009). آپوپلاست، نخستین جایگاه جذب فلزات در ریشه است. بخشی از فلزات جذب شده به آپوپلاست به ترکیبات دیواره سلولی متصل می‌شود. در دیواره سلولی، پکتین‌هایی مانند پلیگالاکتورونیک اسید و گروه‌های کربوکسیل با بار منفی آن به عنوان مبادله کننده-های کاتیونی عمل می‌کنند. بخش دیگر فلزات جذب شده، به قسمت هایدروتر آپوپلاست و قسمتی از آنها نیز از طریق غشای پلاسمایی به سیتوپلاسم انتقال می‌یابند (پراساد و هاگمایر، 1999). در بین آمینواسیدها، پرولین حساسیت بیشتری به تنش‌های محیطی نشان می‌دهد. افزایش پرولین باعث سازش بیشتر سلول با شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌های سیتوزول و ساختارهای سلولی می‌شود. پرولین نقش‌های متعددی سلول، پایدار کردن پروتئین، محافظت در برابر سرما و تنظیم پتانسیل ردوکس را دارد. پرولین عمدتاً در سیتوپلاسم انباشته می‌شود تا پتانسیل اسمزی واکوئل مانند تنظیم pH متعادل شود. بررسی‌های زیادی روی مسیرهای بیوسنتز و کاتابولیسم پرولین صورت گرفته است، به نظر می‌رسد وتیور جهت تخفیف سمیت ناشی از فلزات سنگین از مکانیسم گونه-

سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل موجود در شیرابه زباله استفاده شده در تحقیق فراتر از حد WHO بود (سازمان بهداشت جهانی، 2011). نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نشان داد که ریشه گیاهان (شکل‌های 1-4) غلظت بیشتری از فلزات سنگین را نسبت به اندام‌هوائی (شکل‌های 5-8) گیاه جذب می‌کنند (شکل‌های 1-8). با توجه به شکل‌های (1-8) که میانگین جذب در سطوح مختلف تیمارها را نشان می‌دهد، مشخص شد که بیشترین میزان جذب، در بین تیمارها مربوط به فلز منگنز است که در ریشه و اندام‌هوائی مقدار 123/88 میلی‌گرم بر کیلوگرم را انباشت نموده است. از این مقدار، 70/70 میلی‌گرم بر کیلوگرم در ریشه (شکل 3) و 53/18 میلی‌گرم بر کیلوگرم در اندام‌هوائی انباشته شد (شکل 7). بعد از فلز منگنز بیشترین جذب به ترتیب مربوط به $Pb > Ni > Cd$ بود. البته این میزان جذب فلزات به دلیل مقدار و ماهیت آنها در شیرابه و خاک است، و در تمام تیمارها، جذب ریشه به طور معنی‌داری بیشتر از اندام‌هوائی بود. زیرا ریشه اولین ارگان در تماس با عناصر سمی است، و به طور معمول تجمع فلزات سنگین در ریشه‌های گیاه بیشتر از اندام‌های هوائی است و در این مطالعه با افزایش غلظت شیرابه، (تیمارهای شیرابه) جذب فلزات افزایش می‌یابد. اما به دلیل مقدار فلزات باقیمانده در خاک، درصد جذب فلز کاهش یافته و سطوح اول تیمارها بیشترین درصد جذب را دارد.

دلیل افزایش سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل در ریشه گیاه وتیور تجمع آن در واکوئل‌های سلولی است. تجمع عناصر موجود در واکوئل سلولی مانع از انتقال آنها به قسمت‌های هوائی می‌شود. بنابراین، مقدار این فلزات

های طردکننده فلز (Metal excluders) بهره مند است، چرا که از تجمع فزاینده یون‌های فلزی به بخش‌های هوایی جلوگیری کرده و آنها را بیشتر در ریشه انباشت کرده است. به منظور این کار گیاه و تیور برای دفاع در برابر تنش حاصل از فلز سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل میزان پرولین بیشتری آزاد می‌کند.

به نظر می‌رسد که سرب و سایر عناصر (کادمیوم، منگنز و نیکل) انتقال آب به اندام هوایی را کاهش می‌دهند به این ترتیب بخشی (اصولاً کمتر از جذب ریشه) به اندام هوایی منتقل می‌شود و بیشتر تجمع آنها در ریشه اتفاق افتاده است.

در حقیقت، تثبیت و تجمع فلزات سنگین در ریشه و انتقال کمتر به اندام هوایی در مقایسه با ریشه‌ها، که ممکن است به دلیل سکوستره شدن آلاینده‌های فلزی در واکوئل ریشه و سلول‌ها باشد، یک استراتژی است که برخی از گیاهان برای مقابله با سمیت فلزات سنگین اتخاذ می‌کنند (کمال پور و همکاران، 2014). اما در این تحقیق، مطابق با داده‌های شکل‌های 8-1 و جدول 6، گرچه گیاه و تیور در جذب فلزات سنگین در ریشه در مقایسه با اندام هوایی موفق‌تر بوده است، اما همچنین در جذب و انتقال فلزات سنگین به اندام هوایی تا حدودی موفق بوده است. این امر باعث ایجاد اختلال در رشد گیاهان و تیور نشده است، (شکل‌های 11-9) و آمار تقریباً 100٪ بقا گیاهان و تیور حاکی از این ادعاست بنابراین، با توجه به این ویژگی‌ها، گیاه و تیور می‌تواند در پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین شیرابه مؤثر باشد.

بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی و تیور در پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بر اساس شاخص‌های فاکتور غلظت بیولوژیکی یا BCF و فاکتور انتقال یا TF
TF و BCF شاخص‌های مهمی برای تعیین پتانسیل گیاه-پالایی هستند. پتانسیل گیاه‌پالایی و ارزیابی پالایش خاک-های آلوده از آلاینده‌ها با توجه به فاکتور انتقال (TF)، فاکتور غلظت بیولوژیکی (BCF)، ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) تعیین می‌شود (ان جی و همکاران، 2016). اگر مقدار TF کمتر از یک و مقدار BCF بیش از یک باشد گیاه برای فرآیند (گیاه تثبیتی)¹ در پالایش آلودگی‌ها از خاک و شیرابه مناسب است، و اگر TF بیشتر از یک باشد، گیاه به عنوان (گیاه استخراجی)² برای پالایش آلودگی‌ها مناسب است. همچنین، گیاهان با مقادیر TF و BCF بیشتر از یک، برای فرآیند (گیاه استخراجی و گیاه تثبیتی) در فرآیند گیاه‌پالایی مناسب هستند، و

می‌توانند بیش انباشته گر باشند. مقدار BCF چهار معیار دارد که مقدار کمتر از 0.01 به این معناست که هیچ انباشتی وجود ندارد. مقدار بین 0/01-0/1 به معنای تجمع کم فلزات سنگین، مقدار بین 0/1-1/0 به عنوان انباشت متوسط و مقدار بیش از 1/0 به عنوان تجمع زیاد فلزات سنگین در نظر گرفته شده است (ان جی و همکاران، 2016). در این مطالعه مشخص شد که با افزایش غلظت شیرابه در خاک، BCF، و در نهایت TF افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهند. یعنی وقتی گیاه در معرض فلزات سنگین بیشتری در اثر افزایش غلظت شیرابه قرار می‌گیرد، گیاه و تیور نسبت به آن واکنش نشان می‌دهد، و با تجمع بیشتر فلزات در ریشه و انتقال نسبی آنها به اندام هوایی واکنش نشان می‌دهد، و در مقابل فلزات سنگین با این رفتار مقاومت می‌کند (جدول 6-7).

در این مطالعه بیشترین مقدار BCF در تیمار شاهد مشاهده شد و سپس به ترتیب در تیمارهای 100، 60 و 30 درصد مشاهده شد. تفاوت در مقادیر BCF برای فلزات سنگین مورد مطالعه از طریق گیاه و تیور به تحرک، اشکال و ماهیت این فلزات که در آنها وجود دارند، نسبت داده شده است (جدول 6). بیشترین مقدار TF برای تیمار 100٪ با مقدار 0/80 و سپس به ترتیب مربوط به تیمارهای شیرابه 60، 30 و شاهد با مقادیر 0/75، 0/74، و 0/65 بود (جدول 6). یعنی بطور معنی‌داری فاکتور انتقال تیمارهای مورد مطالعه، از تیمار شاهد بالاتر بود. که نشان دهنده تاثیر شیرابه و توانایی گیاه و تیور در مواجهه با اثرات سمی فلزات سنگین شیرابه و مقابله برای زنده ماندن در برابر این اثرات است. در و تیور، مقادیر $BCF > 1$ و $TF < 1$ گزارش شد. همچنین در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی و تیور از طریق فاکتورهای TF و BCF برای فلزات سنگین مورد مطالعه مشخص شد که $BCF > 1$ و $TF < 1$ بود و بیشترین مقدار BCF مربوط به فلز نیکل و سپس به ترتیب برای فلزات منگنز، سرب و کادمیوم بود و بیشترین مقدار TF مربوط به فلز نیکل و سپس به ترتیب برای فلزات منگنز، سرب و کادمیوم بود (جدول 6-7).

توانایی کمتر انتقال گیاهان، از ریشه به اندام هوایی، ممکن است به این دلیل باشد که این گیاهان دارای واکوئل‌های چند جانبه در بافت‌های ریشه هستند. اثر متقابل فلزات مختلف نه تنها بر میزان جابجایی تأثیر می‌گذارد، بلکه بازده جذب و توزیع آن را نیز تغییر می‌دهد. عدم تحرک قابل توجه فلز به دلیل اتصال فلزات به سلول‌های ریشه رخ می‌دهد که می‌تواند نوعی مکانیسم تحمل گیاه محسوب شود (پنگ و همکاران، 2015).

1. Phytoestabilization

2. Phytoextraction

با توجه به یافته‌های جدول 6-7 گیاه وتیور، به دلیل دارا بودن $1 < BCF$ و $1 < TF$ ، می‌توان گفت که برای پالایش آلودگی فلزات سنگین شیرابه زباله، به عنوان یک گیاه تثبیتی در فرایند گیاه‌پالایی مناسب است.

