نشریه

مدیریت بیابان

شاپا ۳۷۲۱-۲۴۷۶

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

فصلنامه: سال دهم - شماره ۴ - زمستان ۱۴۰۱

۲۴

فهرست مطالب

به نام خدا

نشریه مدیریت بیابان

فصلنامه علمی انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

این نشریه طی مجوّز شماره ۳/۱۲۶۸۸۵ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری منتشر می‌شود.

دوره ۱۰ شماره ۴ سال ۱۴۰۱

□ **صاحب امتیاز:** انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

□ **ناشر:** انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

□ **آدرس دفتر مجله:**

یزد، دانشگاه یزد، پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

تلفن و فکس: ۰۳۵-۳۸۲۱۰۶۹۸

پست الکترونیک: jdm.isadmc@yahoo.com

□ **تیراژ:** ۱۰۰ نسخه

فصلنامه علمی مدیریت بیابـان

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

سال دهم، شمـاره چهارم، زمستان ۱۴۰۱

فهرست مطالب

راهنمای نگارش مقاله برای چاپ در نشریه علمی مدیریت بیابان
انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

رعایت شیوه‌نامه زیر در نگارش مقاله‌هایی که برای چاپ به نشریه مدیریت بیابان ارسال می‌گردد ضروری است.

۱- نوع مقاله

مقاله‌های پژوهشی اصیل، دارای نوآوری و حاصل کار پژوهشی نویسنده یا نویسندگان مرتبط در یکی از زمینه‌های تحقیقاتی زیر که به زبان فارسی نوشته شده و برای نخستین بار منتشر می‌شوند، جهت چاپ مورد بررسی هیأت تحریریه نشریه قرار خواهد گرفت:

- **اکوسیستم مناطق بیابانی**
- **ارزیابی بیابان زایی**
- **پایش بیابان زایی**
- **روش‌های نوین بیابان‌زدایی**
- **پوشش گیاهی و کشاورزی در مناطق بیابانی**
- **تخریب سرزمین، بیابان‌زایی**
- **مدیریت آب در مناطق بیابانی**
- **تغییر اقلیم و اثرات آن در بیابان زایی**
- **ژئومرفولوژی بیابان**
- **فرسایش بادی و ریزگردها**

- مقاله ارسال شده به این نشریه نباید در نشریه دیگری چاپ یا هم‌زمان برای سایرنشریه‌ها ارسال شده باشد.

- مشخصات بخش‌های مختلف مقاله:

۱) برگ شناسه (معرفی نویسنده یا نویسندگان): شامل نام، نام خانوادگی، مرتبه علمی و نشانی کامل محل کار و شماره تلفن های ثابت و همراه نویسنده (گان) است که به فارسی و لاتین نوشته شده و به همراه نشانی پست الکترونیک نویسندهٔ مسئول به همراه مرتبه علمی و محل خدمت نویسنده (گان) در فایل جداگانه‌ای ارائه می‌شود. در این فایل عنوان مقاله به فارسی و ترجمه انگلیسی آن نیز قید گردد.

۲) عنوان مقاله: عنوان باید کوتاه و جامع بوده و از ۱۵ واژه تجاوز نکند و مفهوم اصلی پژوهش را نشان دهد. عنوان در ابتدا و وسط صفحهٔ اول درج می‌شود.

۳) چکیده: چکیده باید مجموعهٔ فشرده و گویایی از مقاله با تأکید بر تشریح مسئله، روش کار و نتایج مهم و ارزیابی آنها بوده و از ۳۰۰ واژه بیشتر نباشد. از به کار بردن نام‌های خلاصه شده، ارائه منبع، فرمول، جدول و شکل در چکیده خودداری شود.

۴) واژگان کلیدی: حداکثر ۶ کلمه به ترتیب اولویت آورده شود و با "؛" از هم جدا گردند و معادل خارجی آن‌ها نیز در زیر چکیده انگلیسی مقاله و به همان ترتیب درج شود. به‌منظور بیشتر دیده شدن مقاله در جستجوهای رایانه‌ای، این کلمات نباید در عنوان مقاله تکرار شوند.

۵) مقدمه: شامل طرح مسئله، شرح موضوع، اهمیت، فرضیه‌ها، مرور پژوهش‌های انجام شده و هدف از پژوهش است.

۶) مواد و روش‌ها: شامل مواد و وسایل به کار رفته، شرح کامل روش‌های آزمایش و چگونگی اجرای پژوهش، مشخصات منطقهٔ مورد مطالعه، طرح آماری و روش‌های ارزیابی است. از هر گونه کلی گویی در این بخش باید پرهیز شود.

۷) نتایج: همه نتایج کیفی و کمی به دست آمده و توضیحات لازم در این قسمت ارائه می‌گردد. نتایج حاصل با تحقیقات قبلی مقایسه شده، در صورت نیاز می‌توان موضوعات را طبقه‌بندی و برای ارائه نتایج از جدول، منحنی، نمودار و یا تصاویر استفاده نمود.

۸) بحث و نتیجه‌گیری: در برگیرنده جمع‌بندی خلاصه نتایج با توجه به هدف بررسی بوده و دست آوردها با توجه به یافته‌های سایر پژوهش‌ها، تجزیه و تحلیل شده و دربارهٔ آن ها بحث و نتیجه‌گیری صورت می گیرد. نگارنده (گان) در این قسمت می‌توانند توصیه‌ها و پیشنهادهای لازم جهت انجام بررسی‌های بعدی را نیز ارائه کند. نگارنده (گان) می‌توانند بخش بحث را همراه با نتایج تدوین نموده و عنوان "نتایج و بحث" را انتخاب نمایند. در این صورت بخش نتیجه گیری مقاله با عنوان "نتیجه گیری" به صورت کوتاه و فقط نتیجه گیری از نتایج پژوهش، تدوین می گردد.

۹) سپاسگزاری: در این قسمت از تأمین کنندگان بودجه و امکانات و اشخاص دیگر بجز نگارندگان، که در انجام تحقیق کمک کرده‌اند، سپاسگزاری می‌شود که اختیاری است.

یادآوری بسیار مهم: سرقت ادبی یک عمل غیر علمی و ناشایست و غیرقابل پذیرش برای این نشریه به‌شمار می‌رود. جهت جلوگیری از رخ دادن این پدیده زشت، در موقع خلاصه کردن کار دیگران و ارائه آن، لازم است یادداشت برداری با استفاده از کلمه‌ها و واژه‌ها به زبان خود نویسنده صورت گیرد و از به‌کار بردن عین جملات دیگران حتی با درج مآخذ آن، به طور جد خودداری گردد.

۱۰) منابع:

الف) منابع داخل متن:

منابع داخل متن فقط با ذکر شماره ردیف مقاله در لیست منابع انجام می‌گیرد که در داخل پرانتز باید یادداشت شود.

تأکید مجله بر عدم استفاده از نام مؤلفین یا پدیدآورندگان منابع در اول جملات است. لذا در متن از ذکر نام نویسندگان منابع خودداری شود. جملات با افعال مجهول نوشته شوند تا نیازی به ذکر نام نویسنده نباشد. در صورت الزام فقط در یک یا حداکثر دو مورد در مقاله استفاده از نام نویسندگان به‌صورت نام نویسنده و ذکر فقط سال انتشار آن به شکلی که در لیست منابع ذکر شده، در داخل پرانتز بلامانع است و در آخر همان جمله یا مطلب هم شماره همان رفرنس در داخل پرانتز ذکر گردد. اگر تعداد نویسندگان بیشتر از دو نفر باشند، بعد از نام نویسنده اول از "et al." استفاده شود.

در هر مقاله می‌توان از یک پایان نامه کارشناسی ارشد به‌عنوان منبع بهره جست.

ب) منابع انتهای متن:

لیست منابع در آخر مقاله باید به انگلیسی تدوین گردد و مقاله‌های فارسی هم طبق یادداشت‌های خود منبع به انگلیسی نوشته شوند. لذا منابع فارسی و انگلیسی به‌ترتیب نام خانوادگی نفر اول در یک لیست تدوین گردد. از ترجمه آزاد عنوان مقاله و دیگر مشخصات نگارندگان و نام نشریه خودداری نمایید تا از اتلاف وقت برای اصلاح مجدد آن جلوگیری شود. تمامی منابع به‌ترتیب حرف ابتدای نام خانوادگی نویسنده اول یا در صورتی که فاقد نگارنده باشد نام سازمان مربوطه، در

فهرست منابع مورد استفاده قرار گیرد. منابع به صورت پیوسته شماره‌گذاری و همین شماره در متن برای رفرنس دادن استفاده شود.
در تنظیم فهرست منابع مورد استفاده از آوردن واژگان به صورت مخفف مانند "J" به جای Journal یا، U و یا Univ به جای University و ... پرهیز شود.
چنانچه از یک نگارنده چند منبع مورد استفاده قرار گیرد، ترتیب ارائه آنها بر حسب سال انتشار از قدیم به جدید است، لازم به‌ذکر است در صورتی‌که مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده وجود دارد، ابتدا مقالات منفرد و سپس بقیه آنها به‌ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب گردد.
از به‌کارگیری عبارت "et al." در لیست مقالات به جای نام نویسندگان مقاله خودداری شود و اسامی تمامی نویسندگان به‌ترتیب ذکر شده در منبع مورد نظر آورده شده و نام کامل خانوادگی و حرف اول نام نویسندگان با ویرگول و قبل از نام آخرین نویسنده با & از یکدیگر تفکیک گردند.
سال‌های شمسی تمام منابع فارسی مورد استفاده در مقاله به صورت سال میلادی ارائه گردد.
در مورد منابعی که فارسی است، به‌منظور آگاهی خواننده عبارت "in Farsi" در انتهای منبع قبل از نقطه پایانی و در داخل پرانتز آورده شود.

روش ارجاع منابع مختلف:

✓ کتاب تألیفی:

Author, A. A., & Author, B. B. (Year). *Title of book*. Location: Publisher.

✓ کتاب ترجمه شده:

Author, A. A., & Author, B. B. (The translation Year). *Title of book*. Translator, A. A., Location: Translation Publisher.

✓ مقاله:

Author, A. A., Author, B. B., & Author. C. C. (Year). Title of article. *Title of Journal*, *volume* (Issue), page-numbers.

✓ پایان نامه:

Author, A. A. (Year). *Title of Thesis*. Degree, University: Placed Published.

✓ منابع اینترنت:

Author, A. A. (2013). *Title of webpage: Subtitle if needed*, Retrieved Month day, year, from source.
NCAA Committee on Sportsmanship and Ethical Conduct. (2012). *Operations plan: Strategic planning and budgeting for the 2012 and 2013Academic Years*. Retrieved February 9, 2012, from
http://www1.ncaa.org/membership/governance/assoc-wide/ sportsmanship ethics/index.html

نکته: رعایت اصول تایپی در استفاده از نقطه، کاما و فاصله بین کاراکترها و غیره دارای اهمیت است و باید با دقت رعایت گردد.
- کنترل شود که کلیه منابع استفاده شده در متن مقاله، در لیست منابع ذکر شده باشند و یا منابع ذکر شده در لیست منابع در متن به‌عنوان رفرنس استفاده شوند.

۱۱- برگ چکیده به لاتین:

چکیده مقاله به زبان انگلیسی به همراه برگردان کامل عنوان و کلمات کلیدی در یک فایل بدون مشخصات نام و محل کار یا دانشگاه نگارندگان ارسال گردد.

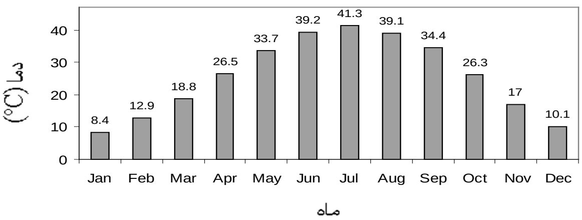
- **شیوهٔ نگارش**:

مقاله روی صفحه A4 با حاشیه‌های بالا و پایین ۲۰ میلیمتر و راست و چپ ۲۰ میلیمتر با قلم نازنین بولد (B Nazanin) فونت ۱۱، در قالب نرم افزارWord2003 تایپ گردد. فاصله بین خطوط به صورت یک فاصله‌ای (Single space) انتخاب گردد. تعداد صفحه‌های مقاله با در نظر گرفتن جدول‌ها، شکل‌ها، نتایج، فهرست منابع نباید از ۱۶ صفحه بیشتر باشد. از به کار بردن کلمات انگلیسی که معادل آنها در فارسی موجود است، در داخل متن اجتناب شود و در صورت لزوم واژه انگلیسی در پاورقی با ذکر شماره تایپ شود. سطر اول هر پاراگراف به میزان ۰/۵ سانتیمتر فرورفتگی داشته باشد.
نوع و اندازه قلم‌ها، طبق جدول زیر رعایت شود.

عنوان فارسی مقاله	B Nazanin 14-Bold	واژگان کلیدی فارسی	B Nazanin 12
عنوان لاتین مقاله	Times New Roman 13-Bold	واژگان کلیدی لاتین	Times New Roman 10
اسامی فارسی نویسندگان	B Nazanin 11	متن فارسی	B Nazanin 13
اسامی لاتین نویسندگان	Times New Roman 10-Bold	واژگان لاتین داخل متن	Times New Roman 11
عناوین فرعی متن فارسی	B Nazanin 13- Bold	عنوان جدول‌ها و شکل	B Nazanin 11 -Bold
متن چکیده فارسی	B Nazanin 11	متن جداول	B Nazanin 10
متن چکیده لاتین	Times New Roman 10	منابع لاتین	Times New Roman 11
پاورقی فارسی	B Nazanin 10	منابع فارسی	B Nazanin 12
پاورقی لاتین	Times New Roman 9	نام‌های علمی	Times New Roman 12- Italic

جدول، شکل‌ها، نتایج را خیلی دقیق‌تر و واضح‌تر از متن نمایش می‌دهند. اطلاعات ارائه شده در جدول‌ها نباید به صورت منحنی و یا به شکل دیگری در مقاله تکرار شوند. شماره و عنوان جدول در بالای جدول ذکر گردد. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به خود باشد. چنان‌چه تمام ارقام جدول دارای واحد یکسان باشد، می‌توان واحد را در عنوان جدول ذکر نمود. توضیحات عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه گردد. نتایج بررسی‌های آماری باید به یکی از روش‌های علمی در جدول منعکس شود. جدول تنها در محیط Word طراحی و از ایجاد ارتباط یا Link نمودارها با دیگر فایل‌ها خودداری شود.
شکل‌های هر مقاله شامل منحنی، نمودار، عکس و نقشه بوده و همه به طور یکسان به عنوان شکل شماره‌گذاری شوند. شکل‌ها باید به صورت سیاه و سفید و با کیفیت بالا باشد. عنوان هر شکل در پایین آن درج گردد. عکس‌ها باید واضح، مطالب آنها خوانا و دارای مقیاس باشند. در تهیه نقشه‌ها به جای رنگ از علامت "نماد" استفاده گردد. ذکر مأخذ عکس‌ها یا شکل‌های اقتباس شده که از منابع دیگر، الزامی است. فایل‌های اصلی شکل‌ها با فرمت Excel, JPEG, Tiff یا PDF

جهت چاپ نهایی به نشریه ارسال گردد. شکل‌ها و جداول مطابق نمونه بدون کادر تنظیم شود.



شکل ۱. نمونه فرمت شکل‌های مورد نظر مجله مدیریت بیابان

● جداول بایستی بدون خطوط عمودی و به صورت نمونه ذیل تهیه گردند. جدول‌ها را شماره گذاری کرده و شماره را در اول عنوان قید و در متن رفرنس دهید.

جدول ۱. نمونه جدول مورد نظر مجله مدیریت بیابان

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)
یزد	°۵۴ ۲۴´	°۳۱ ۵۴	۱۲۳۰
بندر عباس	°۵۶ ۲۲´	°۲۷ ۱۳´	۱۰
بندر انزلی	°۴۹ ۲۸´	°۳۷ ۲۸´	-۲۶/۳
اهواز	°۴۸ ۴۰´	°۳۱ ۲۰´	۲۲/۵
شهرکرد	°۵۰ ۵۱´	°۳۲ ۲۰´	۲۰۶۱/۴

● معادلات باید به ترتیب از ابتدا تا انتها شماره‌گذاری شده و در متن مقاله قبل از معادله رفرنس داده شوند. شماره معادلات باید در انتهای سمت راست و در امتداد سطر حاوی معادلات در داخل پرانتز قید شود. مثال:

$$E = m.\ c^2 \qquad (1)$$

● کلیه عامل‌های دو طرف علامت مساوی در ذیل معادلات با ذکر واحد آن معرفی شوند.

● واحدهای استفاده شده در متن مقاله باید در سیستم متریک (SI) باشد.

● مقالات بایستی با نرم افزار Word 2003 ارسال و از انجام هرگونه تنظیمات اضافی در فایل خودداری شود.

● رعایت نیم فاصله در کلمات ترکیبی و جمع مانند بیابان‌زایی، بیابان‌ها، اندازه‌گیری، شده‌اند، می‌شود، می‌توان و ... ضروری است.

● نقطه و ویرگول بدون هیچ فاصله‌ای در انتهای کلمات قرار گرفته، اما بین آنها و کلمه بعدی یک فاصله نیاز است.

● شماره پاورقی‌ها در هر صفحه باید به صورت مجزا از دیگر صفحه‌ها آیند.

در روش نوین نگارش از پرانتز استفاده نمی‌شود و مطلب مستقیماً در متن بیان می‌گردد. از نوشتن مطلب در پاورقی و نیز در داخل پرانتز خودداری نمایید.

مقاله در فرمت تک ستونی تدوین و ارسال شود و از تدوین آن در دو ستون خودداری گردد.

● **عدم رعایت شیوه نامه فوق موجب تأخیر در پذیرش و رفت و برگشت‌های مکرر و زمان‌بر مقاله خواهد شد.**

● مقاله ارسالی به دفتر نشریه پس از طی مراحل داوری مسترد نمی‌شود.

● هیأت تحریریه در رد و ویرایش مقالات مجاز است.

● مسئولیت صحت مطالب به عهده نویسندگان است.

● مجله مدیریت بیابان به صورت سیاه و سفید چاپ خواهد شد. لذا از ارائه شکل و نمودار رنگی خودداری شود.

● **فایل های ارسالی شامل:**

۱) متن اصلی مقاله بدون اسامی نویسندگان با فرمت Word 2003

۲) یک صفحه شامل عنوان فارسی و انگلیسی مقاله به همراه اسامی، سمت و آدرس نویسندگان و نویسنده مسئول

۳) فرم تعارض منافع و تعهدنامه امضا شده توسط تمامی نویسندگان

ارسال این تعهدنامه برای آغاز بررسی اولیه الزامی است و در صورت عدم بارگذاری تعهدنامه به همراه مقاله، مقاله ارسالی بررسی نخواهد شد.

ارسال تعهدنامه مبنی بر ۱) عدم چاپ مقاله ارسالی به هر شکل در گذشته، ۲) عدم ارسال مقاله به دیگر نشریه‌ها تا تعیین تکلیف در این نشریه و ۳) اطلاع تمامی نویسندگان از ارسال مقاله به دفتر نشریه الزامی است.

فایل های مذکور بایستی در سامانه نشریه به آدرس www.jdmal.ir در بخش ارسال مقاله ثبت گردد.

نشانی پستی دفتر مجله مدیریت بیابان : یزد، دانشگاه یزد، پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران کدپستی: ۸۹۱۹۵-۷۴۱

تلفکس: ۰۳۵-۳۸۲۱۰۶۹۸

رایانامه: jdm.isadmc@yahoo.com

راهنمای نگارش مقاله بر اساس شیوه نامه APA در سایت انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی قابل دسترس است.

نویسندگان محترم بعد از پذیرش مقاله در سامانه نشریه موظف هستند مبلغ سه میلیون و پانصد هزار ریال را به شماره حساب ۲۰۰۷۵۱۷۳۰۳ بانک تجارت شعبه دانشگاه یزد، کد شعبه ۲۰۰۷۵، نام صاحب حساب: انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی، واریز نمایند.

Original Article, Vol. 10, No. 4, Winter, 2023, pp 1-20

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Assessment of Land Degradation Using GLASOD and IMDPA Models (Case study: Yazd-Ardakan plain)

A. Entezari Zarch[1], H. Ahmadi[2*], A. Moeini[3], E. Pazira[4]

1. Ph. D. Candidate, Faculty of Watershed Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: ahmadi@ut.ac.ir

Received date: 15/09/2022 **Accepted date: 09/11/2022**

doi 10.22034/JDMAL.2022.562179.1396

Abstract

Land degradation is manifested by a significant decrease in the biological productivity of the land, following natural events or inappropriate human activities. The consequences of these processes are threats to food security, economic well-being and environmental issues caused by the reduce use of water, soil and plant resources. The aim of the present research is to compare and measure the state of land degradation based on the Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD) model and the Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA). For this purpose, the Yazd-Ardakan plain, located in Central Iran, was selected as the study area. The land unit map of the area was prepared. The severity of land degradation was then investigated using the GLASOD and IMDPA models in each of the land units. The assessment of the accuracy and performance of the two models was carried out by calculating the overall accuracy and kappa coefficient of the production maps, as well as the nonparametric tests of Spearman and Mann-Kendall. The results of the accuracy evaluation showed that the IMDPA production map corresponded to the actual field data of 82%, whereas this correspondence for the GLASOD model was 69%. According to the IMDPA and GLASOD models, desertification is increasing significantly in 33% and 12% of the region, respectively. The intensity of desertification in the moderate class is closing to the severe class. With no strategies for reducing or controlling desertification in the region, the area of land where desertification is severe will increase in the near future. In general, the lack of plant cover is the main factor contributing to increasing the intensity of desertification in the Yazd-Ardakan plain. This problem is the result of the combination of natural factors and destructive human factors in the region, which has significant effects on increasing the process of desertification and soil degradation in this plain.

Keywords: Soil degradation; Desertification; Wind erosion; GLASOD; Yazd

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۱ تا ۲۰

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

نشریه مدیریت بیابـان

www.isadmc.ir

ارزیابی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل جهانی ارزیابی تخریب خاک و مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان)

احمد انتظاری زارچ[۱]، حسن احمدی[۲*]، ابوالفضل معینی[۳]، ابراهیم پذیرا[۴]

۱. دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
۲. استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. استادیار، گروه جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
۴. استاد، گروه خاکشناسی، دانشکدهٔ کشاورزی و علوم غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: ahmadi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸**

doi 10.22034/JDMAL.2022.562179.1396

چکیده

تخریب سرزمین با کاهش چشمگیر تولید بیولوژیک زمین، در نتیجهٔ وقوع رخدادهای طبیعی و یا فعالیت‌های نادرست انسانی نمایان می‌شود. پیامدهای ناگوار این پدیده، تهدید امنیت غذایی، رفاه اقتصادی و مشکلات محیط زیستی ناشی از کاهش توان بهره‌برداری از منابع آب، خاک و پوشش گیاهی است. هدف از پژوهش حاضر مقایسه و سنجش وضعیت تخریب سرزمین براساس دو مدل جهانی گلاسود و مدل ایرانی IMDPA است. به این منظور دشت یزد-اردکان واقع در ایران مرکزی به‌عنوان محدودهٔ مورد بررسی انتخاب شد. سپس شدت تخریب سرزمین براساس دو مدل گلاسود و IMDPA در هر یک از واحدهای اراضی بررسی شد. صحت و عملکرد دو مدل، از طریق محاسبه شاخص‌های صحت‌کلی، ضریب کاپای نقشه‌های تولیدی و همبستگی غیرپارامتری اسپیرمن و من‌کندال ارزیابی شد. نتایج ارزیابی صحت نشان داد که نقشه تولیدی IMDPA به‌مقدار ۸۲٪ با واقعیت زمینی تطابق دارد. در حالی‌که این تطابق در نقشه حاصل از مدل گلاسود ۶۹٪ بود. برپایهٔ مدل IMDPA و گلاسود بیابان‌زایی به‌ترتیب در ۳۳٪ و ۱۲٪ از منطقه، به شدت در حال پیشروی است. شدت بیابان‌زایی از طبقه متوسط، در حال نزدیک شدن به طبقهٔ شدید است. در صورتی که مدیریت صحیح در امر کنترل و پیشگیری بیابان‌زایی در منطقه صورت نپذیرد، وسعت اراضی با شدت بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید در آینده‌ای نه‌چندان دور اضافه خواهد شد. در مجموع فقر پوشش سطح خاک، اصلی‌ترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی دشت یزد-اردکان است. این موضوع حاصل تلفیق عوامل طبیعی و عوامل مخرب انسانی در منطقه است که بر افزایش روند بیابان‌زایی و تخریب خاک این دشت تأثیر زیادی دارد.

واژگان کلیدی: تخریب خاک؛ معیار های بیابان‌زایی؛ فرسایش بادی؛ گلاسود؛ یزد

■ مقدمه

تخریب سرزمین اغلب به‌عنوان کاهش چشمگیر بهره‌وری زیستی زمین در نتیجۀ وقوع رخدادهای طبیعی یا فعالیت‌های ناصحیح انسانی توصیف می‌شود (۲۰). در این نوع از تخریب، ظرفیت تولید سرزمین به‌طور مداوم در حال کاهش است و خود را به صور مختلف همچون فرسایش خاک، زوال مواد مغذی خاک، از دست رفتن تنوع زیستی، جنگل‌زدایی و کاهش سلامت گیاهی و یا اضمحلال آن نشان می‌دهد (۲۴). در گزارش ارائه شده از سوی کنوانسیون سازمان ملل متحد برای مبارزه با بیابان‌زایی[1]، تخریب سرزمین، یکی از قابل توجه‌ترین نگرانی‌های محیط‌زیستی در عصر کنونی قلمداد شده است (۴۷، ۴۸) به‌طوری‌که کاهش بهره‌وری در حدود ۴۰ تا ۷۵٪ از زمین‌های کشاورزی جهان را نشان می‌دهد (۲۲). در مناطق خشک، تخریب سرزمین از پیامدهای بیابان‌زایی معرفی می‌شود (۱۰) و علاوه بر عوامل محیطی فیزیکی، بیشتر تحت‌تأثیر و واکنش به فعالیت‌های نادرست انسانی است، به‌طوری‌که مدیریت ضعیف در بهره‌برداری از زمین و تشدید فعالیت‌های کشاورزی غیراصولی و فناوری ناکافی، ازدیاد جمعیت، فقر، و تصمیمات ساختارهای اجتماعی و سیاسی این روند را تسریع می‌کند (۳۴، ۵۰). ارتباط بین پدیدۀ تخریب سرزمین و فعالیت‌های اجتماعی – اقتصادی، رابطه‌ای متقابل و در عین حال چند لایه و پیچیده است، به‌طوریکه در صورت ادامۀ روند فعلی تخریب سرزمین و از بین رفتن قدرت باروری و کاهش کیفیت خاک‌ها، وضعیت عرضۀ مواد غذایی در آینده با مشکل اساسی روبرو خواهد شد (۱). بنابراین نظارت و ارزیابی میزان تخریب سرزمین و یا احیای زمین مسئله‌ای بسیار مهم است که نیاز به شناخت روند پویای تخریب، و در ادامه ارائه راه‌حل‌های پیشگیرانه علمی و حفاظت‌های محیط‌زیستی به‌منظور احیای آن دارد (۴۴). در همین راستا، اندازه‌گیری‌های میدانی و سنجش از دور، دو رویکرد گسترده برای ارزیابی تخریب سرزمین هستند. مشاهدات میدانی مبتنی بر پیمایش و نمونه‌برداری محیطی است و شامل رویکردهایی مانند بهره‌مندی از نظرات کارشناس‌ها، کاربران اراضی، سنجش و اندازه‌گیری میدانی، بررسی تغییرات بهره‌وری اراضی، مطالعات میدانی و مدل‌سازی در سطوح مختلف ملی و محلی می‌باشد (۴۹). در حالی‌که، مطالعات بر روی ارزیابی و اندازه‌گیری تخریب سرزمین با فناوری‌های سنجش از دور، از طریق تصاویر ماهواره‌ای و راداری همراه با ابزار سامانۀ اطلاعات جغرافیایی قابل دست‌یابی است. با این وجود، استفاده از این ابزارها در کنار نقاط قوت، محدودیت‌هایی را نیز دارد (۲۲، ۳۱، ۴۶). برای بررسی عوامل مؤثر در پیدایش و گسترش بیابان‌زایی و تخریب زمین، و راه‌های مبارزه با آن مدل‌ها، شاخص‌ها و معیارهای زیادی ابداع شده است و به‌طور گسترده در داخل و خارج از کشور، از آنها استفاده می‌شود. ولی هر کدام از این مدل‌ها دارای مزایا و محدودیت‌هایی نسبت به همدیگر هستند و با توجه به منطقه و مقیاس قابل انجام برای آنها، عوامل و پارامترهای خاصی دخالت داده می‌شوند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل فائو - یونپ [2] (۱۷)، گلاسود[3] (۱۹)، لادا[4] (۳۰)، مدالوس[5] (۲۶)، مدل طبقه‌بندی نوع و شدت بیابان‌زایی ایرانی[6] (۴۵)، مدل طبقه‌بندی بسط‌یافته بیابان‌زایی ایرانی[7] (۳۵) و مدل ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی ایرانی[8] (۲۳) اشاره کرد که برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، از آنها بهره‌گیری می‌شود.

مدل گلاسود با توجه به نبود اطلاعات لازم و هماهنگ از سراسر جهان و برای تسریع کار و نیاز شدید به یک نقشه سراسری از سهم فرآیندهای بیابان‌زایی در جهان، توسط سازمان یونپ و موسسات وابسته، با بکارگیری داده‌های خاکشناسی، و تهیه نقشه جهانی تخریب خاک تدوین شده است. گلاسود مهمترین روش ارزیابی تخریب سرزمین در سطح قاره‌ای است. در سال ۱۹۸۷ پرپوزال اولیه این مدل توسط یونپ ارائه شد. در سال ۱۹۹۱ اولین پروژۀ منطقه‌ای

---

[1] The United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)
[2] The United Nations Environment Programme- The Food and Agriculture Organization (UNEP-FAO)
[3] The Global Assessment of Soil Degradation (GlASOD)
[4] Land Degradation Assessment in Drylands (LADA)
[5] The Mediterranean desertification and land use (MEDALUS)
[6] Iranian Classification of Desertification (ICD)
[7] Modified Classification of Desertification (MICD)
[8] Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA)

ارزیابی تخریب خاک در جنوب و جنوب‌شرقی آسیا با همکاری ۱۷ کشور انجام شد (۹). در این مدل، تخریب خاک از ۴ جنبۀفرسایش‌های آبی و بادی، و تخریب‌های فیزیکی و شیمیایی محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از بررسی ۴ جنبۀ مذکور درجۀ تخریب و عوامل مؤثر بر آن را علاوه بر ارزیابی مساحت ، شدت و میزان تخریب‌ها در گذشته نشان می‌دهد(۳۲). با وجود اینکه از طریق مدل گلاسود نمی‌توان به درجۀ آسیب‌پذیری زمین در آینده دست‌یافت، ولی وضعیت فعلی تخریب، که به شکلی تخریب از گذشته تا حال است را می‌توان تعیین کرد. در ارزیابی تخریب خاک با مدل گلاسود، چهار عامل مؤثر در تخریب خاک در نتیجه فعالیت‌های انسانی، شامل عامل فرسایش آبی با ۳ مشخصۀ کلی فرسایش ورقه‌ای (W_t)، فرسایش خندقی، شیاری یا توده‌ای (W_d) و سیل و آلودگی (W_o)، عامل فرسایش بادی E_t، E_d و E_o (مشخصۀ اندیس‌های آن مشابه با مشخصه‌های فرسایش آبی)، تخریب شیمیایی با ۶ شاخص کلی کاهش حاصلخیزی و مواد آلی خاک (C_n)، شوری و قلیائیت(C_s)، اسیدی شدن (C_a)، آلودگی (C_p)، تغییر pH (C_t) و افزایش بیش از اندازۀ نیتروژن و فسفر (C_e) و تخریب فیزیکی با ۵ مشخصۀ کلی ب فشردگی و سله بستن (P_c)، غرقاب شدن خاک‌ها (P_w)، کاهش رطوبت خاک (P_a)، کاهش مواد آلی (P_s) و فعالیت‌های فیزیکی انسانی (P_o) بررسی می‌شود. همچنین علت وقوع هر یک از عوامل مذکور، با توجه به مواردی مانند جنگل‌زدایی[1](f)، چرای بی‌رویه[2](g)، فعالیت‌های کشاورزی[3] (a)، بهره‌برداری بیش از حد از پوشش‌گیاهی[4] (e)، فعالیت‌های صنعتی[5] (i) مشخص می‌شود (۲۹).

مدل IMDPA، روش ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی است که توسط احمدی و همکاران، در سال ۱۳۸۵، با همکاری معاونت امور مراتع و خاک سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، دانشکدۀ منابع طبیعی دانشگاه تهران و دانشگاه یزد، با ۹ معیار و ۳۶ شاخص، سازگار با شرایط کشور ایران، تهیه و در سه ناحیه اقلیمی خشک، نیمه خشک و خشک نیمه‌مرطوب اجراشد. در این مدل وضعیت بیابان‌زایی در چهار گروه آب و هوا شامل معیارهای اقلیم و آب آبیاری، گروه زمین با معیارهای زمین و ژئومرفولوژی، خاک و فرسایش، گروه پوشش زمین متشکل از معیارهای پوشش‌گیاهی و کشاورزی و گروه اثرات انسانی شامل معیارهای اقتصادی- اجتماعی و توسعه شهری – صنعتی مورد بررسی قرار می‌گیرد (۱۳). بر این اساس، در گروه آب و اقلیم شاخص‌های افت آب زیرزمینی، بیلان منفی آب، نسبت جذب سدیم، شوری، تداوم خشکسالی، شاخص خشکی و مقدار بارش سالانه در منطقه مورد ارزیابی واقع می‌شوند. در گروه زمین و ژئومرفولوژی، شاخص‌های وضعیت فیزیوگرافی، حساسیت سنگ، نوع بهره‌برداری از واحد کاری، درصد سنگریزه عمق خاک، هدایت الکتریکی، فرسایش آبی و بادی شامل تعداد روزهای با شاخص طوفانی گردوخاک DSI، پوشش گیاهی، تراکم پوشش غیرزنده، ظهور رخساره‌های فرسایش، نوع و تراکم فرسایش آبی، نوع استفاده از زمین و تراکم پوشش گیاهی بررسی می‌شوند. سومین گروه با نام پوشش زمین، شاخص‌های بهره‌برداری از پوشش، وضعیت پوشش، تجدید پوشش، کاربرد نهاده‌ها و ماشین آلات، الگوی کشت و عملکرد محصولات را مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار می‌دهد. در نهایت، گروه انسانی، شاخص‌های عوامل اجتماعی، فرهنگی، تشکل و مشارکت آگاهی، تجربه، دانش بومی، عوامل نهادی ـ حقوقی و قانونی، فقر و اقتصاد، تبدیل اراضی باغی و زراعی به مسکونی-صنعتی، تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به شهری ـ صنعتی و کشاورزی نامناسب، میزان فضای سبز به ازای هر نفر و تراکم جاده و معدن را شامل می‌گردد (۱۳).

ارزیابی تخریب‌سرزمین با بهره‌گیری از مدل گلاسود و رویکرد جامع زمین‌آماری در بخش جنوبی ایالت کاراناتاکا[6] کشور هند نشان می‌دهد که خاک‌های منطقه در معرض تخریب‌های فیزیکی و شیمیایی در افق‌های سطحی و زیرسطحی قرار دارند، و از نتایج آن می‌توان به‌عنوان ابزاری مفید برای اجرای سیاست‌های مدیریت پایدار منابع زمین در منطقه استفاده نمود (۲). نتایج ارزیابی تخریب سرزمین دلتای نیل، واقع در شرق مصر با تلفیق سنجش از دور، GIS

[1] Deforestation and removal of the natural vegetation
[2] Overgrazing
[3] Agricultural activities
[4] Overexploitation of vegetation for domestic use
[5] Industrial activities
[6] Karnataka

و روش گلاسود نشان می‌دهد که نوع اصلی تخریب سرزمین در منطقه، فرآیندهای شور و قلیایی شدن، فشردگی خاک و ورود به سیستم آب است و علت به وجود آورنده انواع تخریب سرزمین در این منطقه، ناشی از عوامل انسانی از طریق آبیاری بیش از حد، دخالت در زهکشی طبیعی، استفاده نامناسب از ماشین آلات سنگین و عدم وجود روشهای حفاظتی است (۴۷). سنجش جهانی تخریب خاک از طریق روش گلاسود برای شناسایی منابع رسوب و فرآیندهای فرسایش در نیومبا[1] واقع در تانزانیا نشان می‌دهد که روش گلاسود برای به تصویر کشاندن تفاوت‌های منطقه‌ای بزرگ مرتبط با تخریب خاک رضایت‌بخش است و یک ابزار مفید برای بررسی فرسایش و شناسایی منابع رسوب است (۲۹). هدف اصلی از ارائه مدل تخریب خاک گلاسود را می‌توان تقویت آگاهی تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران در مورد خطرات ناشی از مدیریت نامناسب خاک برای رفاه جهانی و ایجاد مبنایی برای تعیین اولویت‌ها برای برنامه‌های عملی بیان کرد (۲۸).

ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی با بهره‌گیری از مدل ایرانی IMDPA در جنوب شرق اهواز (۲۳)، منطقهٔ سراوان سیستان و بلوچستان (۵۱) و منطقهٔ فاریاب کرمان (۲۱)، با بررسی ۴ معیارخاک، پوشش‌گیاهی، فرسایش بادی و اقلیم، شدت، طبقات و میزان خطر بیابان‌زایی را در مناطق مذکور مشخص می‌سازد. هدف از پژوهش حاضر مقایسه و سنجش وضعیت تخریب اراضی برپایهٔ مدل جهانی گلاسود مبتنی بر مشاهده‌های میدانی گسترده و مدل ایرانی IMDPA مبتنی بر داده‌های عددی است. به‌این‌منظور دشت یزد-اردکان با توجه به افزایش در شدت فرآیندهای فرسایش بادی و ایجاد تخریب سرزمین طی سال‌های گذشته و بروز مسائلی مانند افزایش شدت توفان‌های گردوغبار و آلودگی هوا به عنوان محدودهٔ مورد بررسی انتخاب شد.

■ مواد و روش

منطقهٔ مورد بررسی

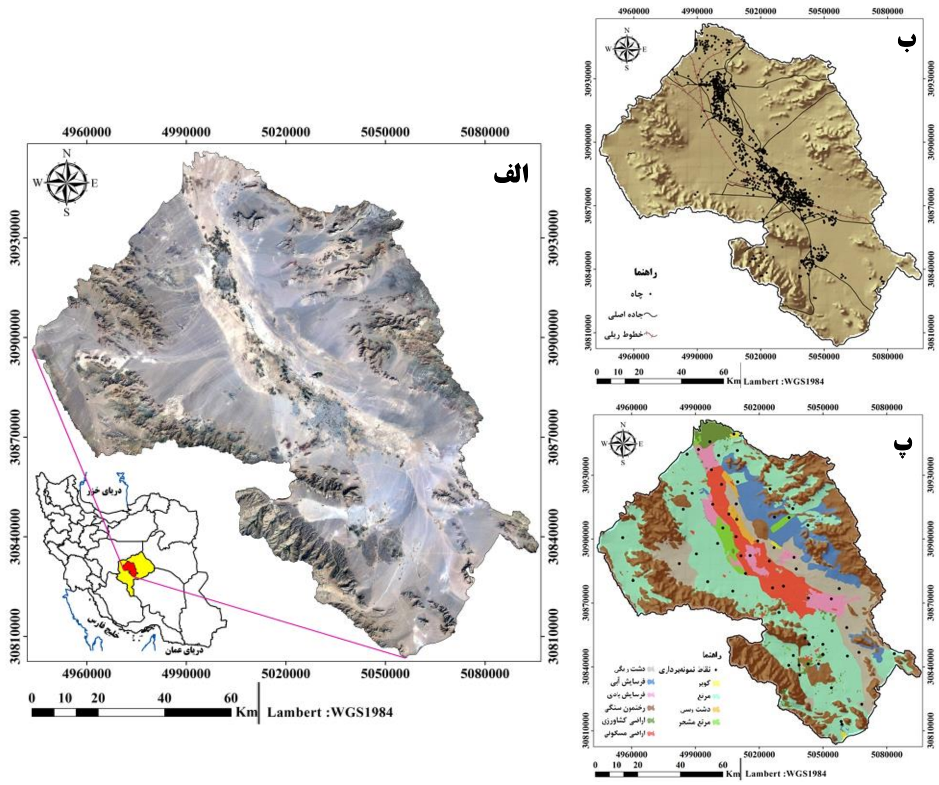
محدودهٔ دشت یزد - اردکان و آبخیز مشرف به آن در سیستم مختصات لامبرت در موقعیت ۳۰۸۰۳۴۶۵ تا ۳۰۹۵۶۳۵۶ متر عرض شمالی و ۴۹۴۳۵۹۱ تا ۵۰۹۶۷۰۸ متر طول شرقی در فلات مرکزی ایران، با مساحت تقریبی ۱۱۵۴۵ کیلومترمربع، واقع شده است (شکل ۱). این دشت یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان یزد از دیدگاه منابع طبیعی، منابع انسانی و اقتصادی به شمار می‌رود، که به دلیل واقع بودن در زیر مرکز پرفشار جنب حاره‌ای دارای نوسان دمایی زیاد است. بارش‌های منطقه اندک و نامنظم است. به‌طوری‌که با ضریب تغییرات ۰/۵۱ در نوسان است. از قدیمی‌ترین تا جوان‌ترین سازندهای زمین‌شناسی و انواع رخساره‌های ژئومورفولوژی را می‌توان در حوزهٔ آبخیز دشت یزد- اردکان مشاهده کرد. تراکم پوشش گیاهی در این منطقه، از صفر تا ۲۰٪ متغیر بوده و گونه غالب آن، در حال حاضر درمنه دشتی (*Artemisia sieberi Besser*) است. بافت غالب خاک در نقاط مختلف این منطقه را بافت‌های لومی شنی، لومی رسی و لومی تشکیل می‌دهند (۴۰). این منطقه یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین دشت‌های استان یزد، با بیشترین تراکم جمعیت شهری و روستایی است، که با توجه به شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی آن، مشکل فرسایش، تخریب سرزمین و به‌طور کلی تهدید جنبه‌های مختلف منابع آب، خاک و گیاه در آن نمایان است (۱۶، ۴۳).

داده‌های پژوهش

به‌منظور تولید نقشه‌های پایه و استاندارد برای ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی مرتبط با تخریب سرزمین منطقهٔ مورد مطالعه در مدل‌های IMDPA و گلاسود، جمع‌آوری داده و اطلاعات موردنیاز، از سازمان‌های دولتی و نیمه‌دولتی انجام‌شد. در پاره‌ای از موارد نیز برای به روزرسانی داده‌های موردنیاز در بررسی ویژگی‌های خاک منطقه، برداشت میدانی توسط پژوهشگر انجام و تحلیل‌های لازم برای دریافت اطلاعات موردنیاز انجام شد. در مجموع داده‌های زیر برای اجرای مدل‌های IMDPA و گلاسود در دشت یزد ـ اردکان استفاده گردید:

- داده‌های ۳۰ سالهٔ ایستگاه‌های هواشناسی استان یزد تا سال ۱۳۹۷، شامل داده‌های بارندگی، دما، باد، رطوبت نسبی، روزهای گردوخاک، کدها گردوغبار و تبخیر و تعرق؛

[1] Nyumba



شکل ١. موقعیت محدودهٔ دشت یزد-اردکان به‌عنوان منطقهٔ مورد مطالعه (الف)؛ موقعیت چاه‌های مشاهداتی (ب)؛ موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک (پ)

- نقشه‌های کاربری اراضی، تیپ‌بندی و تراکم پوشش گیاهی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد؛
- نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ١:٢٥٠٠٠ استان یزد، نقاط ارتفاعی و اطلاعات پایه شامل مراکز مسکونی، راه‌ها، خطوط ارتباطی و سایر اطلاعات مرتبط؛
- نقشه زمین شناسی و ژئومورفولوژی دشت یزد ـ اردکان؛
- آمار مربوط به منابع آب سطحی و زیرزمینی شامل چاه‌های پیزومتری، عمق سفره‌های آب زیرزمینی و اطلاعات مربوط به کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی ادارهٔ کل آب منطقه‌ای استان یزد؛
- آمار جمعیتی روستاها، دهستان‌ها و بخش‌های منطقه، شامل تعداد خانوار، نوع معیشت، اشتغال، تعداد دام، تعاونی‌ها و سایر موارد لازم برای ارزیابی مدل IMDPA، فرمانداری استان یزد؛
- آمار عملکرد محصول‌های کشاورزی براساس نوع کشت و الگوی کشت، ادارهٔ کل جهاد کشاورزی استان یزد؛
- نقشه تراکم جاده و معادن دشت یزد ـ اردکان؛
- اطلاعات خاک‌شناسی حاصل از تجزیهٔ آزمایشگاهی پروفیل‌های خاک
- گزارش طرح‌ها و پروژه‌های اجرایی و مطالعاتی در سطح منطقه مورد مطالعه.

روش پژوهش

تهیه نقشه واحدهای کاری

در پژوهش حاضر، از تلفیق لایه‌های کاربری اراضی، شیب، رخساره‌های ژئومرفولوژی و سنگ شناسی منطقه، اقدام به تهیه لایهٔ واحدهای کاری با مقیاس ١:٥٠٠٠٠ شد. ١٠ واحد کاری یا رخساره زیستی[1] شامل توده‌ها و برونزدهای سنگی، اراضی شهری و روستایی، مرتع، مرتع مشجر، اراضی کشاورزی، فرسایش آبی، فرسایش بادی، سنگفرش بیابان، دشت رسی و کویر (١٣) برای ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی و تخریب خاک در دو مدل IMDPA و گلاسود، معرفی شدند (شکل ٢).

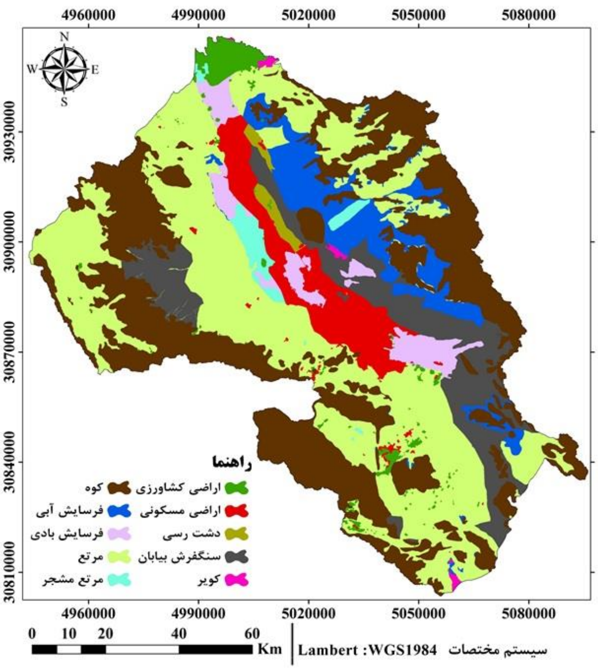
[1] Geobiofaces

مدل گلاسود

در ارزیابی تخریب خاک با مدل گلاسود، درآغاز در ۶۳ نقطهٔ زمینی واقع در واحدهای کاری تهیهٔ شده در دشت یزد-اردکان (شکل ۱)، پروفیل خاک در تمام افق‌های خاک برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده، برای انجام آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد. بعد از هوا خشک‌شدن نمونه‌های خاک، اندازه‌گیری پارامترهای pH گل اشباع توسط pHمتر، هدایت‌الکتریکی عصارهٔ اشباع توسط هدایت‌سنج الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش باور[1] (۵)، بافت خاک از طریق روش هیدرومتری (۱۸)، فسفر قابل جذب به روش اولسن[2] (۳۳)، و کربن آلی با روش بلک[3] (۸) انجام شد. با توجه به اینکه در مدل گلاسود، بررسی بر روی ویژگی‌های خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی از منظر فرسایش آبی و بادی صورت می‌گیرد تجزیهٔ آزمایشگاهی نمونه‌ها به صورتی انجام شد که علاوه بر تأمین الزام‌های معمول در بررسی‌های بخش خاکشناسی، توانایی ارزیابی تخریب خاک را نیز داشته باشد. به‌منظور ارزیابی حساسیت منابع خاک به تخریب از منظر عوامل مرتبط با فرسایش‌های آبی و بادی، از مشاهدات میدانی، و تجربه و دانش کارشناسی بهره‌گرفته شد. سپس لایه‌های رقومی مربوط به نوع تخریب، درجه و میزان شدت آن برطبق طبقه‌بندی عوامل اصلی چهارگانه فرسایش آبی، فرسایش بادی، تخریب شیمیایی و تخریب فیزیکی، و زیرمجموعه‌های فرعی آنها (۴۲) تهیه شد (شکل ۳). بدین ترتیب، هر یک از عوامل مذکور از نظر درجه تخریب، به چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد و از لحاظ گسترش تخریب به پنج دسته تقسیم شد. در نهایت، حاصل ترکیب این طبقه‌ها در هر یک از واحدهای کاری مورد بررسی، شدت تخریب خاک حوزهٔ آبخیز دشت یزد ـ اردکان را مشخص نمود. لازم به توضیح است که در بررسی ویژگی‌های مختلف خاک، واحد کاری رخنمون سنگی مورد ارزیابی واقع نشد و امتیازی به آن تعلق نگرفت.

ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی ایرانی IMDPA

در اجرای مدل IMDPA، از ۹ معیار ارائه شده در این مدل بهره‌گرفته شد. برای امتیاز دهی هر یک از معیارهای مورد بررسی شاخص‌های معرفی شده در دستورالعمل آن (۱۳) بررسی گردید.



واحد کاری	مساحت (ha)
دشت رسی	۸۹۲۹
دشت ریگی	۱۲۱۵۱۱
فرسایش آبی	۸۴۲۱۹
فرسایش بادی	۴۲۵۵۱
کویر	۲۹۸۶
مرتع	۴۰۶۳۷۹
مرتع مشجر	۱۷۳۹۱
اراضی کشاورزی	۲۳۹۵۴
اراضی مسکونی	۷۵۴۰۴
رخنمون سنگی	۳۷۱۱۳۲
مجموع	۱۱۵۴۴۵۶

شکل۲. نقشه واحدهای کاری اراضی محدودهٔ مطالعاتی دشت یزد – اردکان

[1] Baver
[2] Olsen
[3] Black

به‌عنوان مثال در بررسی معیارهای اقلیم، سه شاخص خشکی، بارندگی سالانه و تداوم خشکسالی بررسی شد، که برای ارزیابی شاخص‌های مذکور ابتدا نقشه‌های شاخص خشکی[1]، بارندگی سالانه و خشکسالی با بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی تولید و در ادامه برطبق دستورالعمل مذکور امتیاز بندی شد.

در مجموع امتیازدهی هر یک از شاخص‌ها با توجه به داده‌های مرتبط با شرایط منطقه، مشاهدات میدانی و نظر کارشناس، مشخص شد و به آن از طریق جداول امتیازدهی در دستورالعمل (۱۳) این روش، امتیاز بین ۰ تا ۴ تعلق گرفت. هر شاخص در ۴ طبقه کم، متوسط، شدید و خیلی شدید ارزیابی شد. در پایان میانگین هندسی شاخص‌ها، مطابق رابطهٔ ۱ (۳۸) محاسبه و به عنوان امتیاز معیار مورد ارزیابی، در نظر گرفته شد.

$$\mathrm{IndexX} = [(\mathrm{Layer1}).(\mathrm{Layer2}) \ldots (\mathrm{Layern})]^{1/n} \qquad (۱)$$

که در آن:

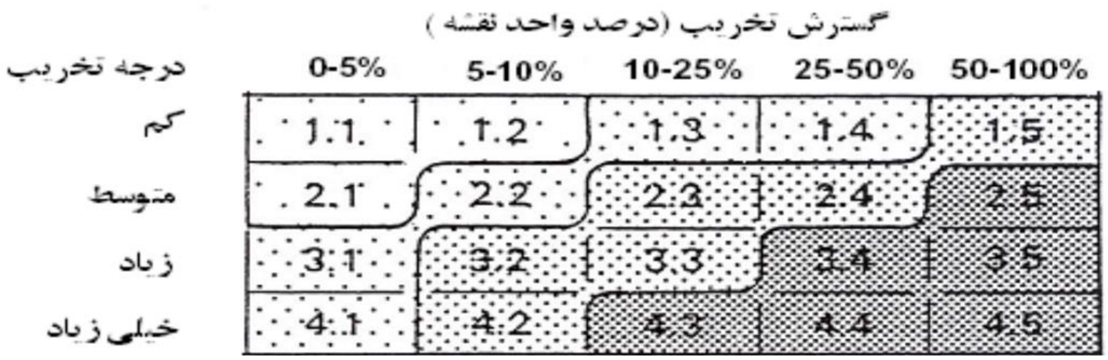
Index X: معیار مورد نظر، Layer: شاخص‌های هر معیار و N: تعداد شاخص‌های هر معیار.

امتیاز هر معیار به وسیله جدول ۱ ارزیابی کیفی شد و در آخر، نقشه پتانسیل بالفعل بیابان‌زایی در مدل IMDPA از منظر ۹ معیار اقلیم، زمین‌شناسی و ژئومرفولوژی، پوشش‌گیاهی، کشاورزی، آب، خاک، فرسایش، مسائل اجتماعی و اقتصادی و توسعه شهری و صنعتی با بکارگیری میانگین هندسی و از رابطه ۲ تهیه و طبقه‌بندی شد.

$$\mathrm{DM} = (Q_C \times Q_V \times Q_S \times Q_G \times Q_A \times Q_E \times Q_W \times Q_{SE} \times Q_T)^{\frac{1}{9}} \qquad (۲)$$

که در آن:

Q_C[2]: معیار کیفیت اقلیم؛ Q_V[3]: معیار کیفیت پوشش‌گیاهی؛ Q_S[4]: معیار کیفیت خاک؛ Q_G[5]: معیار کیفیت زمین‌شناسی و ژئومرفولوژی؛ Q_A[6]: معیار کیفیت کشاورزی؛ Q_E[7]: معیار کیفیت فرسایش؛ Q_W[8]: معیار کیفیت آب؛ Q_{SE}[9]: معیار کیفیت مسائل اجتماعی ـ اقتصادی؛ Q_T[10]: معیار کیفیت توسعه شهری و صنعتی؛ M[11]: پتانسیل بالفعل بیابان‌زایی



شکل ۳. سنجش میزان شدت تخریب خاک براساس مدل گلاسود (۴۲)

جدول ۱. طبقه‌بندی طبقه‌های بیابان‌زایی در مدل IMDPA (۱۳)

دامنه ارزش عددی	وضعیت بالفعل بیابان‌زایی	طبقه شدت بیابان‌زایی
۱ – ۱/۵	کم و ناچیز	I
۱/۶ – ۲/۵	متوسط	II
۲/۶ – ۳/۵	شدید	III
> ۳/۵	بسیار شدید	IV

[1] Aridity Index
[2] Climate Quality Index
[3] Vegetation Quality Index
[4] Soil Quality Index
[5] Geomorphology Quality Index
[6] Agriculture Quality Index
[7] Erosion Quality Index
[8] Water Quality Index
[9] Social _ Economical Quality Index
[10] Technogenic Quality Index
[11] Desertification mapping

ارزیابی صحت نقشه‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین

صحت نتایج مدل‌های مورد بررسی، با توجه به شواهد زمینی منطقه مورد مطالعه، انجام بازدیدهای میدانی، نظر کارشناسی خبرگان و صاحبنظران، مورد ارزیابی بصری قرار گرفت. به این منظور، بعد از تهیه نقشه‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، ۱۷۱ نقطه به طور تصادفی انتخاب گردید و با بازدید میدانی از نقاط مذکور، طبقه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین به روش بصری و با توجه به خصوصیات منطقه با نظر پنج کارشناس خبرهٔ بومی و متخصص، تعیین شد. در ادامه، نقشه‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین حاصل از مدل‌های IMDPA و گلاسود در محیط نرم‌افزاری ERDAS Imagin 2014، با واقعیت زمینی تطبیق، و ضریب کاپا (۲۷) تعیین شد. همچنین، برای انتخاب مدل برتر، علاوه بر ضریب کاپا (رابطه ۳) و صحت کلی (رابطه ۴) (۲۷) نقشه‌های به‌دست آمده، مقایسهٔ آماری با استفاده از ضریب همبستگی غیرپارامتری اسپیرمن[1] (۳۷) و کندال[2] (۱۴) انجام شد. در آزمون همبستگی اسپیرمن و کندال، محدودهٔ تغییرات در بیشینه همبستگی مستقیم، از یک تا حداکثر همبستگی معکوس با مقدار ۱- متغیر است.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{kC} n_{ii}}{|T|} \qquad (۳)$$

$$k = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \times x_{+i})} \qquad (۴)$$

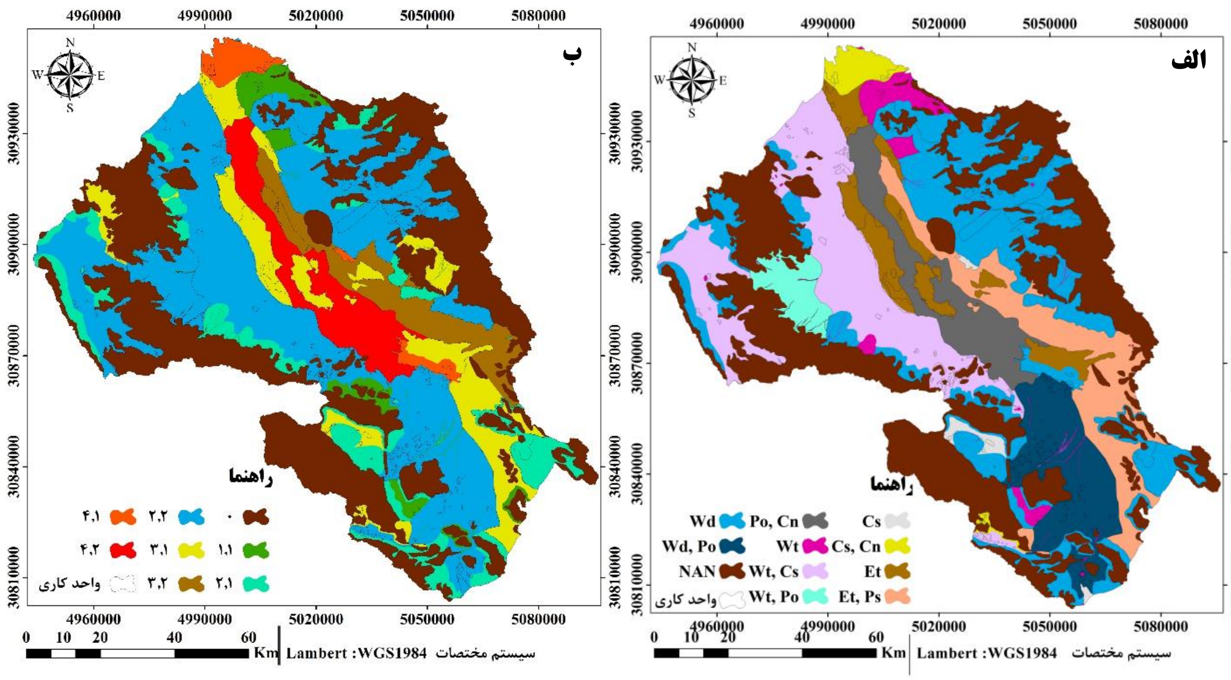
که در آن:

OA: صحت کلی؛ |T|: تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی؛ n_{ii}: تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده؛ C: تعداد طبقه‌ها؛ k: ضریب کاپا؛ r: تعداد ردیف‌ها و ستون‌ها در ماتریس خطا؛ N: تعداد کل مشاهدات (پیکسل‌ها)؛ x_{ii}: تعداد مشاهدات در ردیف i و ستون i؛ x_{+i}: تعداد کل مشاهدات در ردیف i؛ x_{+i}: تعداد کل مشاهدات در ستون i.

■ نتایج و بحث

مدل گلاسود

براساس نتایج به‌دست آمده از سنجش تخریب خاک، ۴ عامل تخریب مرتبط با عوامل فرسایش آبی وبادی، و تخریب‌های شیمیایی و فیزیکی در سطح منطقه مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ۴. تخریب خاک دشت یزد ـ اردکان بر اساس مدل گلاسود. انواع تخریب (الف)، درجه و شدت تخریب (ب)

[1] Non Parameteric Spearman

[2] Kendall's

بر این اساس، در واحدهای اراضی دارای کاربری‌های دق، کلوتک، تپه‌های ماسه‌ای و سطوح شلجمی، فرسایش بادی از نوع سطحی مشاهده شد که در حدود ۵٪ از سطح محدودهٔ مورد بررسی را شامل شد. علاوه بر فرسایش بادی سطحی در واحد اراضی مرتع، تخریب فیزیکی در نتیجهٔ کاهش در میزان مواد آلی مشاهده شد، که گسترش آن در حدود ۸٪ از سطح منطقه بود (جدول ۲). در مجموع نتایج نشان داد که فرسایش‌های سطحی و در ادامه، شوری‌زایی و تخریب حاصل از فعالیت فیزیکی انسانی، مؤثرترین نقش را در تخریب سرزمین محدودهٔ مطالعاتی دارد. تخریب سرزمین حوزهٔ آبخیز دشت یزد - اردکان از منظر مدل گلاسود، در ۴ درجه و ۲ شدت، ارزیابی شد و در حدود ۳۴٪ از سطح مورد بررسی، در درجه ۲ و شدت ۲ قرار گرفت. وضعیت مذکور، در بخش‌هایی از مراتع و اراضی درگیر با فرسایش آبی مشاهده گردید. رخساره‌های کویری و تحت تأثیر فرسایش بادی، در اطراف واحدهای اراضی مسکونی، با درجه ۳ و شدت ۱، در ۱۰٪ از مساحت مطالعاتی شناسایی شد (جدول ۳). موقعیت درجه و شدت تخریب سرزمین هر یک از واحدهای اراضی مورد مطالعه، در شکل ۵ ارائه شده است. در واحد اراضی مسکونی، بیشترین درجه و شدت تخریب، مشاهده گردید. منطقه مذکور، در حدود ۶٪ از سطح منطقه مورد مطالعه را پوشانده است.

مدل IMDPA

ارزیابی پتانسیل بالفعل وضعیت بیابانی‌شدن دشت یزد–اردکان در ۹ معیار و بیش از ۳۰ شاخص متنوع مورد بررسی، نشان داد که سهم هر یک از شاخص، معیارها و گروه‌های مورد بررسی (جدول ۴) در ایجاد پتانسیل و بسترسازی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، با استفاده از مدل IMDPA متفاوت است.

جدول ۲. ویژگی عوامل تخریب خاک محدودهٔ دشت یزد ــ اردکان در مدل گلاسود

علامت اختصاری	عامل اصلی تخریب	عامل فرعی تخریب	مساحت (ha)	مساحت (٪)
Cs	تخریب شیمیایی	شوری و قلیائیت	۷۴۰۷	۱
Cs, Cn	تخریب شیمیایی	شوری و قلیائیت؛ کاهش در میزان حاصلخیزی خاک و مواد آلی آن	۱۸۴۸۰	۲
Et	فرسایش بادی	فرسایش سطحی	۶۰۰۳۹	۵
Et, Ps	فرسایش بادی؛ تخریب فیزیکی	فرسایش سطحی؛ کاهش مواد آلی	۹۵۱۵۲	۸
Po, Cn	تخریب فیزیکی؛ تخریب شیمیایی	فعالیت فیزیکی انسانی؛ کاهش در میزان حاصلخیزی خاک و مواد آلی آن	۷۱۶۸۶	۶
Wt	فرسایش آبی	فرسایش سطحی	۲۲۸۵۵۵	۲۰
Wt, Cs	فرسایش آبی، تخریب شیمیایی	فرسایش سطحی، شوری و قلیائیت	۸۷۱۳۴	۸
Wt, Po	فرسایش آبی، تخریب فیزیکی	فرسایش سطحی، فعالیت فیزیکی انسانی	۲۷۲۱۰	۲
Wd	فرسایش آبی	فرسایش عمقی	۱۶۶۲۱۵	۱۴
Wd, Po	فرسایش آبی، تخریب فیزیکی	فرسایش عمقی، فعالیت فیزیکی انسانی	۲۶۳۷۸	۲
NAN	بدون امتیاز	رخنمون سنگی	۳۶۶۲۷۷	۳۲

جدول ۳. درجه و شدت تخریب سرزمین محدودهٔ دشت یزد ــ اردکان در مدل گلاسود

درجه	شدت	مساحت (ha)	مساحت (٪)
۱	۱	۳۳۷۱۵	۳
۲	۱	۹۳۸۲۰	۸
۲	۲	۳۸۷۶۱۷	۳۳
۳	۱	۱۱۲۰۴۳	۱۰
۳	۲	۶۵۳۷۸	۶
۴	۱	۲۳۹۹۵	۲
۴	۲	۷۱۶۹۰	۶
بدون درجه	بدون شدت	۳۶۶۲۷۷	۳۲

تجزیه و تحلیل میانگین وزنی هر یک از گروه‌ها و معیارهای ارزیابی بیابان‌زایی، گروه‌های پوشش‌زمین، آب و هوا، پوشش گیاهی و آب و آبیاری را مؤثرترین عوامل در وضعیت بالفعل بیابان‌زایی حوزهٔ آبخیز دشت یزد ـ اردکان معرفی کرد. بر این اساس، وضعیت پوشش گیاهی، منابع آب و ویژگی‌های اقلیمی، در روند شدید بیابان‌زایی و در ادامه، تخریب سرزمین محدودهٔ مورد مطالعه نقش قابل توجهی را دارند. حال آنکه نمی‌توان از فعالیت‌های انسانی و اثرات منفی آن بر تشدید وضعیت موجود چشم‌پوشی نمود.

جدول ۴. میزان سهم پتانسیل بیابان‌زایی معیارها و شاخص‌های مدل IMDPA در محدودهٔ دشت یزد ـ اردکان

گروه	معیار	شاخص	ارزش وزنی (شاخص)	ارزش وزنی (معیار)	ارزش وزنی (گروه)
آب و هوا	اقلیم	بارش سالانه	۳	۲/۶	۲/۷
		خشکی	۴		
		استمرار خشکسالی	۱/۴		
	آب و آبیاری	هدایت الکتریکی	۲/۷	۲/۸	
		میزان نسبت جذب سدیم	۲/۳		
		افت آب زیرزمینی	۲/۶		
		نوع سیستم آبیاری	۴		
فرسایش	زمین و ژئومرفولوژی	شیب	۱/۳	۱/۱	۱/۹
		نوع بهره‌برداری از واحد کاری	۱/۳		
		حساسیت سنگ	۱/۷		
	خاک	هدایت الکتریکی	۲/۶	۲/۳	
		عمق خاک	۳/۱		
		بافت خاک	۳/۷		
		میزان سنگریزه عمقی	۱/۲		
	فرسایش	ظهور رخساره فرسایشی	۲/۲	۲/۴	
		درصد پوشش غیرزنده	۲/۹		
		درصد پوشش گیاهی	۲/۶		
		تعداد روزهای با شاخص توفانی گردو غبار	۲/۶		
		تراکم پوشش گیاهی	۳/۹		
		نوع استفاده از زمین	۲/۱		
		نوع و تراکم فرسایش آبی	۲/۳		
پوشش زمین	پوشش گیاهی	وضعیت پوشش گیاهی	۳/۷	۳/۸	۲/۸
		بهره برداری از پوشش گیاهی	۳/۱		
		تجدید پوشش گیاهی	۳/۸		
	کشاورزی	الگوی کشت	۲	۱/۸	
		عملکرد محصول	۱/۳		
		کاربرد مکانیزاسیون و نهاده¬های کشاورزی	۲/۶		

ادامۀ جدول ۴. میزان سهم پتانسیل بیابان‌زایی معیارها و شاخص‌های مدل IMDPA در محدودۀ دشت یزد ــ اردکان

گروه	معیار	شاخص	ارزش وزنی (شاخص)	ارزش وزنی (معیار)	ارزش وزنی (گروه)
گروه انسانی	اقتصادی و اجتماعی	جمعیت	۲/۳	۲/۳	۱/۹
		فقر و اقتصاد	۲/۵		
		عوامل نهادی، حقوقی و قانونی	۲/۵		
		تشکل و مشارکت	۳/۵		
	توسعه شهری و صنعتی	تبدیل اراضی باغی و زارعی به مسکونی و صنعتی	۱/۸	۱/۵	
		تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به شهری و صنعتی	۱		
		تراکم جاده و معدن	۲/۱		
		سرانه فضای سبز	۳/۳		

در گروه آب و هوا شامل معیارهای اقلیم و آب‌های زیرزمینی، خطر بیابان‌زایی در طبقه شدید ارزیابی شد. در این گروه شاخص‌های نوع سیستم آبیاری، خشکی و میانگین بارندگی سالانه بیشترین سهم را در افزایش خطر بیابان‌زایی و تخریب سرزمین داشتند. در گروه فرسایش شامل معیارهای زمین و ژئومرفولوژی، خاک و فرسایش خطر بیابان‌زایی در طبقۀ متوسط مشخص شد. در این گروه شاخص‌های تراکم پوشش‌گیاهی، بافت و عمق خاک بیشترین سهم افزایش در شدت بیابان‌زایی را نشان دادند. در گروه پوشش زمین شامل معیارهای پوشش گیاهی و کشاورزی، پتانسیل بیابان‌زایی در طبقۀ شدید قرار داشت، به‌طوری‌که هر سه شاخص مربوط به معیار پوشش گیاهی بیشترین نقش را در افزایش خطر بیابان‌زایی نشان دادند. گروه انسانی شامل معیارهای اقتصادی و اجتماعی، و توسعه شهری و صنعتی پتانسیل خطر بیابان‌زایی را در درجۀ متوسط قرار داد. به‌طوری‌که مهمترین شاخص‌های تأثیرگذار در افزایش شدت خطر بیابان‌زایی منطقۀ مورد مطالعه مرتبط با شاخص مذکور در میزان مشارکت و سرانۀ فضای سبز مشخص گردید.

برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، تغییرات کاربری غیراصولی و فعالیت‌های صنعتی و معدنی نادرست، زمینه تخریب سرزمین، برهم زدن و از بین بردن پوشش سطحی زمین را فراهم آورده است. معیار آب و آبیاری دومین معیار غالب با وضعیت شدید در محدودۀ مورد مطالعه است. ماهیت خشک منطقۀ مورد بررسی و کمبود بارش، طولانی بودن دوره‌های خشکی، درجه حرارت بالا و شدت تبخیر، بالا بودن سفره‌های آب زیر زمینی شور و بهره‌برداری‌های نادرست در منطقه، در غلبه معیار مذکور بر افزایش شدت بیابان‌زایی دشت یزد ـ اردکان، تأثیرگذار می‌باشد. توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با پمپاژهای قوی بر روی چاه‌ها، علاوه بر نابودی قنات‌های این منطقه، افت زیاد سطح سفرۀ آب زیرزمینی و کاهش کیفیت و شور شدن هرچه بیشتر آب را بدنبال داشته است. در مجموع، شرایط اقلیمی و بوم‌شناختی حاکم بر حوزه آبخیز دشت یزد ـ اردکان، با دخالت‌ها و بهره‌برداری‌های نادرست انسانی، بر افزایش روند بیابان‌زایی و تخریب خاک منطقه تأثیر شگرفی را دارد.

ارزیابی تخریب سرزمین بر اساس مدل گلاسود و IMDPA

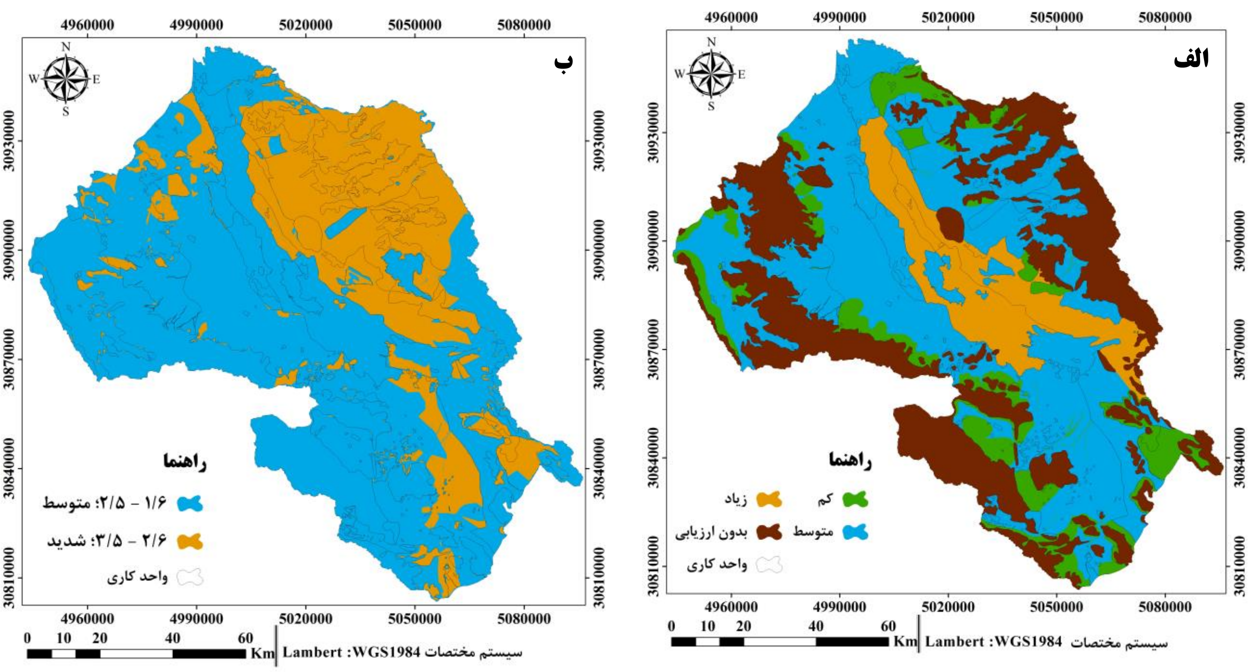
تخریب سرزمین حوزۀ آبخیز دشت یزد ـ اردکان، بر اساس مدل گلاسود در سه طبقه کم، متوسط و زیاد قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، ۴۵٪ از منطقه مورد بررسی، از نظر کیفی، تخریب سرزمین متوسطی را نشان داد (جدول ۵). این مناطق به‌طور عمده در واحد اراضی مرتع محدودۀ مطالعاتی مشاهده گردید (شکل ۵). این در حالی است که در برآورد مدل گلاسود، واحد اراضی مسکونی و اراضی اطراف آن، با میزان تخریب زیاد، ۱۲٪ از سطح منطقه، را شامل شد. از مهمترین عوامل تخریب سرزمین در محدودۀ مطالعاتی، کاهش و از بین رفتن پوشش سطح زمین و انجام فعالیت‌های صنعتی تشخیص

داده شد. بر اساس نتایج حاصل از مدل گلاسود، بیشترین سطح از منطقه در وضعیت تخریب خاک متوسط قرار دارد. به‌طوری‌که عوامل فرسایش آبی، تخریب فیزیکی ناشی از فعالیت انسانی و کاهش مواد آلی بر روی وضعیت مذکور تأثیرگذار بوده است. بخش دیگری از منطقه را تخریب خاک با وضعیت شدید احاطه نموده است. به‌طوری‌که، این بخش، متأثر از عوامل تخریب فیزیکی ناشی از فعالیت فیزیکی مرتبط با انسان و کاهش مقدار مواد آلی در خاک، و فرسایش بادی است.

بررسی حساسیت منابع خاک به تخریب در دشت ابهر خرم دره با مدل گلاسود، نشان می‌دهد که تخریب خاک با درجات مختلف کم تا زیاد ناشی از فعالیت‌های انسانی در این منطقه به وقوع پیوسته است. در این منطقه کاهش شدید در میزان مواد آلی خاک، فشردگی در خاک سطحی به‌واسطهٔ چرای مفرط دام، از بارزترین دلایل در کاهش حاصلخیزی و تخریب خاک معرفی شده است (۱۲). در پژوهشی دیگر بر روی ارزیابی تخریب خاک شرق استان قزوین مبتنی بر مدل گلاسود، درجات مختلفی از تخریب خاک مشاهده می‌شود که بیشترین سطح منطقه در تخریب با درجهٔ متوسط قرار گرفته است. در این پژوهش بارزترین نوع تخریب در منطقه، تخریب شیمیایی خاک به‌دلیل کاهش مواد آلی، شوری خاک و هدررفت مواد غذایی است (۱۹).

جدول ۵. ارزیابی تخریب سرزمین محدودهٔ دشت یزد ــ اردکان در مدل گلاسود

طبقه	ارزیابی گلاسود	مساحت (ha)	مساحت (٪)
۱	کم	۱۲۷۵۳۸/۲	۱۱
۲	متوسط	۵۲۲۷۲۹/۹	۴۵/۳
۳	زیاد	۱۳۷۹۸۸/۹	۱۲
بدون ارزیابی	بدون ارزیابی	۳۶۶۲۷۷/۲	۳۱/۷



شکل ۵. شدت تخریب سرزمین دشت یزد ــ اردکان بر اساس مدل گلاسود (الف) و مدل IMDPA (ب)

نتایج محاسبه امتیاز کل پتانسیل بیابان‌زایی در مدل IMDPA (رابطه ۲)، شدت بیابان‌زایی در حوزهٔ آبخیز دشت یزد-اردکان را در دو طبقه متوسط و شدید نشان داد. به‌طوری‌که، پتانسیل بیابان‌زایی حدود ۶۷٪ از سطح مورد مطالعه، با وضعیت متوسط بیابان‌زایی و ۳۳٪ از آن در وضعیت شدید ارزیابی شد (جدول ۶). ارزیابی میانگین وزنی شدت بیابان‌زایی در این محدوده، ۲/۴ محاسبه گردید که در طبقه متوسط قرار گرفت و خطر نزدیک شدن، به وضعیت شدید در آن ملموس است. شدت پتانسیل بیابان‌زایی شمال‌شرق منطقه مطالعاتی و بخش‌هایی از کاربری اراضی مسکونی و نواحی اطراف آن، در وضعیت شدید قرار داشت (شکل ۶). در پژوهش حاضر، معیار پوشش گیاهی، مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی بر مبنای مدل IMDPA معرفی گردید که با پژوهش‌های مشابه در حوضهٔ چشمه‌خان (۳۹) و منطقهٔ آق‌بند استان گلستان (۴)، و در منطقهٔ سبزوار واقع در خراسان رضوی (۴۱) مطابقت دارد.

در بین شاخص‌های بکار گرفته شده در مدل IMDPA، شاخص خشکی در معیار اقلیم، شاخص نوع سیستم آبیاری در معیار آب و آبیاری، شاخص بافت خاک و شاخص پوشش گیاهی از نظر تراکم، وضعیت و تجدید پوشش، با امتیاز بالاتر از ۳/۵، ارزیابی گردید (جدول ۴). بنابراین، وضعیت شدید بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در منطقه، متأثر از شاخص‌های مذکور می‌باشد.

ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از مدل IMDPA و گلاسود

برای مقایسهٔ نقشه‌های حاصل از مدل‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، روش مشخصی وجود ندارد. به‌طوری‌که، در برخی از پژوهش‌ها مقایسه‌های محدودی بین دو مدل مورد بررسی انجام شده و مدل برتر با یک نظر کلی و بدون به‌کارگیری روشی معین، انتخاب شده است (۱۵، ۳۶). در حالی‌که برخی از پژوهشگرها از روابط آماری ناپارامتریک و تعیین میزان کاپای نقشه‌های تولیدی، اقدام به ارزیابی صحت مدل‌ها می‌نمایند (۳، ۴۱). برآورد صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌های حاصل از مدل‌های پژوهش حاضر، صحت بیشتر نقشه پتانسیل بیابان‌زایی حاصل از مدل IMDPA را در مقایسه با مدل گلاسود، نسبت به واقعیت زمینی نشان داد (جدول ۷). در مجموع، با توجه به مقدار ضریب کاپای به‌دست آمده، هر دو نقشه نسبت به واقعیت زمینی صحت متوسطی را ارائه دادند. همچنین بررسی همبستگی غیرپارامتریک در دو مدل مورد بررسی، برتری مدل IMDPA را نسبت به مدل گلاسود، نشان داد (جدول ۷).

نقشه تخریب سرزمین اساس و زمینه‌ای برای برنامه‌ریزی منطقی مبارزه با تخریب است، که ضمن تعیین هریک از شاخص‌های مؤثر بر تخریب، نقشه‌ای نهایی از تخریب سرزمین را برای استفاده کاربران و مدیران اراضی در منطقه ارائه می‌دهد. هدف اصلی از نقشه تخریب خاک گلاسود تقویت آگاهی تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذران در مورد خطرات ناشی از مدیریت نامناسب زمین و خاک برای رفاه جهانی و ایجاد مبنایی برای تعیین اولویت‌ها برای برنامه‌های اجرایی است (۲۸). با وجود اینکه در مدل گلاسود، توجه بر ارزیابی تخریب خاک ناشی از فعالیت‌های انسانی است (۳۲)، اما منابع تخریب مانند وضعیت پوشش‌گیاهی، منابع آب و عوامل اصلی انسانی در تخریب سرزمین، مانند رشد و تراکم جمعیت، تغییر کاربری اراضی و غیره مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. از سویی دیگر، در مدل مذکور، تعداد عامل‌های در نظر گرفته شده برای تخریب سرزمین محدود و در برخی موارد، تأثیر آنها بیش از واقعیت برآورد می‌شود. این موضوع موجب شده تا مدل گلاسود نسبت به مدل IMDPA، از عملکرد کمتری برخوردار باشد و توانایی ارائه مطلوب واقعیت منطقه را در امر تخریب سرزمین نداشته باشد.

جدول ۶. ویژگی طبقات وضعیت بالفعل بیابان‌زایی محدودهٔ دشت یزد ـ اردکان در مدل IMDPA

دامنه ارزش عددی	وضعیت بالفعل بیابان‌زایی	طبقه	مساحت (ha)	مساحت (٪)
۱/۶ – ۲/۵	متوسط	۲	۷۷۰۷۴۷	۶۷
۲/۶ – ۳/۵	شدید	۳	۳۸۳۷۸۷	۳۳

جدول ۷. ارزیابی صحت نقشه‌های شدت بیابان‌زایی IMDPA و تخریب سرزمین گلاسود در محدودهٔ دشت یزد – اردکان

متغیر	صحت کلی	کاپای کلی	کاپای جزئی			آزمون همبستگی	
			۱ با ۱	۲ با ۲	۳ با ۳	اسپیرمن	کندال
IMDPA و واقعیت زمینی	٪۸۱/۷	۰/۶۱	–	۰/۵۱	۰/۷۳	**۰/۶۹۸	**۰/۶۷۹
گلاسود و واقعیت زمینی	٪۶۹/۱	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۴۴	۰/۴۸	**۰/۳۹۶	**۰/۳۸۲

در همین راستا، دیگر مدل مورد بررسی، از صحت نسبی در ارائه وضعیت موجود در منطقه برخوردار است. اما همچنان، در ارائه واقعیت زمینی با صحت بالا، توانمندی زیادی را ندارد. اگرچه، در مدل مذکور، از شاخص‌های زیاد و متنوع متناسب با شرایط کشور ایران، بهره گرفته شده است، اما در بعضی موارد، برخی از شاخص‌های بکار گرفته شده، تأثیر چندان زیادی را بر روی شدت تخریب سرزمین در منطقه‌ای خاص ندارد، و این موضوع در محاسبه نهایی شدت بیابان‌زایی، کاهش ارزیابی کلی شرایط منطقه را بدنبال دارد. بنابراین، وجود انعطاف‌پذیری در مدل و امکان اصلاح شاخص‌های تخریب سرزمین نتایج همسوتری را نسبت به واقعیت زمینی به همراه خواهد داشت (۱). کاهش بیشتر تعداد شاخص‌های مورد بررسی در هر معیار و گزینش مؤثرترین شاخص‌های مرتبط با ایجاد بستر تخریب سرزمین و افزایش شدت آن در هر منطقه امکان اثربخشی بیشتری را در ارائه نتایج دقیق‌تر از وضعیت منطقه می‌تواند داشته باشد.همچنین تأثیر فعالیت‌های انسانی تنها مختص به چهار شاخص معیار بیابان‌زایی تکتوژنیکی نبوده، و در نظر گرفتن تأثیر مخرب عوامل انسانی در تمام معیارهای مورد بررسی، برای دستیابی به نتایج مطلوب‌تر، احساس می‌گردد. مدل گسترده IMDPA با ۹ معیار و بیش از ۳۰ شاخص در بررسی پتانسیل بیابان‌زایی، عوامل مؤثر زیادی را برای ارزیابی تخریب سرزمین دخالت می‌دهد اما وجود شاخص‌های زیاد و متنوع همیشه دلیل بر نقطه قوت یک مدل نمی‌باشد و می‌تواند بر کاهش و یا افزایش نادرست ارزش نهایی تخریب تأثیرگذار باشد. این امکان وجود دارد که بخش عوامل انسانی و توسعه صنعتی، و یا عوامل نهادی مانند مالکیت و تعارض نقش تعیین‌کننده‌ای بر روی تخریب سرزمین نداشته باشند و امتیازدهی این عوامل موجب کاهش در ارزش نهایی میزان تخریب سرزمین در نتیجهٔ بیابان‌زایی می‌شود. بنابراین گزینش شاخص‌های مؤثر برای هر منطقه نسبت به پتانسیل‌های موجود در آن اهمیت دارد. همچنین در ارزش‌دهی به شاخص‌های مرتبط با عوامل انسانی مانند شاخص‌های جمعیتی، نیاز به آمار ثبت شده می‌باشد که این آمار تنها در مناطق روستایی و شهری منطقه قابل تهیه بوده و قابل تعمیم به کل پهنه مورد مطالعه نیست. در واقع آثار تخریب انسان محدود به یک پهنه خاص که مراکز جمعیتی در آن قرار دارد می‌شود و تمام محدوده مورد بررسی را پوشش نمی‌دهد. با این وجود، استفاده از روش میانگین هندسی، انعطاف‌پذیری مدل و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در تلفیق لایه‌ها، از نکات قوت مدل IMDPA می‌باشد (۴۱).

از نکات مورد انتقاد در مدل گلاسود، نشان ندادن دینامیک فرآیند فرسایش است، به‌طوری‌که برخی از جنبه‌های تخریب خاک به‌خصوص در حوضه‌های آبریز کوچک رانشان نمی‌دهد. با این‌وجود، نقشه حاصل از این مدل می‌تواند در شناخت منابع تولید رسوب در سطح منطقه‌ای یا مقیاس‌های فضایی بزرگتر استفاده شود (۲۹).

مطالعات انجام شده در زمینه احیای تخریب سرزمین نشان می‌دهد که اتخاذ شیوه‌های احیای مناسب در محل اراضی تخریب شده تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی را افزایش می‌دهد. در مقابل، اقدامات احیای این اراضی در خارج از محل تخریب، به‌طورقابل توجهی کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد (۶). از آنجایی که خدمات اکوسیستم ارتباط مستقیمی با رفاه انسان دارد، احیای اراضی در محل تخریب، تأثیر زیادی را بر این موضوع دارد. به‌عنوان مثال نگهداشت کاه و کلش در عملیات خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر افزایش عملکرد و تولید علوفه، افزایش پتانسیل

ترسیب کربن کربن را در بردارد(۷). فنآوری‌های یکپارچه پایدار نیز می‌توانند فرآیندهای احیای اراضی تخریب شده را به‌طور کارآمدی تضمین نماید و بنابراین اصلاح اراضی تخریب شده به کاهش و اصلاح تخریب در جهت اهداف توسعه پایدار، کمک می‌نماید (۱۱)

■ نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی در مدل IMDPA، نشان داد که بیابان‌زایی در ۳۳٪ از منطقه، به شدت در حال پیشروی است، و در سایر مناطق وضعیت بیابان‌زایی متوسط ارزیابی شد. با این وجود، مقادیر به‌دست آمده در مناطق دارای طبقهٔ متوسط، به‌میزان زیادی، نزدیک به مقادیر مربوط به طبقهٔ شدید بود. چنانچه مدیریتی صحیح در کنترل و پیشگیری روند بیابان‌زایی منطقه صورت نپذیرد، در آینده‌ای نه‌چندان دور به مساحت اراضی با شدت بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید افزوده خواهد شد.

بر اساس مدل گلاسود، شدت تخریب زیاد اراضی، در ۱۲٪ از سطح مورد بررسی مشاهده شد، و در ۴۵٪ از منطقه، وضعیت تخریب در حد متوسط ارزیابی گردید. در همین راستا، فعالیت‌های فیزیکی انسانی، کاهش در مقدار مواد آلی خاک، و عامل فرسایش، سه معیار مؤثر در افزایش شدت روند تخریب، در این مدل بود. در نتایج حاصل از هر دو مدل مورد ارزیابی، واحد اراضی مسکونی و محدودهٔ اطراف آن شدت بیابان‌زایی و تخریب زیادی را نشان داد. این موضوع بیانگر نقش بسیار مؤثر عامل انسانی، در افزایش شدت بیابان‌زایی و تخریب سرزمین منطقهٔ مطالعاتی بود. نتایج حاصل از مدل IMDPA شدت بیابان‌زایی و یا به‌عبارتی تخریب سرزمین منطقه را در دو طبقه متوسط و شدید نشان داد. در حالی‌که، در مدل گلاسود، شدت تخریب سرزمین در سه طبقه کم، متوسط و زیاد ارزیابی گردید. با این وجود در هر دو مدل مورد ارزیابی، بیشترین سطح تخریب در طبقه متوسط نشان داده شد. با وجود تفاوت در موقعیت و مساحت طبقات تخریب سرزمین برگرفته شده از هر دو مدل، شباهت‌هایی در طبقات شدت تخریب در واحدهای اراضی یکسان مشاهده شد، که می‌تواند تا حدودی به دلیل شباهت معیارهای مورد بررسی در هر دو مدل باشد. اما با توجه بررسی معیارهای مرتبط بیشتر در بررسی پتانسیل بیابان‌زایی در مدل IMDPA نسبت به مدل گلاسود مانند بررسی شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و غیره، نتایج حاصل از این مدل، به واقعیت منطقه نزدیک‌تر است. در مجموع با توجه به نتایج ارزش وزنی معیارها و شاخص‌های مورد بررسی در مدل IMDPA، فقر پوشش سطح خاک، اصلی‌ترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی دشت یزد-اردکان است، به‌طوری‌که تلفیق عوامل طبیعی اقلیمی و عوامل مخرب انسانی مانند بهره‌برداری بیش از حد مجاز از آب‌های زیرزمینی، نوع سیستم‌آبیاری و همچنین عوامل اقتصادی – اجتماعی حاکم بر منطقه می‌تواند دلیل بر این وضعیت باشد.

■ References

1. AbdelKawy, W. A. M., & Darwish, K. M. (2019). Assessment of land degradation and implications on agricultural land in Qalyubia Governorate, Egypt. *Bulletin of the National Research Centre, 43*(1), 70.
2. AbdelRahman, M. A. E., Natarajan, A., Hegde, R., & Prakash, S. S. (2019). Assessment of land degradation using comprehensive geostatistical approach and remote sensing data in GIS-model builder. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 22*(3), 324-334.
3. Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Alizadeh Noughani, M. (2020). Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences, 13*(8), 319.
4. Arami, S. A., & Ownagh, M. (2017). Assessment of desertification hazard, risk and development of management plans. *Desert, 22*(1), 51-67.