بررسی طول اندام‌های گیاه وتیور، در غلظت‌های مختلف شیرابه

با توجه به مدت طولانی که گیاهان وتیور تحت تیمار بودند با توجه به (شکل‌های 9-11) مشخص گردید که بعد از 5 ماه آبیاری، مقدار فلزات سنگین مورد مطالعه در تیمارهای شیرابه در ابتدا (تا تیمار شیرابه 60 درصد) موجب افزایش طول ریشه گیاهان وتیور، و سپس با افزایش غلظت در تیمار شیرابه 100 درصد باعث کاهش طول ریشه گیاهان آبیاری شده با شیرابه شده است. بیشترین طول ریشه در گیاهان وتیور آبیاری شده با شیرابه 60 درصد مشاهده شد که برابر با 48/23 سانتی‌متر بود. طول ریشه‌های گیاهانی که با شیرابه 100 درصد آبیاری شده بودند کمترین طول را داشتند، و برابر 40/14 سانتی-متر بود. کاهش طول ریشه بر اثر، تجمع فلزات سنگین، افزایش روند اختلال در بیوسنتز گیاه، تخریب مریستم‌های نوک ریشه و یا اختلال در تقسیم سلولی و میتوز غیر طبیعی می‌باشد. غلظت‌های سمی نیکل و کادمیوم و منگنز از طریق تغییر در ساختار غشای سلول‌های ریشه و کاهش سطوح جذب کننده آب و املاح، تأثیر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر تعرق، تنفس، فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه داشته است (آردوینی و همکاران، 1994). به طور کلی ایجاد تغییر در مورفولوژی ریشه در اثر افزایش غلظت شیرابه در اثر وجود فلزات سنگین و تغییر ساختار ریشه باعث کاهش جذب مواد غذایی شده و کاهش رشد را به دنبال دارد (آردوینی و همکاران، 1994).

کاهش انشعابات فرعی ریشه گیاه جعفری در اثر افزایش غلظت نیکل، تغییر رنگ ریشه و کاهش قطر و طول ریشه از جمله اثرات فلز نیکل بر گیاه *Petroselinum crispum* است که در سایر گیاهان هم تایید شده است (خطیب و همکاران، 2009). نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان مطابقت دارد. کاهش رشد ممکن است به دلیل کاهش میزان فتوسنتز باشد، آسیب به فتوسنتز اساساً در اثر کاهش کلروفیل و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها رخ می‌دهد (چائویی و فرجانی، 2005). کاهش رشد ریشه و بخش هوایی تحت تنش سرب می‌تواند به دلیل تجمع زیاد سرب در ریشه، لیگنینی شدن دیواره تحت تأثیر فلز سنگین، تأثیر مستقیم فلز سنگین بر هسته سلولی، و برهم کش فلزات سنگین با

گروه‌های سولفیدریل غشا سلول‌ها و غیرفعال کردن آنها باشد. دیگر اثرات منفی سرب بر رشد گیاهان می‌توان به اثر آن در کاهش زیتوده بخش‌های ریشه‌ای، هوایی و کاهش عملکرد اشاره کرد. سمیت سرب به این دلیل است که بسیاری از جنبه‌های رفتار متابولیسمی کلسیم را تقلید می‌کند و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند. غلظت بالای نیکل و منگنز به عنوان عاملی تنش‌زا برای گیاهان به شمار می‌رود، که می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. نیکل با کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، آهن و روی رقابت می‌کند، لذا میزان زیاد نیکل در محیط ریشه خاک‌های آلوده، ممکن است به کمبود آهن و روی در گیاه منجر شود. از دیگر دلایل سمیت نیکل و منگنز در گیاهان تأثیر آن بر هوموستازی آهن در ریشه و اندام‌های هوایی با مکانیسم‌های متفاوت است. نیکل زیادی آن در هوموستازی آهن دخالت دارد. گیاه وتیور جهت کاهش سمیت فلزات (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) مورد مطالعه در شیرابه زباله، در بین آنتی اکسیدان‌های غیرآنزیمی از وجود پرولین بهره می‌برد. وتیور با آزاد کردن مقدار زیاد پرولین این کمبود رشد و کوتاه شدن اندام‌ها را به حداقل رسانده است. پرولین آنتی اکسیدانی است که پاک کننده رادیکال‌های آزاد است و با اتصال به فلزات سنگین و تشکیل کمپلکس فلزات سنگین پرولین مانع سمیت این عنصر می‌شود (چائویی و فرجانی، 2005).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اندام‌های گیاه وتیور در مواجهه با فلزات سنگین شیرابه زباله و خاک، ریشه آن (شکل‌های 1-4) غلظت بیشتری از فلزات سنگین را نسبت به اندام‌هوایی (شکل‌های 5-8) جذب می‌کند (شکل‌های 1-8). سرب و سایر عناصر (کادمیوم، منگنز و نیکل) انتقال آب به اندام‌هوایی را کاهش می‌دهند به این ترتیب بخشی کمتری از فلزات سنگین به اندام‌هوایی منتقل می‌شود و بیشتر تجمع آنها در ریشه صورت گرفت. در این تحقیق، اگرچه گیاه وتیور در جذب فلزات سنگین در ریشه در مقایسه با اندام‌هوایی موفق‌تر بود. اما همچنین گیاه وتیور در جذب و انتقال فلزات سنگین به اندام‌هوایی تا حدودی نیز موفق بوده است، و این امر باعث ایجاد اختلال در رشد نگرديد و شیرابه زباله تا حدودی (شیرابه 60 درصد) بعنوان محرک رشد بوده و در تیمارهای بالاتر نیز مانع رشد گیاهان نگرديد (شکل‌های 9-11). با توجه به یافته‌ها، گیاه وتیور به دلیل دارا

مانی قابل قبول، انتقال قابل قبول فلزات سنگین از خاک به ریشه و از ریشه به اندام هوایی، و تیور قادر به تصفیه خاک‌های آلوده به شیرابه زباله حاوی فلزات سنگین سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل است.

بودن $1 < BCF$ و $1 < TF$ ، می‌توان گفت که برای پالایش آلودگی فلزات سنگین شیرابه زباله، به عنوان یک گیاه تثبیتی (Phytostabilization) در تصفیه آلودگی‌های خاک عمل می‌کند (جدول 6-7). با توجه به رشد بهینه، زنده-

فهرست منابع:

1. نادری، م. ر.، ع. دانش شهرکی و ر. نادری. 1391. مروری بر گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین. فصلنامه انسان و محیط زیست، 4 (23): 35-49.
2. منصوریان، ع. ر.، آ. وزیری، م. زمانی، و ف. حیدریان نایینی. 1396. بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سیانید با استفاده از گیاه و تیوریا زیرانیاوایدس (*Vetiveria zizanioides*). مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، 10 (3): 420-411.
3. قائمی، ع. آ.، ف. مجدالدین. 1395. بررسی گیاه‌پالایی و تیور و اکالیپتوس در جذب برخی فلزات سنگین از فاضلاب در خاک آلوده به شیرابه زباله. مجله مهندسی منابع آب، 9 (28): 95-106.
4. Anning, A. K., R. Akoto. 2018. Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. – *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 148: 97-104. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.10.014.
5. Arduini, I., D. L. Godbold., and A. Onnis. 1994. Cadmium and copper change root growth and morphology of *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* seedlings. *Physiologia plantarum*. 92(4): 675-680.
6. Chaoui, A., and E. El Ferjani. 2005. Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. *Comptes rendus biologies*. 328(1): 23-31
7. Effendi, H., B. A. Widyatmoko Utomo., N. T. M. Pratiwi. 2020. Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with *Vetiveria zizanioides*. 32(1): 207-212. doi.org/10.1016/j.jksus.2018.04.018.
8. Kafil, M., Boroomand Nasab, S., Moazed, H., and Bhatnagar, A. (2019). Phytoremediation potential of vetiver grass irrigated with wastewater for treatment of metal contaminated soil. Volume 21, 2019 - Issue 2 Pages 92-100. doi.org/10.1080/15226514.2018.1474443.
9. Kamalpour, S., H. Ali Alikhani., B. Motasharzadeh., and M. Zarei. 2014. Investigating the effect of some biological factors on lead vegetation and phosphorus uptake By eucalyptus (*camaldulensis* Eucalyptus), Iranian Forest Magazine, Iranian Forestry Association. 4: 457-470.
10. Khatib, H., W. Huang., D. Mikheil., V. Schutzkus., and R. L. Monson. 2009. Effects of signal transducer and activator of transcription (STAT) genes STAT1 and STAT3 genotypic combinations on fertilization and embryonic survival rates in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 92(12): 6186-6191
11. Mobin, M., N. A. Khan. 2007. Photosynthetic activity pigment composition and antioxidative response of two mustard cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. *J. plant Physiol*. 164: 601-610. doi: 1016/j.jplph.2006.03.003.
12. Ng, C.C., M. M. Rahman., A. N. Boyce., M. R. Abas. 2016. Effects of Different Soil Amendments on Mixed Heavy Metals Contamination in Vetiver Grass 97: 695-701. doi:10.1007/s00128-016-1921-5
13. Peng, D., M. Shafi., Y. Wang., S. Li., W. Yan., J. Chen., Z. Ye., D. Liu. 2015. Effect of Zn stresses on physiology, growth, Zn accumulation, and chlorophyll of *Phyllostachys*