5. Baver, L. D., Gardner, W. H., & Gardner, W. R. (1973). *Fisica de suelos*. Mexico, Union Tipografica Editoral Hispano Americana.
6. Benayas, J. M. R., Newton, A. C., Diaz, A., & Bullock, J. M. (2009). Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science, 325*(5944), 1121-1124.
7. Bhattacharyya, R., Ghosh, B. N., Mishra, P. K., Mandal, B., Rao, C. S., Sarkar, D., Das, K., Anil, K. S., Lalitha, M., Hati, K. M., & Franzluebbers, A. J. (2015). Soil Degradation in India: Challenges and Potential Solutions. *Sustainability, 7*(4), 3528-3570.
8. Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Particle density. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods, 5*, 377-382.
9. Bridges, E. (1992). *World map of the status of humaninduced soil degradation*, oldeman, LR, Hakkeling, RTA and Sombroek, WG UNEP/ISRIC, Nairobi, Kenya, 1990. ISBN 90 6672 042 5, US, 3 maps and explanatory note+ 27 pp, Wiley Online Library.
10. Dregne, H. E. (2002). Land degradation in the drylands. *Arid Land Research and Management, 16*(2), 99-132.
11. Edrisi, S. A., Sarkar, P., Son, J., Prakash, N. T., & Baral, H. (2022). Assessing the Realization of Global Land Restoration: A Meta-analysis. *Anthropocene Science, 1*(1), 179-194.
12. Eftekhari, K., Moameni, A., Esfandiari, M., & Pazira, E. (2011). Susceptibility of the Soils to Human-induced Degradation in the Abhar-Khorramdarreh Plain, Based on GLASOD and Geopedologic Approaches. *Soil Research, 25*(2), 159-176. (in Farsi)
13. Ekhtesasi, M. R., & Sepehr, A. (2011). *Methods and models of desertification assessment and mapping*. Yazd, Yazd University.
14. Entezari Zarch, A., Ahmadi, H., Moeini, A., & Pazira, E. (2021). Impacts of environmental and human factors on desertification-induced land degradation in arid areas. *Arabian Journal of Geosciences, 14*(22), 2447.
15. Fathi, M., Jafari, R., & Soltani, S. (2015). Performance comparison of MEDALUD, MICD and FAO-UNEP desertification mapping models in the desertification hotspot of Jarghoyeh region, Isfahan province. *Water and Soil Science, 19*(71), 299-310. (in Farsi)
16. Fattahi, A. (2013). Investigation of social and economic development levels in villages of Ardakan - Yazd plain. *Agricultural Economics and Development Research, 44*(4), 593-602 (in Farsi).
17. Fattahi, M. M., Darvish, M., Javidkia, H. R., & Adnani, M. (2011). Assessment and mapping of desertification total risk using FAO-UNEP method (case study: Qomroud watershed). *Range And Desert Research, 17*(4 (41)), 575-588. (in Farsi)
18. Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods, 5*, 255-293.
19. Haji Maleki, K., Mousavi, S. R., Gorji, M., & Sarmadian, F. (2016). Mapping soil degradation based on geopedological method and GLASOD model using GIS in east QAZVIN province. *Range and Watershed Management, 68*(4), 853-867. (in Farsi)
20. Johnson, D. L., & Lewis, L. A. (2007). *Land degradation: creation and destruction*. Lanham, DM, Boulder, New York, Toronto, Oxford.: Rowman & Littlefield.

21. Kamali Maskooni, E., Kamali, M .A., & Khanamani, A. (2021). Investigation and preparation of desertification map based on iranian model of desertification potential (IMDPA) with an emphasis on two criteria of soil and vegetation (case study: Faryab-Kerman province). *Environmental Science and Technology, 22*(12), 163-178. (in Farsi)

22. Kapalanga, T. S. (2008). *A review of land degradation assessment methods*. Land restoration training programme, 2011. Keldnaholt, 112 Reykjavík, Iceland.

23. Keramatzadeh, M., Fathi, A., & Moazed, H. (2022). Investigate the situation of desertification in south east Ahvaz region using IMDPA model with emphasis on the criteria climate and vegetation. *Irrigation Sciences and Engineering, 45*(1), 153-166. (in Farsi)

24. Le, Q. B., Tamene, L., & Vlek, P. L. (2012). Multi-pronged assessment of land degradation in West Africa to assess the importance of atmospheric fertilization in masking the processes involved. *Global and Planetary Change, 92*, 71-81.

25. Low, P. (2013). *Economic and social impacts of desertification, land degradation and drought. White paper I. UNCCD* 2nd scientific conference, prepared with the contributions of an international group of scientists. Retrieved from http://2sc.unccd.int (accessed 26 March 2013.), ISBN 978-92-95043-66-4, Bonn, Germany.

26. Lukic, S., Baumgertel, A., Obradovic, S., Kadovic, R., Beloica, J., Pantic, D., Miljkovic, P., & Belanovic Simic, S. (2022). Assessment of land sensitivity to degradation using MEDALUS model-a case study of Grdelica Gorge and Vranjska Valley (southeastern Serbia). *iForest-Biogeosciences and Forestry, 15*(3), 163.

27. Moghani Rahimi, F., Mazidi, A., & Ghafarian Malamiri, H. R. (2022). An investigation of urban development and land cover changes in abarkoh city combining bands from landsat 7 and 8 satellite images. *Geographical Data (Sepehr), 31*(121), 127-141. (in Farsi)

28. Mushi, C. A., Ndomba, P. M., Trigg, M. A., Tshimanga, R. M & ,.Mtalo, F. (2019). Assessment of basin-scale soil erosion within the Congo River Basin: A review. *Catena, 178*, 64-76.

29. Ndomba, P. M. (2015). Validation of GLASOD map for sediment sources and erosion processes identification in the Nyumba ya Mungu reservoir catchment. *Geosciences, 6*(09), 972.

30. Nikpour, N., Fotoohi, S., Hosseini, S. Z., Negaresh, H., & Bahrami, S. (2022). An assessment of land degradation and its effects on geomorphology using LADA model: a case study of Ilam Province ,west of Iran. *Environmental Earth Sciences, 81*(10), 1-25.

31. Nkonya, E., Gerber, N., Baumgartner, P., von Braun, J., De Pinto, A., Graw, V., Kato, E., Kloos, J., & Walter, T. (2011). *The economics of land degradation: toward an integrated global assessment,* Vol 66, Development economics and policy series: Peter Lang GmbH, Frankfurt.

32. Oldeman, L. R. (1991). World map of the status of human-induced soil degradation, An explanatory note, Global assessment of soils degradation, GLASOD. *The Map Sheets*.

33. Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*: US Department of Agriculture.

34. Omidvari, S., Nikkami, D., Masihabady, M. H., Barzegar, R., Alizadeh, O., & Ordookhani, K. (2010). Investigation of soil degradation using glasod model by photomorphic working units. *Advances in Environmental Biology*, 495-501.

35. Ownegh, M., Ramezani, N., Salman Mahini, A., & Sepehr, A. (2020). Assessing desertification hazards in north khorasan province via MICD and IMDPA models. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *9*(26), 29-42. (in Farsi)

36. Parvari, H., Hosseini, S. M., Pahlavanravi, A., Moghaddam Nia, A. R., Shahriari, A & ,.Ekhtesasi, M. R. (2011). Comparison of ICD and ESA_S models to desertification map in the Nyatk region of SISTAN. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi), 1*(90), 42-54. (in Farsi)

37. Pashaei, m., Rashki, A., & Sepehr, A. (2016). Investigation of statistical analysis of desertification integrated indicators by using the ANOVA Non-Parametric tests. *Water and Soil Conservation, 23*(3), 257-272. (in Farsi)

38. Raeesi, A., Zehtabian, G. R., Ahmadi, H., Khosravi, H., & Dastourani, M. (2013). Evaluation of current desertification status in shore deserts using biophysical criteria of IMDPA model (case study: Kahire Konarak, Chabahar). *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi), 25*(4), 43-51. (in Farsi)

39. Rezaee Rad, N. (2009). *The study of desertification potential Cheshme Khan basin by IMDPA method.* (M.Sc. Thesis), University of Tehran. (in Farsi)

40. Saremi Naeini, M. A. (2021). Evaluation of the effects of land use change in Meybod and Ardakan cities on the intensity of wind erosion. *Range and Watershed Managment*, *74*(1), 121-135. (in Farsi)

41. Silakhori, E., Ownegh, M., Sadoddin, A., & Filekesh, E. (2014). Comparing efficiency of iranian desert hazard assessment models, namely MICD and IMDPA (case study: Sabzevar region). *Water and Soil Conservation (Agricultural Sciences and Natural Resources), 21*(4), 1-28. (in Farsi)

42. Sokouti, R., Gholamazad, S., & Ghaemian, N. (2015). Assessing Soil Degradation by GLASOD Method, Case of Orumieh Plain. *Land Management, 2*(2), 161-169. (in Farsi)

43. Soltani Gerdfaramarzy, M., Mozafari, G., & Shafie, S. (2018). Analysis of the effects of recent climatic droughts on the salinity of subterranean waters using geostatistical and GIS methods in Yazd- Ardakan Plain. *Geographical Data (SEPEHR), 27*(106), 179-199. (in Farsi)

44. Sun, B., Li, Z., Gao, Z., Guo, Z., Wang, B., Hu, X., & Bai, L. (2017). Grassland degradation and restoration monitoring and driving forces analysis based on long time-series remote sensing data in Xilin Gol League. *Acta Ecologica Sinica, 37*(4), 219-228.

45. Tavakoli, M., Nourinejad, S., & Rostaminia, M. (2017). Evaluation and comparison of ICD and ESAs models for desertification zonation in Mehran plain, Ilam. *Range and Desert Research, 24*(4), 853-869. (in Farsi)

46. Tiwari, N. D., & Mishra, D. (2022). Geospatial analysis of land degradation by fuzzy membership algorithm in reference to Satna river basin in northern foreland of Peninsular India. *Arabian Journal of Geosciences, 15*(12), 1-23.

47. UNCCD. (1994). *United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*. UN, Paris.

48. UNCCD. (2002). *Global alarm: dust and sandstorms from the world's drylands, Asia Regional Coordinating Unit, Secretariat of the United Nations, Convention to Combat Desertification (UNCCD–CRIC1)*. Bangkok.

49. Van Lynden, G., & Kuhlmann, T. (2002). *Review of degradation assessment methods.* World Soil Information (ISRIC), Wageningen, The Netherlands.

50. Wim, G., & El Hadji, M. (2002), *Causes, general extent and physical consequence of land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas*. Forest conservation and natural resources, Forest Department, FAO, Rome, Italy.

51. Zolfaghari, F., & Sepahi, S. (2022). Identify the similar geomorphological units to apply the same management based on desertification intensity (case study Sistan and Baluchestan province, Saravan). *Natural Environmental Hazards, 10*(30), 167-182. (in Farsi)

Original Article, Vol. 10, No. 4, Winter, 2023, pp 21-38

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Sources Tracking of Dust Storms in the Western of Iran (Case Study Kermanshah City)

R. Bagherabadi[1], M. Moeinaddini[2*]

1. MSc of Environmental Science, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Associate professor, Department of Environmental science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: Moeinaddini@ut.ac.ir

Received date: 20/11/2022 **Accepted date: 15/01/2023**

doi 10.22034/JDMAL.2023.1973881.1402

Abstract

The dust storm is recognized as a global problem which has a large-scale negative impact on the world. Dust strong winds transport them long distances. The dust storm caused a lot of damage to the economy, health and the environment. Therefore, an adequate understanding of the origin and time of dust storms can be effective in reducing dust damage. The purpose of the ongoing research is to identify the source of the dust storm events. For this purpose, the dust events in a period of 11 years were analyzed using the synoptic meteorological data of Kermanshah. The number of 646 dust storms were identified, and their detection operations and identifying of the areas affected by dust storm and areas of origin were performed using MODIS and Deep Blue. The HYSPLIT was used to route the dust storm and the entry routes of dust storm into the Kermanshah city. Based on the dust codes, the highest number of dust storms per year was registered in 2008 and 2009, respectively. Most dust storms were observed in summer and during May, June and January. The results of DRS, HYSPLIT have shown that the western directions have the largest amount of dust input in Kermanshah, and the MODIS and Deep Blue images also confirm this fact. Overall, the findings showed that most of the routes come from the north and centre of Iraq and the Syrian Desert. Dust storms originate at the border and arid lands of northern and central Iraq and Syria.

Keywords: Remote sensing; HYSPLIT; West of Iran; Source Dust Storm

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۲۱ تا ۳۸

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

ردیابی منابع طوفان‌های گردوغبار غرب ایران (مطالعه موردی شهر کرمانشاه)

رسول باقرآبادی[1]، مظاهر معین الدینی[2*]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
* نویسندۀ مسئول: Moeinaddini@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹   تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

doi 10.22034/JDMAL.2023.1973881.1402

چکیده

طوفان گردوغبار به عنوان یک معضل جهانی که تأثیر منفی گسترده‌ای بر مردم جهان گذاشته است. طوفان گردوغبار مسافت‌های زیادی را طی کرده و موجب خسارت‌های اقتصادی، بهداشتی و محیط‌زیستی گسترده‌ای می‌شود. از این رو، دانش کافی در مورد منشأ و زمان وقوع آنها می‌تواند در کاهش خسارت‌های ناشی از آن موثر باشد. هدف از پژوهش حاضر شناسایی منشأ رخدادهای طوفان گردوغبار شهر کرمانشاه است. به این منظور، رخدادهای گردوغبار در دورۀ زمانی ۱۱ ساله از داده‌های هواشناسی همدیدی کرمانشاه مورد واکاوی قرارگرفت. تعداد ۶۴۶ رخداد گردوغبار مشخص و آشکارسازی آنها با بهره‌گیری از تصاویر MODIS و Deep Blue انجام شد. برای مسیریابی حرکت گردوغبار و مسیرهای ورودی آن به داخل شهر کرمانشاه و همچنین مسیرهای حرکت آن و مناطقی که بیشترین تأثیر را در این زمینه داشتند از مدل HYSPLIT استفاده شد. بر اساس کدهای گردوغباری بیشترین تعداد پدیدۀ گردوغبار به ترتیب در سال های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ ثبت شده است. همچنین بیشترین تعداد روزهای گردوغبار در تابستان و ماه‌های خرداد، تیر و مرداد مشاهده شد. نتایج DRS، HYSPLIT و گل‌طوفان نشان داد جهت‌های غربی بیشترین سهم ورودی گردوغبار را به شهر کرمانشاه را دارند؛ تصاویر MODIS و Deep Blue نیز این واقعیت را تصدیق می‌کنند. در کل نتایج نشان داد که بیشتر مسیرها از مناطق شمال غربی و مرکزی عراق و بیابان‌های سوریه و منشأ گردوغبار، مناطق مرزی و خشک شمال و مرکز عراق و سوریه هستند.

واژگان کلیدی: سنجش از دور؛ مدل های‌اسپلیت؛ غرب ایران؛ منابع گردوغبار

■ مقدمه

طوفان‌های گردوغبار توسط سازمان جهانی هواشناسی[1] به‌عنوان نتیجه بادهای سطحی که مقادیر زیادی ذرات گردوغبار را در هوا بالا می‌برد و دید افقی را کاهش و به کمتر از یک کیلومتر تعریف می‌شود. این پدیده می‌تواند سطح وسیع و مسافت‌های طولانی را پوشش دهد و حتی کشورهای یک قاره را درگیرکند (۶، ۴۲، ۵۵). این پدیده در نتیجه فرسایش شدید بادی در مناطق فرا خشک، خشک و نیمه خشک شکل می‌گیرند و ارتباط نزدیکی با تغییرات آب و هوا دارند (۳۰، ۴۳) و در بسیاری از نقاط جهان گسترش دارند (۳۷). تقریباً ۲۵٪ از طوفان گردوغبار جهان در غرب آسیا تولید می‌شود (۲۴). ایران نیز مانند دیگر کشورهای غرب آسیا به دلیل قرارگرفتن در موقعیت کمربند خشک و نیمه خشک در معرض طوفان‌های گردوغبار محلی و منطقه ای قرار دارد (۵۰). طوفان‌های گردوغبار فراوان ترین نوع هواویز (آئروسل) در سطح جهان هستند و بر سلامت عمومی انسان، اقتصاد، رفاه عمومی جامعه، حاصلخیزی خاک، کشاورزی و محیط زیست تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵، ۳۴، ۴۳، ۵۸). بنابراین شناسایی و نظارت به موقع و دقیق طوفان‌های گردوغبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۶). روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی پراکندگی گردوغبار و تحلیل ردیابی نفوذ گردوغبار استفاده شده است (۱۸، ۲۳). در میان ابزارها، مدل HYSPLIT برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته و پتانسیل برتری از خود نشان داده است (۲۸). بررسی‌های زیادی برای کشف منشأ و تکامل طوفان گردوغبار خاورمیانه و جهان با استفاده از HYSPLIT انجام شده است (۵۹، ۶۰). در تحقیقی که برای بررسی مسیرهای طوفان‌های گردوغبار کرج واقع در استان البرز با استفاده مدل HYSPLIT مورد بررسی قرار گرفت، به این نتیجه رسیدند که جهت‌های غرب و شمال بیشترین سهم ورودی گردوغبار به شهر کرج را دارند و کشورهای عراق و سوریه میدان‌های اصلی تشکیل گردوغبار به شهر کرج هستند (۱۲). در مطالعه‌ای دیگر، برای تعیین مسیر حرکت ذرات گردوغبار جنوب غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT مشخص شد که اغلب مسیرها مناطق شمالی و مرکزی عراق و سوریه بوده و منشأ طوفان‌های گردوغبار مناطق مرزی بیابانی شمال و سوریه هستند (۹). در مقاله‌ای با استفاده از DRS در شهر قم مشخص شد که منشأ جهتی در بیشتر فصل‌ها از جهت شرق بوده و برای کل دوره زمانی (۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷) نیز جهت شمال شمال شرقی مهم‌ترین و تأثیرگذارترین جهت در بین جهت‌ها است (۲۷). در مطالعه‌ای قابلیت‌های شاخص Deep Blue برای شناسایی طوفان‌های گردوغبار بر روی صحرای آفریقا، مناطق نیمه خشک خاورمیانه و آفریقا مورد بررسی قرار گرفت مشخص گردید شاخص Deep Blue انعطاف پذیری زیادی دارد و برای آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار مناسب است (۳۳). همچنین در بررسی طوفان گردوغبار در هندیجان مشخص شد که بیشتر گردوغبار ورودی به هندیجان از مرکز و شمال عراق و جنوب شرقی سوریه است (۳۸).

در سال‌های اخیر فراوانی و شدت طوفان گردوغبار در غرب ایران افزایش چشمگیری داشته است. شهر کرمانشاه نیز مانند استان‌های غربی و جنوبی کشور تحت تأثیر آثار زیانبار این پدیده قرار گرفته است. از این‌رو با توجه به پیامدهای این پدیده بر سلامت و بهداشت، کشاورزی، محیط‌زیست مطالعات دقیق‌تر در مورد یافتن منشأ گردوغبار، شدت و تکرار این پدیده ضرورت دارد. در حالیکه تاکنون مطالعه جامع و کاملی بر روی خصوصیات این پدیده با استفاده از روش‌های مختلف و ترکیب با داده‌های ایستگاه پایش محیط‌زیست صورت نگرفته است. بنابراین در پژوهش حاضر از روش‌های DRS, HYSPLIT و داده‌های عمق نوری هواویز[2] تصاویر MODIS، Deep Blue استفاده شده است. هدف از پژوهش حاضر تعیین منشأ و مسیر طوفان‌های گردوغبار شهر کرمانشاه با استفاده از مدل HYSPLIT و صحت‌سنجی آن با دیگر روش‌ها و داده‌ها بود.

■ مواد و روش

موقعیت منطقه مورد بررسی

شهر کرمانشاه در مختصات '۱۷ °۳۴ تا '۲۶ °۳۴ عرض شمالی و '۵۹ °۴۶ تا '۱۴ °۴۷ شرقی در شرق استان کرمانشاه

---

[1] World Meteorological Organization (WMO)

[2] Aerosol Optical Depth

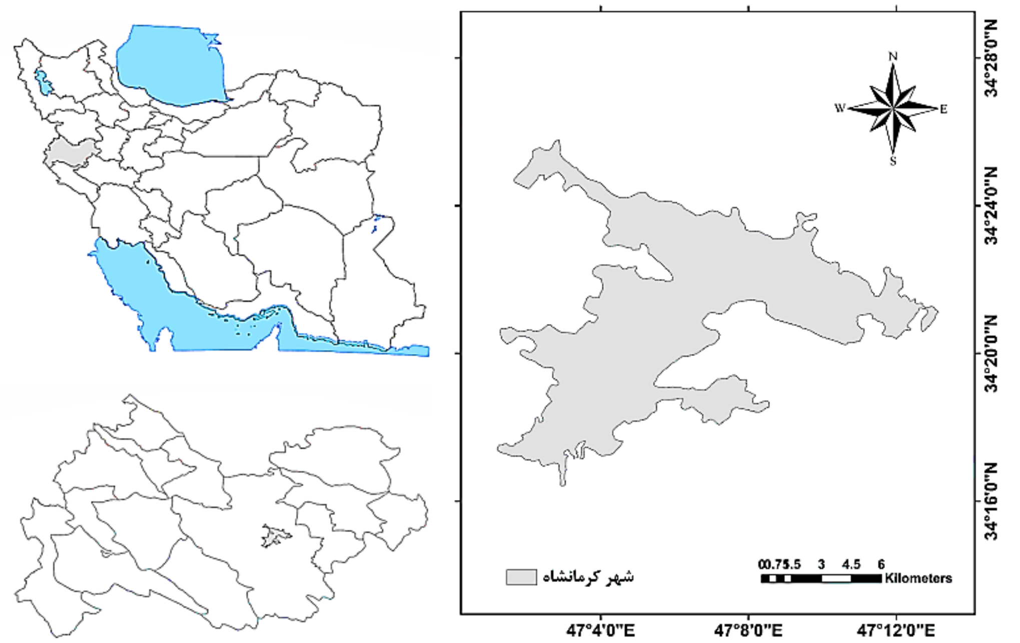
و تقریباً در مرکز شهرستان قرار گرفته است. شهر کرمانشاه با جمعیت ۸۵۷۰۴۸ نفر پرجمعیت‌ترین شهر منطقهٔ غرب و شمال غربی کشور و بزرگ‌ترین شهر استان کرمانشاه است. مساحت شهر کرمانشاه $۹۰km^2$ و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۳۲۲m است. دارای آب‌وهوای نیمه خشک با میانگین بارندگی سالانه ۴۴۴/۷mm و میانگین دمای ۱۴/۳°C است (۱۱) (شکل ۱).

داده‌های مورد استفاده

به‌منظور مطالعه طوفان‌های گردوغبار شهر کرمانشاه، از داده‌های ایستگاه همدیدی در دورهٔ زمانی ۱۱ ساله (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶) بهره‌گیری شد. در ابتدا داده‌های ساعتی مربوط به پدیده‌های جوی از اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه به فاصله زمانی سه ساعت (هشت بار در شبانه روز) دریافت و سپس، از میان روزهای همراه با طوفان گردوغبار سرعت و جهت باد غالب استخراج شد. کدهای هواشناسی مورداستفاده برای تعیین روزهای همراه با گردوغبار پژوهش حاضر شامل کدهای ۰۶ و ۰۷ است. همچنین برای صحت‌سنجی و رسم نمودارهای مورد استفاده از داده‌های PM10 (ساعتی) ایستگاه سنجش کیفیت هوا اداره کل محیط‌زیست شهر کرمانشاه استفاده گردیده است.

مدل HYSPLIT

در پژوهش حاضر به منظور ردیابی مسیر حرکت گردوغبار از مدل ترکیبی لاگرانژی با امکان ردیابی عقبگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به مدل HYSPLIT استفاده شد. یکی از روش‌های شناسایی منابع گردوغباری علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای استفاده از نرم‌افزارها مسیریابی HYSPLIT است که با تقریب خوبی قادر به تشخیص منابع تولید گردوغبار است. این مدل دوگانه برای محاسبه مسیر حرکت گردوغبار، پراکندگی، برای محاسبه مسیرها و پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای پف[1] و ذرات است که در آن محاسبه مسیر و حرکت طوفان‌ها با استفاده از کمترین متغیرهای هواشناسی انجام می‌شود (۱۳، ۲۳). مدل HYSPLIT یکی از پرکاربردترین مدل‌های است که قادر به برقراری روابط منبع و گیرنده در فواصل طولانی است و قبلاً به طور گسترده برای شناسایی منابع و مسیرهای انتقال طوفان گردوغبار استفاده شده است. چون مسیرها در ارتفاعات مختلف می‌تواند متفاوت باشد، برای ردیابی به مدت ۷۲ ساعت قبل از ورود به شهر کرمانشاه و به صورت حرکت عقبگرد در سه ارتفاع ۱۰m، ۵۰۰ m و ۱۰۰۰ m از سطح زمین انجام شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهر کرمانشاه)

[1] PUFF

بررسی طوفان‌های گردوغبار در ارتفاع پایین ارتفاع ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m به دلیل تماس با سطوح زمین برای آشکارسازی منابع گردوغبار بسیار کمک کننده است انتخاب این سطوح ارتفاعی بر اساس روش‌کار بیشتر محققان (۱۲، ۵۰) بوده است. برای انجام مدل HYSPLIT از داده‌های هواشناسی کرمانشاه که بر اساس کدهای ۰۶ و ۰۷ روزهای همراه با طوفان گردوغبار استفاده شد.

تصاویر MODIS، Deep Blue و داده‌های عمق نوری هواویز

از دو تاریخ ۱۳۹۰/۰۴/۱۳ و ۱۳۹۵/۰۶/۱۸ به عنوان نمونه برای آشکارسازی تصاویر طوفان گردوغبار از MODIS استفاده شده است. همچنین در پژوهش حاضر از داده‌های AOD برای درک بهتری از وضعیت شدت و پراکنش توده گردوغبار استفاده شد. داده‌های AOD از محصولات آئروسل MODIS Collection 6 بر روی زمین از الگوریتم ترکیبی Dark Target و Deep Blue به‌دست می‌آید AOD در واقع به توزیع آئروسل‌های گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور (میرائی نوری) در واحد طول بر روی مسیر مشخص تعریف می‌شود (۲۱، ۴۷). بر این اساس مقدار AOD برابر با ۰/۴ به عنوان آستانه تشخیص روزهای همراه با گردوغبار استفاده شد (۴، ۱۴، ۲۰). به عبارتی، سلول‌هایی که دارای مقدارهای AOD بیشتر از یک مقدار مشخص (۰/۴) می‌باشند بیانگر وقوع گردوغبار در آن سلول‌ها در همان روز می‌باشد؛ داده‌های AOD استخراج شد[1]. داده‌های MODIS و AOD پوشش مکانی-زمانی گسترده‌ای دارند و به طور گسترده توسط محققان استفاده می‌شوند و توانایی خود را برای نظارت بر طوفان‌های گردوغبار نشان داده‌اند (۴۰). محصولات سنجنده MODIS در سطوح مختلف برای جو، خشکی‌ها و اقیانوس‌ها در دسترس است[2]. با توجه به ماهیت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های ترا و آکوا روش تفسیر چشمی تصاویر با دقت قابل قبولی برای شناخت منشأ، جهت و مناطق تحت تاثیر طوفان‌های گردوغبار دنبال شد. بدین منظور ابتدا تصاویر MODIS را از پایگاه استخراج، سپس در نرم افزار ENVI با استفاده از ابزار Mosaicking به هم متصل و با استفاده از ابزار Reseize برش داده شد و ترکیب سه باند ۱، ۴ و ۳ که تصویر رنگی از تصاویر MODIS نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر برای صحت سنجی روزهای گردوغبار از داده‌های AOD دو ماهواره اکوآ و ترآ استفاده شده، داده‌های روزانه AOD شهر کرمانشاه از وبگاه جیووانی ناسا دریافت شده است.

نمودار گل‌طوفان

برای تجزیه و تحلیل داده‌های آماری باد و ترسیم گل‌طوفان از نرم افزار WRPLOT View 5.2.1 استفاده شد. در پژوهش حاضر با استفاده از قابلیت‌های نرم افزار و با در نظر گرفتن سرعت پایه برابر با سرعت آستانه فرسایش بادی می‌توان گل‌طوفان را رسم کرد و آن را به صورت آماری تحلیل کرد (۴۸، ۴۹). برای تعیین رژیم بادی و طبقه‌بندی و توزیع سمت و سرعت بادهای همراه با گردوغبار گل‌غبار در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ استفاده شد.

مدل Directional Relative Strength (DRS)

در پژوهش حاضر همچنین برای تعیین سهم جهت‌های مختلف وزش باد از یک منبع خاص، سهم متوسط منبع از ۱۷ جزء باد از جمله جزء باد آرام با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه محیط‌زیست استفاده شد. سهم نسبی جهتی از یک منبع آلاینده‌های شاخص با استفاده از سهم متوسط آلاینده از ۱۷ جهت باد از جمله جزء باد آرام که از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۹، ۴۱):

$$E_{Ki}=\sum_{i=1}^{16}(CK_i . Pi_1)/ \sum_{i=1}^{16} CK_i \qquad (۱)$$
$$DRS_{ki}= E_{ki} / P_I$$

در رابطه ۱ E_{Ki} مقدار سهم منبع k در جهت باد i است Pi_1 فراوانی باد در طول دوره مورد بررسی در جهت i نمونه است. P_{iI} فراوانی باد در جهت i و DRS_{ki} میزان سهم نسبی جهتی منبع K درجهت i است (۱۹). نتایج بدست آمده برای DRS که در یک دورۀ زمانی ۱۱ ساله ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ و در بازه‌های زمانی مقرر محاسبه شد که DRS در یک

[1] https://giovanni.gsfc.nasa.gov

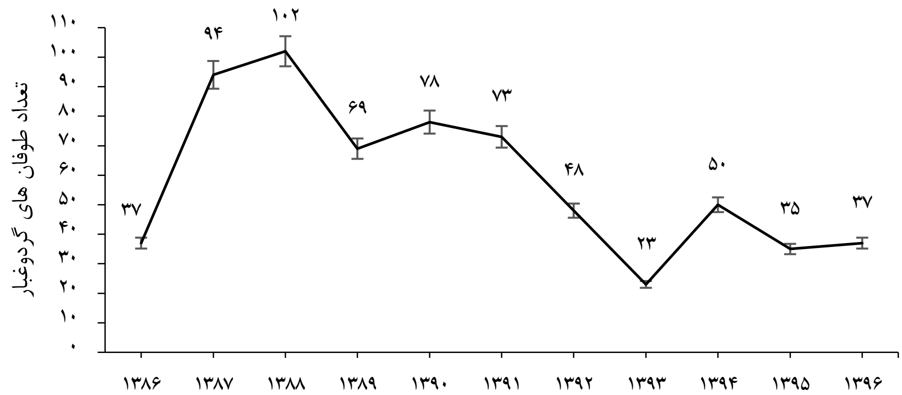
[2] https://Ipdaac.usgs.gov

دورهٔ زمانی ۱۱ ساله ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برای شهر کرمانشاه رسم گردیده است.

■ نتایج

طوفان‌های گردوغبار کرمانشاه طی یک دوره آماری ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ به‌طور سالانه طوفان گردوغبار با کدهای گردوغباری ۰۶ تعداد پنج روز همراه با گردوغبار و ۰۷ تعداد ۶۴۱ روز همراه با گردوغبار استفاده شد. کدهای گردوغبار ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه در بازه فوق در سه دوره ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در دوره ماهانه کدهای گردوغبار، بر اساس نتایج بیشترین فراوانی طوفان گردوغبار در خرداد، تیر و مرداد رخ داده است و ماه‌های دی، آبان و آذر کمترین فراوانی طوفان‌های گردوغبار را دارند. نوسانات بزرگ سالانه در طوفان‌های گردوغبار مشاهده شد (جدول ۱). فعالیت گردوغبار طی سه دوره از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ رخ داد که معادل ۶۴۶ طوفان گردوغبار بود. اولین دوره سه ساله از ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ با مجموع ۲۳۳ طوفان گردوغبار، دوره فعالیت گردوغبار پنج ساله از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ با مجموع ۲۹۱ طوفان گردوغبار و دوره سوم فعالیت طوفان گردوغبار سه ساله از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ با مجموع ۱۲۲ طوفان گردوغبار که کم فعال‌ترین دوره در میان سه دوره گردوغباری را دارد. علاوه بر این، نتایج کلی حاکی از روند کاهشی فعالیت گردوغباری از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ بود (شکل ۲).

سال ۱۳۸۸ فعال‌ترین سال در دوره فعالیت شدید گردوغبار در دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ بود که در آن تعداد طوفان‌های ۱۰۲ رخداد گردوغبار بود است (شکل ۲). و پس از سال ۱۳۸۸ سال ۱۳۸۷ با ۹۴ روز بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار داشته است و سال ۱۳۹۳ با ۲۳ کمترین میزان روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار را داشته است. در دوره فصلی کدهای گردوغبار در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج داد که فصل تابستان و بهار بیشترین مقدار را دارند، بنابراین با آغاز فصل تابستان میزان گردوغبار افزایشی است و در فصل پاییز و زمستان میزان گردوغبار کاهشی است که همزمان با شروع فصل بارندگی، میزان گردوغبار روند کاهشی دارد (جدول ۱).



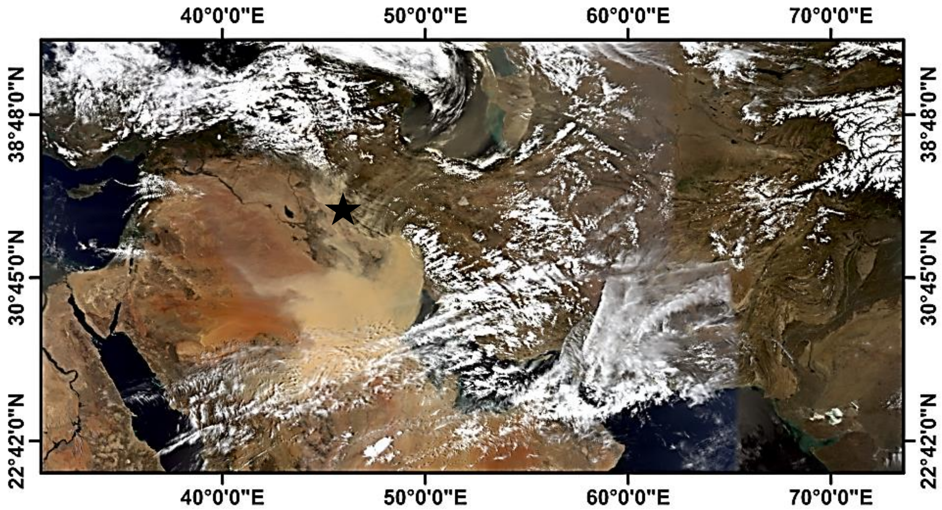
شکل ۲. فراوانی روز های همراه با گردوغبار در طول دوره مورد بررسی

جدول ۱. ماه‌ها و فصل‌های همراه با گردوغبار

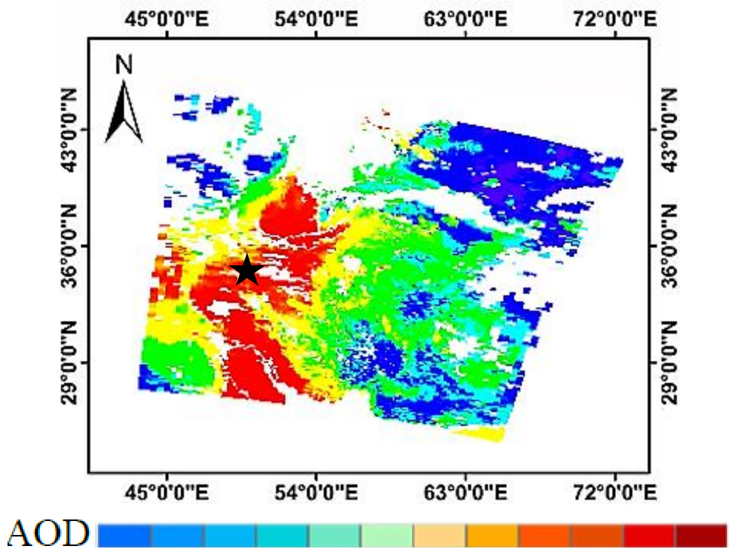
فصل	ماه	تعداد طوفان‌های گردوغبار	فصل	ماه	تعداد طوفان‌های گردوغبار
	فروردین	۶۰		مهر	۴۳
بهار (۲۳۶ مورد)	اردیبهشت	۷۴	پاییز (۷۶ مورد)	آبان	۲۶
	خرداد	۱۰۲		آذر	۷
	تیر	۱۱۹		دی	۷
تابستان (۲۸۵ مورد)	مرداد	۱۱۵	زمستان (۴۹ مورد)	بهمن	۴
	شهریور	۵۱		اسفند	۳۸
تعداد کل طوفان‌های گردوغبار ۶۴۶ مورد					

در پژوهش حاضر برای تفسیر چشمی نحوه تشکیل و ورود طوفان‌های گردوغبار از تصاویر MODIS و Deep Blue در دو تاریخ ۱۳۹۰/۰۱/۲۴، ۱۳۹۴/۰۳/۰۸ به عنوان نمونه موردی از طوفان‌های گردوغبار انتخاب شده‌اند. نحوه نظارت بر طوفان گردوغبار توسط تصویر ترکیب رنگی واقعی MODIS RGB قابل مشاهده بود و می‌توان امتداد توده‌های گردوغبار در حال حرکت به سمت کرمانشاه را مشاهده نمود. تصویر گردوغبار که در ۲۴ فروردین ۱۳۹۰ (شکل ۳) نشان می‌دهد که توده گردوغبار بیش از ۱۰۰۰km عرض و ۱۰۰۰km طول داشت به وضوح قابل مشاهده است که بیش از نیمی از منطقه که شامل کشورهای ایران، عربستان، کویت و عراق است توسط طوفان گردوغبار در بر گرفته شده بود.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که قدرت طوفان گردوغبار از نظر فضایی ناهمگون است، پوشش‌های توده گردوغبار از جنوب غربی به سمت شمال غربی گسترش یافته و به سمت جنوب غرب، شمال غرب و غرب ایران و از جمله منطقه مورد پژوهش شهر کرمانشاه رسوب کرده است. در تصویر Deep Blue از گردوغبار در تاریخ فوق این واقعیت را به خوبی نشان داد (شکل ۴) و رنگ قرمز نشان از تشکیل پدیده گردوغبار بود. تصویر بعدی گردوغبار که انتخاب شده در تاریخ ۸ خرداد ۱۳۹۴ است طوفان گردوغبار بین کشورهای عراق و سوریه که شامل مناطق بیابانی است پدیدار و پس از عبور از عراق به تدریج به سمت غرب و جنوب ایران حرکت کرده و به کرمانشاه رسیده است.



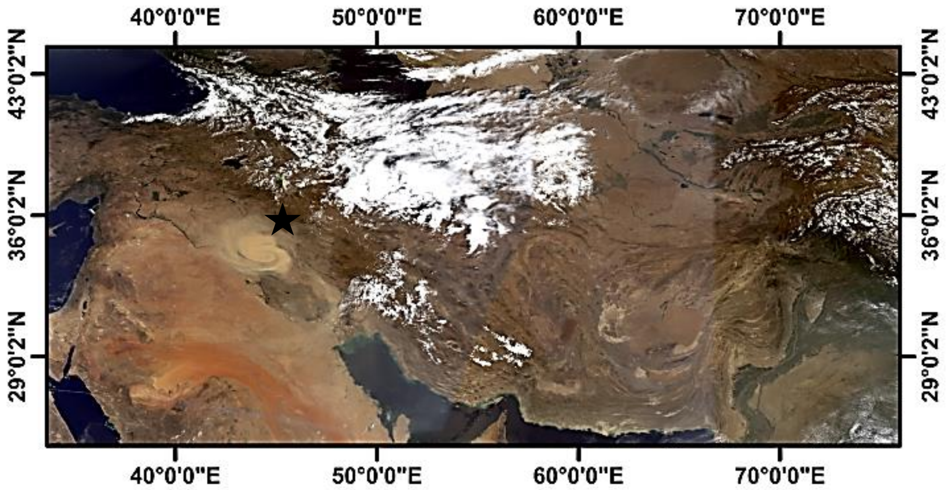
شکل ۳. تصویر ورود گردوغبار با استفاده از سنجنده MODIS ۱۳۹۰/۰۱/۲۴ (علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است)



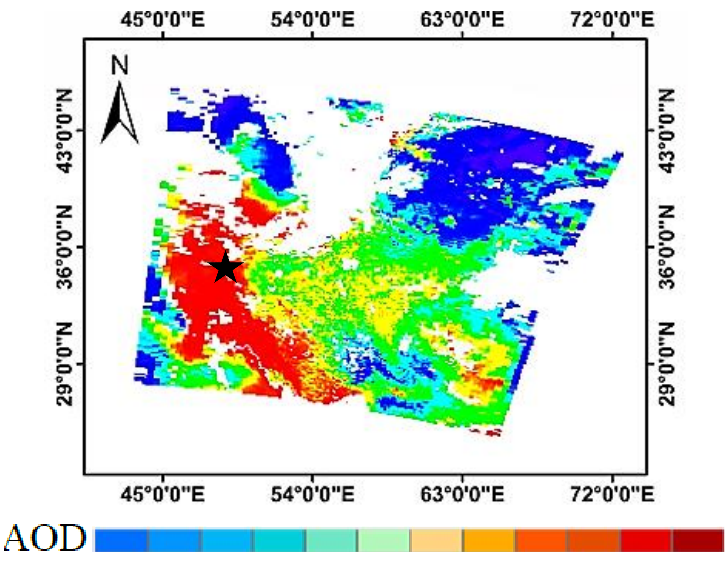
شکل ۴.تصاویر Deep Blue ۱۳۹۰/۰۱/۲۴ (علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است) شاخص هر چقدر به سمت ۱ تمایل کند نشان از افزایش غلظت گردوغبار است.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که طوفان گردوغبار پوشش وسیعی از مناطق عراق را در بر گرفته است. توده‌های گردوغبار در تصاویر رنگی کاذب قرمز-سبز-آبی از Deep Blue به وضوح به رنگ قرمز در مناطق بیابانی دیده می‌شوند (شکل‌های ۵ و۶). ویژگی‌های پراکندگی طوفان گردوغبار در تصاویر RGB نمایش داده شده است. مقادیر برای طوفان‌های گردوغبار رخ داده در ۸ خرداد ۱۳۹۴ در مقایسه با طوفان‌های گردوغبار ۲۴ فروردین ۱۳۹۰ کمتر بود.

همبستگی AOD، به همراه بارندگی و دما در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برای کرمانشاه آورده شده است (شکل ۷). جهت بررسی ارتباط بین گردوغبار و متغیرهای هواشناسی بارندگی و دما ماهانه از همبستگی پیرسون استفاده شده. شرط لازم برای استفاده از همبستگی پیرسون نرمال بودن داده‌ها است از این رو با توجه به نرمال بودن داده‌ها جهت بررسی همبستگی از همبستگی پیرسون استفاده شد. همبستگی بین AOD و دما در طول دوره مورد پژوهش معنی‌دار است R=۰/۶۹ در حالی که همبستگی بین بارندگی و AOD منفی و معنی‌دار است R=-۰/۴۱. همچنین به منظور درک بهتر ارتباط بین AOD و دما و بارندگی از رابطه رگرسیون استفاده و نشان داد که گردوغبار در سال-های ذکر شده دارای ارتباط خط مستقیمی با دما و با بارندگی دارای ارتباط خطی معکوس است که با نتایج مطابقت دارد.



شکل ۵. تصویر ورود گردوغبار با استفاده از سنجنده MODIS ۱۳۹۴/۰۳/۰۸ علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است)

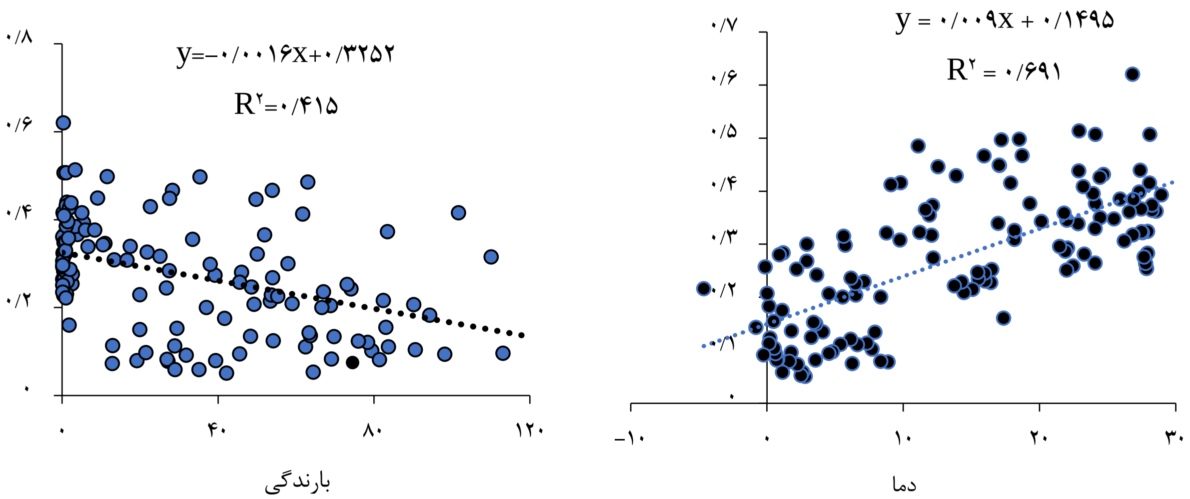


شکل ۶.تصاویر Deep Blue ۱۳۹۴/۰۳/۰۸ (علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است) شاخص هر چقدر به سمت ۱ تمایل کند نشان از افزایش غلظت گردوغبار است.

در پژوهش حاضر، منشأ و مسیر طوفان‌های گردوغبار پیش از ورود به کرمانشاه، با استفاده از یک مسیر عقبگرد[1] استفاده شد. به‌طوریکه با آغاز طوفان گردوغبار در منطقه، مسیر باد تا سه روز قبل از ورود آن با استفاده از مدل HYSPLIT به دست آمده است. مسیر حرکت گردوغبار را در سه سطح ارتفاعی ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m نشان داده شده تا منابع ذرات گردوغبار در هنگام طوفان گردوغبار بر روی کرمانشاه پیدا شود. در مجموع سیر گردوغبار HYSPLITبرای کل ۵۰۹ روز گردوغبار در دوره ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ محاسبه شد.در پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل طوفان گردوغبار بر روی منابع طوفان گردوغبار در تاریخ ۸ خرداد ۱۳۸۷ و ۵ تیر ۱۳۹۱ مورد ردیابی و بررسی قرار گرفت که از شدیدترین طوفان‌های گردوغبار با غلظت بالا در شهر کرمانشاه بوده‌اند.

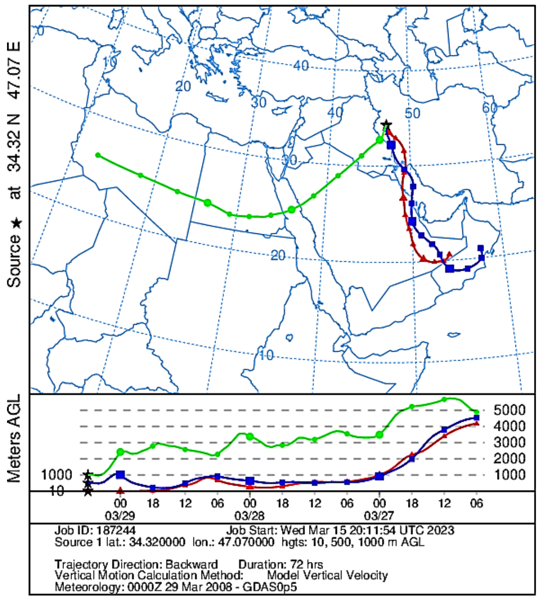
نتایج مدل HYSPLIT منابع متعدد و مقدار انتقال گردوغبار را که شهر کرمانشاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد را نشان می‌دهد. برای نمونه طوفان گردوغبار ۸ خرداد ۱۳۸۷ منشأ منطقه عربستان سعودی و عراق را برای هر سه سطح نشان می‌دهد که به سمت غرب ایران و شهر کرمانشاه امتداد می‌یابد. بیشتر طوفان‌های گردوغبار قبل از ورود از بین منابع خارجی عراق و عربستان و منابع داخلی خوزستان و ایلام عبور می‌کنند پس از عبور از هسته‌ها و منابع داخلی گردوغبار در شهر کرمانشاه تقویت شده و موجب افزایش غلظت طوفان گردوغبار می‌شود. مدت زمان عبور از عراق و سوریه به کرمانشاه نزدیک به ۲ تا ۳ روز می‌باشد. در تاریخ ۸ خرداد ۱۳۸۷ بسته‌های هوایی در ارتفاع ۱۰m از مناطق خشک اردن منشأ گرفته و قبل از رسیدن به کرمانشاه از طریق عراق عبور می‌کند. در ارتفاع ۵۰۰m و ۱۰۰۰m از صحرای عربستان سرچشمه گرفته و از خلیج فارس وارد شده است (شکل‌های ۸ و ۹).

مسیر طوفان گردوغبار توسط مدل HYSPLIT در تاریخ ۵ تیر ۱۳۹۱، ۷۲ ساعت قبل از ورود به کرمانشاه نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) که مسیر این طوفان گردوغبار از کشورهای عراق و روسیه بوده است که منابع اصلی گردوغبار و بیشترین سهم طوفان‌های گردوغبار را دارند. زمانی که طوفان‌های گردوغبار در ارتفاع ۱۰۰۰m از شرق سوریه و منطقه غرب عراق می‌گذرد، به سمت جنوب شرقی متمایل شده و گردوغبار را از منطقه عراق به شهر کرمانشاه منتقل می‌کنند. همچنین، بررسی نقشه‌های خروجی از مدل HYSPLIT نشان می‌دهد که طوفان گردوغبار در ارتفاع ۵۰۰m از جنوب کشور عراق می‌گذرد و سپس از منابع گردوغبار خوزستان و ایلام می‌گذرد و از جنوب وارد کرمانشاه می‌شود. از سوی دیگر در ارتفاع ۱۰m طوفان گردوغبار از جنوب از منابع داخلی ایران خوزستان و ایلام وارد کرمانشاه می‌شود.

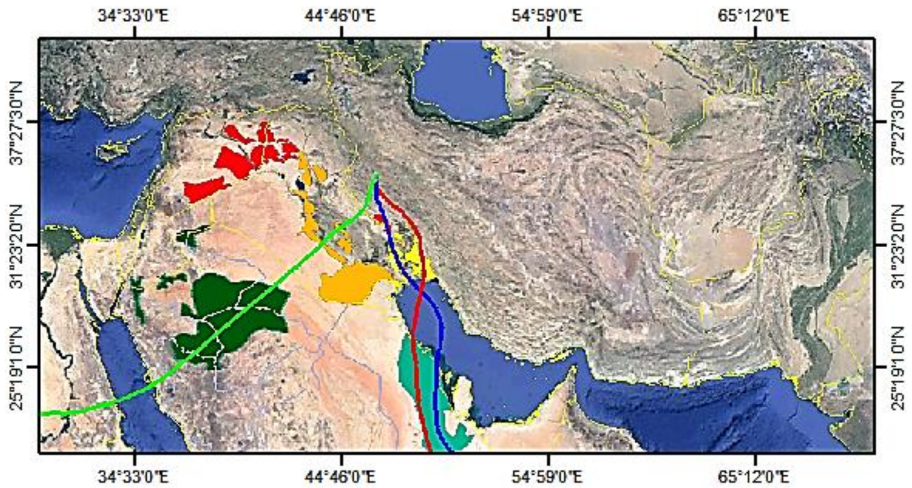


شکل ۷. رابطه رگرسیونی بین AOD-بارندگی و AOD-دما

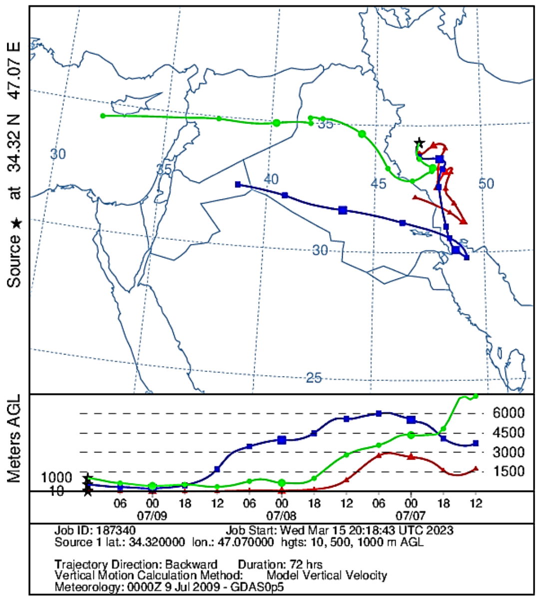
[1] Backward



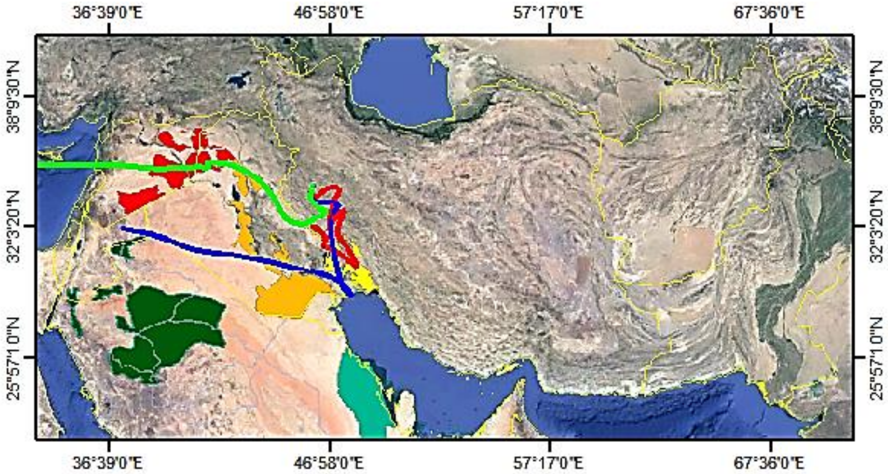
شکل ۸. مسیرهای عقب‌گرد HYSPLIT برای طوفان گردوغبار در تاریخ ۱۳۸۷/۰۳/۰۸



شکل ۹. سه سطح ارتفاعی ۱۰m (قرمز)، ۵۰۰m (آبی)، ۱۰۰۰m (سبز) برای HYSPLIT در تاریخ ۱۳۸۷/۰۳/۰۸



شکل ۱۰. مسیرهای عقبگرد HYSPLIT برای طوفان گردوغبار در تاریخ ۱۳۹۱/۰۴/۰۵



شکل ۱۱. سه سطح ارتفاعی ۱۰m (قرمز)، ۵۰۰m (آبی)، ۱۰۰۰m (سبز) برای HYSPLIT در تاریخ ۱۳۹۱/۰۴/۰۵

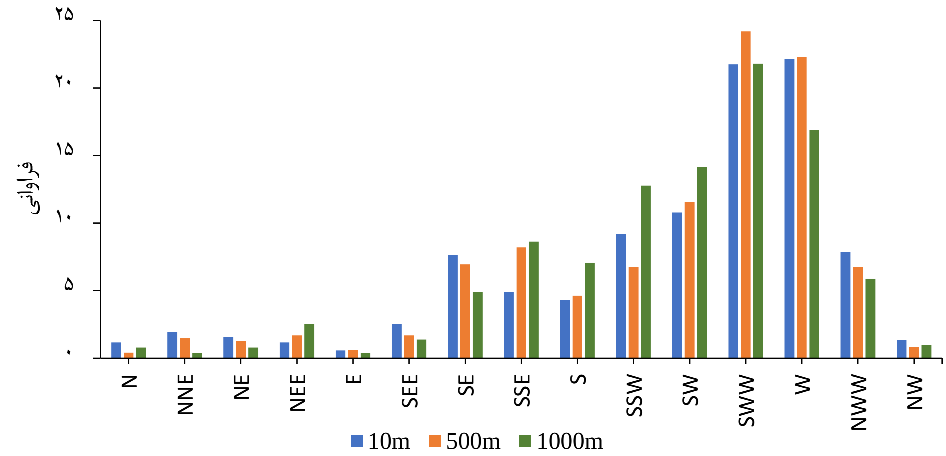
مدل HYSPLIT برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به شرح زیر است: بیشترین طوفان گردوغبار مربوط به سال ۱۳۸۸ با ۱۰۲ طوفان گردوغبار و سپس سال ۱۳۸۷ با ۹۴ طوفان گردوغبار و کمترین با ۲۳ طوفان گردوغبار مربوط به سال ۱۳۹۳ است. همچنین در بررسی طوفان‌های گردوغبار ماهانه، بیشترین طوفان‌های گردوغبار در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد کمترین طوفان گردوغبار در آذر، دی و بهمن است.

نتایج حاصل از HYSPLIT نشان داد بیشتر گردوغبارها منشأ خارجی دارند و ۵۰۵ طوفان گردوغبار از ۵۰۹ طوفان گردوغبار با منشأ خارجی را تشکیل می‌دهند و شامل ۴ مورد طوفان گردوغبار داخلی است. بیشتر منبع طوفان‌های گردوغبار خارجی و سهم کمتری از منابع داخلی است. برای ارتفاع ۱۰m (جدول ۲) براساس ۱۶ جهت جغرافیایی، بیشترین سهم ورودی گردوغبار به کرمانشاه مربوط به جهت‌های غرب - شمال غرب با ۱۱۳ مورد ۲۲/۱٪ ورودی گردوغبار و غرب با ۱۱۱ مورد ۲۱/۷٪ ورودی گردوغبار است که مهم‌ترین جهت‌های ورود گردوغبار به شهر کرمانشاه هستند و کمترین سهم ورودی در جهت‌های شرقی-جنوب شرقی، شمالی، شمال شرقی و شمال-شمال غربی است. در ارتفاع ۵۰۰m (جدول ۲) بیشترین سهم ورودی مربوط به جهت‌های غرب با ۱۱۵ مورد ۲۴/۳٪ و غرب شمال غرب با ۱۰۶ مورد ۲۲/۳٪ است. در ارتفاع ۱۰۰۰m (جدول ۲) جهت‌های غرب با ۱۱۱ مورد ۲۱/۸٪ و شمال غرب غربی ۸۶ مورد ۱۶/۸٪ بیشترین سهم را دارند (جدول ۲). بنابراین بیشتر طوفان‌های گردوغبار ارتفاع ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m از جهت غرب و شمال غربی از کشورهایی مانند عربستان، عراق، سوریه و استان‌های خوزستان و ایلام عبور می‌کند و کمترین سهم ورودی به سمت شمال و شمال شرق است (شکل ۱۲). که احتمال مخلوط شدن طوفان‌های گردوغبار با منابع انسانی شهرها و مناطق مسکونی، شهرک‌های صنعتی و تحت تأثیر قرار گرفتن این ذرات را در طول انتقال را نمی توان نادیده گرفت.

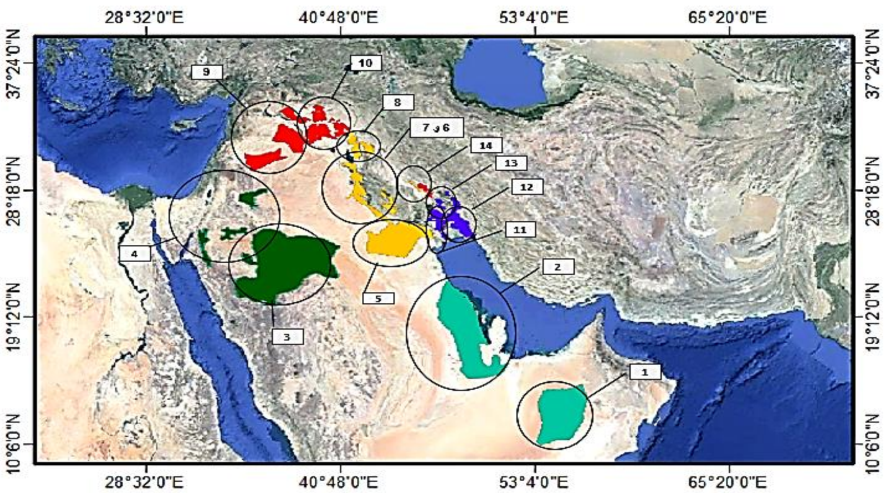
منابع گردوغبار خارجی، شناسایی شده (۱۸، ۲۲، ۵۱، ۵۶، ۵۷، ۶۱) منابعی از عراق با شماره‌های منبع ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و سوریه ۹ و اردن ۴ و عربستان ۱، ۲، ۳ و منابع گردوغبار در استان‌های خوزستان ۱۱،۱۲، ۱۳و ایلام ۱۴ نمایش داد شده است (شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ جدول ۳). اگرچه تعداد منابع گردوغبار می‌تواند نشانگر مناطق حساس برای تولید گردوغبار باشد، اما نمی‌تواند تنها عامل در شناسایی نقاط تولید کننده گروغبار باشد. با این حال، منطقه مهم دیگری در عراق و سوریه وجود دارد. که شامل یک منطقه قابل توجهی از تمام منابع گردوغبار شناسایی شد. اگرچه تعداد منابع در این منطقه تکرار بالایی ندارد، اما دارای منطقه وسیعی از منابع گردوغبار است. از طرفی یک منبع، که دارای مساحت وسیعی است، ممکن است نقش مهمی در انتشار طوفان گردوغبار نداشته باشد. بنابراین، تمام نقاط منشأ گردوغبار شناسایی شده طی بازه زمانی بر اساس فراوانی وقوع آنها به دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ و جدول ۳).

جدول ۲. فراوانی طوفان‌های گردوغبار بر اساس جهت جغرافیایی و سه سطح ارتفاعی ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m

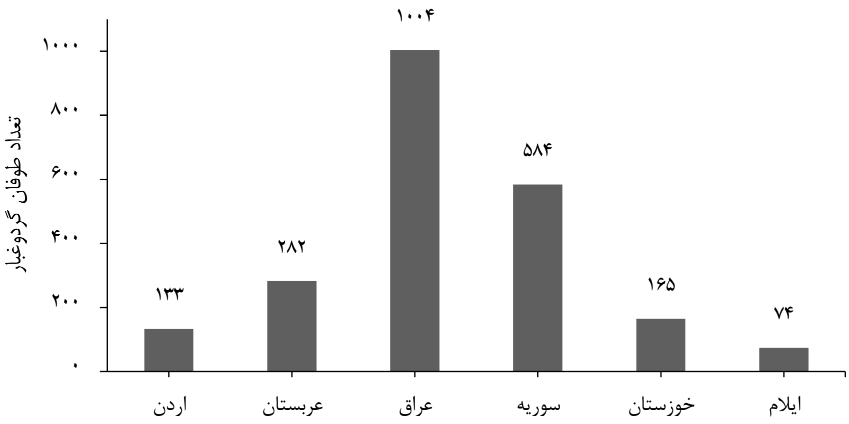
جهت جغرافیایی	۱۰m	در صد فراوانی ۱۰m	۵۰۰m	در صد فراوانی ۵۰۰m	۱۰۰۰m	در صد فراوانی ۱۰۰۰m
N	۵	۰/۹۸	۳	۰/۶۳	۳	۰/۵۸
NNE	۶	۱/۱۷	۲	۰/۴۲	۴	۰/۷۸
NE	۱۰	۱/۹۶	۷	۱/۴۷	۲	۰/۳۹
NEE	۸	۱/۵۶	۶	۱/۲۶	۴	۰/۷۸
E	۶	۱/۱۷	۸	۱/۶۸	۱۳	۲/۵۵
SEE	۳	۰/۵۸	۳	۰/۶۳	۲	۰/۳۹
SE	۱۳	۲/۵۴	۸	۱/۶۸	۷	۱/۳۷
SSE	۳۹	۷/۶۴	۳۳	۶/۹۴	۲۵	۴/۹۱
S	۲۵	۴/۹۰	۳۹	۸/۲۱	۴۴	۸/۶۴
SSW	۲۲	۴/۳۱	۲۲	۴/۶۳	۳۶	۷/۰۷
SW	۴۷	۹/۲۱	۳۲	۶/۷۳	۶۵	۱۲/۷
SWW	۵۵	۱۰/۷	۵۵	۱۱/۵	۷۲	۱۴/۱
W	۱۱۱	۲۱/۷	۱۱۵	۲۴/۲	۱۱۱	۲۱/۸
NWW	۱۱۳	۲۲/۱	۱۰۶	۲۲/۳	۸۶	۱۶/۸
NW	۴۰	۷/۸۴	۳۲	۶/۷۳	۳۰	۵/۸۹
NNW	۷	۱/۳۷	۴	۰/۸۴	۵	۰/۹۸



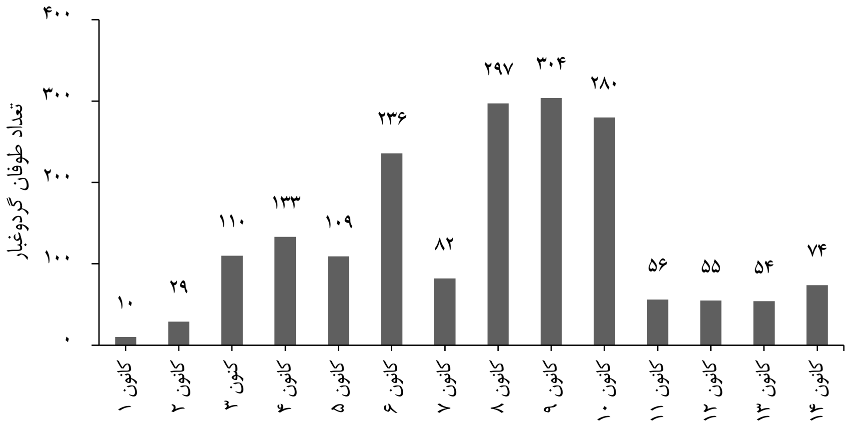
شکل ۱۲. فراوانی طوفان‌های گردوغبار بر اساس جهت جغرافیایی و سه سطح ارتفاعی ۱۰m، ۵۰۰ m و ۱۰۰۰ m



شکل ۱۳. منابع تولید کننده داخلی و خارجی گردوغبار



شکل ۱۴. منابع تولید کننده داخلی و خارجی گردوغبار



شکل ۱۵. منابع تولید کننده داخلی و خارجی گردوغبار

جدول ۳. فراوانی طوفان‌های گردوغبار از منابع داخلی و خارجی

داخلی خارجی	منابع خارجی										منابع داخلی			
منابع	منبع۱	منبع۲	منبع۳	منبع۴	منبع۵	منبع۶	منبع۷	منبع۸	منبع۹	منبع۱۰	منبع۱۱	منبع۱۲	منبع۱۳	منبع۱۴
تعداد عبور از روی منابع	۱۰	۲۹	۱۱۰	۱۳۳	۱۰۹	۲۳۶	۸۲	۲۹۷	۳۰۴	۲۸۰	۵۶	۵۵	۵۴	۷۴

منابع در جنوب منبع ۵ و غرب منابع ۶، ۸ و ۹ عراق و در نواحی شرقی سوریه منبع ۹ قرار دارند، بیشترین فراوانی را در بین سایر منابع گردوغبار به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر این، در طبقه‌بندی بعدی مناطق، برخی از نقاط منبع ۱ غرب عربستان و منبع ۴ اردن و منبع ۵ جنوب عراق و منبع ۷ غرب عراق با فراوانی بیشتر وجود دارد که تعداد قابل توجهی از منابع گردوغبار را دارا هستند. سپس منابع گردوغبار منابع ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ که از منابع داخلی ایران هستند، منابع ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در استان خوزستان و منبع ۱۴ در استان ایلام و در نهایت منابع ۱، ۲ در بخش‌های شرقی عربستان کمترین میزان تولید گردوغبار را دارند.

یکی از عوامل موثر بر وقوع طوفان‌های گردوغبار، سرعت باد است. سرعت باد بیش از مقدار آستانه منجر به تعلیق یا خزش ذرات می‌شود. باد می‌تواند طوفان‌های گردوغبار را با توجه به اندازه، شکل و چگالی ذرات و شرایط آب و هوایی، می‌تواند آنها را در فواصل طولانی از مبدأ منتقل کرد. از آنجایی که تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی برای ارزیابی و تشخیص طوفان گردوغبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار

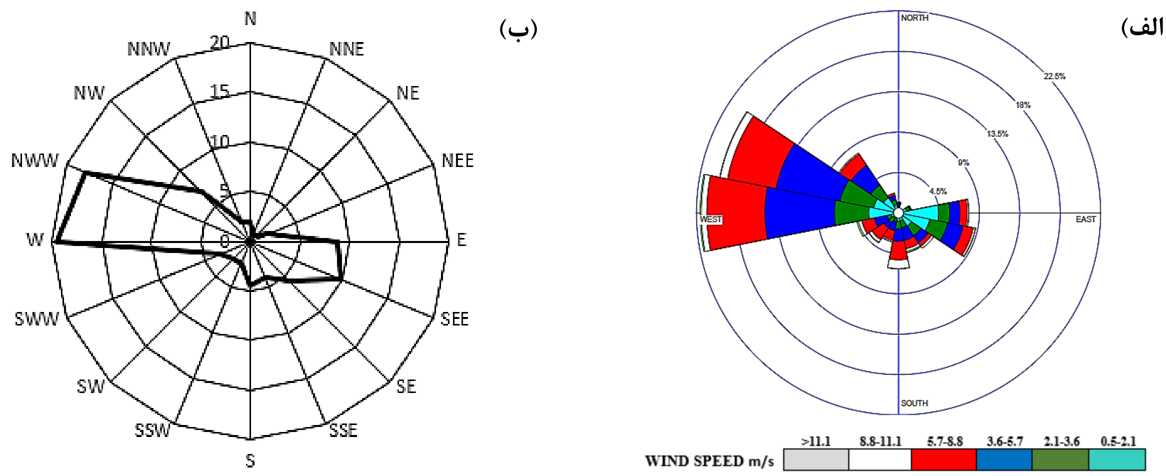
است، بنابراین در پژوهش حاضر، از داده‌های ایستگاه همدیدی کرمانشاه در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برای ترسیم گل‌طوفان استفاده شده است سرعت ۱۱m/s به‌عنوان سرعت آستانه در نظر گرفته شد. از این‌رو با توجه به اینکه شناسایی و جداسازی بادهای طوفانی و شدید در مطالعات فرسایش بادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بررسی دقیق‌تر و درک بهتر این بادها در منطقه مورد پژوهش با ترسیم گل‌طوفان حاصل شد. از تفاوت‌های نموار گل‌طوفان با گلباد در این است که در نمودار گل‌طوفان فقط از روزهای همراه با گردوغبار که دارای کدهای گردوغباری ۰۶ و ۰۷ هستند استفاده می‌شود ولی در نمودار گلباد از تمام روزهای سال استفاده می‌شود و در آن تفکیکی وجود ندارد.

نمودار گل‌طوفان ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ در ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه رسم شد (شکل ۱۶ الف). در طول سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ بیشترین جهت ثبت شده در ایستگاه کرمانشاه سمت غرب $^{\circ}$۲۷۰ و شمال غرب-غربی $^{\circ}$۳۰۰ بود. مهمترین جهت‌های بعدی از سمت شرق $^{\circ}$۹۰ به سمت شهر کرمانشاه می‌وزد. همچنین مدل DRS شهر کرمانشاه برای بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ رسم شد. نتایج با توجه به شکل ۱۶ب نشان می‌دهد که جهت شمال‌غربی-غرب و غرب دارای بیشترین تأثیر در بین دیگر جهت‌ها هستند که این واقعیت را نشان می‌دهد که سهم هر بخش باد از میزان گردوغبار ورودی برابر و همسو نیستند و جهت‌های غرب و شمال غرب-غربی جهت‌های ورود گردوغبار به منطقه مورد پژوهش یعنی شهر کرمانشاه هستند.

■ بحث و نتیجه‌گیری

طوفان‌های گردوغبار یک مشکل راهبردی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک است که می‌تواند بر بسیاری از جنبه‌های مختلف زندگی انسان تأثیر به‌گذارد (۳) و با توجه به پیامدهای طوفان‌های گردوغبار و خطرات ناشی از آن برای شهروندان، پژوهش گردوغبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. بنابراین، در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی شهر کرمانشاه، تصاویر ماهواره‌ای DRS و HYSPLIT به بررسی طوفان‌های گردوغبار پرداخته شد.

در پژوهش حاضر نتایج کدهای ۰۶ و ۰۷ گردوغبار در دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار وقوع گردوغبار در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ و ماه‌های خرداد، تیر و مرداد رخ داده است. همچنین فصل تابستان بیشترین وقوع گردوغبار را دارد که به‌دلیل گرمای بیش از حد و از دست دادن رطوبت سطحی خاک و وزیدن بادهای گرم و خشک و گذر آنها از روی بیابان عراق و سوریه است. اما در فصل‌های پاییز و زمستان با توجه به شروع فصل بارندگی، میزان وقوع گردوغبار کاهش چشمگیری داشته است که با نتایج محققان (۲۹، ۳۶، ۳۹، ۵۲، ٤۰) مطابقت دارد و داده‌های AOD نیز این واقعیت را تصدیق می‌کند. در پژوهش حاضر شناسایی منبع و شبیه‌سازی مسیر طوفان‌های گردوغبار بر فراز کرمانشاه از مدل HYSPLIT برای طوفان گردوغبار مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱۶. الف. گل‌طوفان شهر کرمانشاه ب. DRS شهر کرمانشاه

نتایج نشان داد که در ارتفاع ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m بیشترین سهم ورود گردوغبار به کرمانشاه در جهت‌های اصلی شمال غرب غربی و غرب است که از روی کانون‌های اصلی گردوغبار در عراق و سوریه می‌گذرد. بنابراین بررسی ارتفاع گردوغبار نشان داد که ذرات گردوغبار در لایه های بالایی به سمت غرب ایران سرازیر شده و در سطوح پایین به کرمانشاه می‌رسد. همچنین بیشترین تعداد طوفان‌های گردوغبار شبیه‌سازی شده از عراق و سوریه آغاز شده است که با نتایج مطالعه‌ای (۲، ۵، ۸، ۱۵، ۴۵، ۵۳، ۵۵) همسو است که جهت غربی را جهت اصلی ورود گردوغبار در نظر گرفته‌اند. برای نمایش گردوغبار تشکیل شده و ورود آن به کشور از جمله شهر کرمانشاه از سنجنده MODIS و Deep BLUE در دو تاریخ ۱۳۹۰/۰۱/۲۴، ۱۳۹۴/۰۳/۰۸ استفاده شده است که نشان‌دهنده ورود گردوغبار از سمت کشورهای عراق، سوریه و عربستان است که منشأ گردوغبارهای خارجی را تشکیل داده‌اند. که شهر کرمانشاه در دو تاریخ ذکر شده همراه با وقوع دو طوفان گردوغبار شدید همراه بوده است. که با کد ۰۶ ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه که منشأ فرا محلی خارج از کشور را نشان می‌دهد. برای درک علل تغییرات روند شدت طوفان‌های گردوغبار در کرمانشاه بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶، پژوهش حاضر به بررسی پارامترهای موثر بر پیدایش گردوغبار از جمله بارندگی، دما پرداخته شد نتایج نشان می‌دهد که AOD نسبت به دما در فصل گرم همبستگی مثبت دارد، علت آن تولید بیش از حد گردوغبار به دلیل کاهش رطوبت و پدیده خشکسالی است بررسی‌های مشابه دیگری نیز ارتباط بین افزایش غلظت ذرات با افزایش دمای محیط و به تبع آن کاهش بارندگی و کاهش رطوبت نسبی را عنوان کرده‌اند (۴۱، ۴۶، ۵۳). در حالیکه همبستگی بین مقدار بارندگی و AOD معنی‌دار است و این دو متغیر با هم مرتبط هستند. افزایش رطوبت هوا با کاهش غلظت گردوغبار دارای ارتباط معنی‌داری است به‌طوریکه با افزایش رطوبت غلظت گردوغبار به همان نسبت کاهش می‌یابد که این به دلیل جذب رطوبت توسط ذرات و سنگین تر شدن و ته نشینی آنها است. دمای زیاد، بارندگی کم و بادهای شدید شرایط آب و هوایی مناسب برای توسعه طوفان‌های گردوغبار در منطقه هستند که با نتایج (۱، ۷، ۱۰، ۲۶، ۲۵، ۳۶، ۴۷) این پژوهش همسو است. نتایج حاصل از پژوهش گل‌طوفان و DRS نشان داد که جهت‌های شمال‌غربی-غرب و غرب در انتقال ذرات گردوغبار بسیار تأثیر گذار هستند که با نتایج (۱۲، ۵۴، ۵۸) همسو است و نتایج HYSPLIT نیز این موضوع را تصدیق می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که جهت اصلی ورود گردوغبار به کرمانشاه از جهت شمال غرب و شمال غرب و کشورهای سوریه و عراق به‌عنوان منابع اصلی گردوغبار در کرمانشاه هستند که با نتایج (۵، ۹، ۱۵، ۱۷، ۱۵، ۳۵، ۴۴، ۴۷، ۵۵) که ورود طوفان‌های گردوغبار را از سمت شرق سوریه و غرب عراق به‌ویژه در مناطق مرزی این دو کشور را دلیل عمده وقوع طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب عراق می‌دانند مطابقت و همخوانی دارد.

■ References

1. Afzali, A., Rashid, M., Sabariah, B., & Ramli, M. (2014). PM10 pollution: its prediction and meteorological influence in Pasir Gudang, Johor. *Earth and environmental science: Conference Series*, *18(*1*)*, 012100.

2. Ahmadi-Molaverdi, M., Jabbari, I., & Fathnia, A. (2020). Identification, evaluation and the management of dust sources in western Iran. *Physical Geography Research*, *52*(3), 445-465. (in Farsi)

3. Al-Ameri, I. D., Briant, R. M., & Engels, S. (2019). Drought severity and increased dust storm frequency in the Middle East: a case study from the Tigris–Euphrates alluvial plain, central Iraq. *Weather*, *74*(12), 416-426.

4. Al-Dabbagh, S. K. (2020). The use of aerosol optical properties in identification of dust sources in Iraq. *Physics*: *Conference Series*, *1660(*1*)*, 012049.

5. Alizadeh, T., Rezaie Banafsheh, M., & Sharifi, R. (2021). Detection and simulation of dust storm in different levels of Kermanshah atmosphere using HYSPLIT and WRF-chem models Case Study: Dust Storm October 26-28, 2018. *Environmental Science Studies*, *6*(4), 4266-4279. (in Farsi)

6. Al-Khalidi, J., Bakr, D., & Abdullah, A. A. (2021). Synoptic analysis of dust storm in Iraq. *Environment Asia*, *14*(1), 13-22.

7. Amgalan, G., Liu, G. R., Kuo, T. H., & Tang-Huang, L. (2017). Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, *28*(1), 24-32.

8. Ansari, A., & Jamshidi, R. (2018). Identification of sources and tracking dust storm routes entering from domestic sources to Arak metropolitan using HYSPLIT model. *Environmental Sciences*, *16*(1), 101-110. (in Farsi)

9. Arami, S. A., Karimi Sangchini, E., & Dinarvand, M. (2022). Tracking severe dust storms phenomenon in southeast Iran by using HYSPLIT. *Application of Geography information system and remote sensing in planning*, *13*(1), 7-17. (in Farsi)

10. Bagherabadi, R. (2021). Analysis the change trend dust events and its relationship with SPI index (case study: Ahvaz). *Geography and Human Relationships*, *4*(3), 224-237. (in Farsi)

11. Bagherabadi, R. (2022). Assessment of tropospheric NO2 changes in Kermanshah using OMI sensor and its relationship with meteorological parameters. *Environmental Research and Technology*, *9*(6), 129-142. (in Farsi)

12. Bagherabadi, R., & Moeinaddini, M. (2021). Dust storms directional source identification of Karaj. *Climate Research*, *12*(47), 141-155. (in Farsi)

13. Behyar, M. B. (2015). Zoning risk degree of climatic phenomena and dust storms in roads network of the country using satellite data. *Geographical Researches*, *30*(2), 103-112.

14. Bogan, M. A. B., Kul, S., Zengin, S., Oktay, M., Sabak, M., Gumusboga, H., & Bayram, H. (2021). The effects of desert dust storms, air pollution, and temperature on morbidity due to spontaneous abortions and toxemia of pregnancy: 5-year analysis. *Biometeorology*, *65*(10), 1733-1739.

15. Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., & Rashidi, Y. (2017). Identification of dust storm origin in South–West of Iran. *Environmental Health Science and Engineering*, *15*(1), 1-14.

16. Butt, M. J., & Mashat, A. S. (2018). MODIS satellite data evaluation for sand and dust storm monitoring in Saudi Arabia. *Remote Sensing*, *39*(23), 8627-8645.

17. Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, *502*, 224-235.

18. Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Arid Land*, *7*(5), 567-578.

19. Chan, Y. C., Hawas, O., Hawker, D., Vowles, P., Cohen, D. D., Stelcer, E., Simpson, R., Golding, G., & Christensen, E. (2011). Using multiple type composition data and wind data in PMF analysis to apportion and locate sources of air pollutants. *Atmospheric Environment*, *45*(2), 439-449.

20. Ciren, P., & Kondragunta, S. (2014). Dust aerosol index (DAI) algorithm for MODIS. *Geophysical Research: Atmospheres*, *119*(8), 4770-4792.

21. Dagsson-Waldhauserova, P., Magnusdottir, A. Ö., Olafsson, H., & Arnalds, O. (2016). The spatial variation of dust particulate matter concentrations during two Icelandic dust storms in 2015. *Atmosphere*, *7*(6), 1-12.

22. Darvishi Boloorani A, Nabavi SM, Bahrami, H. A., Mirzapour, F., Kavosi, M., Abasi, E., Azizi R. (2014). Investigation of dust storm entering the west of Iran using remotely sensed data and synoptic analysis. *Environmental Health Science and Engineering*, *1*(12), 1-12.

23. Draxler, R. R., & Rolph, G. D. (2010). HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (http: //ready. arl. noaa. gov/HYSPLIT. php), NOAA Air Resources Laboratory. *Journal of Silver Spring, MD*, *25*.

24. Ebrahimi-Khusfi, Z., Taghizadeh-Mehrjardi, R., & Mirakbari, M. (2021). Evaluation of machine learning models for predicting the temporal variations of dust storm index in arid regions of Iran. *Atmospheric Pollution Research*, *12*(1), 134-147.

25. Farsani, M. H., Shirmardi, M., Alavi, N., Maleki, H., Sorooshian, A., Babaei, A., Asgharnia, H., Marzouni, M & Goudarzi, G. (2018). Evaluation of the relationship between PM10 concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz, Iran. *Aeolian Research*, *33*, 12-22.

26. Fengmei, Y., & Chongyi, E. (2010). Correlation analysis between sand-dust events and meteorological factors in Shapotou, Northern China. *Environmental Earth Sciences*, *59*(6), 1359-1365.

27. Ghouchizadeh, A., Moeinaddini, M., Shahbazi, R., Ahmadi, N., & Navour, N. M. (2018). Study of the importance of quaternary dust sources emission on Qom air quality. *Quaternary, 3*, 341-360. (in Farsi)

28. Givehchi, R., Arhami, M., & Tajrishy, M. (2013). Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*, *75*, 287-295.

29. Goudarzi, G., Daryanoosh, S., Godini, H., Hopke, P., Sicard, P., De Marco, A., Rad, H. D, Harbizadeh, A., Jahedi, F., Mohammadi, M, Savari, J., Sadeghi, S., Kaabi, Z., & Omodi Khaniabadi, Y. (2017). Health risk assessment of exposure to the Middle-Eastern Dust storms in the Iranian megacity of Kermanshah. *Public Health*, *148*, 109-116.

30. Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). Desert dust in the global system. *Springer Science & Business Media*.

31. Hamzehee, M. R., Babaei, M. H., & Papzan, A. (2021). Zoning of dust-affected areas in Kermanshah province. *Geography and Environmental Planning*, *32*(4), 107-134. (in Farsi)

32. Hejazi, A., Mobasheri, M.R., & Majidi, D., (2014). Using satellite images to calculate atmospheric visibility. *Climate Research*, *5*(17), 47-56. (in Farsi)

33. Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., Huang, J., & Tsay, S.C. (2013). Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Geophysical Research: Atmospheres*, *11*, 1-14.

34. Hu, T., Wu, D., Li, Y., & Wang, C. (2017). The effects of sandstorms on the climate of Northwestern China. *Advances in Meteorology*, *2017*. 1-15.

35. Jafari, M., Mesbahzadeh, T., Masoudi, R., Zehtabian, G., & Amouei Torkmahalleh, M. (2021). Dust storm surveying and detection using remote sensing data, wind tracing, and atmospheric thermodynamic conditions (Case study: Isfahan Province, Iran). *Air Quality, Atmosphere & Health*, *14*(9), 1301-1311.

36. Jamshidi, A., Karimzadeh, K., & Raiganshirazi, A. (2006). Investigation of suspended particles pollution in Gachsaran air. *Armaghan of Danesh*, *12*(2), 89-97.

37. Javadian, M., Behrangi, A., & Sorooshian, A. (2019). Impact of drought on dust storms: case study over Southwest Iran *Environmental Research Letters*, *14*(12), 1-9.

38. Jooybari, S. A., Peyrowan, H., Rezaee, P., & Gholami, H. (2022). Evaluation of pollution indices, health hazards and source identification of heavy metal in dust particles and storm trajectory simulation using HYSPLIT model (Case study: Hendijan center dust, southwest of Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(2), 1-17.

39. Karegar, E., Hamzeh, N. H., Jamali, J. B., Abadi, A. R. S., Moeinaddini, M., & Goshtasb, H. (2019). Numerical simulation of extreme dust storms in east of Iran by the WRF-Chem model. *Natural Hazards*, *99*(2), 769-796.

40. Kim, J. (2008). Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965–2004). *Atmospheric Environment*, *42*(19), 4778-4789.

41. Lau, A. K. H., Yuan, Z., Yu, J. Z., & Louie, P. K. K. (2010). Source apportionment of ambient volatile organic compounds in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, *408*(19), 4138-4149.

42. Li, X., & Song, W. (2009). Dust storm detection based on Modis Data. *Geo-spatial Solutions for Emergency Management: Conference Series, 16(*9*)*, 01720.

43. Miri, A., Maleki, S., & Middleton, N. (2021). An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*, *757*(1), 1-13.

44. Mohammadi, F., Kamali, S., & Eskandary, M. (2016). Tracing dust sources in different atmosphere levels of Tehran using hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory (HYSPLIT) model. *Geography and Environmental Hazards*, *4*(4), 39-54. (in Farsi)

45. Nabi Bidhendi, G., Javanmard, S., Zehtabian, G., & Mousavi, S. M. (2021). Application of WRF-Chem and HYSPLIT models in the study of Dust Hotspot and path (Cases study: The dust storm on September, 2015 in the metropolitan Tehran). *Meteorology and Atmospheric Science*, *4*(1), 30-44. (in Farsi)

46. Naddafi K, Ehrampush MH, Jafari V, Nabizadeh Nodehi R, Yonesyan M. (2008). Investigation of total suspended particles and its ingredients in the central part of Yazd. *University of Medical Sciences Health Services of Shahid Sadoughi Yazd*, *16*(4), 21-25. (in Farsi)

47. Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A., & Sari Sarraf, B. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *9*(3), 1-11.

48. Nazari Samani, A., Dadfar, S., & Shahbazi, A. (2013). A study on dust storms using wind rose, storm rose and sand rose (Case study: Tehran province). *Desert*, *18*(1), 9-18.

49. Omidvar, K., & Nekoonam, Z. (2011). An application of wind rose and dust rose in the analysis of dust phenomenon and determining the seasonal regime of dust winds (case study: Sabzevar city). *Physical Geography Research Quarterly*, *43*(76), 85-104. (in Farsi)

50. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Rautenbach, C. D., Eriksson, P. G., Qiang, M., & Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, *5*, 51-62.

51. Rasooli, A., Sarisarraf, B., & Mohamadi GhH. (2010). Analysis of dust phenomenon occurrence trend in west part of country over the past 55 years by using non-parametric statistics. *Natural Geography*, *3*(9), 15-28. (in Farsi)

52. Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao, Y. (2013). Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Research*, *10*, 103-109.

53. Rostami, D., & Hosseini, S A. (2018). Analysis and tracking dust phenomenon in south and southeast of Iran by using HYSPLIT model and the principles of remote sensing. *Isaeh*, *5*(3), 103-119. (in Farsi)

54. Sabr, A., Moeinaddini, M., & Azarnivand, H. (2018). Effects of land use/cover changes on Tehran’s air quality. *Environmental Sciences*, *16*(3), 79-100. (in Farsi)

55. Salahi, B., Nohegar, A., & Behrouzi, M. (2019). Tracking of dust at levels of atmospheric in Sanandaj Using HYSPLIT model in order to manage environmental hazards. *Geography (Regional Planning)*, *9*(2), 83-95. (in Farsi)

56. Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Jafarzade Haghighifard, N., Naimabadie, A., Mahmoudian, M., Saki, H., Sowlat, M. H., Soleimani, Z., Naddafi, K. (2011). Dust Storms: Environmental and Health impacts. *North Khorasan University of Medical Sciences, 2(4)*, 45-56. (in Farsi)

57. Sissakian, Varoujan, Nadhir Al-Ansari, & Sven Knutsson. (2013). Sand and dust storm events in Iraq. *Natural Science*, *5*, 84-94.

58. Yahya, B. M., & Seker, D. Z. (2019). The impact of dust and sandstorms in increasing drought areas in Nineveh province, north-western Iraq. *Asian and African Studies*, *54*(3), 346-359.

59. Yang, H., Fang, Z., Cao, Y., Xie, C., Zhou, T., Wang, B., Xing, K., & Lolli, S. (2021). Impacts of transboundary dust transport on aerosol pollution in the western Yangtze River delta region, China: insights gained from ground-based lidar and satellite observations. *Earth and Space Science*, *8*(3), 1-17.

60. Yassin, M. F., Almutairi, S. K., & Al-Hemoud, A. (2018). Dust storms backward Trajectories and source identification over Kuwait. *Atmospheric Research*, *212*(4), 158-171.

61. Zolfaghari, H., & Abedzadeh, H. (2005). Synoptic analysis of dust systems in West Iran, *Geography and Development*, *3*(6), 173 - 188. (in Farsi)

Original Article, Vol. 10, No. 4, Winter, 2023, pp 39-54

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Quantitative Assessment of Desertification Expansion Using Spatio-temporal Variations of Net Primary Production in Arid Regions of Northeastern Iran

J. Dashti Amirabad[1], Sh. Nikoo[2*], M. Rahimi[3], M. Akbari[4]

1. PhD student of combat desertification, Department of Combating Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Combating Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Combating Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Desert Areas Management, Faculty Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

* Corresponding Author: shimanikoo@semnan.ac.ir

Received date: 11/12/2022 **Accepted date: 15/01/2023**

doi 10.22034/JDMAL.2023.1982658.1403

Abstract

Net primary production is a sensitive index to changes in climatic factors and human activities. The present study was conducted with the aim of quantitatively evaluating the relative role of climate change and human activities on the development of desertification in Torbat Heydarieh and Bojnoord based on the spatio-temporal variations of net primary production. First, primary net production was estimated by ground measurement. Subsequently, it was simulated using the CASA model in statistical period between 1986 and 2017. Six scenarios were designed to determine the relative role of climate change and human activities in the expansion or inversion of desertification. The results of the research showed that net primary production has declined over the 31-year period and that the trend in its changes is negative. An examination of different desertification scenarios showed that the city of Bojnord is under the scenario of expansion of desertification due to climate change, and Torbet Heydarieh city is under the scenario of desertification expansion due to the interaction between climate change and human activities. Based on this, the trend of changes in actual and potential primary net production in Bojnord and Torbat Heydarieh cities was negative and its intensity was classified in the low to medium decline category. Also, the slope trend of changes in primary net production caused by human activities in Torbat Heydarieh city was positive and in the low to medium increase class, and in Bojnord city, it was negative and in the low decrease class.The study of the development or return of desertification scenarios showed that 61.23% of the total area of the study area was affected by the expansion and development of desertification due to the impacts of climatic factors, and 38.77% of those affected by the interaction of climatic factors and human activities in expansion of desertification.