- pubescens. Environ Sci Pollut Res Int. 22(19): 14983–14992. doi: 10.1007/s11356-015-4692-3.
14. Prasad, M. N. V., & J. Hagemeyer. 1999. Metallothioneins and Metal Binding Complexes in Plants. Heavy metal stress in plants. From molecules to Ecosystems.
15. Ramos-Arcos, S.A., S. Lopez-Martinez., S. Lagunas Rivera., E. G. Gonzalez-Mondragon., M. C. De la Cruz leyva., J. R. Velazquez-Martinez. 2019. Phytoremediation of landfill leachate using vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) and cattail (*Typha latifolia*). APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH. 17(2): 2619-2630.
16. Siya R., D. F. Ardejani., M. Farahbakhsh., P. Norouzi, M.Yavarzadeh, and S. Maghsoudy. 2020. Potential of Vetiver Grass for the Phytoremediation of a Real Multi-Contaminated Soil, Assisted by Electrokinetic. Chemosphere. 246: 125802.
17. Standard Practice for Nitric Acid Digestion of Solid Waste. 2017. Book of Standards Volume: 11.04 (ASTM D5198 -17).
18. Standard Test Method for Analysis of Nickel Alloys by Flame Atomic Absorption Spectrometry. (ASTM E1835-14, 2014).
19. Standard Test Method for Low Concentrations of Lead, Cadmium, and Cobalt in Paint by Atomic Absorption Spectroscopy. (ASTM D3335 - 85a, 2014).
20. Standard Test Method for Manganese in Gasoline By Atomic Absorption Spectroscopy. (ASTM D3831 – 12, 2017).
21. Tambunan, J.A.M., H. Effendi., M. Krisanti. 2018. Phytomerediating batik wastewater using Vetiver *Chrysopogon zizanioides* (L). Polish J. Environ. Stud. 27 (3): 1281–1288. doi.org/10.1007/s13201-018-0640-y.
22. Truong, P. and L. T. Danh. 2015. The Vetiver system for improving water quality: prevention and treatment of contaminated water and land, 2nd edn. The Vetiver Network International.
23. Vaverková, M.D., D. Adamcová., M. Radziemska., S. Voběrková., Z. Mazur., J. Zloch. 2018. Assessment and evaluation of heavy metals removal from landfill leachate by *Pleurotus ostreatus*. – Waste and Biomass Valorization 9(3): 503-511. doi: 10.1007/s12649-017-0015-x.
24. Wong, M.H., Y. S. G. Chan., C. Zhang., C. Wang-Wai. 2016. Comparison of pioneer and native woodland species growing on top of an engineered landfill, Hong Kong: restoration programme. Land Degrad Dev. 27(3): 500–510. doi:10.1002/ldr.2380.
25. World Health Organization. 2011. Guidelines for Drinking Water Quality, 4th Edition, Geneva, Switzerland. ISBN 978 92 4 1548151.
26. Yan Y, J Gao., J. Wu., B. Li. 2014. Effects of inorganic and organic acids on heavy metals leaching in contaminated sediment. In: Interdisciplinary response to mine water challenges, China University of Mining and Technology Press, Xuzhou.(Eds. Sui, W., Sun, Y. and Wang, C.): 406-410.
27. Zhao, X., K. Cheng., & D. Liu. 2009. Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis. *Applied microbiology and biotechnology*. 82(5): 815.

Investigation of the Uptake of Heavy Metals in Waste Leachate by Vetiver from a Contaminated Soil

F. Gravand, A. Rahnavard¹, and G. Mohammad Pour

Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran;

E-mail: Gravand92@gmail.com

Department of Environment, Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad

University, Tonekabon, Iran; E-mail: rahnavard_aptin@yahoo.com

Department of Environment, Islamic Azad University, Research Sciences Branch, Tehran, Iran;

E-mail: G.mohammadpor@gmail.com

Received: December, 2020 and Accepted: July, 2021

Abstract

The aim of this study was to evaluate the potential of uptake of lead, cadmium, manganese and nickel from municipal waste leachate by Vetiver under greenhouse conditions. This research was based on a completely randomized design in three replications with four treatments, including waste leachate with concentrations of 0, 30%, 60%, and 100%. The plants were irrigated at optimum temperature conditions for vetiver (23-23 °C) and based on water requirement for 5 months and 4 watering per week, each time using one liter of leachate. The results showed that there was a significant difference at the level of 1% in the uptake of heavy metals by the plant. Also, with the increase of leachate treatment levels to 60%, there was a significant difference at the level of 1% in root and shoot length. Then, in the treatment with 100% leachate, root and shoot length were significantly reduced. With increasing levels of leachate treatment, the uptake of heavy metals by the plant increased. The highest uptake was by the root with a total average of 200.21 mg /kg in all four treatments. The highest amount of adsorption was related to manganese, lead, nickel and cadmium with averages of 70.70, 52.73, 44.56, and 32.22 mg/kg, respectively. In the shoot, the average of the total uptake of the four elements was 147.93 mg/kg, with the highest averages belonging to manganese, lead, nickel, and cadmium as 53.18, 38.35, 35.13, and 21.27 mg/kg, respectively. The maximum uptake of the four heavy metals in the roots and shoots was related to the treatment with 100%. Also, for all elements in all treatments, the biological concentration factor (BCF) was >1 and the transfer factor (TF) was <1. The results showed that the plant was able to absorb significantly higher amounts of heavy metals at higher concentrations of leachate. Since roots showed greater uptake of the heavy metals in waste leachate than shoots, vetiver plant can act as a phytostablizer and reduce heavy metals mobilization in polluted soil.

Keyword: Biological concentration, Transfer factor, Phytoremediation, Phytostablizer, Soil pollution

¹ Corresponding author: Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.

Effect of Oxalic Acid and Vermicompost on Colloidal Transport of Lead in Two Types of Soil Texture

H. Shirani, H. Galedari, and S. Sadr¹

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

MSc Graduate, Vali-e-Asr University of Rafsanjan; Email: galedarih@yahoo.com
Assistant Professor of Agriculture, Payame Noor University, Kerman Province, Rafsanjan Center;
E-mail: 2716sadr@gmail.com