Keywords: Climate change scenarios; Human activities; Statistical tests; Land degradation

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۳۹ تا ۵۴

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

نشریه مدیریت بیابـان

www.isadmc.ir

ارزیابی کمّی گسترش بیابان‌زایی با بهره‌گیری از تغییرات زمانی-مکانی تولید خالص اوّلیه در مناطق خشک شمال شرق ایران

جمال دشتی امیرآباد[۱]، شیما نیکو[۲*]، محمد رحیمی[۳]، مرتضی اکبری[۴]

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه بیابانزدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۲. استادیار، گروه بیابانزدایی، دانشکدهٔ کویر شناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۳. دانشیار، گروه بیابانزدایی، دانشکدهٔ کویر شناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۴. استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: shimanikoo@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵**

doi 10.22034/JDMAL.2023.1982658.1403

چکیده

تولید خالص اوّلیه یک شاخص حساس به تغییرات عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کمّی نقش نسبی تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر توسعه بیابان‌زایی در شهرستان‌های تربت حیدریه و بجنورد بر پایهٔ بهره‌گیری از تغییرات زمانی-مکانی تولید خالص اوّلیه انجام شد. ابتدا تولید خالص اوّلیه با اندازه‌گیری زمینی برآورد شد. سپس با استفاده از مدل CASA و در طی دورهٔ آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۵ شبیه‌سازی شد. برای تعیین نقش نسبی تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی در توسعه یا بازگشت بیابان‌زایی، شش سناریو طراحی شد. نتایج پژوهش نشان داد که تولید خالص اوّلیه در طول دورهٔ ۳۱ ساله کاهش یافته و روند تغییرات آن منفی است. بررسی سناریوهای مختلف بیابان‌زایی نشان داد که شهرستان بجنورد تحت سناریوی گسترش بیابان‌زایی ناشی از تغییرات اقلیمی و شهرستان تربت حیدریه تحت سناریوی گسترش بیابان‌زایی ناشی از تعامل بین تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی است. براین اساس، روند شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه واقعی و پتانسیل در شهرستان‌های بجنورد و تربت حیدریه، منفی و شدت آن در طبقه کاهشی کم تا متوسط طبقه‌بندی گردید. همچنین روند شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت‌های انسانی در شهرستان تربت حیدریه مثبت و در طبقه افزایش کم تا متوسط و در شهرستان بجنورد، منفی و در طبقه کاهشی کم طبقه‌بندی گردید. بررسی سناریوهای توسعه و یا بازگشت بیابان‌زایی نشان داد که ۶۱/۲۳٪ از مساحت کل مناطق مورد بررسی تحت تأثیر گسترش بیابان‌زایی ناشی از اثر عوامل اقلیمی بوده و ۳۸/۷۷٪ آن نیز متأثر از تعامل عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در توسعه بیابان‌زایی است.

واژگان کلیدی: سناریوهای تغییر اقلیم؛ فعالیت‌های انسانی؛ آزمون‌های آماری؛ تخریب سرزمین

■ مقدمه

پدیدهٔ بیابان‌زایی به‌عنوان تهدید بوم‌شناختی، محیطزیستی، اجتماعی-اقتصادی (۱)، در کنار پدیدهٔ تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین، سه چالش بزرگ جهان در قرن ۲۱ام می‌باشد و شامل فرآیندهایی است که به عملکرد نادرست انسان بر می‌گردد و عوامل طبیعی نیز اثرات آن را تشدید می‌نماید (۲۸) طبق تعریف بیابان‌زایی، تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی مهمترین عوامل پیش برنده بیابان‌زایی می‌باشد (۲، ۱۳) به نحویکه در قرن گذشته فعالیت‌های انسانی همچون تغییر کاربری اراضی، توسعه کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی و توسعه شهری، چرای بیش از حد دام، برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی نقش به سزایی در تخریب سرزمین داشته‌اند (۲۱، ۲۲). این در صورتی است که تا کنون و به درستی نقش و سهم هر یک از این عوامل درک نشده است (۳۰، ۳۸). در گزارشات IPCC[1] (۲۰۲۰)، تغییر اقلیم به تغییر در مقادیر پارامترهای آب و هوا گفته می‌شود که برای یک دوره طولانی مدت، معمولاً یک دهه یا بیشتر و در یک منطقه مشخص به وقوع بپیوندد. به عبارتی تغییر اقلیم، به هرگونه تغییر در طول زمان، که به علت تغییرات طبیعی و یا به عنوان یک نتیجه از فعالیت‌های انسانی باشد، گفته می‌شود (۱۷). مروری بر نتایج پژوهش‌های مختلف به ویژه در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که بیابان‌زایی متأثر از پدیده تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بوده (۱، ۲) و به همین علت است که پژوهشگران زیادی در دنیا به بررسی اثر این موضوعات بر گسترش روند بیابان‌زایی پرداخته‌اند، اما استفاده از یک روش ارزیابی کمّی بهینه که نشان دهنده نقش عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در بیابان‌زایی باشد، دشوار می‌باشد (۲، ۶). امروزه استفاده از روش‌های تحلیل مکانی امکان ارزیابی کمّی متغیرهای محیطی را به خوبی نشان می‌دهند (۳۳). روش‌های ارزیابی کمّی عمدتاً مبتنی بر تحلیل‌های آماری بودند، از جمله مدل‌های رگرسیونی، آنالیز همبستگی و تکنیک‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره (۱۸، ۳۰، ۳۹، ۴۰). با توجه به تعریف بیابان‌زایی به خوبی این نکته روشن است که کاهش تولید زی‌توده موجب بیابان‌زایی می‌شود، بنابراین می‌توان مقدار تولید بوم‌نظام را به عنوان یک شاخص قابل اندازه‌گیری، برای بررسی فرآیند بیابان‌زایی در نظر گرفت (۱۸، ۳۵). اگرچه چندین مدل برای تخمین تولید خالص اوّلیه وجود دارد، اما به طور رایج متکی بر متغیرهای اقلیمی هستند. اولین مدلی که به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت مدل میامی است (۱۶). این مدل از همبستگی حداقل مربعات بین تولید خالص اوّلیه اندازه‌گیری شده و داده‌های مربوط به دما و بارش استفاده می‌کند. مدل تورنت‌ویت که براساس داده‌های مورد استفاده در مدل میامی بنا نهاده شده است و مدل اصلاح شده آن، مدل تبخیر و تعرق پتانسیل تورنت‌ویت است، از دیگر روش‌های تخمین تولید خالص اوّلیه است (۱۵) که در پژوهش حاضر از آن استفاده شد. بر همین اساس، پژوهشگران مختلف، تولید خالص اوّلیه[2] را معیاری برای ارزیابی کمّی اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی انتخاب نموده‌اند (۸، ۱۲، ۲۸). تولید خالص اوّلیه، مقدار خالص انرژی تابش خورشیدی است که به انرژی شیمیایی طی فرایند فتوسنتز تبدیل شده است و یک شاخص حساس به تغییر اقلیم و اثرات فعالیت‌های انسانی می‌باشد (۳۸). به همین دلیل تولید خالص اوّلیه به عنوان یک شاخص برای تفکیک و جداسازی اثر تغییر اقلیم از اثر فعالیت‌های انسانی آن در مقیاس بوم‌نظام پذیرفته شده است (۷، ۸). از اینرو تغییرات آن نیز به عنوان یک شاخص برای ارزیابی بالقوه بیابان‌زایی در نظر گرفته شده است (۲۰). با توجه به اینکه گسترش سریع بیابان‌زایی منجر به از دست رفتن اقتصاد، تخریب محیط زیست، ناپایداری شرایط سیاسی محلی و تحول اجتماعی می‌شود، براین اساس، در بسیاری از مطالعات، پویایی بیابان‌زایی و عوامل پیش برنده آن بررسی شده است (۲، ۳۱). پویایی بیابان‌زایی را می‌توان از طریق ترکیبی از مشاهدات ماهواره‌ای و اطلاعات مناسب، پایش و ارزیابی کرد (۴، ۲۴، ۳۴). برای نیل به این هدف، مطالعات زیادی در زمینه آشکارسازی تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی و ارزیابی نقش آنها در بیابان‌زایی انجام شده است که از جمله آنها، می‌توان به

---
[1] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC
[2] Net Primary Productivity (NPP)

مطالعه ارزیابی کمی نقش منحصر بفرد تغییر اقلیم و فعالیتهای انسانی در بیابان‌زایی شمال غرب چین با استفاده از تولید ناخالص اوّلیه به عنوان یک شاخص اشاره کرد. نتایج آن بررسی نشان داد که ۸/۵۵٪ سطح مورد مطالعه تحت تأثیر بیابان‌زایی قرار دارد در حالیکه ۳/۷۰٪ از آن زیر تأثیر فعالیت‌های انسانی و ۷/۲۱٪ در اثر تغییر اقلیم به‌وجود آمده است (۳۴). علاوه بر آن، بررسی‌های دیگری نیز در دشت اردوس چین[۱] (۳۲)، در چینگهای[۲]- تبت در شمال شرقی چین (۱۴)، در منطقه جنگلی سین کیانگ[۳] در مناطق خشک و نیمه خشک چین (۳۷) و حوزه آبخیز شیانگه[۴] چین (۳۸)، با استفاده از تولید خالص اوّلیه به ارزیابی توسعه بیابان‌زایی پرداخته شده است که تأثیر تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی را در روند بیابان‌زایی نشان می‌دهند. در ایران نیز مطالعات انجام شده در استان اصفهان با مطالعهٔ تغییرات زمانی و مکانی تولید خالص اوّلیه و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی در زیست‌بوم‌های مرتع، تاغزار و بیابان و جنگل و کشاورزی (۲۳)، و مراتع نیمه‌استپی استان اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (۱۰)، بررسی شده و نتایج آن نشان از معنی‌دار بودن این متغیرها دارد.

بررسی پویایی و روند حرکتی پوشش گیاهی با اندازه‌گیری تولید خالص اوّلیه بهترین روش آشکارسازی تخریب سرزمین بوده و منعکس کننده مراحل و روند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی می‌باشد (۱۱، ۲۵). بنابراین تولید خالص اوّلیه برای ارزیابی تخریب سرزمین یا ترمیم و بازگشت بیابان‌زایی انتخاب شد (۳، ۲۹). منظور از بازگشت بیابان‌زایی، ایجاد شرایطی است که طی آن به علت افزایش تولید خالص اوّلیه روند بیابان‌زایی متوقف شده و با افزایش زیتوده، بیابان‌زایی معکوس شده است (۲۵، ۳۰). لذا، با توجه به آنچه که در جملات فوق اشاره شد، هدف اصلی از پژوهش حاضر، اندازه‌گیری تولید خالص اوّلیه با استفاده از مدل CASA و ارزیابی کمّی توسعه یا بازگشت بیابان‌زایی بود و همچنین تعیین نقش نسبی هریک از عوامل اصلی بیابانزایی یعنی تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی در کاهش مکانی-زمانی تولید ناخالص اوّلیه اراضی مرتعی در مناطق خشک شمال شرق ایران در شهرستان تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی و شهرستان بجنورد در استان خراسان شمالی از دیگر اهداف اصلی پژوهش حاضر بود.

■ مواد و روش

معرفی منطقه مورد بررسی

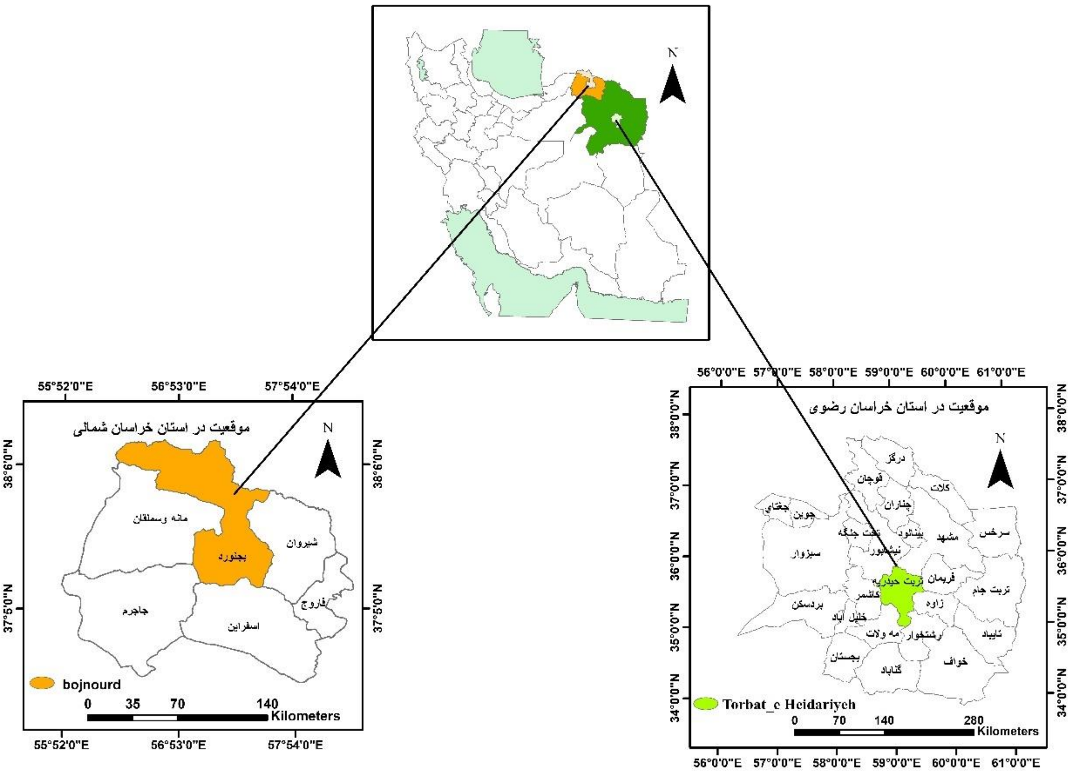
موقعیت جغرافیایی و وجود ارتفاعاتی نظیر بینالود، کوههای هزار مسجد، کپه داغ، ارتفاعات سالوک و نواحی کویری باعث شده است که استان‌های خراسان رضوی و شمالی از تنوع اقلیمی زیادی برخوردار باشد. پژوهش حاضر در شهرستان‌های تربت حیدریه و بجنورد در استان‌های خراسان رضوی و شمالی در مناطق شمال شرقی ایران صورت گرفته است.

شهرستان تربت حیدریه با مساحت ۳۶/۷۲km^2 در محدوده جغرافیایی ′۳۸ °۵۸ و ′۵۷ °۳۴ تا ′۰۴ °۶۰ و ′۵۵ °۳۵ واقع شده است. مقدار بارندگی سالانه شهرستان تربت حیدریه ۲۵۲ mm و میانگین دمای سالیانه ۱۴/۳°C و اقلیم آن براساس روش دومارتن و آمبرژه خشک می‌باشد. شهرستان بجنورد با مساحتی در حدود ۵۷/۹۹km^2 در محدوده جغرافیایی ′۵۸ °۵۶ و ′۱۴ °۳۷ تا ′۴۲ °۵۷ و ′۵۴ °۳۷ قرار دارد. میزان بارندگی سالانه آن ۲۴۹mm و میانگین دمای سالیانه آن نیز ۱۳/۵°C است و اقلیم آن براساس روش دومارتن خشک و با روش آمبرژه نیمه خشک می‌باشد. عمده فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد مطالعه چرای بیش از حد، عدم رعایت تناسب تعداد دام و ظرفیت تولید مرتع، عدم رعایت زمان ورود و خروج دام از مرتع و تغییر کاربری از مرتع به اراضی کشاورزی می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

روش انجام پژوهش

در پژوهش حاضر، تولید خالص اوّلیه واقعی (ANPP[۵]) با روش اندازه‌گیری زمینی برآورد شد و سپس با استفاده از مدل CASA شبیه‌سازی شد. در مرحله بعد، تولید خالص

[1] Ordos
[2] Qinghai
[3] Xinjiang
[4] Shiyanghe Basin
[5] Actual Net Primary Productivity



شکل ۱. موقعیت محدوده‌های مورد مطالعه در شمال شرق ایران در استان‌های خراسان شمالی و رضوی

اوّلیه پتانسیل[1] و تولید ناشی از فعالیت‌های انسانی[2] محاسبه و با بهره‌گیری از داده‌های به‌دست آمده و سناریوهای طراحی شده، ارزیابی کمی نقش نسبی اثرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی در بیابان‌زایی انجام شد. بر این اساس، ابتدا داده‌های مورد نیاز CASA به منظور برآورد تولید خالص اوّلیه که شامل داده‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره‌ای، نمونه‌برداری‌های میدانی می‌باشد، جمع‌آوری شد و سپس به کمک نرم افزارهای سنجش از دور اطلاعات لازم استخراج و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[3] مورد تجزیه و تحلیل و پردازش قرار گرفتند. در پایان مقدار کمّی تأثیر عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر توسعه بیابان‌زایی برآورد شد.

انتخاب مکان نمونه‌برداری‌های زمینی برای اندازه‌گیری NPP

تولید خالص اوّلیه، آن مقدار انرژی خورشیدی است که از راه فتوسنتز تبدیل به زیتوده می‌شود (۳۵). برای اندازه‌گیری میدانی ابتدا در هر شهرستان یک حوزه آبخیز به‌عنوان یک مکان مطالعاتی انتخاب شد. سپس در درون هر یک از آن مکان‌ها، موقعیت‌هایی که صعب العبور بودند و دور از دسترس دام‌های اهلی بود تعیین و ۵ نقطه نمونه‌برداری یا کوادرات در جهت شیب غالب منطقه برای اندازه‌گیری پوشش گیاهی انتخاب شد. اندازه هر کوادرات ۴۰m×۴۰m انتخاب شد. با توجه به اینکه فرم رویشی پوشش گیاهی مراتع مورد مطالعه، عمدتاً ترکیبی از گراس‌ها و بوته‌ای‌ها بود، بنابراین هر کوادرات به ۴ کوادرات ۲۰×۲۰m تبدیل شده و به نام‌های Q1، Q2، Q3 و Q4 نامگذاری شد. این کوادرات‌ها برای اندازه‌گیری بوته‌های چند ساله در نظر گرفته شد. در داخل هر کوادرات ۲۰m×۲۰m، ۴ کوادرات ۵m×۵m نیز برای اندازه‌گیری تولید و یا همان زیتوده باریک‌برگان (گراس‌ها) انتخاب شد (شکل ۲) (۳۸). برای اندازه‌گیری تولید خالص اوّلیه بوته‌ها، ابتدا اندازه‌گیری‌های غیر مخرب زیست توده بدون قطع و توزین در اواخر ماه اردیبهشت و اوایل خرداد انجام شد. برای این منظور ابعاد گیاه را که شامل قطر یقه،

[1] PNPP
[2] HNPP
[3] Geographic Information System

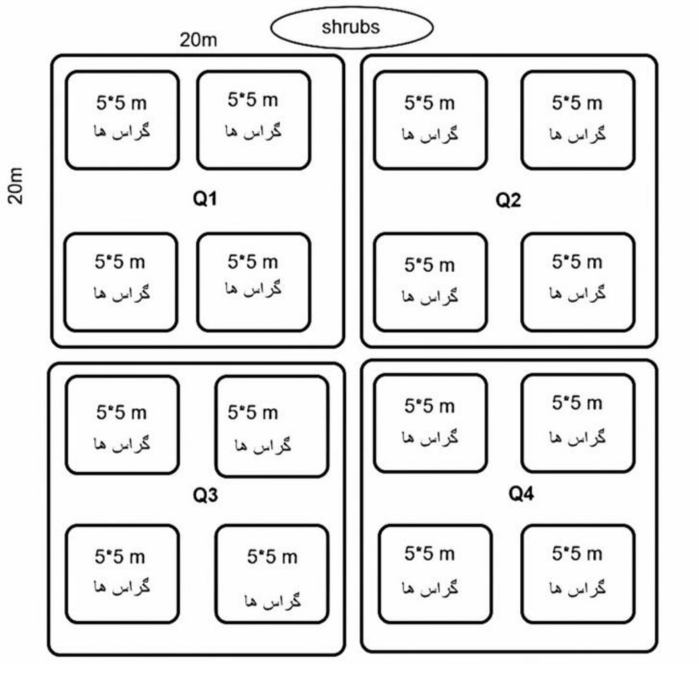
کمینه و بیشنه قطر تاج پوشش و ارتفاع از یقه تا تاج‌پوشش بود، اندازه‌گیری و در فرم‌های مخصوص ثبت شد. سپس ابعاد دیگر بوته‌هایی که قطع نشده بود اندازه‌گیری شد و با محاسبه رابطۀ همبستگی بین تولید خالص بوته‌های قطع و توزین شده و بوته‌های اندازه گیری شده، مقدار تولید خالص اوّلیه در درون هر کوادرات محاسبه شد. با توجه به ابعاد بوته‌ها، در هر مکان ۵ بوته به عنوان نمونه انتخاب و پس از اندازه‌گیری ابعاد آن، اقدام به قطع اندام هوایی که مربوط به رشد اندام‌های هوایی در سال جاری بودند، کرده و ضمن ثبت موقعیت جغرافیایی و نام سایت، قسمت‌های قطع شده در پاکت قرار داده‌شد. در مجموع ۱۰ مکان مطالعاتی و ۲۵ کوادرات ۲۰m×۲۰m برای اندازه‌گیری‌های غیرمخرب انتخاب شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده در آون ۷۰°C و به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس توزین شدند. برای اندازه‌گیری مقدار تولید خالص اوّلیه باریک¬برگان، ابتدا در درون هر کوادرات ۵×۵m یک پلات ۱×۲m تفکیک و باریک‌برگان از ارتفاع ۲cm بالای خاک سطحی قطع شده و در درون پاکت قرار داده شد که پس از خشک شدن در آون توزین گردید (۱۸). برای تعیین و اندازه‌گیری زیتودۀ اندام زیرزمینی باریک¬برگان، ۸ هسته خاک به قطر ۸cm و ارتفاع ۱۴cm و به فاصلۀ ۱۰cm با اوگر نمونه‌برداری شد و در مجموع تعداد ۴۰ نمونه خاک برداشت شد. بنابراین برای اندازه‌گیری وزن ریشه‌ها در آزمایشگاه، نمونه‌های خاک با آب دیونیزه پاک شدند. نمونه‌ها در آون ۷۰°C به صورت ثابت خشک و سپس توزین شدند (۳۸).

جمع‌آوری داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی مورد نیاز در مدل CASA شامل دما، بارندگی ماهانه و سالانه و خالص تابش خورشیدی[1] و تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق واقعی است (۳۵). برای این منظور از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی، کلیماتولوژی و تبخیر سنجی استان‌های خراسان رضوی و شمالی در دورۀ آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۶ شمسی استفاده شد. برای بررسی کیفیت داده‌ها از آزمون مشاهدات استثنائی گروبز- بک (G-B)[2] استفاده شد.

تولید خالص اوّلیه واقعی[3]

پویایی پوشش گیاهی در بیابان‌زایی بسیار مهم است و می‌تواند فعل و انفعالات پیچیده بین تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی را منعکس کند (۱۱).



شکل ۲. طرحی از روش نمونه‌برداری میدانی در سایت‌های مورد مطالعه

[1] Net Solar Radiation
[2] Grubbs–Beck
[3] Actual NPP

در پژوهش حاضر، درآغاز با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس[1] با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر شاخص پوشش گیاهی NDVI[2] از پایگاه USGS[3] تهیه شد (۲۵). سپس به کمک داده‌های هواشناسی، نقشه دما و بارش در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و به روش میانیابی کریجینگ معمولی تهیه شد (۳۲). در پایان با مدل CASA تولید خالص اوّلیه واقعی برآورد شد. این مدل تولید واقعی را برحسب $gC\ m^{-2}\ yr^{-1}$ برآورد می‌کند که اساس آن تئوری توازن منابع است (۹). در این مدل، تولید خالص اوّلیه محصول جذب تابش فعال فتوسنتزی است (APAR[4]). اصول بنیادی مدل CASA در رابطه (۱) تشریح شده است:

$$NPP(x.t) = APAR(x.t) \times \varepsilon(x.t) \qquad (۱)$$

در اینجا x موقعیت مکانی (مختصات جغرافیایی) و t زمان است. APAR نشان دهندۀ کل تابش خورشیدی جذب شده وابسته به تاج پوشش در یک دوره زمانی بر حسب MJm^{-2} است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود، و ε(x,t) نشان دهندۀ بهره‌وری استفاده از نور طبیعی است که به ترتیب با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (۳۵).

$$APAR(x.t) = SOL(Rn)(x.t) \times FPAR \times r \qquad (۲)$$

FPAR جزئی از تابش فعال فتوسنتری در مکان x و زمان t که بسته به نوع گیاهان و تاج پوشش آنها تعیین می‌شود و به کمک شاخص پوشش گیاهی NDVI محاسبه شد و Rn(x, t) که نشان دهندۀ تابش خالص خورشیدی بر حسب $MJm^{-2}\ month^{-1}$ است.

$$\varepsilon(x.t) = T\varepsilon1(x.t) \times T\varepsilon2(x.t) \times W\varepsilon(x.t) \times \varepsilon max \qquad (۳)$$

در مدل CASA، Wε(x, t) ضریب تنش رطوبتی است، که نشان دهندۀ کاهش در بهره‌وری استفاده از نور است و ناشی از فاکتور رطوبت می‌باشد (رابطه ۴) (۳۹). ε_{max} بیشینه کارایی استفاده از نور است که بوسیله وضعیت هواشناسی روزانه تخمین زده می‌شود. ε_{max} بهره‌وری بیشینه استفاده از نور بیوم خاص، تحت شرایط ایده‌ال است و بیشینه ε انواع گیاهان در شرایط ایده‌آل برابر با ۰/۳۸۹grC است. r نسبتی از تابش خورشیدی که توسط گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۵).

$$W\varepsilon(x.t) = 0.5 + 0.5 \times r \text{ و } r = \frac{E1(x.t)}{E2(x.t)} \qquad (۴)$$

که E1(x, t) تبخیر و تعرق تخمینی و E2(x, t) تبخیر تعرق پتانسیل می‌باشد که از رابطه‌های (۵) و (۶) برآورد شد:

$$E1(x.t) = (P(x.t) \times R(x.t) \times [P(x.t)\text{^}2 + R(x.t)\text{^}2 + P(x.t) \times R(x.t)]\ )/([P(x.t) + R(x.t) \times [P(x.t)\text{^}2 + R(x.t)\text{^}2]) \qquad (۵)$$

در این رابطه P(x, t) بارند گی ماهانه ($mm\ month^{-1}$) و R(x, t) که نشان دهندۀ تابش خالص خورشیدی است ($MJ\ m^{-2}$).

E2(x,t) تبخیر تعرق پتانسیل است که از رابطه (۷) محاسبه شد.

$$E2(x.t) = \frac{E1(x.t) + E0(x.t)}{2} \qquad (۶)$$

E0 تبخیر و تعرق پتانسیل است که از رابطه تورنت وایت به‌دست می‌آید. در این رابطه T درجه حرارت ماهانه بر حسب درجه سلسیوس است و I شاخص کل گرمایی در یک سال است، زمانی که درجه حرارت هوا بین صفر و ۲۶/۵ درجه سانتیگراد باشد و α (x) با استفاده از شاخص کل گرمایی محاسبه می‌شود (رابطه‌های ۷، ۸ و ۹) (۳۶).

$$APAR(x.t) = SOL(Rn)(x.t) \times FPAR \times r$$
$$E0(x, t) = 16 \times [10 \times T(x, t)/I(x)]^{a(x)}.\ a(x) \qquad (۷)$$

$$a\ (x) = 0.675I\ (X)^3 - 77.1I(X)^2 + 17920(X)^1 + 492390 \times 10^{-6} \qquad (۸)$$

[1] MOD13Q1.061 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 250m
[2] Normalized Difference Vegetation Index
[3] https: //lpdaac.usgs.gov/resources/data-action
[4] Absorbed Photosynthetically Active Radiation (APAR)

$$I(x) = \sum_{i=1}^{12} [\mathrm{T(x,t)/5)}]^{\wedge}1.514 \qquad (۹)$$

$T\varepsilon1$ تنش فعالیت گیاه در دمای کم و $T\varepsilon2$ نشان دهندهٔ تنش فعالیت گیاه در درجهٔ حرارت زیاد می‌باشد و هر یک از آنها ضریب تنش دمایی در بهره‌وری استفاده از نور است و از رابطه‌های (۱۰ و ۱۱) برآورد می‌شوند (۳۷).

$$T\varepsilon1(x.t) = 0.8 + 0.02T_{opt}(x.t) - 0.0005 \times [T_{opt}(x.t)]2 \qquad (۱۰)$$

T_{opt} دمای ماهانهٔ بهینه است که در این مطالعه از میانگین درجه حرارت ماه‌های اردیبهشت و خرداد برآورد شده است.

$$\mathrm{T\varepsilon2(x,t)} = \frac{1/1814}{\{1+exp[0.2(\mathrm{Topt(x.t)}-10-T(x.t))]\}} \times \frac{1}{\{1+exp[0.3(-\mathrm{Topt}(x.t)-10+T(x.t))]\}} \qquad (۱۱)$$

پس از محاسبه APAR و ضرایب تنش درجه حرارت و رطوبت می‌توان با استفاده از رابطهٔ زیر مقدار ε_{max} واقعی را محاسبه کرد. در این رابطه از تولید خالص اوّلیه حاصل از داده‌های زمینی استفاده شد.

$$\varepsilon\mathrm{max} = \frac{NPP}{APAR \times W\varepsilon(x.t) \times T\varepsilon1(x.t) \times T\varepsilon2(x.t)} \qquad (۱۲)$$

شکل ۳ دیاگرام مدل CASA برای برآورد NPP را نشان می‌دهد.

تخمین تولید خالص اوّلیه پتانسیل

در پژوهش حاضر، تولید خالص اوّلیه پتانسیل با استفاده از مدل تبخیر و تعرق پتانسیل تورنت‌ویت، طبق رابطه (۱۳) شبیه‌سازی شد:

$$NPP_{potential} = 3000\left[1 - e^{-0.0009695(v-20)}\right] \qquad (۱۳)$$

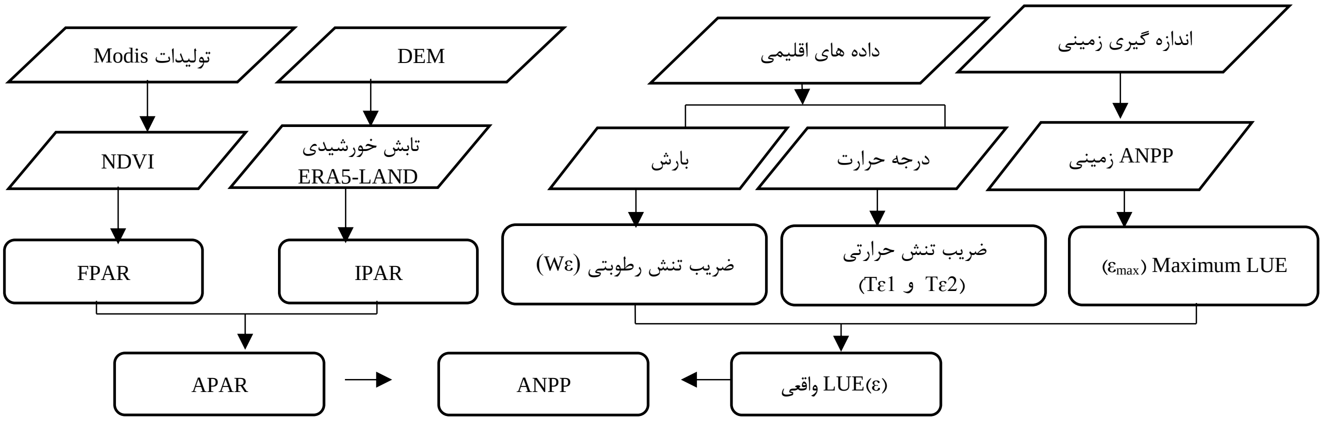
تولید خالص اوّلیه سالانه بر حسب ($g\ Cm^2\ yr^{-1}$)، v متوسط تبخیر و تعرق واقعی سالانه (mm) که از رابطه (۱۴) محاسبه شد:

$$v = \frac{1.05r}{\sqrt{1+(1+1.05r/L)^2}} \qquad (۱۴)$$
$$L = 3000 + 25t + 0.05\,t^3$$

L متوسط تبخیر و تعرق واقعی سالانه (mm)، r بارش کل سالانه (mm) و t متوسط درجه حرارت سالانه (°C) می‌باشد (۳۸).

تجزیه و تحلیل پویایی و توسعه بیابان‌زایی با استفاده تغییرات مکانی-زمانی NPP

برای بررسی روند تغییرات تولید خالص اوّلیه از نرم افزار XLSTAT و آزمون‌های آماری من کندال و شیب سن استفاده شد و برای تعیین شدت روند تغییرات، از رابطهٔ ۱۵ استفاده شد (۳۸). بر اساس این روش، اگر شیب تغییرات (مثبت یا منفی) بین ۵- ۰ باشد، روند تغییرات در طبقه افزایش یا کاهش کم، اگر بین ۵-۱۰ باشد در طبقه متوسط و اگر تغییرات بین ۱۰-۲۴ باشد در طبقه شدید طبقه‌بندی می‌شود. در پژوهش حاضر، سه نوع تولید خالص اوّلیه محاسبه شد:.



شکل ۳. نمودار جریانی مدل CASA برای برآورد NPP (۲۷)

الف) تولید خالص اوّلیه واقعی بود که با تلفیق مدل CASA و برداشت‌های میدانی محاسبه شد؛ ب) تولید خالص اوّلیه پتانسیل می‌باشد که با استفاده از مدل تبخیر و تعرق پتانسیل تورنت‌ویت (رابطه‌های ۱۳ و ۱۴) و ج) که تولید خالص اوّلیه تولید ناشی از فعالیت‌های انسانی نام دارد، که با تفریق تولید خالص اوّلیه پتانسیل از واقعی به‌دست آمد. اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر روی تولید خالص اوّلیه می‌تواند با اتکا بر شیب تولید خالص اوّلیه پتانسیل و تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت‌های انسان محاسبه کرد. شیب مثبت تولید خالص اوّلیه پتانسیل نشان‌دهندهٔ سودمندی تغییر متغیرهای اقلیمی بر روی رشد پوشش گیاهی و معکوس کردن روند بیابان‌زایی است. شیب منفی تولید خالص اوّلیه پتانسیل ، نشان دهندهٔ این است که تغییرات اقلیم موجب توسعه بیابان‌زایی شده است. اگر شیب تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت انسان منفی باشد، فعالیت‌های انسانی در رشد پوشش گیاهی و بازگشت بیابان‌زایی سودمند می‌باشد. اگر شیب تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت انسان مثبت باشد، بیانگر این است که فعالیت‌های انسانی منجر به گسترش بیابان‌زایی شده است. شیب تولید خالص اوّلیه واقعی اگر مثبت باشد یعنی بازگشت بیابان‌زایی رخ داده است و اگر منفی باشد یعنی اینکه بیابان‌زایی گسترش یافته است (۳۸). پس از محاسبه تولید خالص اوّلیه، شیب تغییرات محاسبه شد که در پژوهش حاضر از رابطه (۱۵) شیب با رگرسیون حداقل مربعات معمولی استفاده شد (۳۷).

$$SLOPE = \frac{10\times\sum_{i=33}^{33} i \times NPPi-(\sum_{i=1}^{33} i)(\sum_{i=33}^{33} NPPi)}{10\times\sum_{i=33}^{33} i^2-\sum_{i=33}^{33} i^2} \qquad (۱۵)$$

که i تعداد سال‌های آماری و NPP مقدار تولید خالص اوّلیه است. مقدار تغییرات تولید خالص اوّلیه نیز از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$NPP_{variation} = 9 \times slope \qquad (۱۶)$$

آزمون‌های آماری

در پژوهش حاضر، از آزمون من کندال برای بررسی روند تغییرات تولید خالص اوّلیه و از آزمون شیب تخمین‌گر سن برای بررسی جهت شیب روند تغییرات تولید خالص اوّلیه از آزمون شیب تخمین‌گر سن استفاده شد. من‌کندال آزمون غیرپارامتری شناخته شده است که به‌صورت گسترده برای آشکارسازی روند در پژوهش‌های هیدرولوژیک و اقلیمی استفاده می‌شود (۲۱ و ۲۳) و شیب تخمین‌گر سن بصورت گسترده در واکاوی روند داده‌های آب و هواشناسی استفاده می‌شود (۲۲، ۵).

اعتبار سنجی مدل CASA

برای اعتبار سنجی مدل، تولید خالص اوّلیه برآورد شده از نمونه‌برداری‌های زمینی، با مقادیر شبیه‌سازی شده از مدل CASA مقایسه شده و همبستگی آنها بررسی شد.

طراحی سناریوی برای ارزیابی کمی بیابان‌زایی

برای آشکارسازی نقش نسبی تأثیر عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در بیابان‌زایی، در بیابان‌زایی، از شش سناریو بهره گرفته شد (جدول ۱). براساس مقادیر شیب تولید خالص اوّلیه، سه سناریو برای گسترش بیابان‌زایی و سه سناریو برای بازگشت بیابان‌زایی تعریف شده است (۳۱).

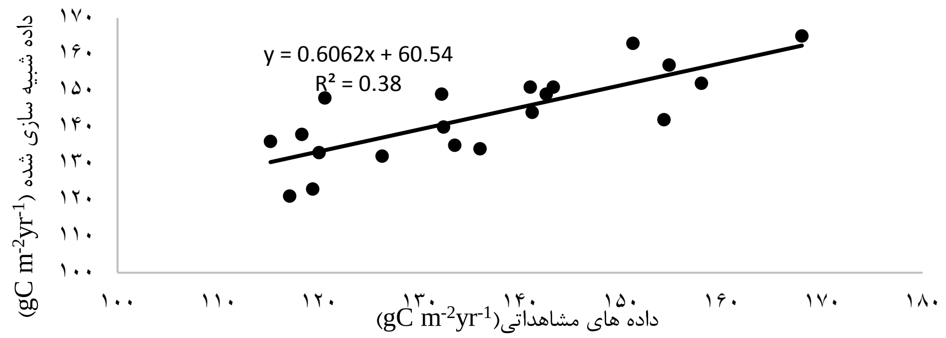
■ نتایج

تولید خالص اوّلیه اراضی مرتع با استفاده از مدل CASA و با بکارگیری داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای در طی دوره آماری ۱۳۶۴-۱۳۹۵ شبیه‌سازی شد. همبستگی بین تولید خالص اوّلیه مشاهداتی حاصل شده از اندازه‌گیری زمینی با تولید خالص اوّلیه شبیه‌سازی شده با مدل CASA نمایش داده‌شده است (شکل ۴)، نتایج نشان داد که دقت برآورد مدل با ضریب تبیین ۰/۶۲ رضایت‌بخش است. با این حال داده‌های حاصل از مدل، کمی بیشتر از داده‌های مشاهداتی می‌باشد که ممکن است به‌دلیل تفاوت در مقیاس داده‌های مشاهداتی و تخمینی باشد. میانگین تولید خالص اوّلیه مرتع در شهرستان تربت حیدریه $۱۰۸/۵۲ gCm^2Yr^{-1}$ و شهرستان بجنورد $۱۴۴/۶۸ gCm^2Yr^{-1}$ در سال برآورد شد. کمینه و. بیشینه تولید خالص اوّلیه در شهرستان تربت حیدریه به ترتیب ۱۷۱/۳ و ۲۰۱/۴ و در شهرستان بجنورد ۹۶/۹ و $۲۲۴/۹ gCm^2Yr^{-1}$ می‌باشد (شکل ۵).

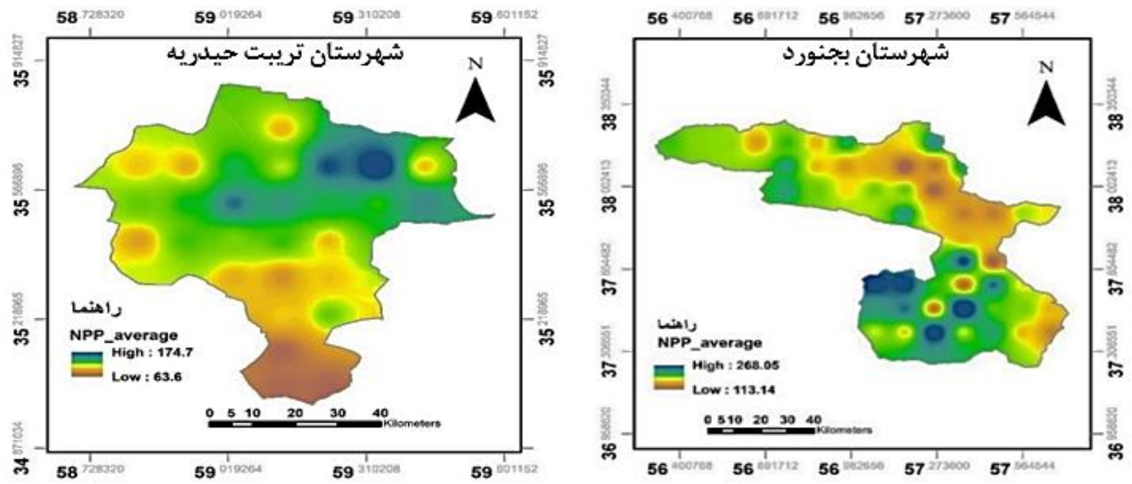
جدول ۱. سناریوهای ارزیابی نقش اقلیم و فعالیت انسانی در بیابان‌زایی (۳۷)

تعریف		SH	SP	SA	
بازگشت بیابان‌زایی ناشی از فعالیت‌های انسانی	سناریو ۱	۰>	۰>	۰>	بازگشت بیابان‌زایی
بازگشت بیابان‌زایی ناشی از تغییرات اقلیمی	سناریو ۲	۰>	۰>	۰>	
بازگشت بیابان‌زایی ناشی از تعامل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی	سناریو ۳	۰>	۰>	۰>	
گسترش بیابان‌زایی ناشی از فعالیت‌های انسانی	سناریو ۱	۰>	۰>	۰>	گسترش بیابان‌زایی
گسترش بیابان‌زایی ناشی از تغییرات اقلیمی	سناریو ۲	۰>	۰>	۰>	
گسترش بیابان‌زایی ناشی از تعامل تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی	سناریو ۳	۰>	۰>	۰>	

S_A: مقدار شیب تولید خالص اوّلیه واقعی، S_P: مقدار شیب تولید خالص اوّلیه پتانسیل، S_H: مقدار شیب تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت انسان
منظور از بازگشت بیابان‌زایی، ایجاد شرایطی است که طی آن به علت افزایش تولید خالص اوّلیه روند بیابان‌زایی متوقف شده و با افزایش زیتوده، بیابان‌زایی معکوس شده است. در صورتیکه عکس آن رخ داده باشد به معنی گسترش بیابانزایی می باشد.



شکل ۴. اعتبار سنجی مدل CASA از طریق همبستگی بین داده مشاهداتی زمینی و داده‌های برآورد شده



شکل ۵. نقشه میانگین تولید خالص اوّلیه در سایت‌های مورد مطالعه براساس مدل CASA

توسعه بیابان‌زایی و تأثیر عوامل اقلیمی و انسانی

اگر رابطهٔ کمّی بین تغییرات تولید خالص اوّلیه، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی باشد، می‌توان نقش نسبی تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی در پیشرفت بیابان‌زایی را به صورت کمّی ارزیابی کرد (۷). نقشهٔ توزیع فضایی تغییرات شیب تولید خالص اوّلیه واقعی، تولید پتانسیل ناشی از مدل تورنت وایت و تغییرات تولید ناشی از فعالیت‌های انسانی ارائه شده است (شکل ۵). بر این اساس، شیب تولید خالص اوّلیه واقعی یا همان SA در شهرستان‌های تربت حیدریه و بجنورد منفی بود، که نشان‌دهندهٔ تأثیر آب و هوا و تغییرات اقلیمی بر توسعه بیابان‌زایی است. به نحویکه در مکان‌های مورد بررسی تغییرات شیب پتانسیل (S_P) منفی بود و بیانگر این است که تغییرات اقلیم موجب توسعه و گسترش بیابان‌زایی شده است. شیب تغییرات S_H در شهرستان تربت حیدریه مثبت و در شهرستان بجنورد منفی بود، بنابراین تأثیر فعالیت‌های

انسانی در شهرستان تربت حیدریه مخرب و منجر به گسترش بیابان‌زایی شده و در شهرستان بجنورد سودمند بوده و باعث رشد پوشش گیاهی و مانع از توسعه بیابان‌زایی شده است. پژوهش حاضر نشان داد که تغییرات تولید خالص اوّلیه در اثر عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی و یا از تعامل بین این دو شاخص در طی دوره آماری رخ داده است.

روند تغییرات تولید خالص اوّلیه

بر اساس نتایج آزمون من کندال، تغییرات تولید خالص اوّلیه واقعی در سایت‌های مورد مطالعه دارای روند بوده و براساس مقدار (P-value=۰/۰۰۰۱) آن، در سطح احتمال ۹۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). نقشه طبقه‌بندی شدت و روند شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه ارائه شد (شکل۶ الف و ب). اساس، روند شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه واقعی و پتانسیل در شهرستان‌های بجنورد و تربت حیدریه، منفی و شدت آن در طبقه کاهشی کم تا متوسط طبقه‌بندی گردید. همچنین روند شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت‌های انسانی در شهرستان تربت حیدریه مثبت و در طبقه افزایش کم تا متوسط و در شهرستان بجنورد، منفی و در طبقه کاهشی کم طبقه‌بندی گردید. بر این اساس، در شهرستان بجنورد، شدت شیب تغییرات S_A و S_H در طبقه کاهشی کم و همچنین شدت شیب تغییرات S_P در دو طبقه کاهشی کم به مقدار ۹۹/۷٪ و کاهشی شدید با ۰/۳٪ قرار گرفته است. در شهرستان تربت حیدریه، شدت شیب تغییرات S_A در سه طبقه کاهشی کم به مقدار ۶۶/۶٪، کاهشی متوسط با ۳۱/۶٪ و کاهشی شدید به مقدار ۱/۸٪ طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که شدت شیب تغییرات S_P در شهرستان تربت حیدریه در سه طبقه کاهشی کم به مقدار ۶۶/۶٪، کاهشی متوسط با ۳۹٪ و کاهشی شدید به مقدار ۱۹/۹٪ قرار گرفته است. شدت شیب تغییرات S_H نیز در دو طبقه افزایشی کم با ۹۷/۶٪ و افزایشی متوسط با ۲/۴٪ طبقه‌بندی شده است.