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

Received: November, 2020 and Accepted: July, 2021

Abstract

The present study aimed at investigating the transport of lead by colloids in two types of soils with sandy loam and clay loam textures under vermicompost and organic acid treatments. The experiment was conducted in a complete randomized design. Treatments consisted of three factors including soil texture at two levels (sandy loam and clay loam), additive at five levels (50 and 1000 μM levels of oxalic acid, 1% and 2% weight basis for vermicompost, and a zero level as a control), and the amount of leaching water at 10 levels (10 pore volume). PVC soil columns with an inner diameter of 15 cm and a height of 25 cm were prepared and the treatments were applied, then, leaching was performed based on soil suction measurements at different pore volumes. The results indicated that, after the application of vermicompost to the clay loam soil, leaching colloid from the soil increased and the discharged lead decreased. Adding organic acid increased leaching colloid from the soil; however, treating 50 μM organic acids significantly decreased discharged colloid compared to the control and 1000 μM organic acids treatment. The lowest rates of lead discharge were in the control treatment and the more the concentration of the acid, the more was the discharged lead. However, regarding lead discharge, there was no significant difference among the three levels. In the sandy loam soil, the greatest level of colloid transport belonged to the control, and adding vermicompost significantly prevented colloid transport from the soil, which was compatible with the process of lead discharge. Moreover, adding organic acid decreased colloid transport and the greatest rates of the transportation was recorded in the control treatment that was also compatible with the process of lead discharge. Furthermore, the relation between lead and the discharged colloid was only significant in the sandy loam soil. The results of this study showed that the movement of soluble lead in fine textured soils was negligible and insignificant; however, a substantial amount of lead discharge was detected through colloidal adsorption transport in soil columns. Therefore, it may be concluded that such mechanism would result in lead contamination of groundwater in these types of soils.

Keywords: Leaching, Pore volume, Montemorillonite clay, Colloidal lead adsorption, Soluble lead

¹ Corresponding author: Rafsanjan city, Velayat boulevard, Payame Noor University, Department of Agriculture

Estimation of Sugarcane Production Potential Using Different Models in the Southern Lands of Khuzestan Province

S. A. Seyed Jalali¹, M. Navidi, and A. Zaeinaldini Mimand

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

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

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

Received: October, 2020 and Accepted: July, 2021

Abstract

Understanding the factors that limit prediction of regional performance of sugarcane crop and improve management practices is essential. The purpose of this study was to select a model that could estimate the potential of sugarcane production by considering the climatic, plant, and soil and terrain characteristics of the region. The study areas in the south of Khuzestan Province included the agro-industries of Amir Kabir, Miza Kuchak Khan, Dabal Khazaei, Salman Farsi, and Farabi. For this purpose, 100 sites in farms of different areas under sugarcane cultivation were studied based on diversity in soil characteristics. The method of this research was done in two hierarchies. In the first stage, estimation of sugarcane production potential using FAO growth model and, in the second stage, estimation of land production potential for sugarcane according to the effect of limiting factors in soil (as calculated using soil index with parametric method) that reduced yield in the first stage. To analyze the data, regression by standard methods, stepwise, and estimation curve were used. In standard and stepwise regression, soil properties were considered as an independent variable and the observed yield was considered as a dependent variable. In the linear, second and third degree estimation curve methods, the observed yield of sugarcane was considered as an independent variable and predicted yield was selected as dependent variable. The results of the first phase showed that the production potential of the FAO growth model was 95.8 tons/ha while the results of the second phase showed that the production potential of sugarcane in the region at different management levels was estimated from 18 to 69.3 tons/ha. Factors of yield reduction included limiting factors such as lime content, heavy and very heavy soil texture, drainage, salinity and sodicity, and lack of proper management. The results of standard and stepwise regression methods showed that the coefficient of determination was 0.52 and 0.49 and the standard error (ME) was 10.13 and 9.77 tons/ha, respectively. Soil properties could predict yield by standard method up to 52% and stepwise method up to 49%. In the estimation curve method for linear model, second degree, and third degree, the coefficients of determination were 0.74, 0.85, and 0.87, respectively, and standard errors were 7.8, 5.8 and 5.3 tons/ha. Therefore, the third degree estimation curve method, which uses the FAO growth model to predict crop yield, has higher accuracy and less error than the standard and stepwise regression model, which use only the effect of land characteristics on the observed yields.

Keywords: Soil index, Yield prediction, FAO crop model

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

Estimating Cultivation Area of Some Selected Crops in Bastam Plain by Using Multi-Temporal Sentinel-2 Images

M. Navidi¹, M. Chatrenour, M. Jamshidi, and A. Akhyani

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

PhD Graduate, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran; E-mail: m.chatrenor@gmail.com

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

Assistant Professor, Semnan Center for Agricultural and Natural Resources Research, Agricultural Research, Education and Extension Organization; E-mail: ahmadakhyani@yahoo.com

Received: April, 2021 and Accepted: July, 2021

Abstract

The purpose of this study was to use the Multi-Temporal Sentinel-2 images and phenological index in separating and determining the cultivated area of the agricultural land in the Bastam region. To this end, the agricultural crops of the region were identified according to their types and phenological periods comprising apricot, grape, wheat, and forage corn. Three classifiers including support vector machine, maximum likelihood, and minimum distance models and field observations (points and boundaries provided by GPS) were used in order to compile a land use prediction map. Comparison of the accuracy of the three models showed that the support vector machine had the best performance, with overall accuracy and kappa coefficient of 0.86 and 0.82, respectively. The minimum distance model had the lowest classification performance with overall accuracy and kappa coefficient of 0.69 and 0.61, respectively. According to the model of support vector machine, the highest area (3423 hectares) was obtained for wheat, and the lowest was predicted for forage corn (738 hectares). Finally, the results showed that multi-temporal images and the phenological index had an acceptable capability for separation of the crops, prediction of their areas, and making suitable agricultural land use maps for the study area.