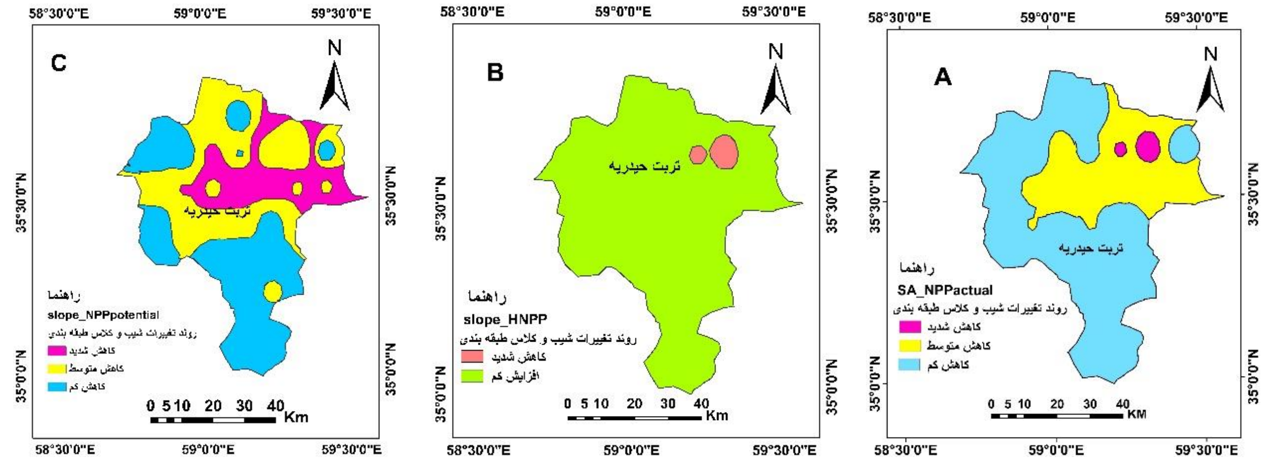
برای نمایش مناسب‌تر در شکل ۷ نقشه تغییرات شیب تولید خالص اوّلیه به تفکیک مکان‌های مورد بررسی ارائه شد. مساحت و درصد گسترش بیابان‌زایی ناشی از عوامل اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و یا ترکیبی از این دو عامل در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که در شهرستان بجنورد تحت تأثیر سناریوی عوامل اقلیمی و در شهرستان تربت حیدریه تحت تأثیر تعامل بین عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، بیابان‌زایی گسترش پیدا کرده است. در جدول ۳ مکان‌های مورد بررسی تحت سناریوهای ذکر شده طبقه‌بندی و تفکیک شده است. بنابراین، ۶۱/۲۳٪ از مساحت کل مناطق مورد بررسی تحت تأثیر گسترش و توسعه بیابان‌زایی ناشی از تأثیر عوامل اقلیمی بوده و ۳۸/۷۷٪ آن نیز تحت تأثیر توسعه بیابان‌زایی ناشی از تعامل عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. بنابراین در مناطق مورد بررسی، عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی موجب توسعه بیابان‌زایی شده است.

■ بحث و نتیجه‌گیری

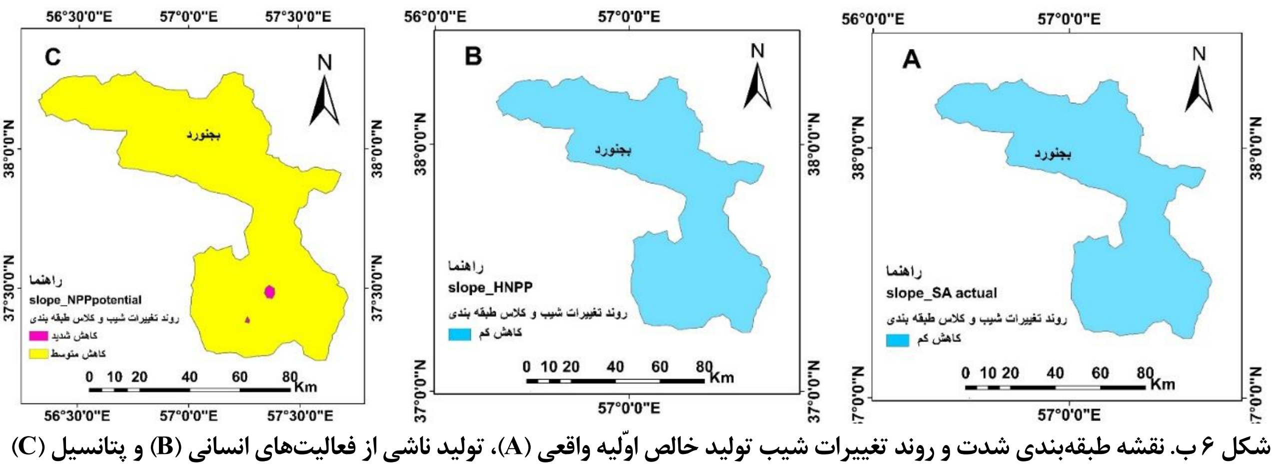
در پژوهش حاضر، تولید خالص اوّلیه به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی بیابان‌زایی و تولید خالص اوّلیه بالقوه و HNPP برای ارزیابی نقش نسبی تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی مورد ارزیابی قرار گرفت. در منطقه مورد بررسی، عمده فعالیت‌های انسانی که موجب تخریب پوشش گیاهی و به دنبال آن باعث کاهش تولید مرتع گردیده است، شامل چرای خارج از فصل، عدم رعایت تناسب تعداد دام با ظرفیت مرتع، عدم رعایت زمان ورود و خروج دام از مرتع و مسائل حقوقی مرتع مثل عدم تنسیق کامل عرصه‌های مرتعی، ممیزی مرتع و تهیه طرح‌های مرتعداری است. برخی از مطالعات بیانگر این مطلب هستند که فعالیت‌های انسانی عامل غالب و نیروی محرک در توسعه بیابان‌زایی می‌باشد (۳۸). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی دو عامل مهم در گسترش بیابان‌زایی در محدوده مورد مطالعه هستند. اما نقش عوامل اقلیمی بیشتر از فعالیت‌های انسانی در این مناطق است. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در ۶۱/۲۳٪ از سطح مناطق مورد مطالعه، گسترش بیابان‌زایی، ناشی از تغییرات اقلیمی بوده و در ۳۸/۷۷٪ مناطق مورد مطالعه نیز از تعامل عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، بیابان‌زایی گسترش پیدا کرده است که با نتایج پژوهشگران دیگر مشابهت دارد (۳۷).

جدول ۲. مقادیر آزمون من‌کندال و تخمینگر شیب سن محاسبه شده (۰/۰۵) برای متغیر تولید خالص اوّلیه در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۷ ($gCm^{-2}.yr$)

شهرستان	متغیرها	داده‌های مشاهداتی	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	Kendall's tau p-value	شیب تخمین‌گر سن
تربت حیدریه	NPPactual	۳۲	۶۸/۱	۱۹۷/۱	۱۰۸/۵	۳۱/۹	۰/۰۰۰۱	-۲/۱۷
تربت حیدریه	NPPpo	۳۲	۲۶۰/۲	۴۳۲	۳۴۷/۱	۴۰/۹	۰/۰۰۰۲۱	-۱/۰۲
تربت حیدریه	HNPP	۳۲	۱۲۵/۹	۳۰۹/۱	۲۳۸/۶	۴۳	۰/۰۰۲۷	۱/۰۱
بجنورد	NPPactual	۳۲	۷۹/۹	۲۱۹/۴	۱۴۴/۸	۲۹/۲	۰/۰۱۸	-۰/۷۴۴
بجنورد	NPPpo	۳۲	۲۸۸/۳	۴۵۸/۴	۳۷۳/۸	۴۲/۵	<۰/۰۰۰۱	-۱/۱۷۰
بجنورد	HNPP	۳۲	۱۰۴/۳	۳۲۹/۷	۲۲۹/۱	۵۷/۹	۰/۰۹۶	-۱/۰۲۰



شکل ۶ الف. نقشه طبقه‌بندی شدت و روند تغییرات شیب تولید خالص اوّلیه واقعی (A)، تولید ناشی از فعالیت‌های انسانی (B) و پتانسیل (C)

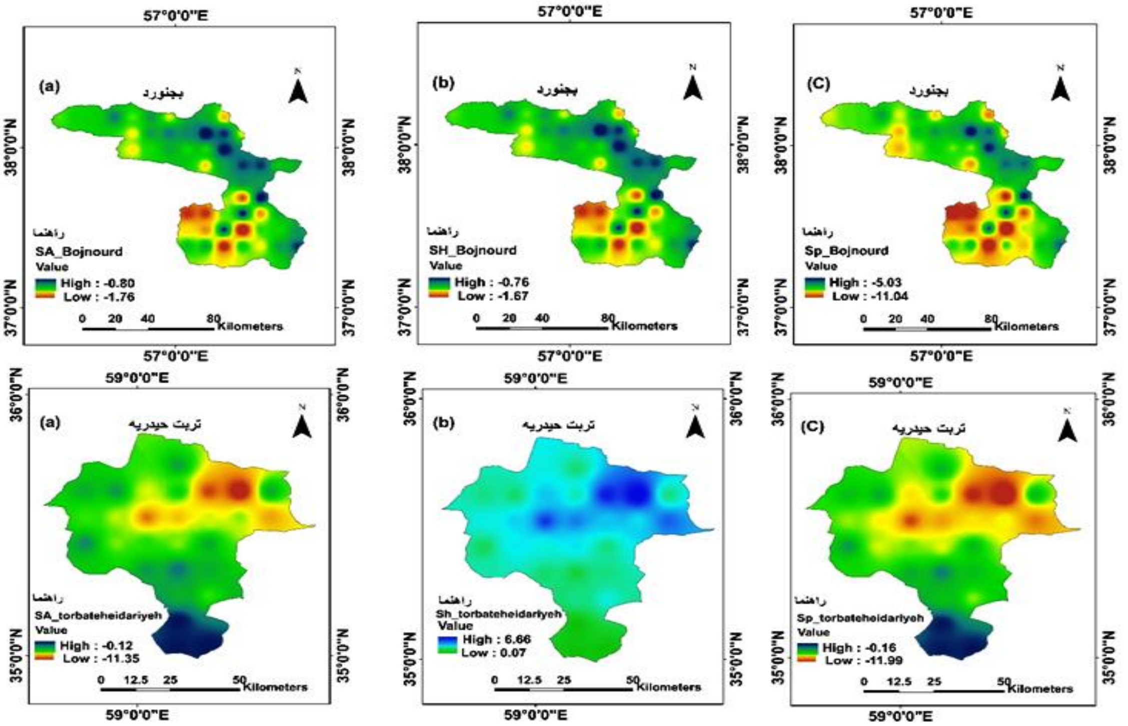


شکل ۶ ب. نقشه طبقه‌بندی شدت و روند تغییرات شیب تولید خالص اوّلیه واقعی (A)، تولید ناشی از فعالیت‌های انسانی (B) و پتانسیل (C)

جدول ۳. مساحت و درصد گسترش بیابان‌زایی ناشی از عوامل اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و یا ترکیبی از این دو عامل

منطقه مورد مطالعه		مقدار	توسعه بیابان‌زایی
بجنورد	تربت حیدریه		
۵۷۹۹/۶۲	-	مساحت (km^2)	CE
۶۱/۲۳	-	٪	
-	-	مساحت (km^2)	HE
-	-	٪	
-	۳۶۷۱/۸	مساحت (km^2)	BE
-	۳۸/۷۷	٪	

CE: گسترش بیابان‌زایی تحت غلبه عوامل اقلیمی، HE: گسترش بیابان‌زایی تحت غلبه فعالیت‌های انسانی، BE: گسترش بیابان‌زایی تحت تأثیر ترکیبی از دو عامل اقلیم و فعالیت‌های انسانی



شکل ۷. نقشهٔ تغییر شیب تولید خالص اوّلیه در مکان‌های مورد بررسی: تغییرات شیب تولید خالص اوّلیه واقعی (a)، تغییرات شیب تولید خالص اوّلیه پتانسیل (b) و تغییرات شیب تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت‌های انسان (c)

بررسی روند تغییرات تولید خالص اوّلیه با آزمون آماری من کندال و شیب تخمین‌گر سن نشان داد که تغییرات تولید خالص اوّلیه واقعی در همه مناطق مورد بررسی دارای روند معنی‌داری بوده و این روند براساس آزمون شیب سن، در شهرستان‌های تربت حیدریه و بجنورد روند کاهشی و منفی داشته است. همچنین تغییرات تولید خالص اوّلیه پتانسیل در همه سایت‌های مورد مطالعه نیز دارای روند معنی دار بوده و شیب تغییرات آن منفی می‌باشد. تغییرات HNPP در شهرستان‌های تربت حیدریه و بجنورد دارای تغییر بوده بطوریکه شیب تغییرات آن در شهرستان تربت حیدریه مثبت و معنی‌دار و در شهرستان بجنورد منفی ولی معنی‌دار نمی‌باشد که با نتایج پژوهش‌های انجام شده در اصفهان (۲۶) مشابهت داشت. تغییرات تولید خالص اوّلیه در مناطق مورد بررسی، علیرغم اینکه زیر تأثیر مستقیم کاربری اراضی مثل مرتع و کشاورزی می‌باشد، اما در کنار عوامل یاد شده می‌توان به نوسان‌های اقلیمی رخ داده نیز اشاره کرد. بررسی انجام شده در اصفهان (۲۶) نیز از این روش برای تعیین تغییرات مکانی تولید خالص اوّلیه در مناطق خشک استفاده کرده‌اند. همچنین نتایج پژوهش جاری نشان داد که در شهرستان‌های بجنورد و تربت حیدریه، شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه منفی و عمدتاً در طبقه کاهش کم قرار گرفته است. شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه پتانسیل در تمام سایت‌های مورد مطالعه منفی و در طبقه کاهش متوسط تا کم و شیب تغییرات تولید خالص اوّلیه ناشی از فعالیت‌های انسانی منفی و در طبقه کاهش کم تا متوسط بود، نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات انجام شده در استان اصفهان مشابهت دارد (۱۶). در این پژوهش، برای آشکارسازی نقش نسبی تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی از ۶ سناریو بهره گرفته شد. طبق سناریوهای تعریف شده، مشخص شد که گسترش بیابان‌زایی، در شهرستان‌های بجنورد بیشتر در اثر عوامل اقلیمی و در تربت حیدریه در اثر تعامل بین اقلیم و فعالیت‌های انسانی رخ داده است. نتایج دیگر بررسی‌های انجام شده در اصفهان و چین برای آشکارسازی اثر تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی نیز که از سناریوی مذکور بهره گرفتند با نتایج پژوهش جاری هم‌خوانی دارد (۲۹، ۳۸). با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، مناطق مورد بررسی زیر تأثیر سناریوهای بازگشت بیابان‌زایی قرار ندارد و می‌توان گفت که اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی منجر به گسترش و توسعه بیابان‌زایی شده است. بررسی متغیرهای هواشناسی بارش و دما نیز نشان داد که مقدار بارندگی در سال‌های مورد مطالعه

روند کاهشی داشته و روند تغییرات دما نیز یا افزایشی بوده یا روند مثبتی نداشته است و بدون تغییرات خاص بوده. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاهش بارندگی از مهمترین تأثیر آب و هوا بر تغییرات پوشش گیاهی بوده و فعالیت‌های انسانی در ۳۸/۷۷٪ مناطق بررسی شده در تعامل با تغییرات اقلیمی موجب گسترش بیابان‌زایی شده است. بررسی انجام شده در برخی مناطق مختلف ایران نشان داد که تولید خالص اوّلیه در اثر تغییرات در متغیرهای اقلیمی مثل بارش و دما، روند کاهشی داشته و این تغییرات در مراتع چشم‌گیرتر است. همچنین بررسی‌های آنها نشان داد که نتایج مدل CASA با برآوردهای زمینی دارای همبستگی بوده که با نتایج این پژوهش مشابهت دارد (۲۶، ۱۰). پژوهش جاری همانند نتایج دیگر پژوهشگران نشان داد که با استفاده از مدل تبخیر و تعرق پتانسیل تورنت‌ویت و تخمین پتانسیل تولید خالص اوّلیه و به کمک مدل CASA و سناریوهای گسترش و یا بازگشت بیابان‌زایی می‌توان اثر فعالیت‌های انسانی و اقلیمی را بر بیابان‌زایی تعیین کرد و عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی ناشی از دو عامل مذکور را تفکیک کرد (۳۸). لذا، پیشنهاد می‌شود در بررسی‌های آینده، برای مقایسه بهتر و درک مناسب از شدت تغییرات NPP، نقشه شدت بیابان‌زایی مناطق مورد مطالعه طی سال‌های تحقیق تهیه شود. علاوه برآن با توجه به گزارش هفتم IPCC بهتر است نتایج این پژوهش با سناریوهای گزارش هفتم نیز مقایسه شود.

■ سپاسگزاری

نتایج پژوهش حاضر، بخشی از رساله دکتری در دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان است. لذا، نویسندگان، از تمامی بزرگوارانی که در جامعه آماری متخصص و یا به‌نحوی از انحاء در فراهم نمودن داده‌های پایه، تحلیل درست و منطبق با واقعیت‌های زمینی، همکاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

■ References

1) Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H., Sadoddin, A., & Khosravi, H. (2016). Soil Erosion Risk Assessment Using the CORINE Model (Case Study: Semi-Arid Region in Golestan Province). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *5* (12), 63-78. (in Farsi)

2) Akbari, M., Shalamzari, M. J., Memarian, H., & Gholami, A. (2020). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicators*, *111*. 106011

3) CAI, H., Yang, X., & Xu, X. (2015). Human-induced grassland degradation/restoration in the central Tibetan Plateau: The effects of ecological protection and restoration projects. *Ecological Engineering*, *83, 112–119.*

4) Chen, B., Zhang, X., Tao, J., Wu, J., Wang, J., Shi, P., Zhang, Y., & Yu, C. (2014). The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, *189–190*, 11–18.

5) Chervenkov, H., & Slavov, K. (2017). Theil-sen estimator for the parameters of the generalized extreme value distributions: Demonstration for meteorological applications. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare Des Sciences*, *70* (12), 1701–1708.

6) Davari, S., Rashki, A., Akbari, M., & Talebanfard, A. (2017). Assessing intensity and risk of desertification and management programs (Case study: Ghasemabad plain of Bajestan, Khorasan Razavi Province). *Journal of Desert Management*, *5* (1) 91-106. (in Farsi)

7) Donmez, C., Berberoglu, S., & Curran, P.J. (2011). Modelling the current and future spatial distribution of NPP in a Mediterranean watershed. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, *13* (3), 336–345.

8) Evans, J., & Geerken, R. (2004). Discrimination between climate and human-induced dryland degradation. *Arid Environments*, *57* (4), 535–554.

9) Field, C.B., Randerson, J.T., & Malmström, C.M. (1995). Global net primary production: Combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, *51* (1), 74–88.

10) Hadian, F., Jafari, R., Bashri, H., & Tarkesh, M. (2019). Performance Comparison of MODIS and Landsat Data in Estimating of NPP in Arid Regions of Isfahan Province. *Desert Management*, *6* (12), 89–106. (in Farsi)

11) Hanafi, A., & Jauffret, S. (2008). Are long-term vegetation dynamics useful in monitoring and assessing desertification processes in the arid steppe, southern Tunisia. *Arid Environments*, *72* (4), 557–572.

12) Herrmann, S.M., Anyamba, A., & Tucker, C. J. (2005). Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, *15* (4), 394–404.

13) Jafari, H., Akbari, M., Kashki, M., & Badiee Nameghi, S.H. (2019). An efficiency comparison of the IMDPA and ESAs models on desertification risk management in arid regions of southern Khorasan Razavi, Iran. *Arid Biome*, *9* (1), 39-54. (in Farsi)

14) Li, Q., Zhang, C., Shen, Y., Jia, W., & Li, J. (2016). Quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification processes on the Qinghai-Tibet Plateau based on net primary productivity. *Catena*, *147*, 789–796.

15) Lieth, H, & Box, E. (1972). Evapotranspiration and primary productivity: CW Thornthwaite memorial model. *Publications in Climatology*, *25* (2), 37–46.

16) Lieth, H., & Whittaker, R.H. (1975). *Primary Productivity of the Biosphere. Ecological Studies*. Berlin: Springer.

17) Memarian, H., & Akbari, M. (2021). Prediction of combined effect of climate and land use changes on soil erosion in Iran using GloSEM data. *Ecohydrology*, *8*(2), 513-534. (in Farsi)

18) Millington, J.D.A., Perry, G.L.W., & Romero-Calcerrada, R. (2007). Regression techniques for examining land use/cover change: A case study of a mediterranean landscape. *Ecosystems*, *10* (4), 562–578.

19) Mohammadi Moghaddam, S., Ghorbani, A., Arzani, H., Azizi Mobaser, J., & Mostafazadeh, R. (2022). Modelling Above ground net primary production of Sabalan rangelands using vegetation index and non-linear regression. *Rangeland*, *16* (1), 33–51. (in Farsi)

20) Mouat, D. , Lancaster, J. , Wade, T. , Wickham, J. , Fox, C. , Kepner, W. , & Ball, T. (1997). Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model. *Environmental Monitoring and Assessment*, *48* (2), 139–156.

21) Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., Akbari, M. (2020). GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions. *Ecological Indicicator, 117*, 106646.

22) Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., Akbari, M. (2020). An integrated approach land suitability for agroecological zoning based on fuzzy inference system and GIS. *Environment, Development and Sustainability, 25*, 2316-2338.

23) Nasrollahi, M., Zolfaghari, A.A., & Yazdani, M. R. (2021). Investigation of Pan evaporation paradox and climatic parameters affecting it in half-west and center of Iran. *Water and Soil Resources Conservation, 11*(1), 61–76. (in Farsi)

24) Potter, C.S., Randerson, J.T., Field, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M., Mooney, H.A., & Klooster, S. A. (1993). Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles*, *7*(4), 811–841.

25) Rasmussen, K., Fog, B., & Madsen, J.E. (2001). Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso. *Global Environmental Change, 11* (4), 271–282.

26) Resources data-action. (2022). Https: //Ladsweb. Modaps. Eosdis. Nasa. Gov/Data/Search. Html. Retrieved from https: //ladsweb. modaps. eosdis. nasa. gov/data/search. Html.

27) Saki, M., Soltani koupaei, S., Tarkesh esfahani, M., & Jafari, R. (2018). Spatial and Temporal Changes of Net Primary Production (NPP) and Their Relationship with Climatic Factors from 2000 to 2014 in Isfahan Province. *Applied Ecology*, *7* (1), 27–40. (in Farsi)

28) UNCED. (1992). *AGENDA21: Conservation and management of resources for*. Retrieved June 14, 1992, from https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf

29) Wessels, K.J., Prince, S.D., Malherbe, J., Small, J., Frost, P.E., & VanZyl, D. (2007). Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Arid Environments*, *68* (2), 271–297.

30) Wrbka, T., Erb, K.H., Schulz, N.B., Peterseil, J., Hahn, C., & Haberl, H. (2004). Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators. *Land Use Policy*, *21* (3), 289–306.

31) Xianglin, L. (2009). *Mechanisms of degradation in grazed rangelands*. China: Rangeland Degradation and Recovery in China’s Pastoral Lands.

32) Xu, D.Y., Kang, X.W., Zhuang, D.F., & Pan, J.J. (2010). Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification - A case study of the Ordos Plateau, China. *Arid Environments*, *74* (4), 498–507.

33) Yazdanpanahi, A., Akbari, M., & Behrangmanesh, M. (2018). Spatio-temporal variable of groundwater parameters using Geo-statistical methods in Mashhad plain. *Extension and Development of Watershed Management*. *6* (20), 25-34. (in Farsi)

34) Yang, H., Mu, S., & Li, J. (2014). Effects of ecological restoration projects on land use and land cover change and its influences on territorial NPP in Xinjiang, China. *Catena*, *115*, 85–95.

35) Yang, X., Zhang, K., Jia, B., & Ci, L. (2005). Desertification assessment in China: An overview. *Arid Environments, 63* (2), 517–531.

36) Yu, D., Shi, P., Shao, H., Zhu, W., & Pan, Y. (2009). Modelling net primary productivity of terrestrial ecosystems in East Asia based on an improved CASA ecosystem model. *Remote Sensing*, *30* (18), 4851–4866.

37) Yu, D.Y., Shi, P.J., Han, G.Y., Zhu, W.Q., Du, S.Q., & Xun, B. (2011). Forest ecosystem restoration due to a national conservation plan in China. *Ecological Engineering*, *37* (9), 1387–1397.

38) Zhang, C., Wang, X., Li, J., & Hua, T. (2011). Roles of climate changes and human interventions in land degradation: A case study by net primary productivity analysis in China’s Shiyanghe Basin. *Environmental Earth Sciences*, *64* (8), 2183–2193.

39) Zhou, W., Gang, C., Zhou, F., Li, J., Dong, X., & Zhao, C. (2015). Quantitative assessment of the individual contribution of climate and human factors to desertification in northwest China using net primary productivity as an indicator. *Ecological Indicators*, *48*, 560–569.

40) Zhu, W., Pan, Y., He, H., Yu, D., & Hu, H. (2006). Simulation of maximum light use efficiency for some typical vegetation types in China. *Chinese Science Bulletin*, *51* (4), 457–463.

Original Article, Vol. 10, No. 4, Winter, 2023, pp 55-80

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Ecological Restoration of Polluted Soils in Arid Region (Case Study: Bauxite Crusher of Jajarm Alumina)

Kh. Khermandar[1], M. Hosseinalizadeh[2*], A. Mahdavi[3], A. Mohammadian Behbahani[4], H. Yeganeh[5]

1. Ph.D. Student, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Associate Professor, Dept. of Forest Sciences, Ilam University, Ilam, Iran.
4. Assistant Professor, Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
5. Associate Professor, Dept. of Rangland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

* Corresponding Author: mhalizadeh@gau.ac.ir

Received date: 12/11/2022 **Accepted date: 13/01/2023**

doi 10.22034/JDMAL.2023.1972534.1401

Abstract

Soil contamination by heavy metals is a significant environmental problem worldwide. Human activities, including mining, are a source of pollution to natural resources. In this study, the phytoremediation potential of rangeland species including, *Artemisia sieberi* Besser, *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. and C.A. Mey for the absorption of heavy metals of Ni, Co, As, Cr and V was investigated around the bauxite crusher of the Jajarm alumina mine in the direction of the prevailing wind. Soil sampling was performed at the distances of 450-700, 800-1200, 1400-2000 and 2500-5000 meters from the center of the bauxite crusher, and the control site. For this purpose, the seeds were planted in pots with a 3:1:1 ratio of sand, fertilizer and soil. Two-months later, they were transferred to pots with soils sampled from target distances. After completing of a vegetative period, the phytoremediation potential of the species was performed a factorial experiment in a completely randomized block design with three replications in greenhouse conditions. Results indicated that As, Ni, Cr, and Co absorption in above/underground of *A. sieberi* tissues were higher than *Z. atriplicoides*. But V absorption in above/underground of *Z. atriplicoides* tissues were higher than that for *A. sieberi* and between the vanadium accumulation in the aerial and underground organs of the target species and distances a significant difference was observed at the level of 1%. The amount of heavy metals transfer factor for *A. sieberi* and *Z. atriplicoides* was more and less than one in turn. Therefore, in terms of the transfer factor, *A. sieberi* has a potential for phyto-extraction and *Z. atriplicoides* has a potential for phyto-stabilization. The results also showed that *A. sieberi* and *Z. atriplicoides* were recognized as hyper-accumulating of nickel and cobalt metals. These species can therefore be recommended for the ecological restoration of soils polluted by heavy metals, especially nickel and cobalt in similar regions.

Keywords: Phyto-extraction; Phytoremediation; Rangeland species; Hyper-accumulating

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۵ تا ۸۰

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

مدیریت زیستی خاک‌های آلوده به برخی عناصر سمی در مناطق خشک (بررسی موردی: سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینا جاجرم)

خدیجه خرمن‌دار[۱]، محسن حسینعلی‌زاده[۲]*، علی مهدوی[۳]، علی محمدیان بهبهانی[۴]، حسن یگانه[۵]

۱. دانشجوی دکتری گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳. دانشیار گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۴. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۵. دانشیار گروه علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: mhalizadeh@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳

doi 10.22034/JDMAL.2023.1972534.1401

چکیده

آلودگی خاک با عنصرهای فلزی و شبه فلزی سمی به عنوان مشکل محیط‌زیستی در جهان به شمار می‌آید. فعالیت‌های معدنی منجر به آلودگی منابع طبیعی می‌شود. در پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های مرتعی درمنه دشتی *Artemisia sieberi* Besser و قیچ *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. & C.A.Mey در جذب عنصرهای Ni, Co, As, Cr, V موجود در اطراف سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینا پرداخته شد. نمونه‌برداری خاک در فاصله‌های ۴۵۰-۷۰۰m، ۸۰۰-۱۲۰۰، ۲۰۰۰-۱۴۰۰ و ۵۰۰۰-۲۵۰۰ از سنگ‌شکن و منطقه شاهد انجام شد. به این منظور بذرها در گلدان‌هایی به نسبت ۳:۱:۱ ماسه بادی، کود پوسیده و خاک زراعی کاشت و پس از گذشت دو ماه به گلدان‌هایی با خاک‌های نمونه‌برداری شده از فاصله‌های هدف منتقل شدند. پس از اتمام یک دوره رویشی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های مذکور با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی، در سه تکرار در شرایط گلخانه بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان تجمع عنصرهای Ni, Co, Cr, As در اندام هوایی و زیرزمینی گونه *A.sieberi* بالاتر از *Z.atriplicoides* است، اما مقدار تجمع V در اندام هوایی و زیرزمینی گونه *Z.atriplicoides* بیشتر از *A.sieberi* بود. مقدار تجمع عنصرهای Ni, Co, Cr, As در گونه *A.sieberi* به ترتیب ۷۰۷۱/۷ >۲۹۲۸/۹۶> ۳۶۶/۱> ۱۵۱/۰۷ و میزان تجمع V درگونه *Z.atriplicoides* برابر ۵۱۰/۵۵mg/kg و بین مقدار تجمع V در اندام هوایی و زیرزمینی گونه‌های مذکور و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ مشاهده شد. فاکتور انتقال عناصر در گونه *A.sieberi* بیشتر از یک و در گونه *Z.atriplicoides* کمتر از یک، است. بنابراین، از نظر فاکتور انتقال گونه *A.sieberi* قابلیت بیشتری برای استخراج گیاهی و گونه *Z.atriplicoides* توان بهتری برای تثبیت گیاهی دارد. همچنین گونه‌های *A.sieberi* و *Z.atriplicoides* به عنوان گونه‌های بیش‌اندوز عنصرهای Ni, Co شناخته شدند. بنابراین، این گونه‌ها برای پاک‌سازی اراضی آلوده به عنصرهای مورد بررسی به خصوص Ni، Co در مناطق مشابه می‌توانند، استفاده شوند.

واژگان کلیدی: استخراج گیاهی؛ گیاه‌پالایی؛ گونه‌های مرتعی؛ بیش‌اندوز

■ مقدمه

سنگ معدن بوکسیت دارای ۷۰٪-۵۰٪ Al است که شکل طبیعی آن، آلومینا[1] می‌باشد و معمولاً در عمق یک یا دو متر در زیر سطح خاک یافت می‌شود که با روش استخراج نواری یا معدن باز و از طریق حذف لایه پوشاننده خاک استخراج می‌شود. این مسئله منجر به اختلال در خاکدانه‌ها، از بین رفتن مواد آلی، پوشش گیاهی و موجودات زنده، اختلال در چرخه مواد مغذی و ساختار خاک، افزایش خطر شستشوی عناصر کمیاب خاک و عناصر غذایی می‌شود (۱۹). به‌عبارتی این مواد معدنی برای بقای بشر ضروری است (۶) و از طرفی دیگر آثار منفی ناشی از استخراج مواد معدنی از فواید آنها کاهش داده و به عنوان تهدیدی جدی برای محیط زیست محسوب می‌شوند. لذا این استخراج و فرآوری نقش زیادی بر فرایندهای فرسایش خاک، آلودگی هوا، کاهش سطح جنگل‌ها و دیگر زیست بوم‌های طبیعی را در پی خواهد داشت (۶).

طبق بررسی‌های انجام شده یکی از علل اساسی صدمه به محیط زیست آلودگی‌های صنعتی هستند که نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در این خصوص نشان داد که اراضی نزدیک به فعالیت‌های صنعتی، نقش بسیاری در آلودگی خاک و آب و هوا ایفا می‌کنند (۱۲). از طرفی دیگر فعالیت‌های انسانی در قرن اخیر منجر به تجمع آلاینده‌ها در خاک شده است و مسئله آلودگی خاک به عنوان یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های تأثیرگذار در سرتاسر جهان به شمار می‌آید. به عبارتی در بین آلاینده‌های شیمیایی، فلزها و شبه فلزهای سنگین از نگرانی‌های عمده‌ای در زمینه محیط‌زیست است. علت این مسئله ماندگاری طولانی مدت این عنصرها در خاک است که این امر در نهایت منجر به اثرات منفی بر روی موجودات زنده می‌شود و به عنوان منبع اصلی آلودگی محیط زیست پیامدهای نامطلوبی را به دنبال دارد (۲۶). به طوری که عنصرهایی از قبیل Cd، Pb، Cr و As به عنوان عناصر مضر در زیست بوم هستند که فعالیت‌های انسانی از جمله استخراج مواد معدنی، فرآوری، تصفیه، پالایش و حذف ضایعات، نقش کلیدی در افزایش دسترس‌پذیری این عناصر در محیط دارند (۱). از طرفی عنصرهای کمیاب مانند V، Cu، Co، Zn، Mo، Fe، Mn و Ni به طور طبیعی در محیط یافت شده و به میزان کم برای موجودات زنده مفید می‌باشند. اما مکان‌های آلوده عمدتاً غنی از عنصرهای Cd، Pb، Hg، Cr و As هستند که این عنصرها دارای چگالی و وزن اتمی بالایی هستند و اغلب برای موجودات زنده مفید نبوده و به عنوان تهدید جدی برای زیست بوم‌ها به شمار می‌آیند (۱۷).

عنصرهای سنگین به طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما فعالیت‌های انسانی از جمله معادن، صنایع و کشاورزی منجر به افزایش این عنصرها در محیط می‌گردد که در بین آنها فعالیت‌های معدنی یکی از تأثیرگذارترین فعالیت‌های انسانی است که منجر به تخریب زیستگاه، آلودگی آب و خاک، تخریب منابع زمین و تغییر چشم‌انداز می‌شود (۳۲). مسئله اصلی در خصوص عناصر سمی، عدم تجزیه‌پذیری آنها برخلاف آلاینده‌های آلی می‌باشد که این امر عنصرها را به عنوان یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌ها در محیط تبدیل کرده است (۳۱). در واقع عنصرهای سنگین عموماً در اندام‌های مختلف گیاهان بدون ظهور آثار سمیت تجمع می‌یابند و پایداری بالای آنها در محیط منجر به تهدیدی جدی برای سلامتی موجودات زنده و محیط می‌باشد (۲۷). از طرفی برخی از این عناصر به عنوان ریز مغذی ضروری برای گیاهان محسوب می‌شوند، ولی چنانچه غلظت آنها از حد آستانه بیشتر شود موجب سمی‌شدن و تأثیر در تغذیه و عملکرد گیاه و جابه‌جایی مواد مغذی ضروری می‌شوند (۲۵). برای اصلاح اراضی آلوده به عنصرهای سنگین، فن‌آوری‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله انجماد، تثبیت، شستشوی خاک و جداسازی قابل انجام هستند که متأسفانه این روش‌ها زمانبر، گران قیمت و غیر قابل اجرا برای عموم می‌باشند (۲۳). لذا در سال‌های اخیر به دنبال راهکاری برای جایگزینی روش‌های مذکور بودند که گیاه‌پالایی[2] به عنوان روشی دوستدار محیط زیست، مقرون به صرفه، داشتن بازده مالی طی طولانی مدت و تبدیل اراضی بایر به مشجر پیشنهاد شده است که البته کارایی این روش به پتانسیل گیاهان جهت زنده‌مانی در شرایط

[1] Al_2O_3

[2] Phytoremediation

نامساعد محیطی بستگی دارد (۱۹). در واقع گیاه‌پالایی یک روی‌کرد نوآورانه جهت حل مشکلات زیست محیطی است که از دو واژه گیاه[1] و اصلاح[2] تشکیل شده است. در فن‌آوری گیاه‌پالایی اساساً از گیاهان و موجودات ریز خاک‌زی جهت کاهش آلودگی از جمله غلظت اثر سمی عنصرهای سنگین در محیط با کمک فن‌آوری‌هایی از جمله، استخراج گیاهی[3]، تثبیت گیاهی[4]، تبخیرسازی گیاهی[5]، تخریب گیاهی[6] و فیلتراسیون[7] جهت پاکسازی اراضی آلوده استفاده می‌شود (۲۵). گونه‌های بیش‌اندوز در گیاه‌پالایی مورد توجه پژوهشگران بسیاری هستند و طبق نظر آنها گونه‌هایی که توانایی تجمع حداقل ۱۰gr/kg عناصر Mn و Zn، ۱gr/kgعناصر Cu، Se، Ti، Pb، Ni، Cr، Co و As و ۰/۱gr/kg عنصر Cd در اندام هوایی خود را داشته باشند به عنوان گونه بیش‌اندوز این عنصرها شناخته خواهند شد (۲۳). در این بین گونه‌های زیادی برای گیاه‌پالایی در معادن مورد بررسی قرار گرفتند که این گونه‌ها توانایی تجمع مقادیر زیاد از عناصر از جمله As، Cd، Pb، Hg، Co، Cr، Ni و غیره در نقاط آلوده را دارند. به‌طوری که، محققان در بررسی مقدار Cr و Pb در گونه حرا *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh رشد یافته در اطراف منطقه استخراج بوکسیت در اندونزی دریافتند که میزان Pb در این گونه بیش از Cr بود اما اختلاف معنی‌داری بین میزان تجمع عنصرها مشاهده نشد. فاکتور انتقال در عنصرهای Pb و Cr نیز به‌ترتیب کوچکتر و بزرگتر از یک ارزیابی شدند که نشان‌دهنده توانایی استخراج و تثبییت گیاهی *A. marina* به‌ترتیب برای عنصرهای Cr و Pb است (۴). در پژوهشی دیگر در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه آتریپلکس *Atriplex nummularia* Lindl در اطراف معدنی در جنوب شرقی مراکش از سه نقطه در شعاع ۸۰۰m- صفر از قسمت مرکزی سنگ معدن و فاصله شاهد نتایج نشان داد که میزان Pb در فاصله شاهد و نقطه اول به‌ترتیب ۱۶ mg/kgو ۲۷۰ ارزیابی شد (۱۸). همچنین در بررسی میزان تجمع Cd، Zn، Pb، Ni، Cr، Co و Ba در گونه‌های *Azadirachta indica* A.juss., *Senna sulfurea* (DC.ex Colled.) H.S. Irwin & Barneby, *Ziziphus spina-christi* (L.) Desf, *Cordia sebestena* L., *Tecoma stans* (L.) Kunth, *Bougainvillea spectabilis* Willd., *Conocarpus lancifolius* Engl., *Ixora coccinea* L. پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ریشه *C. lancifolius* به عنوان انباشت‌کننده قوی Co، Zn و Ni در ریشه‌هاست. همچنین Zn، Cr، Ni و Ba به عنوان مؤثرترین عنصرها در انتقال به برگ‌های گونه‌های مورد بررسی بودند (۲). همچنین در تحقیقی دیگر پژوهشگران به بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه تاج خروس *Amaranthus spinosus* L. پرداختند و نتایج آنها حاکی از آن بود که این گونه پتانسیل بالایی جهت انتقال عنصرهای As، Ni و Cu از ریشه به اندام هوایی دارد. لذا این گونه به عنوان بیش‌اندوز و مقاوم به عنصرهای مذکور شناسایی و فاکتور انتقال در آن نیز بزرگتر از یک برآورد شد (۲۸). در پژوهشی به بررسی مقدار جذب عنصرهای Cd، Pb و Ni در کنگر *Gundelia tournefortii* L. در فاصله‌های ۰m-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰–۱۵۰۰ از کارخانه سیمانی در یاسوج دریافتند که این گونه پتانسیل استخراج عنصرهای مذکور را داشته و مقدار فاکتور انتقال در آنها بزرگتر از یک ارزیابی شد (۱۰). در بررسی، به منظور پالایش خاک‌های آلوده به عنصرهای Cd، Cr، Zn، Pb و Ni با گونه آفتابگردان *Helianthus annuus* L. به این نتیجه رسیدند که این گونه پتانسیل تثبیت گیاهی را دارد (۹). محققان در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه ترشک نپالی *Rumex nepalensis* Spreng و هفت‌بندها *Polygonum viviparum* L. به عنصرهای As و U در معدنی در چین دریافتند که تجمع مقادیر زیادی از U در *R. nepalensis* شکل گرفته و فاکتور تجمع زیستی و انتقال نیز در آنها به ترتیب ۳/۶۰mg/kg و ۳/۶۱ مشاهده شد. همچنین *P. viviparum* قابلیت تجمع As و U را با فاکتور انتقال ریشه ۳/۶۹mg/kg و تجمع زیستی بزرگتر از یک دارا بود (۱۹). همچنین در بررسی دیگر، محققان به بررسی گیاه‌پالایی عنصر Cd توسط گیاهان بومی رشد یافته در خاک معادن پرداختند. نتایج آنها نشان داد که میانگین تجمع Cd در خاک بیشتر از ریشه و ساقه است و تاتاری

---

[1] Phyto
[2] Remedium
[3] Phytoextraction
[4] Phytostabilization
[5] Phytovolatilization
[6] Phytodegradation
[7] Phytofiltration

سرخمیده *Carduus nutans* L. و گوش‌بره درختچه‌ای *Phlomis fruticosa* L. به‌عنوان گیاهان تجمع‌کننده، جهت اهداف گیاه‌پالایی در خاک‌های معادنی که آلوده به Cd هستند، قابل استفاده و مفید می‌باشند (۲۴). بنابراین شناسایی گونه‌هایی که توانایی سازگاری و تحمل شرایط آلودگی خاک را داشته و در افزایش پتانسیل گیاه‌پالایی مؤثر هستند، ضروری است. لذا پژوهش روی گیاهان مختلف و سنجش میزان تجمع عنصرهای آنها در مناطق معدنی به شناسایی گونه‌های بیش‌اندوز کمک شایانی خواهد کرد. هدف از پژوهش حاضر بررسی مقدار تجمع عنصرهای V، Cr، Co، Ni و As ناشی از فعالیت سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب و تأثیر آن بر روی *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* و همچنین ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی دو گونه مذکور در اراضی آلوده به غبار صنعتی است.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

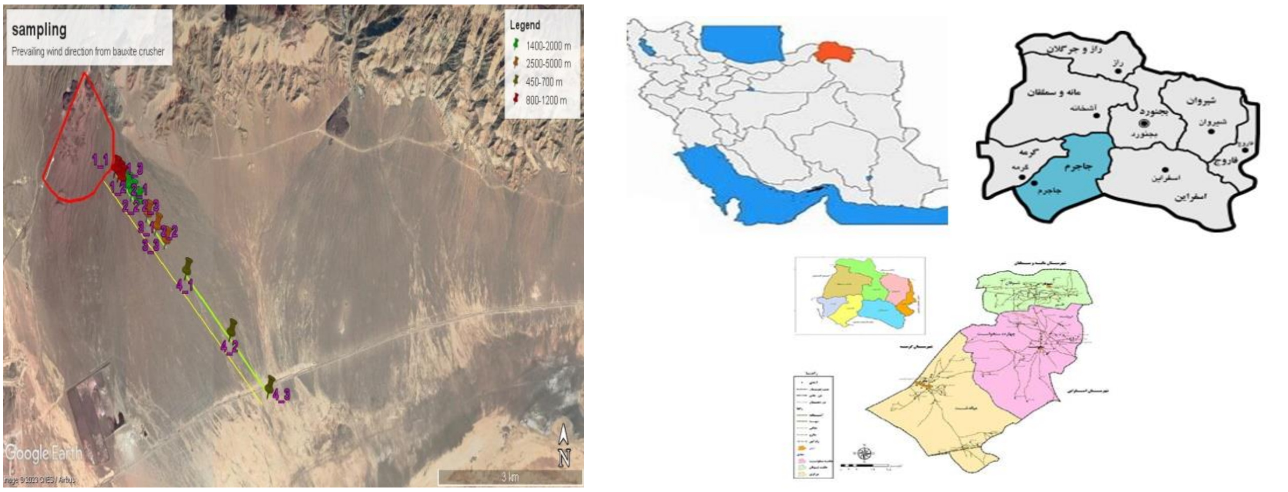
محدوده مطالعاتی شهرستان جاجرم، در قسمت جنوبی استان خراسان شمالی در محدوده نواحی بیابانی با مختصات جغرافیایی ″۵۶ ′۹۴ °۴۰ شمالی و ″۴۵°۱۲′۳۷ شرقی قرار دارد. کارخانه آلومینای جاجرم نیز در فاصله ۷km از این شهر است که در فاصله ۴ km این کارخانه معادن بوکسیت واقع شده است. این محدوده در ارتفاع ۱۱۰۰m تا ۱۲۰۰ از سطح دریا با اقلیم نمای دومارتن از نوع خشک بیابانی و متوسط ریزش‌های جوی سالیانه ۱۰۰mm تا ۱۵۰ می‌باشد (۱۳). طبق گزارش سازمان هواشناسی حداقل و حداکثر دمای ثبت شده ۱۳/۲- و ۴۱/۴°C است.

روش کار

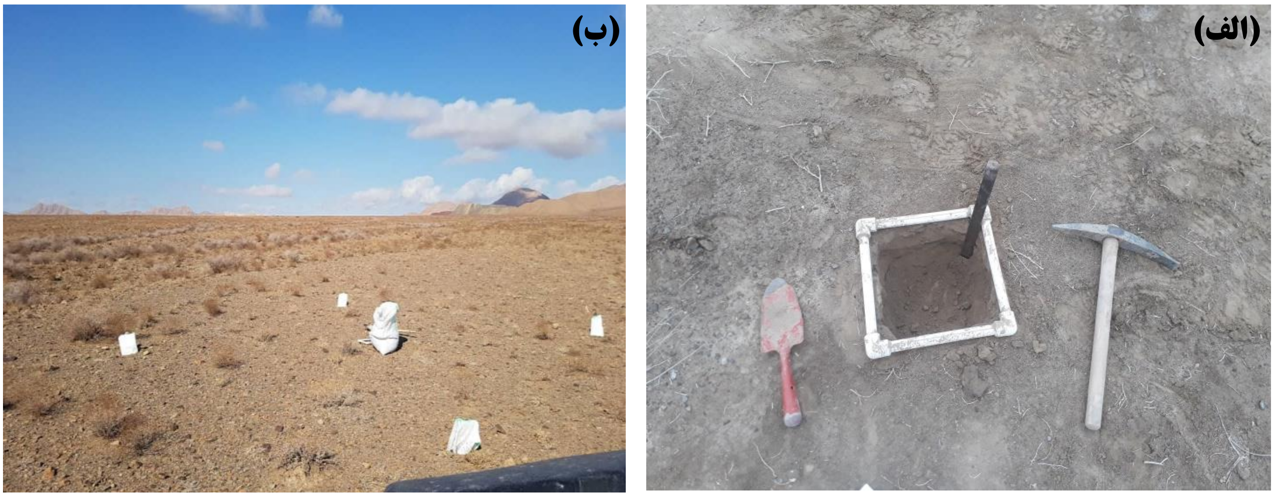
نمونه‌برداری خاک

خاک محدوده مطالعاتی جهت کشت دو گونه مورد مطالعه شامل درمنه دشتی *Artemisia sieberi* Besser و قیچ *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. & C.A. Mey به‌منظور بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی آنها از منطقه جاجرم تهیه شد. نمونه‌برداری خاک در منطقه مورد مطالعه با توجه به بازدید از منطقه و جهت باد غالب از شمال غرب به جنوب شرق، محدوده به طول حدوداً ۵ km از سنگ‌شکن بوکسیت به صورت روش تصادفی در بهمن ۱۳۹۸ صورت گرفت. فاصله‌های هدف جهت پژوهش حاضر بر روی گوگل ارث مشخص، نقاط تعیین و در GPS ثبت شدند. برای نمونه‌برداری خاک محدودهٔ در فاصله‌های ۴۵۰-۷۰۰m، ۱۲۰۰-۸۰۰، ۲۰۰۰-۱۴۰۰ و ۵۰۰۰-۲۵۰۰ از سنگ‌شکن بوکسیت که به‌ترتیب شامل فاصله‌های اول، دوم، سوم و چهارم هستند و محدوده شاهد به سمت جاده سنخواست تعیین شدند. علت این امر، نیاز به دو خاک آلوده و شاهد در منطقه که در یک رخساره ژئومورفولوژی قرار داشتند، بود (شکل ۱).

فاصله‌های انتخابی از لحاظ شیب، بارندگی، ارتفاع و جهت تقریباً مشابه بودند و تعداد نمونه‌های خاک برداشت شده در هر فاصله به تعداد مساوی انجام شد. بدین صورت که ابتدا محل نمونه‌برداری خاک تمیز و دقت شد تا اثر بقایای پوسیده گیاهان، خار و خاشاک و فعالیت انسانی از محل نمونه‌برداری پاکسازی شود و به منظور حفر چاله از تیشه و بیل استفاده شد و حفره‌ای به ابعاد ۲۰×۲۰cm حفر و در هر فاصله برای افزایش دقت نمونه‌برداری، تعداد سه تکرار در هر فاصله و در هر تکرار پنج نقطه از محدوده، نمونه‌برداری از خاک محدوده به عمق ۱۵cm- صفر با توجه به مرور منابع و اهداف گیاه‌پالایی جهت استقرار گیاهان برداشت شد. در مجموع از پنج فاصله (چهار فاصله در محدوده سنگ‌شکن و یک فاصله شاهد)، ۱۵ محل نمونه‌برداری شد که شامل ۱۲ نمونه خاک در فاصله‌های تعیین شده و همچنین تعداد سه نمونه خاک در منطقه شاهد بود. پس از نمونه‌برداری با استفاده از نمونه‌بردار به وزن تقریبی هر نمونه ۳۰kg از هر نقطه محل، حدود ۱۰۰kg از هر فاصله، نمونه‌های خاک کدگذاری و پس از مخلوط کردن خاک پنج نقطه در هر تکرار، یک نمونه مرکب خاک جهت کشت گونه‌های مرتعی *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال یافت (شکل ۲).



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده و فاصله‌های نمونه‌برداری خاک از سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب در گوگل ارث



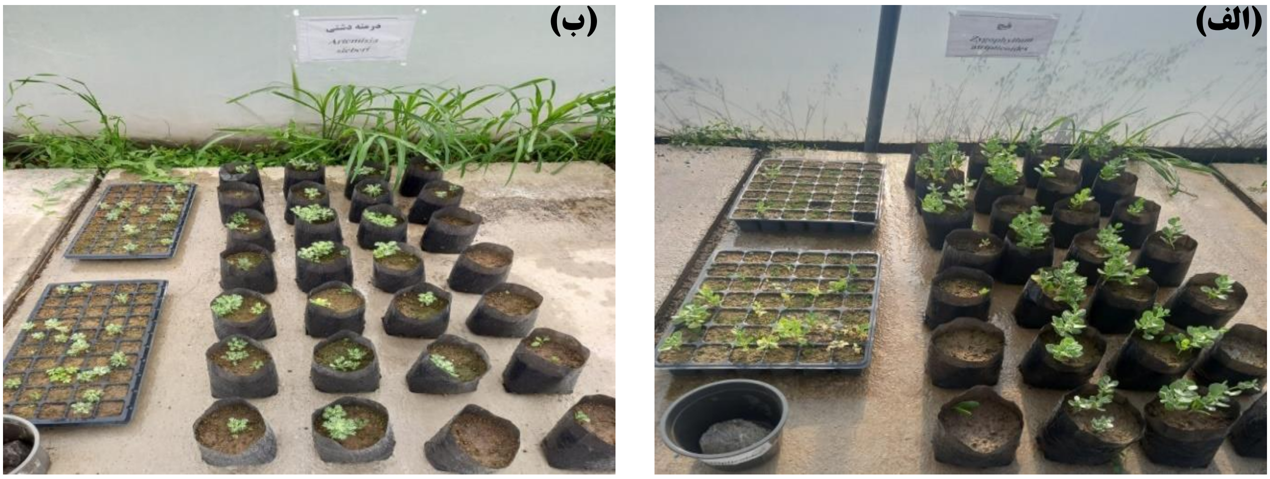
شکل ۲. نمونه‌برداری از خاک منطقه مطالعاتی، (الف) ابعاد و عمق نمونه‌ای از خاک (بهمن ۱۳۹۸)، (ب) نمایی از تعداد نمونه خاک‌های برداشت‌شده در هر تکرار (بهمن ۱۳۹۸)

کشت گونه‌های هدف

با توجه به فاصله‌های تعریف شده و منطقه شاهد، دو تیمار جهت کشت بذرهای دو گونه در الف) گلدان‌های حاوی خاک منطقه شاهد و ب) گلدان حاوی خاک منطقه مورد مطالعه، در فاصله‌های مختلف از سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب منطقه در نهالستان تعریف شدند. بدین‌صورت که بذرهای گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* از شرکت‌های تولید بذر تهیه و پس از ضدعفونی و اعمال پیش تیمارهای مورد نیاز در گلدان‌هایی با نسبت ۳:۱:۱ ماسه بادی، کود پوسیده و خاک زراعی در بهمن ۱۳۹۹ کشت صورت گرفت و آبیاری سینی‌های کشت به صورت روزانه انجام و به مدت دو ماه رسیدگی به آنها ادامه یافت (شکل ۳). سپس از بین گلدان‌های کشت شده دو گونه، آنهایی که از نظر شادابی، ارتفاع و تاج پوشش مشابه بودند، برای انتقال به خاک‌های هدف از فاصله‌های مختلف سنگ‌شکن انتخاب شدند. آبیاری گلدان‌ها طبق نیاز انجام و علف‌های هرز نیز هرس و گلدان‌ها بر اساس تیمارهای مختلف برچسب‌گذاری شدند (شکل ۴). *A. sieberi* به عنوان اصلی‌ترین و فراوان‌ترین گونه گیاهی مراتع کشور شناخته شده، با میدان وسیع اکولوژیک، در عرصه‌های وسیعی از دشت‌های بیابانی کشور به صورت درمنه‌زارهای خالص و یا گونه غالب در ترکیب تیپ‌های مرتعی دیده می‌شود. این گونه عنصر اصلی در جامعه‌های گیاهی در استپ‌های خشک و نیمه‌خشک ایران است که در شرایط حاد اقلیمی با بارندگی بیش از ۱۰۰mm، مستقر و زادآوری می‌کند. در خاک‌های نسبتاً عمیق با بافت لومی، شنی لومی، لوم‌های سنگریزه‌دار و لوم

رسی رشد می‌کند. در خاک‌هایی با املاح کمتر از ۵٪ و هدایت الکتریکی کمتر از ۲ ds/m به خوبی رویش دارد. در خاک‌های نسبتاً عمیق با بافت شنی و سنگریزه همراه با مواد گچی یا آهکی با شوری کم و در شیب‌های کم تا متوسط مستقر می‌شود. در خاک‌های کم عمق و سنگریزه‌دار در دامنه‌ها و دره‌های کوهستانی که دارای شیب‌های تند هستند، نیز گسترش می‌یابد (۸).

Z. atriplicoides به عنوان درختچه مناسب در مناطق خشک و نیمه‌بیابانی است که از خاک‌های باتلاقی شور گرفته تا کوهستان‌ها می‌روید. شکل ظاهری تنه و ساقه‌ها به مانند تاک است. *Z. atriplicoides* معمولاً در خطوط همباران ۱۰۰-۱۵۰mm به صورت طبیعی، رویشگاه‌های مشجر ایجاد می‌کند. در مقابل شدت حرارت و خشکی بسیار مقاوم است. این گونه در مناطق خشک به‌دلیل داشتن ریشه‌های قوی برای حفاظت خاک کاربرد دارد و در خاک‌های شور، قلیا و شور و قلیا که دارای آهک و گچ فراوان است، رشد دارد. همچنین در مناطقی که هدایت الکتریکی عصاره خاک و نسبت سدیم قابل جذب پائین است، ارتفاع و تراکم آن‌ها نسبت به مناطقی که فاکتورهای مذکور افزایش یافته، بیشتر می‌گردد. به نحویکه در مناطقی با شوری و قلیائیت کم، ارتفاع به ۱۵۰cm-۲۰۰ و در نقاط با شوری و قلیائیت بالاتر ارتفاع به ۲۰cm کاهش می‌یابد (۸). پس از یک دوره رویشی پتانسیل گیاه‌پالایی *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در خاک‌های تحت تأثیر گرد و غبار سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینای جاجرم در فاصله‌های هدف ارزیابی شد. لازم به ذکر است پژوهش حاضر با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و در شرایط گلخانه‌ای و در سه تکرار اجرا شد.



شکل ۳. بذرهای کشت‌شده، (الف) گونه *Z. atriplicoides* (بهمن ۱۳۹۹)، (ب) گونه *A. sieberi* (بهمن ۱۳۹۹)

شکل ۴. انتقال به خاک‌های هدف، (الف)گونه *Z. atriplicoides* (فروردین ۱۴۰۰)، (ب) گونه *A. sieberi* (فروردین ۱۴۰۰)

تعیین مقدار غلظت عناصر

برای تعیین غلظت عناصر مورد بررسی در گیاهان، نهال‌ها از گلدان‌ها خارج، با آب مقطر شستشو و ۴۸ ساعت در آون ۷۵°C قرار داده شدند. بعد از خشک شدن نمونه‌های گیاهی، آنها با آسیاب نانو به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی پودر و در داخل پاکت قرار داده شد و کدگذاری شدند. سپس ۰/۱gr از هر نمونه از اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌ها به صورت جداگانه، با اسیدهای (8 ml) HNO_3، (2 ml) H_2SO_4 و (1 ml) $HClO_4$ هضم شدند (۲۱). جهت تعیین میزان عنصرها در خاک‌ها نیز، یک گرم از هر نمونه خاک با اسیدهای (1 ml) HNO_3 و H_2SO_4 (3 ml) هضم شدند (۳۰). در پایان غلظت عنصرهای مورد بررسی با دستگاه جذب اتمی Atomic Absorbtion Spectrometer مدل CTA2000 قرائت و فاکتور مهم در گیاه‌پالایی، فاکتور انتقال (نسبت غلظت عنصر در اندام‌های هوایی به زیرزمینی) و فاکتور تجمع زیستی (نسبت غلظت عنصر در اندام زیرزمینی به خاک) (۱۴) که مشخص‌کننده توانایی گیاهان مذکور برای تجمع عناصر در اندام‌های مختلف آنها است، محاسبه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر صورت یک آزمایش فاکتوریل (اجزای فاکتوریل شامل فاصله‌ها و گونه‌ها است) و در بر اساس طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی تجزیه واریانس شدند و در صورت معنی‌داری آنها از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ استفاده شد (۱۱). جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها نیز از آزمون لیون استفاده شد (۲۰).

■ نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس میزان تجمع عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های کشت شده و اندام زیرزمینی آنها در خاک محدوده مطالعاتی از فاصله‌های نمونه‌برداری شده به صورت یک آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که، میزان عنصرهای مورد بررسی در بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف، تنها در میزان تجمع V اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. اما اثر مشترک بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف فاقد اختلاف معنی‌داری است (جدول‌های ۱ و ۲). در بررسی میزان تجمع عنصرهای مورد بررسی در بین اندام‌های هوایی گونه‌ها، فاصله‌ها و اثر مشترک بین اندام‌های هوایی گونه‌ها و فاصله‌های هدف مشخص شد که در میزان تجمع V اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۱. تجزیه واریانس در کل اندام‌های گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

منبع تغییرات	عنصر	Df (درجه آزادی)	Sum Squrare (مجموع مربعات)	Mean Square (میانگین مربعات)	F	Sig (معنی‌داری)
A (گونه‌ها)	Ni	۱	۶۰۲۷۳/۹۴	۶۰۲۷۳/۹۴	۱/۰۳	۰/۳۲
	Co	۱	۱۴۰۶/۸۵	۱۴۰۶/۸۵	۰/۳۱	۰/۵۸
	As	۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۵۸
	Cr	۱	۲۱/۹۳	۲۱/۹۳	۰/۳۱	۰/۵۸
	V	۱	۱۹۵/۰۷	۱۹۵/۰۷	۱۷/۱۷	۰/۰۰
B تیمار (فاصله‌های هدف)	Ni	۴	۹۵۰۳۴/۳۶	۲۳۷۵۸/۵۹	۰/۴۱	۰/۸۰
	Co	۴	۷۰۹۵/۴۶	۱۷۷۳/۸۶	۰/۳۹	۰/۸۱
	As	۴	۴/۴۲	۱/۱۰	۰/۳۹	۰/۸۱
	Cr	۴	۱۱۰/۸۶	۲۷/۷۱	۰/۳۹	۰/۸۱
	V	۴	۳۹۷/۶۲	۹۹/۴۱	۸/۷۵	۰/۰۰
A_xB (گونه‌ها$_x$تیمارها)	Ni	۴	۳۲۵۶۶/۵۱	۸۱۴۱/۶۳	۰/۱۴	۰/۹۶
	Co	۴	۲۸۸۱/۱۷	۷۲۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۹۶
	As	۴	۱/۷۹	۰/۴۵	۰/۱۶	۰/۹۶
	Cr	۴	۴۴/۹۵	۱۱/۲۴	۰/۱۶	۰/۹۶
	V	۴	۸۷/۶۱	۲۱/۹۰	۱/۹۳	۰/۱۵

ادامهٔ جدول ۱. تجزیه واریانس در کل اندام‌های گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

منبع تغییرات	عنصر	Df (درجه آزادی)	Sum Squrare (مجموع مربعات)	Mean Square (میانگین مربعات)	F	Sig (معنی‌داری)
Error (خطا)	Ni	۱۸	۱۰۴۷۹۳۷/۲۴	۵۸۲۱۸/۷۴	–	–
	Co	۱۸	۸۱۶۵۰/۳۶	۴۵۳۶/۱۳	–	–
	As	۱۸	۵۱/۰۵	۲/۸۴	–	–
	Cr	۱۸	۱۲۷۵/۸۷	۷۰/۸۸	–	–
	V	۱۸	۲۰۴/۴۹	۱۱/۳۶	–	–
Total (مجموع)	Ni	۳۰	۶۷۱۶۹۸۲/۶۲	–	–	–
	Co	۳۰	۱۱۶۱۳۸۱/۶۵	–	–	–
	As	۳۰	۳۰۰۰/۷۱	–	–	–
	Cr	۳۰	۱۸۱۴۶/۲۰	–	–	–
	V	۳۰	۲۹۵۱۳/۶۹	–	–	–

جدول ۲. تجزیه واریانس در اندام زیرزمینی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

منبع تغییرات	عنصر	Df (درجه آزادی)	Sum Squrare (مجموع مربعات)	Mean Square (میانگین مربعات)	F	Sig (معنی‌داری)
A (گونه‌ها)	Ni	۱	۳۷۱۶/۳۱	۳۷۱۶/۳۱	۰/۲۷	۰/۶۱
	Co	۱	۱۷/۸۶	۱۷/۸۶	۰/۰۱	۰/۹۲
	As	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۹۲
	Cr	۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۹۲
	V	۱	۶۸/۵۲	۶۸/۵۲	۱۶/۴۵	۰/۰۰
B تیمار (فاصله‌های هدف)	Ni	۴	۲۷۷۸۲/۷۹	۶۹۴۵/۷۰	۰/۵۱	۰/۷۳
	Co	۴	۱۰۶۴/۲۶	۲۶۶/۰۷	۰/۱۷	۰/۹۵
	As	۴	۰/۶۶	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۹۵
	Cr	۴	۱۶/۶۳	۴/۱۶	۰/۱۷	۰/۹۵
	V	۴	۱۳۳/۰۹	۳۳/۲۷	۷/۹۹	۰/۰۰
A_xB (گونه‌ها$_x$تیمارها)	Ni	۴	۳۶۶۸۰/۱۷	۹۱۷۰/۰۴	۰/۶۷	۰/۶۲
	Co	۴	۲۸۹۴/۹۲	۷۲۳/۷۳	۰/۴۶	۰/۷۷
	As	۴	۱/۸۰	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۷۷
	Cr	۴	۴۵/۲۰	۱۱/۳۰	۰/۴۵	۰/۷۷
	V	۴	۱۵/۳۲	۳/۸۳	۰/۹۲	۰/۴۷
Error (خطا)	Ni	۱۸	۲۴۶۰۳۸/۳۰	۱۳۶۶۸/۷۹	–	–
	Co	۱۸	۲۸۵۹۸/۸۰	۱۵۸۸/۸۲	–	–
	As	۱۸	۱۷/۸۶	۰/۹۹	–	–
	Cr	۱۸	۴۴۶/۷۳	۲۴/۸۲	–	–
	V	۱۸	۷۴/۹۸	۴/۱۷	–	–
Total (مجموع)	Ni	۳۰	۱۶۷۸۵۱۶/۹۰	–	–	–
	Co	۳۰	۳۰۴۸۹۴/۳۳	–	–	–
	As	۳۰	۷۶۳/۱۴	–	–	–
	Cr	۳۰	۴۷۶۳/۵۲	–	–	–
	V	۳۰	۷۳۰۵/۸۴	–	–	–

جدول ۳. تجزیه واریانس در اندام‌های هوایی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

منبع تغییرات	عنصر	Df (درجه آزادی)	Sum Squrare (مجموع مربعات)	Mean Square (میانگین مربعات)	F	Sig (معنی‌داری)
A (گونه‌ها)	Ni	۱	۳۴۰۵۷/۲۲	۳۴۰۵۷/۲۲	۱/۵۶	۰/۲۳
	Co	۱	۱۱۰۷/۶۵	۱۱۰۷/۶۵	۰/۷۰	۰/۴۱
	As	۱	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۴۱
	Cr	۱	۱۷/۳۰	۱۷/۳۰	۰/۷۰	۰/۴۱
	V	۱	۳۲/۳۶	۳۲/۳۶	۵/۵۵	۰/۰۳
B تیمار (فاصله‌های هدف)	Ni	۴	۴۲۸۳۰/۷۰	۱۰۷۰۷/۶۷	۰/۴۹	۰/۷۴
	Co	۴	۴۹۵۸/۸۴	۱۲۳۹/۷۱	۰/۷۹	۰/۵۵
	As	۴	۳/۱۰	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۵۵
	Cr	۴	۷۷/۵۱	۱۹/۳۸	۰/۷۹	۰/۵۵
	V	۴	۸۴/۷۱	۲۱/۱۸	۳/۶۳	۰/۰۲
A_xB (گونه‌ها$_x$تیمارها)	Ni	۴	۷۲۶۳/۷۵	۱۸۱۵/۹۴	۰/۰۸	۰/۹۹
	Co	۴	۱۱۸۷/۱۵	۲۹۶/۷۹	۰/۱۹	۰/۹۴
	As	۴	۰/۷۴	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۹۴
	Cr	۴	۱۸/۵۴	۴/۶۴	۰/۱۹	۰/۹۴
	V	۴	۷۰/۵۱	۱۷/۶۳	۳/۰۲	۰/۰۴
Error (خطا)	Ni	۱۸	۳۹۲۱۲۹/۴۶	۲۱۷۸۴/۹۷	–	–
	Co	۱۸	۲۸۳۰۱/۹۹	۱۵۷۲/۳۳	–	–
	As	۱۸	۱۷/۷۰	۰/۹۸	–	–
	Cr	۱۸	۴۴۲/۵۶	۲۴/۵۹	–	–
	V	۱۸	۱۰۴/۹۵	۵/۸۳	–	–
Total (مجموع)	Ni	۳۰	۱۸۸۴۱۷۵/۷۵	–	–	–
	Co	۳۰	۳۰۰۱۶۶/۴۳	–	–	–
	As	۳۰	۷۵۲/۴۵	–	–	–
	Cr	۳۰	۴۶۹۰/۵۵	–	–	–
	V	۳۰	۷۵۹۹/۶۴	–	–	–

میزان جذب عناصر هدف در اندام‌های گونه‌ها

A. sieberi

نتایج جذب عنصرهای مورد بررسی در *A. sieberi* و اندام هوایی این گونه نشان داد که بیشترین مقدار تجمع عناصر در نمونه خاک کشت شده، در نزدیکترین فاصله به سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب منطقه، در فاصله ۴۵۰-۷۰۰ m و در ریشه‌های این گونه نیز در فاصله‌های نزدیک به سنگ‌شکن مشاهده شد. نتایج مقدار جذب عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و اندام‌های مختلف گونه *A. sieberi* در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۴). لازم به ذکر است، نتایج به تفکیک فاصله‌های هدف نشان داده شده است. میانگین تجمع Ni در فاصله‌های شاهد، اول، دوم و چهارم، عناصر Cr، As و Co در فاصله‌های شاهد، اول و چهارم و V در فاصله‌های اول، دوم و سوم در اندام‌های هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی بودند. اما در مجموع میانگین میزان جذب عنصرهای مورد بررسی نشان داد که در فاصله‌های هدف، *A. sieberi* توانایی بیشتری در تجمع این عنصرها در اندام هوایی دارد و از نظر آماری در میزان تجمع V در گونه‌ها، اندام‌های هوایی و زیرزمینی و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود دارد و در دیگر عنصرها فاقد اختلاف معنی‌داری بود.

جدول ۴. مقدار و محدودهٔ تجمع عنصرها در اندام‌های مختلف گونه *A. sieberi* (mg/kg)

اندام *A. sieberi*	ترتیب تجمع عنصرهای مورد بررسی	مقادیرکل تجمع عنصرها	میانگین تجمع عنصرها	میانگین محدوده تجمع عنصرها در فاصله‌های هدف
کل (هوایی و ریشه)	As <Cr <V <Co <Ni	<۲۹۲۸/۹۶ <۷۰۷۱/۷ <۳۶۶/۱ <۴۲۵/۰۵ ۱۵۱/۰۷	<۱۹۵/۲۶ <۴۷۱/۴۵ ۱۰/۰۷ <۲۴/۴۱ <۲۸/۳۴	۳۵۱/۸۷ تا ۵۹۰/۹۲، ۱۶۷/۸۴ تا ۲۳۰/۱۰، ۲۲/۵۸ تا ۳۳/۷۵، ۲۰/۹۸ تا ۲۸/۷۶ و ۹/۳۹ تا ۱۰/۹۴
هوایی	As <Cr <V <Co <Ni	<۱۴۸۹/۰۶ <۳۷۰۹/۳ <۱۸۶/۱۳ <۲۱۸/۳۸ ۷۶/۱۵	<۹۹/۲۷ <۲۴۷/۲۹ ۵/۰۸ <۱۲/۴۱ <۱۴/۵۶	۱۷۸/۶۸ تا ۳۲۶/۶۷، ۷۷/۵۹ تا ۱۲۸/۲۲، ۱۰/۸۱ تا ۱۷/۴۸، ۹/۶۹ تا ۱۶/۰۳و ۴/۵۳ تا ۵/۸۰
ریشه	As <Cr <V <Co <Ni	<۱۴۳۹/۹۰ <۳۳۶۲/۴۰ <۱۷۹/۹۷ <۲۰۶/۶۷ ۷۴/۹۲	<۹۵/۹۹ <۲۲۴/۱۶ ۴/۹۹ <۱۱/۹۹ <۱۳/۷۸	۱۴۰/۹۵ تا ۳۰۴/۰۰، ۸۵/۸۷ تا ۱۱۶/۳۳، ۱۱/۷۷ تا ۱۶/۲۷، ۱۰/۷۳ تا ۱۴/۵۴و ۴/۷۴ تا ۵/۵۰

Z. atriplicoides

نتایج جذب عنصرهای مورد بررسی در اندام هوایی گونه *Z. atriplicoides* نشان داد که بیشترین مقدار تجمع عنصرهای مورد بررسی در فاصله نزدیک به سنگ‌شکن بوکسیت در m ۴۵۰-۷۰۰، مشاهده شد. نتایج جذب عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و اندام‌های مختلف *Z. atriplicoides* در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۵). نتایج به تفکیک فاصله‌های هدف نشان داد که میانگین تجمع Cr، As، Co و Ni در فاصله اول و V در فاصله‌های شاهد، اول و چهارم در اندام‌های هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی بودند و در مجموع میانگین جذب عنصرهای Ni و V در *Z. atriplicoides* نشان از توانایی این گونه در تجمع عنصرهای مورد بررسی در اندام‌های هوایی دارد. از نظر آماری در تجمع عنصر V در گونه‌ها، اندام هوایی و زیرزمینی و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود دارد و در سایر عنصرهای مورد بررسی این اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی

ترتیب پتانسیل گیاه‌پالایی دو گونه *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۶). لازم به ذکر است، از نظر آماری تنها در میزان تجمع V در دو گونه اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۵. میزان و محدوده تجمع عنصرها در اندام‌های مختلف گونه *Z. atriplicoides* (mg/kg)

اندام Z. atriplicoides	ترتیب تجمع عنصرهای مورد بررسی	مقادیرکل تجمع عنصرها	میانگین تجمع عنصرها	میانگین محدوده تجمع عنصرها در فاصله‌های مورد بررسی
کل (هوایی و ریشه)	As <Cr <V <Co <Ni	<۲۷۲۳/۵۲ <۵۷۲۷ <۳۴۰/۴۵ <۵۰۱/۵۵ ۱۴۵/۹۴	<۱۸۱/۵۷ <۳۸۱/۸۰ ۹/۷۳ <۲۲/۷۰ <۳۳/۴۴	۳۳۶/۲۰ تا ۴۶۳/۲۸، ۱۶۶/۳۷ تا ۲۰۸/۷۳، ۲۷/۳۸ تا ۳۷/۴۸، ۲۰/۸۰ تا ۲۶/۰۹ و ۹/۳۵ تا ۱۰/۴۱
هوایی	As <Cr <V <Co <Ni	<۱۳۰۶/۷۷ <۲۶۹۸/۵۰ ۷۱/۶۰ <۱۶۳/۳۵ <۲۴۹/۵۴	<۱۶/۶۴ <۸۷/۱۲ <۱۷۹/۹۰ ۴/۷۷ <۱۰/۸۹	۱۵۶/۱۷ تا ۲۱۷/۷۰، ۷۹/۲۱ تا ۹۹/۷۲، ۱۳/۹۴ تا ۱۸/۹۹، ۹/۹۰ تا ۱۲/۴۷و ۴/۵۸ تا ۵/۰۹
ریشه	As <Cr <V <Co <Ni	<۱۴۱۶/۷۵ <۳۰۲۸/۵۰ ۷۴/۳۴ <۱۷۷/۱۰ <۲۵۲/۰۱	<۱۶/۸۰ <۹۴/۴۵ <۲۰۱/۹۰ ۴/۹۶ <۱۱/۸۱	۱۷۶/۷۸ تا ۲۶۹/۱۳، ۸۶/۰۸ تا ۱۱۶/۸۶، ۱۳/۴۴ تا ۲۰/۴۰، ۱۰/۷۶ تا ۱۴/۶۱و ۴/۷۵ تا ۵/۵۱

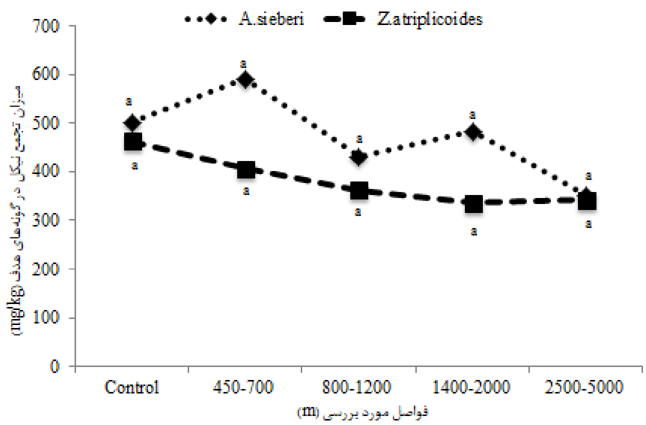
جدول ۶. ترتیب پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی (mg/kg)

عنصر مورد بررسی	اندام گونه‌ها	پتانسیل تجمع عنصرها در گونه‌ها	مقادیرکل تجمع عنصرها	میانگین تجمع عنصرها
Ni	کل (هوایی و ریشه)	b <a	۵۷۲۷ <۷۰۷۱/۷۰	۳۸۱/۸۰ <۴۷۱/۴۵
	هوایی	b <a	۲۶۹۸/۵۰<۳۷۰۹/۴۳	۱۷۹/۹۰ <۲۴۷/۲۹
	ریشه	b <a	۳۰۲۸/۵۰ <۳۳۶۲/۴۰	۲۰۱/۹۰ <۲۲۴/۱۶
Co	کل (هوایی و ریشه)	b <a	۲۷۲۳/۵۲ <۲۹۲۸/۹۶	۱۸۱/۵۷ <۱۹۵/۲۶
	هوایی	b <a	۱۳۰۶/۷۷ <۱۴۸۹/۰۶	۸۷/۱۲ <۹۹/۲۷
	ریشه	b <a	۱۴۱۶/۷۵ <۱۴۳۹/۹۰	۹۴/۴۵ <۹۵/۹۹
V	کل (هوایی و ریشه)	a <b	۴۲۵/۰۵ <۵۰۱/۵۵	۲۸/۳۴ <۳۳/۴۴
	هوایی	a <b	۲۱۸/۳۸ <۲۴۹/۵۴	۱۴/۵۶ <۱۶/۶۴
	ریشه	a <b	۲۰۶/۶۷ <۲۵۲/۰۱	۱۳/۷۸ <۱۶/۸۰
Cr	کل (هوایی و ریشه)	b <a	۳۴۰/۴۵ <۳۶۶/۱۰	۲۲/۷۰ <۲۴/۴۱
	هوایی	b <a	۱۶۳/۳۵ <۱۸۶/۱۳	۱۰/۸۹ <۱۲/۴۱
	ریشه	b <a	۱۷۷/۱۰ <۱۷۹/۹۷	۱۱/۸۱ <۱۱/۹۹
As	کل (هوایی و ریشه)	b <a	۱۴۵/۹۴ <۱۵۱/۰۷	۹/۷۳ <۱۰/۰۷
	هوایی	b <a	۷۱/۶۰ <۷۶/۱۵	۴/۷۷ <۵/۰۸
	ریشه	b <a	۷۴/۳۴ <۷۴/۹۲	۴/۹۶ <۴/۹۹

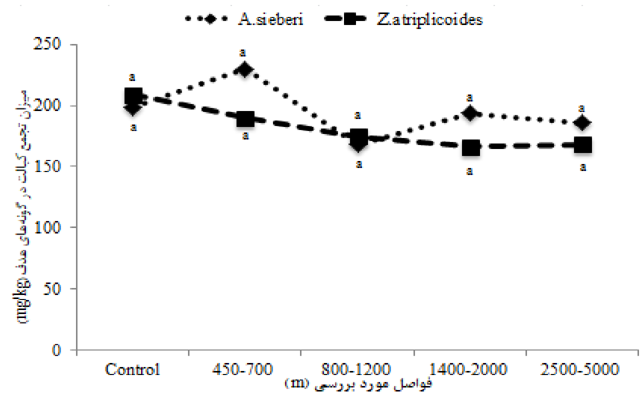
(a) *A. sieberi* و (b) *Z. atriplicoides*

میانگین تجمع عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

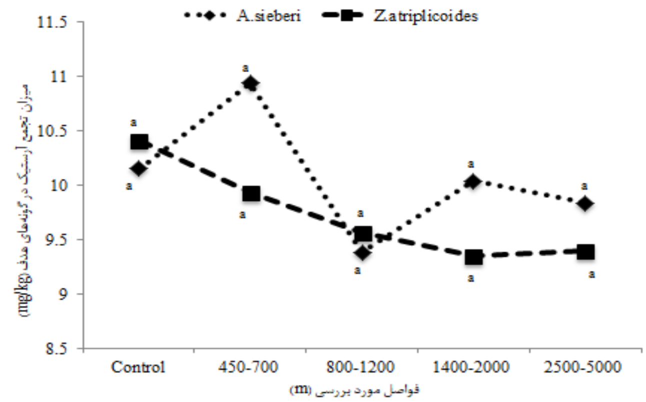
مقدار تجمع Ni در فاصله‌های هدف نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این عنصر در گونه *A. sieberi* در فاصله اول و چهارم و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله شاهد و چهارم مشاهده شد، اما از نظر آماری مقدار تجمع Ni در بین فاصله‌های مختلف در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۵). مقدار تجمع Cr، As و Co در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این عنصرها در گونه *A. sieberi* در فاصله اول و دوم و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله شاهد و سوم مشاهده شد که از نظر آماری مقدار تجمع Cr، As و Co در فاصله‌های مختلف در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۶ الی ۸). مقدار تجمع V در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار آن در گونه *A. sieberi* در فاصله اول و شاهد و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله اول و چهارم مشاهده شد که از نظر آماری مقدار V در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۹).



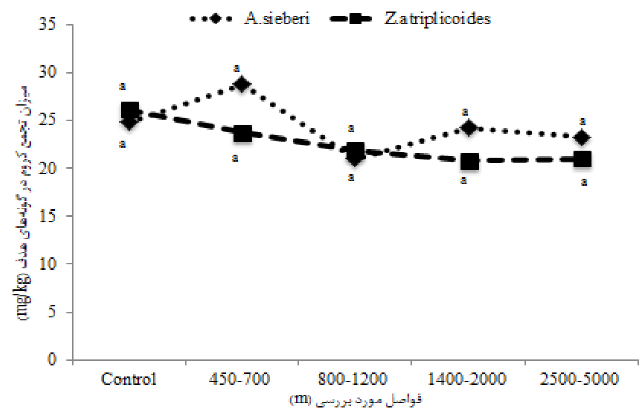
شکل ۵. مقدار تجمع Ni در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



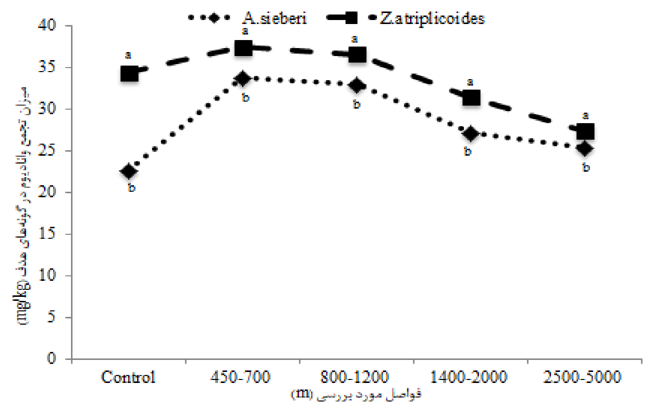
شکل ۶. مقدار تجمع Co در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۷. مقدار تجمع As در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۸. مقدار تجمع Cr در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۹. مقدار تجمع V در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

نتیجه تجزیه واریانس فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در دو گونه *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* و فاصله‌های هدف در آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که در بررسی مقدار فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در بین دو گونه، فاصله‌ها و اثر مشترک بین دو گونه و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۷).

A. sieberi

فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در گونه *A. sieberi* نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار فاکتور انتقال در Co ،Cr و Ni بین mg/kg ۰/۵۸تا ۲/۱۳، ۰/۶۶تا ۱/۳۸ و ۰/۶۶تا ۱/۳۸، در فاصله‌های سوم و چهارم و در As بین ۰/۸۲تا ۱/۱۲ mg/kg، در فاصله سوم و شاهد و در عنصر V بین mg/kg ۰/۹۳تا ۱/۲۹ در فاصله شاهد و سوم مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور انتقال در فاصله‌ها در Ni> Co, Cr> V> As بود که برابر با mg/kg ۶/۱۷< ۵/۴۷=۵/۴۷> ۵/۳۴> ۵/۱۴ و میانگین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در پنج فاصله نیز mg/kg ۱/۲۳< ۱/۰۹=۱/۰۹> ۱/۰۷> ۱/۰۳ مشاهده شد. بنابراین با توجه به اینکه فاکتور انتقال در تمام عنصرهای مورد بررسی بالاتر از یک می‌باشد، می‌توان اشاره کرد که گونه *A. sieberi* پتانسیل انتقال عنصرها از ریشه به اندام هوایی را دارد.

جدول ۷. تجزیه واریانس فاکتور انتقال گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

منبع تغییرات	عنصر	Df (درجه آزادی)	Sum Squrare (مجموع مربعات)	Mean Square (میانگین مربعات)	F	Sig (معنی‌داری)
A (گونه‌ها)	Ni	۱	۰/۳۹	۰/۳۹	۱/۱۷	۰/۲۹
	Co	۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۶۰	۰/۴۵
	As	۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۴۸	۰/۵۰
	Cr	۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۶۰	۰/۴۵
	V	۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۵۹	۰/۴۵
B تیمار (فاصله‌های هدف)	Ni	۴	۱/۸۰	۰/۴۵	۱/۳۶	۰/۲۹
	Co	۴	۰/۵۸	۰/۱۴	۰/۹۸	۰/۴۴
	As	۴	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۸۴	۰/۵۲
	Cr	۴	۰/۵۸	۰/۱۴	۰/۹۸	۰/۴۴
	V	۴	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۸۶	۰/۵۱
A_xB (گونه‌ها$_x$تیمارها)	Ni	۴	۲/۲۶	۰/۵۷	۱/۷۰	۰/۱۹
	Co	۴	۰/۵۰	۰/۱۲	۰/۸۴	۰/۵۱
	As	۴	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۷۰	۰/۶۰
	Cr	۴	۰/۵۰	۰/۱۲	۰/۸۴	۰/۵۱
	V	۴	۰/۳۷	۰/۰۹	۲/۲۵	۰/۱۰
Error (خطا)	Ni	۱۸	۵/۹۸	۰/۳۳	-	-
	Co	۱۸	۲/۶۵	۰/۱۵	-	-
	As	۱۸	۰/۶۲	۰/۰۳	-	-
	Cr	۱۸	۲/۶۵	۰/۱۵	-	-
	V	۱۸	۰/۷۴	۰/۰۴	-	-
Total (مجموع)	Ni	۳۰	۴۹/۳۷	-	-	-
	Co	۳۰	۳۶/۶۶	-	-	-
	As	۳۰	۳۱/۱۹	-	-	-
	Cr	۳۰	۳۶/۶۷	-	-	-
	V	۳۰	۳۳/۷۵	-	-	-

Z. atriplicoides

فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در گونه *Z.atriplicoides* نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار فاکتور انتقال در عنصرهای Cr، As، Co و Ni برابر با ۸۷/۱۴ mg/kg-۰/۱، ۱/۱۰ -۰/۹۰، ۱/۰۵ -۰/۹۵ و ۱/۱۰ -۰/۹۰ در فاصله‌های چهارم و اول و در V در محدوده ۱/۲۱mg/kg – ۰/۷۹ در فاصله دوم و شاهد مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور انتقال در فاصله‌های هدف مربوط به V> Ni> Cr, Co> As بود که برابر با ۵/۰۶ mg/kg< ۵/۰۳ >۴/۹۲ =۴/۹۲> ۴/۹۰ و میانگین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در پنج فاصله هدف نیز برابر با ۱/۰۱ mg/kg =۱/۰۱ >۰/۹۸ =۰/۹۸ =۰/۹۸ مشاهده شد. بنابراین با توجه به اینکه فاکتور انتقال در عنصرهای V و Ni بالاتر از یک می‌باشد، می‌توان اشاره کرد که گونه *Z. atriplicoides* پتانسیل انتقال این عنصرها از ریشه به اندام هوایی خود را دارد.

فاکتور انتقال گونه‌ها در عنصرهای مورد بررسی

با توجه به نتایج حاصل ترتیب فاکتور انتقال گونه‌های مذکور در عنصرهای مورد بررسی در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۸). لازم به ذکر است که از نظر آماری بین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی و گونه‌های مذکور فاقد اختلاف معنی‌داری بودند.

میانگین فاکتور انتقال عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

فاکتور انتقال Cr، Co و Ni در فاصله‌های هدف نشان داد که بیشترین و کمترین فاکتور انتقال آنها در گونه *A. sieberi* در فاصله چهارم و سوم و در *Z. atriplicoides* در فاصله اول و چهارم مشاهده شد، اما از نظر آماری فاکتور انتقال آنها در فاصله‌های هدف، در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۰ الی ۱۲). فاکتور انتقال عنصر As در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین این فاکتور در گونه *A. sieberi* در فاصله شاهد و سوم و در گونه *Z. atriplicoides* در فاصله اول و چهارم مشاهده شد که از نظر آماری فاکتور انتقال عنصرهای As و Cr در فاصله‌های هدف در دو گونه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۳).

فاکتور انتقال V در فاصله‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین آن در گونه *A. sieberi* در فاصله سوم و شاهد و در گونه *Z. atriplicoides* نیز در فاصله شاهد و دوم مشاهده شد که از نظر آماری فاکتور انتقال عنصر V در دو گونه فاقد اختلاف معنی‌داری بودند (شکل ۱۴).

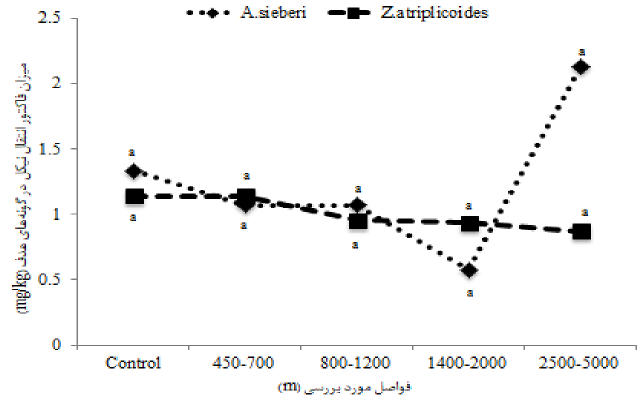
فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

نتیجه حاصل از تجزیه واریانس فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌ها و فاصله‌های هدف در آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که در بررسی مقدار فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در بین فاصله‌های هدف و اثر مشترک بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما در مقدار تجمع زیستی عنصر V بین گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* این اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد (جدول ۹).