Keywords: Support vector machine, Maximum likelihood model, Minimum distance model, Phenological index

¹. Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Variability of Soil Quality Characteristics in Oak (*Quercus castaneifolia*) and Monterrey Pine (*Pinus radiata*) Plantations

A. S. Nouraei, H. Jalilvand¹, S. M. Hojjati, and S. J. Alavi

PhD., Dept. of Sciences and Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University; E-mail: Noraiy.azam@yahoo.com.

Professor, Dept. of Sciences and Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University; E-mail: hj_458_hj@yahoo.com.

Associate Professor., Dept. of Sciences and Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University; E-mail: s_m_hojjati@yahoo.com.

Associate Professpo., Dept. of forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor; E-mail: j.alavi@modares.ac.ir.

Received: September, 2020 and Accepted: March, 2021

Abstract

The qualitative characteristics of forest soils can change under the influence of complex climatic interactions, soil type, management type, and tree species type. The aim of this study was to investigate the variability of soil quality characteristics in two forest plantations of *Quercus castaneifolia* C. A. Mey and *Pinus radiata* D. Don in Wood and Paper Forests of Mazandaran Province. In both stands, 36 samples were randomly selected for determination of soil physical characteristics, in one season (autumn), and chemical and biological characteristics, in four seasons (autumn, winter, spring and summer). Physical characteristics (clay, silt, sand, moisture, bulk density and lime), chemical characteristics (pH, EC, nitrogen, phosphorus, potassium, carbon to nitrogen ratio) and soil biology (soil respiration, microbial biomass carbon, fine root biomass, metabolic rate, and urease enzyme activity) were measured. The results of this study showed that the concentration of nitrogen, phosphorus and enzyme urease activity in oak stands was significantly higher than pine stand ($p < 0.01$), but potassium concentrations were significantly ($p < 0.01$) higher in the pine stand. In all seasons, the rate of soil respiration in the pine stand was higher than in the oak, but this difference was only significant in summer ($p < 0.05$). Characteristics such as carbon to nitrogen ratio, soil carbon, microbial biomass carbon, fine root biomass, and metabolic coefficient were significantly higher in pine stand than in oak in all seasons ($p < 0.01$). The results of this study showed that, in the nitrogen cycle, the oak stand, but in relation to the carbon cycle and global warming, the pine stand had more effects on the soil characteristics. Overall, the practical results of this study suggest that, to improve soil conditions in the degraded forestlands in northern parts of Iran, plantation of oak species is preferred.

Keywords: Carbon cycle, Microbial biomass carbon, Urease enzyme, Soil respiration, Forestation

¹. Corresponding author: Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, P.O.Box. 587

Effects of Long Term Grazing Exclusion on Some Soil Physicochemical Characteristics and Sustainability

M. Heshmati¹ and M. Gheitury

Associate Professor, Dept. of Soil Conservation and Watershed Management, Kermansha Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran; E-mail: Heshmati46@gmail.com

Associate Professor, Dep. of Soil Conservation and Watershed Management, Kermansha for Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran; E-mail: gheitury42@gmail.com

Received: December, 2020 and Accepted: March, 2021

Abstract

Heavy livestock grazing is a severe threat to soil quality in the rangelands, particularly in the semiarid regions. However, grazing exclusion is the effective and low cost management measure combating improper grazing impact. The purpose of this study was to investigate the effects of grazing exclusion on soil physicochemical properties in Dalahoo Rangeland, Kermanshah, Iran, and was carried out during 2016-2019. For this purpose, two linear transects were performed in enclosure (Ex) and grazed (Gr) sites. In each transect, 12 sampling points were selected with 250 m interval and soil samples were taken from topsoil and repeated annually. The results of this study revealed that the respective value of soil organic carbon (SOC) in Ex and Gr was 1.10 and 1.09 %, showing no significant differences between them in the first year. However, in the fifth year, SOC was enhanced to 3.70% in Ex, which was significantly higher compared to Gr ($p < 0.05$) and 5.5 times higher than the first year. The bulk density (BD) in the Ex and Gr soil in the first year was 1.56 and 1.57 g cm^{-3} , respectively. Over five year time, the BD of Ex significantly decreased to 1.266 g cm^{-3} , while there was no significant change in Gr site. Furthermore, the respective ratio of coarse soil aggregate (CSA) with > 1 mm diameter in Ex and Gr was, respectively, 9.18% and 8.09% in the first year, while it was, respectively, 30.29% and 6.90% in the fifth year, which was significantly higher in Ex ($p < 0.05$) and indicated 3.3 times improvement through enclosure measure. Finally, the limitation class for soil quality in the Ex was changed from high (1st year) to no limitation (5th year), while Gr site, which was in “high limitation class” in the first year, showed no change during five year. This study demonstrates that five years grazing exclusion significantly improved soil quality.

Keywords: Dalahoo Rangeland, Coarse aggregate, Organic Carbon, Soil stability

¹. Corresponding author: Kermansha Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kermanshah, Iran

Effect of Nitrogen Fertigation on Kiwifruit Yield, Quality, and Leaf Nutrient Elements of cv. Hayward in Roudsar Region

M. Ghasemnejad, M. R. Khaledian¹, and S. Alizadeh

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan;

E-mail: ghasemnezhad@guilan.ac.ir

Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; Rasht, Iran,
and Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center;

E-mail: khaledian@guilan.ac.ir

MSc student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of
Guilan; E-mail: alizadeh11@guilan.ac.ir

Received: May, 2020 and Accepted: March, 2021

Abstract

In this study, the effect of fertigation (83.3, 124.8, 166.4 kg Nitrogen per hectare) and “Pit-fertilization” on fruit yield and quality of Hayward kiwifruit was investigated. Control treatment was the common manner of fertilization by local orchardist. The results showed that leaf mineral nutrient elements significantly changed by fertilization treatment. Fertilization with 166.4 kg N/ha and pit-fertilization significantly increased leaf nitrogen, potassium, and calcium, but no significant difference was found between treatments for phosphorus. Furthermore, the highest nitrogen was found in pit-fertilization treatments (1.01%). The highest fruit yield per vine was found in pit-fertilization treatment (56.8 kg/vine) and fertigation with 166.4 kg N/ha (42.82 kg). The mean fruit weight of all fertilization treatments was more than 90 g, which was higher than the control (85.82g). No significant difference was found for dry matter percentage in fertilization treatments, and all were more than 17%, except the pit method treatment. Fruit firmness of fertigation treatments with 83.3 kg N/ha and pit method was more than other treatments: with 7.69 and 7.35 kg/cm, respectively. Fertigation increased fruit soluble solid content (SSC) and resulted in early ripening. In addition, fertigation with 83.3 and 124.8 kg N/ha increased significantly fruit vitamin C. Overall, pit fertilization and fertigation with 166.4 kg N/ha are recommendable due to increasing yield and maintaining fruit quality as well as reducing fertilizing cost and ecological problems.

Keywords: Kiwifruit firmness, Kiwifruit dry matter, Leaf mineral nutrient

¹ Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

Contents

Subject	Page
Effect of Nitrogen Fertigation on Kiwifruit Yield, Quality, and Leaf Nutrient Elements of cv. Hayward in Roudsar Region <i>M. Ghasemnejad, M. R. Khaledian, and S. Alizadeh</i>	1
Effects of Long Term Grazing Exclusion on Some Soil Physicochemical Characteristics and Sustainability <i>M. Heshmati and M. Gheitury</i>	2
Variability of Soil Quality Characteristics in Oak (<i>Quercus castaneifolia</i>) and Monterrey Pine (<i>Pinus radiata</i>) Plantations <i>A. S. Nouraei, H. Jalilvand, S. M. Hojjati, and S. J. Alavi</i>	3
Estimating Cultivation Area of Some Selected Crops in Bastam Plain by Using Multi-Temporal Sentinel-2 Images <i>M. Navidi, M. Chatrenour, M. Jamshidi, and A. Akhyani</i>	4
Estimation of Sugarcane Production Potential Using Different Models in the Southern Lands of Khuzestan Province <i>S. A. Seyed Jalali, M. Navidi, and A. Zaeinaldini Mimand</i>	5
Effect of Oxalic Acid and Vermicompost on Colloidal Transport of Lead in Two Types of Soil Texture <i>H. Shirani, H. Galedari, and S. Sadr</i>	6
Investigation of the Uptake of Heavy Metals in Waste Leachate by Vetiver from a Contaminated Soil..... <i>F. Gravand, A. Rahnavard, and G. Mohammad Pour</i>	7

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

Soil and Water Research Institute Soil Science Society of Iran

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

**Vol. 35, No. 1
2021**

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

Editorial Board

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

English Editor: Hamid Siadat
Type and design: Kobra Alinezhad

**Address: P. O. Box: 31785-311, Karaj – IRAN
Tel / Fax: 026-36208796
Soil and Water Institute Website: www.swri.ir
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 35 \ No. 1 \ 2021

ISSN: 2228 -7124

Contents

Subject	Page
Effect of Nitrogen Fertigation on Kiwifruit Yield, Quality, and Leaf Nutrient Elements of cv. Hayward in Roudsar Region <i>M. Ghasemnejad, M. R. Khaledian, and S. Alizadeh</i>	1
Effects of Long Term Grazing Exclusion on Some Soil Physicochemical Characteristics and Sustainability <i>M. Heshmati and M. Gheitury</i>	2
Variability of Soil Quality Characteristics in Oak (<i>Quercus castaneifolia</i>) and Monterrey Pine (<i>Pinus radiata</i>) Plantations <i>A. S. Nouraei, H. Jalilvand, S. M. Hojjati, and S. J. Alavi</i>	3
Estimating Cultivation Area of Some Selected Crops in Bastam Plain by Using Multi-Temporal Sentinel-2 Images <i>M. Navidi, M. Chatrenour, M. Jamshidi, and A. Akhyani</i>	4
Estimation of Sugarcane Production Potential Using Different Models in the Southern Lands of Khuzestan Province <i>S. A. Seyed Jalali, M. Navidi, and A. Zaeinaldini Mimand</i>	5
Effect of Oxalic Acid and Vermicompost on Colloidal Transport of Lead in Two Types of Soil Texture <i>H. Shirani, H. Galedari, and S. Sadr</i>	6
Investigation of the Uptake of Heavy Metals in Waste Leachate by Vetiver from a Contaminated Soil..... <i>F. Gravand, A. Rahnavard, and G. Mohammad Pour</i>	7