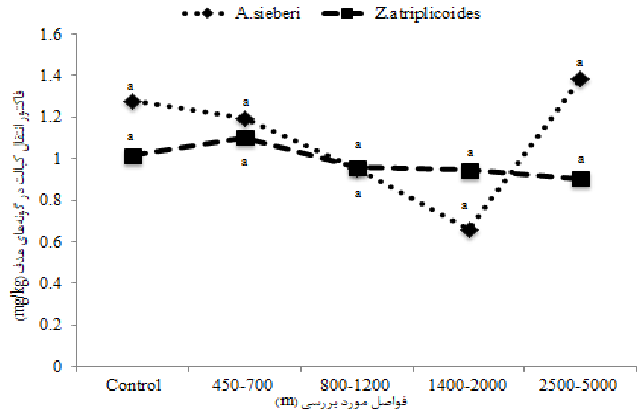
جدول ۸. فاکتور انتقال گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی (mg/kg)

عنصر مورد بررسی	فاکتور انتقال گونه‌ها	مقدار کل فاکتور انتقال	میانگین فاکتور انتقال
Ni	b <a	۵/۰۳ <۶/۱۷	۱/۰۱ <۱/۲۳
Co	b <a	۴/۹۲ <۵/۴۷	۰/۹۸ <۱/۰۹
V	b <a	۵/۰۶ <۵/۳۴	۱/۰۱ <۱/۰۷
Cr	b <a	۴/۹۲ <۵/۴۷	۰/۹۸ <۱/۰۹
As	b <a	۴/۹۰<۵/۱۴	۰/۹۸ <۱/۰۳

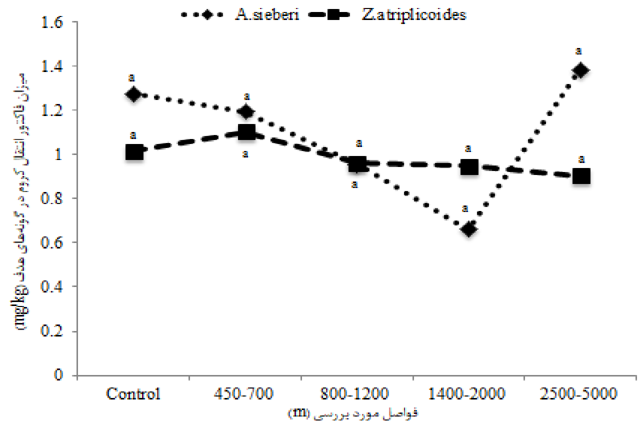
**(a)*A. sieberi* و (b) *Z. atriplicoides*



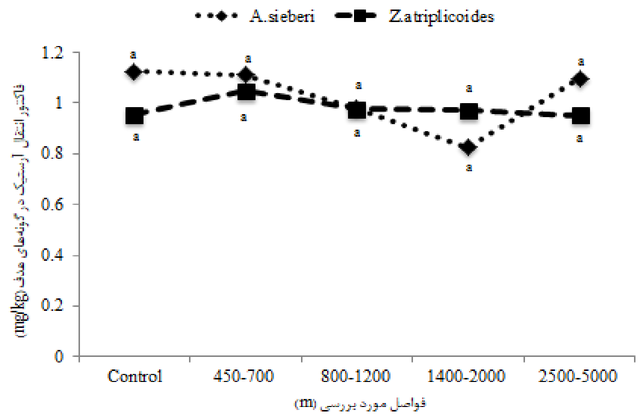
شکل ۱۰. مقدار فاکتور انتقال Ni در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



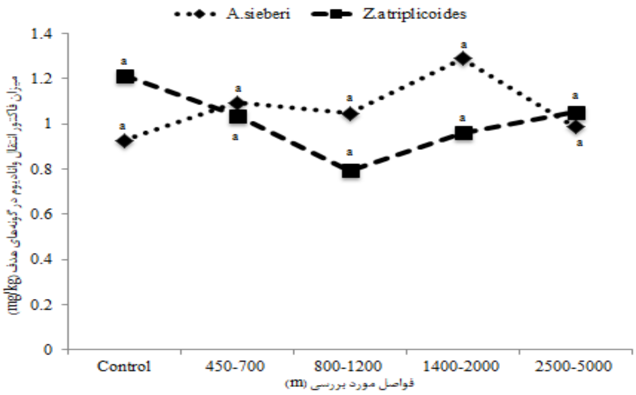
شکل ۱۱. مقدار فاکتور انتقال Co در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۲. مقدار فاکتور انتقال Cr در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۳. مقدار فاکتور انتقال As در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۴. مقدار فاکتور انتقال V در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

نتیجه حاصل از تجزیه واریانس فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه‌ها و فاصله‌های هدف در آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی نشان داد که در بررسی مقدار فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در بین فاصله‌های هدف و اثر مشترک بین گونه‌ها و فاصله‌های هدف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما در مقدار تجمع زیستی عنصر V بین گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* این اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد (جدول ۹).

جدول ۹. تجزیه واریانس فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

منبع تغییرات	عنصر	Df (درجه آزادی)	Sum Squrare (مجموع مربعات)	Mean Square (میانگین مربعات)	F	Sig (معنی‌داری)
A (گونه‌ها)	Ni	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۷۸
	Co	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۶۸
	As	۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
	Cr	۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۶
	V	۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۱۰/۱۲	۰/۰۰
B تیمار (فاصله‌های هدف)	Ni	۴	۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۵۶	۰/۷۰
	Co	۴	۱/۲۱	۰/۳۰	۳/۵۹	۰/۰۳
	As	۴	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۶۲	۰/۶۵
	Cr	۴	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۶۱	۰/۶۶
	V	۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۲/۳۹	۰/۰۹
A_xB (گونه‌ها$_x$تیمارها)	Ni	۴	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۶۲	۰/۶۵
	Co	۴	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۸۴
	As	۴	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۶	۰/۹۰
	Cr	۴	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۳۶	۰/۸۴
	V	۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۶۵
Error (خطا)	Ni	۱۸	۱/۷۷	۰/۱۰	-	-
	Co	۱۸	۱/۵۲	۰/۰۸	-	-
	As	۱۸	۰/۹۳	۰/۰۵	-	-
	Cr	۱۸	۲/۴۷	۰/۱۴	-	-
	V	۱۸	۰/۰۸	۰/۰۰	-	-
Total (مجموع)	Ni	۳۰	۹/۸۱	-	-	-
	Co	۳۰	۵/۷۸	-	-	-
	As	۳۰	۱۶/۹۴	-	-	-
	Cr	۳۰	۱۴/۲۲	-	-	-
	V	۳۰	۴/۹۳	-	-	-

A. sieberi

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه *A. sieberi* نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی در Cr و As بین mg/kg ۰/۴۵ تا ۰/۷۰ و ۰/۶۵ تا ۰/۸۱ در فاصله‌های دوم و چهارم، در Ni بین mg/kg ۰/۳۷ تا ۰/۶۹ در فاصله چهارم و سوم، در Co بین mg/kg ۰/۱۵ تا ۰/۵۵ در فاصله دوم و شاهد و در V بین mg/kg ۰/۳۳ تا ۰/۴۱ در فاصله سوم و دوم مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور تجمع زیستی در فاصله‌ها به ترتیب Co> V> Ni> Cr> As بود که برابر با mg/kg ۳/۶۲> ۳/۰۳> ۲/۵۸> ۱/۷۹> ۱/۳۹ و میانگین فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها mg/kg ۰/۷۲> ۰/۶۰> ۰/۵۱> ۰/۳۶> ۰/۲۸ مشاهده شد.

Z. atriplicoides

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در گونه *Z. atriplicoides* نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی در عنصرهای Co و Ni برابر با mg/kg ۰/۸۴ -۰/۱۶ و ۰/۷۳ -۰/۳۸ در فاصله‌های دوم و شاهد، در عنصرهای As و Cr برابر با mg/kg ۰/۸۶ -۰/۶۰ و ۰/۸۸ - ۰/۴۶ در فاصله‌های سوم و شاهد و در V در محدوده mg/kg ۰/۵۲ – ۰/۳۵ در فاصله‌های چهارم و دوم مشاهده شد. بیشترین مجموع فاکتور تجمع زیستی در فاصله‌های هدف مربوط به Co> V> Ni> Cr> As بود که برابر با mg/kg ۳/۶۳> ۳/۰۶> ۲/۴۲> ۲/۱۸> ۱/۶۱ و میانگین فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در پنج فاصله هدف نیز برابر با mg/kg ۰/۷۲> ۰/۶۱> ۰/۴۸> ۰/۴۴> ۰/۳۲ مشاهده شد.

فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی

با توجه به نتایج حاصل ترتیب فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۱۰). لازم به ذکر است که از نظر آماری تنها در مقدار تجمع زیستی V بین دو گونه اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد.

میانگین فاکتور تجمع زیستی عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌ها و گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

فاکتور تجمع زیستی عنصرهای Cr، As و Ni در فاصله‌های هدف نشان داد که از نظر آماری در بین فاصله‌های هدف در دو گونه مذکور با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما فاکتور تجمع زیستی عنصر Co در دو گونه مذکور در فاصله شاهد با سایر فاصله‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری داشتند. فاکتور تجمع زیستی عنصر V در دو گونه مذکور نیز در دو فاصله دوم و چهارم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند که سایر فاصله‌ها با این دو فاصله اختلافی نداشتند (شکل ۱۵ الی ۱۹).

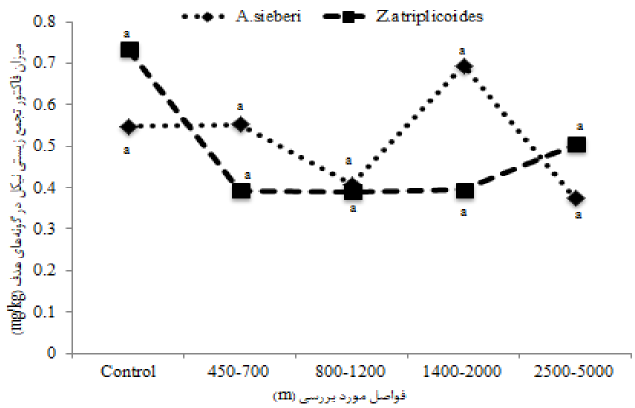
مقدار تجمع عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌های هدف، در خاک

نتایج مقدار تجمع عنصرهای مورد بررسی در فاصله‌های هدف نشان داد که مقدار تجمع Ni بین فاصله‌های شاهد، سوم و چهارم و بین فاصله‌های شاهد، اول و سوم و همچنین بین فاصله‌های اول، دوم و سوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

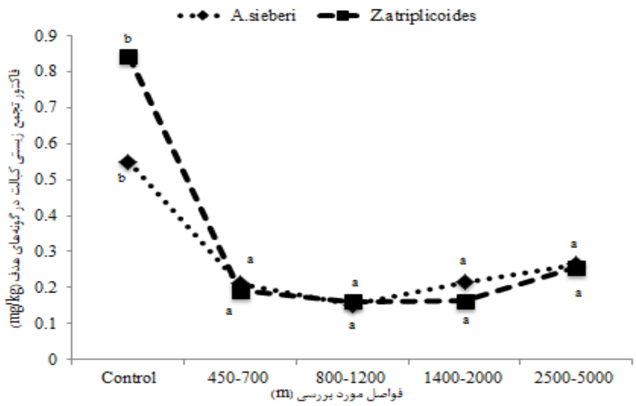
جدول ۱۰. فاکتور تجمع زیستی گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* در عنصرهای مورد بررسی (mg/kg)

عنصر مورد بررسی	فاکتور تجمع زیستی گونه‌ها	مقدار کل فاکتورتجمع زیستی	میانگین فاکتور تجمع زیستی
Ni	b <a	۲/۴۲ <۲/۵۸	۰/۴۸ <۰/۵۱
Co	a <b	۱/۳۹ <۱/۶۱	۰/۲۸ <۰/۳۲
V	a <b	۱/۷۹ <۲/۱۸	۰/۳۶ <۰/۴۴
Cr	a <b	۳/۰۳ <۳/۰۶	۰/۶۰ <۰/۶۱
As	a <b	۳/۶۲ <۳/۶۳	۰/۷۲ =۰/۷۲

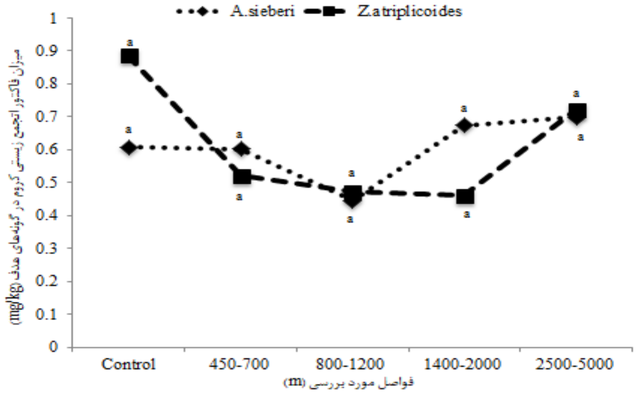
**(a)*A. sieberi* و (b) *Z. atriplicoides*



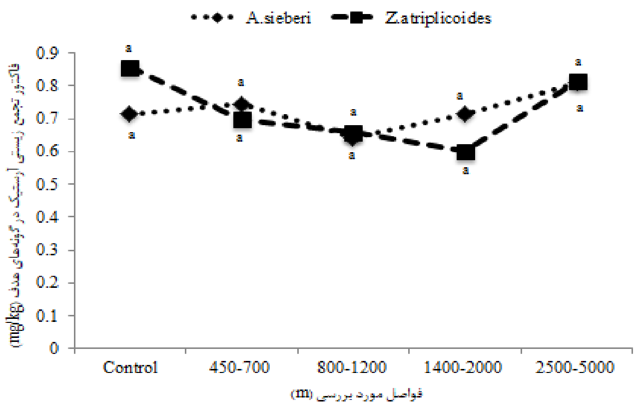
شکل ۱۵. فاکتور تجمع زیستی Ni در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



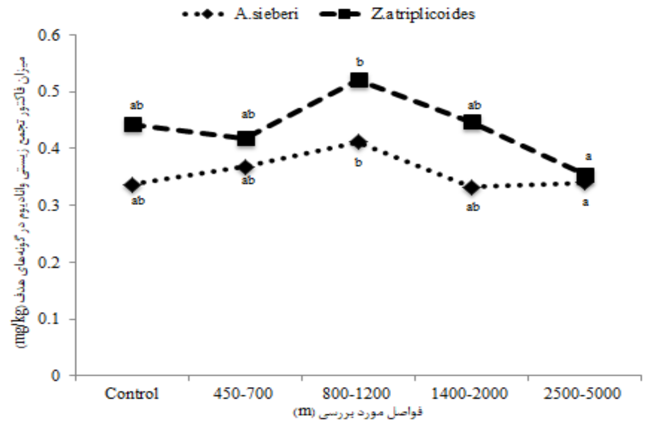
شکل ۱۶. فاکتور تجمع زیستی Co در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۷. فاکتور تجمع زیستی Cr در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۸. فاکتور تجمع زیستی As در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*



شکل ۱۹. فاکتور تجمع زیستی V در فاصله‌های هدف در گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides*

در خصوص مقدار تجمع Co نتایج نشان داد که بین مقدار تجمع این عنصر در فاصله‌های اول، دوم و سوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اما فاصله شاهد و چهارم از نظر مقدار تجمع این عنصر با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. همچنین نتایج مقدار عنصرهای As و Cr نشان داد که بین مقدار تجمع این عنصرها در فاصله‌های شاهد، اول، دوم، سوم و چهارم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارد. در نهایت مقدار تجمع V در بین فاصله‌های شاهد، دوم، سوم و چهارم و همچنین بین فاصله‌های اول و دوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۱۱).

■ بحث و نتیجه‌گیری

کاربرد گیاهان مرتعی جهت گیاه‌پالایی مهم به شمار می‌آیند، چون این گونه‌ها بیشتر از نظر رشد، بقا و تولید مثل در شرایط تنش‌های محیطی نسبت به سایر گونه‌ها موفق‌تر هستند. لذا علاقه و تلاش بسیاری در زمینه جستجوی گونه‌های مرتعی مقاوم به عنصرهای سنگین وجود دارد که اغلب گونه‌های بومی در این زمینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. علت کاربرد گونه‌های بومی در گیاه‌پالایی جلوگیری از ورود گونه‌های مهاجم به زیست‌بوم‌های حساس و شکننده و سازگاری آنها با منطقه محل رشد خود است (۲۰). با توجه به نتایج گونه درمنه دشتی *Artemisia sieberi* Besser در اندام هوایی و زیرزمینی پتانسیل بیشتری در تجمع عنصرهای Cr، As، Co و Ni و گونه قیچ *Zygophyllum atriplicoides* Fisch. & C.A. Mey در اندام هوایی و زیرزمینی پتانسیل بیشتری در تجمع V دارد. اما در مجموع مقایسه بین مقدار عنصرهای هدف در گونه‌ها و فاصله‌ها، مقدار Cr، As، Co و Ni از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تنها در مقدار V اختلاف معنی‌داری بین گونه‌ها و فاصله‌ها مشاهده شد. نتایج حاصل پژوهش حاضر با نتایج برخی محققان همخوانی دارد به طوری‌که محققان در بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی چند گونه مرتعی دریافتند، گل گاوزبان *Echium amoenum* Fisch. & C.A.Mey. و گاوچاق کن *Scariola orientalis* (Boiss.) Sojak به عنوان بیش‌اندوز Ni و استپی بیابانی *Stipa hohenackeria* Trin. et Rupr.، ورک *Hulthemia persica* J.F.Gmel.، کنگر *G. tournefortii*، گون *Astragalus effusus* Bunge، گیسو چمن *Taeniatherum crinitu* (Schreb.) Nevski، بومادران

جدول ۱۱. مقدار تجمع عنصرهای مورد بررسی در خاک فاصله‌های هدف (mg/kg)

فاصله‌ها (m)	Ni	Co	AS	Cr	V
شاهد	۳۹۷/۸۲^{ab}	۱۷۵/۴۸^{a}	۶/۹۶^{a}	۱۹/۲۰^{a}	۳۴/۹۶^{a}
۷۰۰-۴۵۰	۴۸۱/۵۲^{bc}	۴۷۹/۱۶^{b}	۶/۹۹^{a}	۲۲/۰۰^{a}	۴۴/۲۴^{b}
۱۲۰۰-۸۰۰	۴۹۲/۰۵^{c}	۵۵۸/۰۸^{b}	۷/۳۸^{a}	۲۳/۹۲^{a}	۳۹/۵۸^{ab}
۲۰۰۰-۱۴۰۰	۴۴۶/۱۸^{abc}	۵۳۸/۷۵^{b}	۸/۰۷^{a}	۲۵/۶۸^{a}	۳۶/۳۰^{a}
۵۰۰۰-۲۵۰۰	۳۷۹/۷۲^{a}	۳۴۹/۳۳^{c}	۶/۰۲^{a}	۱۵/۸۳^{a}	۳۷/۸۶^{a}

Achillea millefolium L.، گل گندم *Centaurea virgata* Lamarck، چای کوهی *Stachys lavandulifolia* Vahl، شنگ وحشی *Tragopogon collinus* DC. و خاکشیر *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl به عنوان تجمع‌کننده خوب Ni شناخته شدند (۲۰). همچنین در بررسی دیگر گونه‌ای از مناطق نیمه خشک با نام چیلکا *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers نشان داد که توانایی تجمع As، Co و Cr در اندام هوایی و زیرزمینی را داشته و بیشترین تجمع به ترتیب مربوط به As، Co وCr است. لذا گونه مناسبی جهت اهداف گیاه‌پالایی به شمار می‌آید (۷). همچنین در پژوهشی دیگر برخی محققان در بررسی چند گونه از مناطق بیابانی و خشک از جمله علف شور *Salsola kali* L.، گونه قیچ باقالایی *Zygophyllum fabago* L.، گونه بیابانی لیمونیوم *Limonium cossonianum* Kuntze، گونه گز *Tamarix canariensis* Willd، گونه آتریپلکس *Atriplex halimus* L. و گونه‌های غیر هالوفیت پیر پائیزی *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter، گل بیمرگ *Helichrysum decumbens* Cambess، پسته مصطکی *Pistacia lentiscus* L. و جگز *Cistus monspeliensis* L. پرداختند و نتایج نشان داد در بین گونه‌های هالوفیت‌ها مقدار تجمع As و Ni در *S. kali* بیشتر از سایر گونه‌ها و در *Z. fabago* کمترین بود. در غیر هالوفیت‌ها مقدار تجمع As و Ni در *C. monspeliensis* بیشتر از سایر گونه‌ها و در *P. lentiscus* کمترین بود (۲۲). در تحقیقی دیگر نیز دریافتند که گونه‌های خردل هندی *Brassica juncea* مقدار قابل ملاحظه‌ای As در ریشه، ساقه و برگ‌های خود تجمع داده و برای گیاه‌پالایی این عنصر مناسب است (۱۶). یافته‌های عنصر V در پژوهش حاضر در مقایسه با تحقیقی مرتبط در گونه نی *Phragmitis australis* (Cav.) Trin. ex Steud حاکی از پتانسیل تجمع این عنصر در ریشه است و در قیاس با سایر عنصرها، V توانایی بیشتری در تجمع در ریشه را دارا می‌باشد (۱۱). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، مقدار عنصرها در *A. sieberi* در اندام هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی مشاهده شد. باتوجه به اینکه ریشه گیاهان دارای بارهای منفی در سلول‌هاست و به علت وجود گروه‌های هیدروکسیل با بارهای مثبت عنصرهای سنگین بر هم‌کنش ایجاد کرده و به دنبال آن تعادل دینامیکی حاصل و منجر به ورود آسان‌تر به سلول‌ها از طریق آپوپلاست یا سیمپلاست می‌گردد (۷). از طرفی دیگر علت این مسئله آن است که در این گونه عنصرها در مجاورت سطح ریشه جذب و از طریق غشا سلولی وارد سلول‌های ریشه می‌شوند و برخی از قسمت‌ها عنصر از غشا سلولی عبور و به بافت آوندی ریشه می‌رسند. در حالیکه قسمت باقی‌مانده در واکوئل بی‌حرکت شده و سپس از بافت‌های آوندی به برگ و ساقه منتقل می‌شوند. اکثر عنصرها زمانیکه در داخل بافت گیاه قرار می‌گیرند، نامحلول شده و به علت اسیدیته بهینه سلولی نمی‌توانند در سیستم عروقی حرکت کنند لذا عنصرهای نامحلول عموماً در محفظه‌های خارجی و درونی سلول به صورت رسوبات سولفات، کربنات یا فسفات ذخیره می‌شوند (۱۷). اما *Z. atriplicoides* پتانسیل بیشتری در تجمع عنصرها در ریشه‌های خود داشت که نشان دهندهٔ تأثیر بازدارندگی ریشه از جابه‌جایی عنصرها به اندام‌های هوایی است که به شدت آنها را محدود کرده است. بنابراین سیستم ریشه سطح وسیعی را جهت جذب آلاینده‌های غیر ضروری علاوه بر تجمع آب و مواد مغذی فراهم می‌کند. حتی بسیاری از عنصرها پس از ورود به ریشه رسوبات سولفات، کربنات و فسفات را تشکیل می‌دهند و این عنصرها در قسمت‌های برون سلولی و داخل سلولی بی‌حرکت می‌شوند. لذا انتقال عنصرها از طریق آپوپلاست به دلیل ظرفیت بالای تبادل کاتیونی دیواره‌های سلولی محدودتر می‌شود. از طرفی ماهیت نامحلول بودن اکثر عنصرهای خطرناک منجر به ممانعت از حرکت آزاد آنها در سیستم گیاه می‌شود. همچنین علت جذب عنصرها در ریشه به علت اتصال یون‌های فلزی سمی با بار منفی در دیواره سلولی است و انتقال کم عنصرهای به اندام‌های هوایی به دلیل اشباع جذب عنصرهای در ریشه زمانی است که غلظت عنصرهای داخلی بالاست (۱۵). از طرفی دیگر طبق نتایج پژوهش حاضر مشخص شد که گونه‌های *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* بیش از ۱۰۰۰mg/kg Ni و Co را در اندام‌های هوایی خود تجمع دادند. با توجه به پژوهش‌های انجام شده مقدار بحرانی Ni در گونه‌های

حساس، متوسط و مقاوم به ترتیب بیش از ۱۰، بیش از ۵۰ و بیش از ۱۰۰۰mg/kg گزارش شده است (۵). لذا گونه‌های هدف این تحقیق به عنوان گونه‌های مقاوم به Ni شناسایی شدند. از طرفی طبق اظهار نظر کارشناسان گونه‌هایی که توانایی تجمع حداقل ۱gr/kg از عناصر Ni، As، Co و Cr در اندام هوایی خود را داشته باشند به عنوان گونه بیش‌اندوز عنصرهای مذکور شناخته می‌شوند (۲۳). بنابراین *A. sieberi* و *Z. atriplicoides* به عنوان گونه‌های بیش‌اندوز Ni و Co شناخته شدند. نتایج همچنین نشان داد که مجموع فاکتور انتقال عنصرهای هدف در گونه *A. sieberi* بیشتر از یک و در گونه *Z. atriplicoides* پایین‌تر از یک هستند. بنابراین گونه *A. sieberi* پتانسیل استخراج گیاهی و همچنین گونه *Z. atriplicoides* پتانسیل تثبیت گیاهی را دارا می‌باشند. پژوهشگران بسیاری پتانسیل استخراج و تثبیت گیاهی گونه‌های مختلف در خصوص عنصرهای V، Ni، As، Co و Cr بررسی کردند که نتایج حاصل از پژوهش حاضر با برخی محققان همخوانی دارد به طوری که در بررسی *A. marina* در اطراف منطقه استخراج بوکسیت در اندونزی مشخص شد که این گونه دارای فاکتور انتقال بزرگتر از یک برای Cr بوده و دارای توانایی استخراج گیاهی است (۴). در بررسی غلظت Ni، As، Co و Cr در اندام هوایی ۳۵ گونه در اطراف معدن مس در آذربایجان مشخص شد که گونه‌های بومی مورد بررسی برای پتانسیل تثبیت گیاهی در اطراف معدن مذکور مناسب هستند (۳). همچنین در تحقیقی دیگر مشخص شد که *P. viviparum* قابلیت تجمع As با فاکتور انتقال ریشه ۳/۶۹ و فاکتور تجمع زیستی بزرگتر از یک در معادن اطراف چین دارد (۱۴). در تحقیقی دیگر محققان دریافتند که فاکتور انتقال Ni در چند گونه مرتعی از جمله *S. orientalis*، *E. amoenum* و *T. collinus* بزرگتر از یک بوده و پتانسیل استخراج گیاهی را دارند (۲۰). در تحقیقی دیگر محققان دریافتند که گونه‌های بومی گون سفید Fisch *Astragalus gossypinus*، چوبک *Acantholimon brachystachyum* Boiss. ex Bunge، یال اسبی Desf *Stipa barbata* و افدرا *Ephedra major* Host با فاکتور انتقال بالاتر از یک جهت استخراج گیاهی As و علف پشمکی *Bromus tomentellus* Boiss، مَرغ *Elymus* sp.، نی *P. australis* و سازو *Juncus inflexus* L. با فاکتور انتقال پایین‌تر از یک جهت تثبیت گیاهی As مناسب هستند (۲۹). در نهایت در پژوهشی دیگر گونه‌های پانیکوم *Panicum antidotal* Rets.، پنبه (Schumach.) Morrone *Pennisetum purpureum*، آفتابگردان *H. annuus* و کدو حلوایی *Cucurbita pepo* L. مقدار بیشتری از Cr و Co را در ریشه‌های خود تجمع دادند که بیشترین و کمترین این عنصرها به ترتیب در *H. annuus* و *C. pepo* بود (۱۵). فاکتور انتقال نشان داد که عنصرها بیشتر در قسمت هوایی یا زیرزمینی انباشته شدند و اینکه آنها پتانسیل استخراج گیاهی دارند و یا تثبیت گیاهی، به طوریکه فاکتور انتقال بزرگتر از یک نشان از تجمع عنصرها در اندام هوایی و فاکتور انتقال کمتر از یک نشان از تجمع عنصرها در ریشه است (۲۳). طبق پژوهش‌های انجام شده گونه‌های قدومه *Alyssum* sp.، کیسه چوپان *Thlaspi* sp. و *Berkheya coddii* Roessler به عنوان استخراج کننده Ni، همچنین گونه *Leersia hexandra* Sw. به عنوان استخراج کننده Cr، گونه سرخس دوپایه *Pteris vittata* L. به عنوان استخراج کننده As و قمیش *Arundo donax* L. و لویی *Typha latifolia* L. به عنوان تثبیت‌کننده Ni، گونه‌های نی *T. latifolia*، صنوبر شرقی *Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall، بید سرخ *Salix purpurea* L.، باقلای مصری *Lupinus albus* L.، کنوکارپوس *Conocarpus erectus* L. و کوکب *Dahlia pinnata Cav.* به عنوان تثبیت‌کننده As و *T. latifolia* به عنوان تثبیت کننده Cr شناسایی شدند (۲۳). با توجه به اینکه خاک در اراضی آلوده دارای شرایط نامناسب است لذا، استقرار و رشد در منطقه مطالعاتی با موانعی مواجه خواهند شد. بنابراین شناسایی گونه‌های مناسب که توانایی مقابله با این شرایط دشوار و پتانسیل تجمع و جذب عنصرها را دارند منجر به تأثیر بالا در افزایش کارایی گیاه‌پالایی می‌گردند. بنابراین مطالعه و شناخت پوشش گیاهی در اطراف معادن و اندازه‌گیری مقدار غلظت عنصرها در این گونه‌ها منجر به شناخت گونه‌های فراانباشت می‌گردد. لذا گونه *A. sieberi* به عنوان استخراج‌کننده و گونه *Z. atriplicoides* به عنوان تثبیت‌کننده، از گونه‌های مناسب جهت پاکسازی اراضی

آلوده به عنصرهای Ni و Co هستند. با توجه به تجمع عنصرها در ریشه گونه *Z. atriplicoides* امکان ورود عنصرها به زنجیره غذایی دام‌ها وجود ندارد که با توجه به خوشخوراک بودن این گونه و چرا توسط دام‌ها می‌تواند به عنوان گونه مناسب جهت گیاه‌پالایی در منطقه مطالعاتی باشد. این گونه امکان بی‌حرکت کردن عنصرها توسط سیستم ریشه‌ای را داشته و شرایط میکروبیولوژی، حاصلخیزی خاک و به حداقل رساندن انتقال عنصرهای هدف به آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند. از طرفی با تنوع کشت گونه‌های گیاهی منجر به ایجاد تنوع اشکال حیات در جوامع گیاهی، امکان استفاده کارآمدتر از آب، مواد مغذی و تنوع زیستی بالاتر، منجر به پایداری طولانی مدت در منطقه می‌شود. در واقع گیاهان یکساله منجر به ایجاد پوشش سریع در خاک منطقه در اولین مراحل تثبیت را فراهم کرده و سپس گونه‌های چند ساله یک سایبان دائمی ایجاد کرده که از فرسایش و پراکندگی عنصرهای توسط گرد و غبار موجود در هوا را کاهش دهند. در بحث فاکتور انتقال که *A. sieberi* پتانسیل استخراج گیاهی دارد، که می‌توان از آنها در بحث گیاه‌پالایی معدن جهت استخراج عناصر ارزشمند با هدف دستیابی سود اقتصادی بهره برد. بنابراین کاربرد و بهره‌برداری از گونه‌های بومی مرتعی برای کاربرد در فناوری گیاه‌پالایی اراضی آلوده به عنصرها حائز اهمیت است و علت این امر توانایی مقاومت، بقا و رشد این گونه‌ها تحت تأثیر تنش‌های محیطی است. بنابراین کاربرد گونه‌ها بومی که سازگار با شرایط آب و هوای منطقه مطالعاتی هستند کارایی زیادی در جذب و تجمع عنصرهای هدف در این مطالعه را داشته که برای برنامه‌های محیط زیستی در منطقهٔ مذکور به عنوان گزینه مناسب به منظور گیاه‌پالایی محدودهٔ سنگ‌شکن بوکسیت در جهت باد غالب در محدوده مطالعاتی و مناطق مشابه پیشنهاد می‌شود. بنابراین خروجی این پژوهش معرفی گونه‌های مناسب برای مدیریت زیستی در شرایط آب و هوایی نیمه خشک با گونه‌های بومی منطقه جاجرم بود که گونه‌های مورد مطالعه جایگزین مناسبی برای غلبه بر تنش آلودگی و رشد در محدوده سنگ‌شکن بوکسیت معدن آلومینای جاجرم هستند که به پژوهش‌های بیشتری برای مدیریت در اطراف آن محدوده می‌توانند، متمرکز شوند.

■ سپاسگزاری

این مقاله استخراجی از رساله دکتری می‌باشد که با حمایت مالی شرکت آلومینای ایران به شماره طرح ۴۹۲۰ج انجام شده است. لذا نویسندگان برخود واجب می‌دانند که از حمایت‌های مادی و معنوی این بخش کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

■ References

1. Akinleye, C., Adewumi, A.J., & Akinleye, R.O. (2022). A systematic review of ecological and human health risk associated with metals in soils around mining areas in Nigeria. *Achievers Journal of Scientific Research*, *4*(1), 120-141.

2. Alharbi, M., & Aljeddani, G. (2022). Heavy Metals Phytoremediation and Its Impact on Photosynthetic Pigments and Metabolic Content in Some Plant Species Grown in the Streets of Jeddah Governorate, Saudi Arabia. *Journal of Environmental Protection*,*13*(7), 557-574.

3. Alizadeh, A., Ghorbani, J., Motamedi, J., Vahabzadeh, G., Edraki, M., & Vander Ent, A. (2022). Metal and metalloid accumulation in native plants around a copper mine site: implications for phytostabilization. *International Journal of Phytoremediation*, *24*(11), 1141-1149.

4. Azizah, D., Lestari, F., Kurniawan, D., Melany, W.R., Apriadi, T., & Murtini, S. (2022). *Index of environmental pollution and adaptation of Avicennia marina around the ex-bauxite mining area in Bintan Island*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

5. Chen, C., Huang, D., & Liu, J. (2009). Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean-soil, air, water*, *37*(4-5), 304-313.

6. Fazelisalmani, M., & Osanloo, M. (2014). *Mine Planning and Equipment Selection*: Springer.

7. Franco, H., Celis, C., Forero, S., Pombo, L.M., & Rodriguez, O.E. (2018). Phytoremediating Activity of Baccharis Latifolia in Soils Contaminated with Heavy Metals. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, *9*(4), 38-43.

8. Jafari, M., & Tavili, A. (2010). *Reclamation of Aridland*. Tehran: University of Tehran Press.3rd Edition. (in Farsi)

9. Jafai, M., Jahantab, E., & Moameri, M. (2020). Investigation of Remediation of Contaminated Soils with Heavy Metals Using Helianthus Annuus L. Plant. *Environmental Science and Technology*, *22*(7), 1-14. (in Farsi)

10. Jahantab, E. (2021). Potential of heavy metals uptake by Gundelia tournefortii in rangelands around the Yasouj cement factory. *Range and Desert Research*, *28*(4), 733-744. (in Farsi)

11. Hamidian, A.H., Atashgahi, M., & Khorasani, N. (2014). Phytoremediation of heavy metals (Cd, Pb and V) in gas refinery wastewater using common reed (Phragmites australis). *International Journal of Aquatic Biology*, *2*(1), 29-35.

12. Kabir, E., Ray, S., Kim, K.H., Yoon, H.O., Jeon, E.C., Kim, Y.S., Cho, Y.S., Yun, S.T., & Brown, R. J. C. (2012). Current statues of trace metal pollution in soils affected by industrial activities. *The Scientific World Journal*, *2012*, 1-18.

13. Kashki, M.T., Shahmoradi, A., & Namdoost, T. (2015). Investigate dynamic and trend changes of vegetation on desert ecosystems (case study: Jajarm region, North Khorasan). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *4*(7), 87-98. (in Farsi)

14. Li, R., Dong, F., Yang, G., Zhang, W., Zong, M., Nie, X., Zhou, L., Babar, A., Liu, J., Ram, B.K., Fan, C., & Zeng, Y. (2019). Characterization of Arsenic and Uranium Pollution Surrounding a Uranium Mine in Southwestern China and Phytoremediation Potential. *Polish Journal of Environmental Studies*, *29*(1), 1-13.

15. Lotfy, S.M., & Mostafa, A.Z. (2014). Phytoremediation of contaminated soil with Cobalt and Chromium. *Journal of Geochemical Exploration*, *144*, 367–373.

16. Makombe, N., & Gwisai, R.D. (2018). Soil Remediation Practices for Hydrocarbon and Heavy Metal Reclamation in Mining Polluted Soils. *The Scientific World Journal*, *2018*, 1-7.

17. Manzoor, M.M., Goyal, P., Gupta, A.P., & Gupta, S. (2020). Heavy metal soil contamination and bioremediation. *Bioremediation and Biotechnology*, Vol 2: Degradation of Pesticides and Heavy Metals, 221-239. Springer.

18. Merzougui, A., Mariama, L., Hamid, F.E., Lachgar, M., El Anssari, A., & Mrani, D. (2022). Lead uptake, flavonoids and proline relationship in Atriplex nummularia growing in a galena mining are. *Mediterranean Journal of Chemistry*, *12*(1), 11-18.

19. Mingyuan, L., Samsuri, A.W., Shukor, M.Y., & Phang, L.Y. (2020). Growth Performance of Jatropha curcas Cultivated on Local Abandoned Bauxite Mine Soil. *Sustainability*, *12*(19), 1-14.

20. Moameri, M., Jafari, M., Tavili, A., Motasharezadeh, B., & Zare Chahouki, M.A. (2017). Rangeland Plants Potential for Phytoremediation of Contaminated Soils with Lead, Zinc, Cadmium and Nickel (Case Study: Rangelands around National Lead & Zinc Factory, Zanjan, Iran). *Journal of Rangeland Science*, *7*(2), 160-171.

21. Moreira, H., Marques, A.P., Rangel, A.O., & Castro, P.M. (2011). Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese site: prospects for Phytoremediation. *Water Air and Soil pollution*, *221*(1), 377–389.

22. Parraga-Aguado, I., Gonzalez-Alcaraz, M.N., Alvarez-Rogel, J., & Conesa, H.M. (2014). Assessment of the employment of halophyte plant species for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas. *Ecological Engineering*, *71*, 598–604.

23. Peco, J.D., Higueras, P., Campos, J.A., Esbri, J.M., Moreno, M.M., Brunet, F.B., Luisa, M., & Sandalio, L.M. (2021). Abandoned Mine Lands Reclamation by Plant Remediation Technologies. *Sustainability*, *13*(12), 1-27.

24. Palutoglu, M., Akgul, B., Suyarko, V., Yakovenko, M., Kryuchenko, N., & Sasmaz, A. (2018). Phytoremediation of Cadmium by Native Plants Grown on Mining Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *100*(2), 293–297.

25. Rahim, F.A.A., Hamid, T.H.T.A., & Zainuddin, Z. (2019). *Jatropha curcas as a potential plant for bauxite phytoremediation*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

26. Robles, H.G., Melloni, E.G., Navarro, F.B., Martin Peinado, F.J., & Lorite, J. (2022). Gypsum mining spoil improves plant emergence and growth in soils polluted with potentially harmful element. *Plant and Soil*, *481*, 315-329.

27. Saba, G., Parizanganeh, A.H., Zamani, A., & Saba, J. (2015). Phytoremediation of Heavy Metals Contaminated Environments: Screening for Native Accumulator Plants in Zanjan-Iran. *International Journal of Environmental Research*, *9*(1), 309-316.

28. Selvaraj, K., Ramasubramanian, V., & Kumar, M. (2021). Phytoremediation of Soil Contaminated with Arsenic, Nicke and Copper. *Indian Journal of Environmental Scienes*, *26*(2), 51-59.

29. Sharifi, Z., Sinegani, A.A.S., & Shariati, S. (2012). Potential of Indigenous Plant Species for the Phytoremediation of Arsenic Contaminated Land in Kurdistan (Iran). *Soil and Sediment Contamination*: *An International Journal*, *21*(5), 557–573.

30. Sola, C., Burgos, M., Plazuelo, A., Toja, J., Plans, M., & Prat, N. (2004). Heavy metal bioaccumulation and macroinvertebrate community changes in a mediterranian stream affected by acid mine drainage and an accidental spill (Guadiamar river, SW Spain). *Science of the Total Environment*, *333*(1-3), 109-126.

31. Vodyanitskii, Y.N. (2016). Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian Science*, *14*(3), 257-263.

32. Zhou, H., & Guo, X. (2015). Soil Heavy Metal Pollution Evaluation around Mine Area with Traditional and Ecological Assessment Methods. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, *3* (10), 28-33.

Original Article, Vol. 10, No. 4, Winter, 2023, pp 81-92

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

The Effect of Using of The Two Types of Agricultural and Marine Waste Biochar on Some Characteristics of a Sandy Soil

R. Moshtagh[1], N. Moradi[2*], H. Gholami[3]

1. MSc Graduate of Desert Control Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
3. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

* Corresponding Author: nvz.moradi@hormozgan.ac.ir

Received date: 14/10/2022 **Accepted date: 24/12/2022**

doi 10.22034/JDMAL.2022.563479.1398

Abstract

The abundance of agricultural waste and fishing is one of the environmental issues in various regions. Converting these wastes to biochar and using them in the soil is a way to enhance diverse ecosystems and plays a vital role in environmental sustainability. In the present study, the effect of shrimp *(Fenneropenaeus merguiensis)* and eggplant (*Solanum melongena*) biochar suspension on certain chemical characteristics of sandy soil was investigated. For this purpose, samples of sandy soil from the agricultural lands around Bandar Abbas were collected intact in PVC columns with a height of 25, and diameter of 20 cm. Then the prepared suspension of shrimp and eggplant biochar was added to the soil in a completely random design in three concentrations of 0, 4, and 8 g/l in three replications. After adding the different soil treatments into columns, they were incubated for 100 days at a humidity range of field capacity and 50% of it was kept in nursery condition. Next, some soil chemical properties including of pH, EC, N, K, Ca, Mg, and Na were measured. Statistical analysis and comparison of means at P<0.05 between various treatments were performed using a one-way analysis of variance and the Duncan's test in SPSS16. The results of ANOVA showed that the application of both types of biochar had a significant effect on the chemical properties of sandy soil, so that the application of shrimp and eggplant waste biochar caused a significant increase in the amount of K, N, and pH, and a decrease in EC, Na, and Ca compared to the control treatment. The maximum value of K was related to the concentration of 8 g/l of shrimp and eggplant biochar and the maximum value of N was obtained by applying 8 g/l of shrimp biochar. In addition, the increase in the concentration of the two types of biochar indicates an increase in K and N values. The lowest CE value was obtained by applying 8 g/l of eggplant biochar. Based on the results obtained, shrimp and eggplant biochar waste are suggested in the sand soil amendment.

Keywords: Eggplant; Shrimp; Suspension; Chemical properties; Biochar

نشریه مدیریت بیابـان
www.isadmc.ir
انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

تأثیر کاربرد دو نوع بیوچار ضایعات کشاورزی و دریایی بر برخی ویژگی‌های خاک شنی

رضوان مشتاق[۱]، نوازاله مرادی[۲*]، حمید غلامی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: nvz.moradi@hormozgan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۲　　**تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳**
doi 10.22034/JDMAL.2022.563479.1398

چکیده

فراوانی ضایعات محصولات کشاورزی و شیلاتی یکی از معضل‌های محیط‌زیستی در مناطق مختلف است. تبدیل این ضایعات به بیوچار و کاربرد آنها در خاک یکی از روش‌های بهبود زیست بوم‌های مختلف و نقش مهمی در پایداری آنها دارد. در پژوهش حاضر تأثیر تعلیقه (سوسپانسیون) بیوچار میگو و بادمجان بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک شنی مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور نمونه‌های خاک با بافت شنی از اراضی کشاورزی اطراف بندرعباس به صورت دست نخورده در ستون‌هایی از جنس پلیکا به ترتیب با ارتفاع و قطر ۲۵ و ۲۰ cm جمع‌آوری شد. سپس تعلیقه‌های تهیه شده از بیوچار میگو (*Fenneropenaeus merguiensis*) و بادمجان (*Solanum melongena*) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه غلظت ۰، ۴ و ۸ g/l در سه تکرار به خاک اضافه و به مدت ۱۰۰ روز در شرایط رطوبتی ظرفیت زراعی و ۵۰٪ آن در نهالستان نگهداری شد. در ادامه، ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل pH، EC، N، K، Ca، Mg و Na اندازه‌گیری شد. تحلیل آماری و مقایسه میانگین داده‌ها در سطح ۵٪ بین تیمارهای مختلف بر اساس تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن انجام شد. نتایج نشان دهندهٔ تأثیر معنی‌دار بیوچار میگو و بادمجان بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شنی است. کاربرد بیوچار ضایعات میگو و بادمجان موجب افزایش معنی‌دار مقدار K، N و pH و کاهش EC ، Na و Ca نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار K مربوط به غلظت ۸ g/l بیوچار میگو و بادمجان و بیشترین مقدار N نیز مربوط به تیمار ۸ g/l بیوچار میگو بود. افزایش غلظت هر دو نوع بیوچار روند افزایشی در مقدار K و N نشان داده است. کمترین مقدار EC هم مربوط به غلظت ۸ g/l بیوچار بادمجان بود. با توجه به نتایج به دست آمده کاربرد بیوچار ضایعات میگو و بادمجان در اصلاح خاک شنی پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: بادمجان؛ میگو؛ تعلیقه؛ ویژگی‌های شیمیایی؛ ضایعات

■ مقدمه

فعالیت‌های انسانی در نواحی شهری و روستایی و افزایش جمعیت و تغییر سبک زندگی نوین و استانداردهای ناشی از توسعه اقتصادی و افزایش شهرنشینی سبب افزایش تصاعدی سرعت تولید پسماندها می‌شود (۴، ۳۴). از طرفی مدیریت نامناسب بقایای گیاهی نظیر سوزاندن کاه و کلش و بقایای آلی، باعث کاهش مواد آلی خاک و بی‌نصیب شدن از اثرگذاری مثبت مواد آلی می‌شود (۳۷، ۱۵). عوارض نامطلوب و مشکلات محیط زیستی فراوانی ایجاد می‌کند. افزودن مواد زائد جامد آلی نابالغ و ناپایدار به خاک منجر به بی‌حرکتی و عدم تعادل مواد مغذی لازم برای گیاهان و مهار رشد گیاه می‌شود (۱۹، ۳۶). استفاده از فناوری‌های بیوشیمیایی مناسب یکی از راه‌ها جهت بازیابی مواد مغذی مورداستفاده گیاهان در مزارع کشاورزی است (۳۴، ۱۰). در سال‌های اخیر استفاده از مواد زائد به‌عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک با هدف دو منظوره کاربردهای زراعی و پروژه‌های احیای خاک لحاظ می‌شود. بر این اساس، اجرای یک استراتژی مدیریتی مناسب و سازگار با محیط‌زیست برای پسماندهای جامد به‌عنوان یک نیاز فوری جهت کاهش فشار بر محیط‌زیست در سراسر جهان شناخته می‌شود (۲۶). از راهکارهای استفاده از این بقایا اعمال فرآیند پیرولیز مواد آلی و تبدیل آنها به بیوچار و یا کاربرد کمپوست به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی در کشاورزی پایدار (۹) برای بازگرداندن کربن و نیتروژن آلی به خاک و بهبود شرایط خاک (۵) به عنوان راهی مؤثر برای مدیریت ضایعات است (۲۰). در سال‌های اخیر بررسی‌های زیادی در ارتباط با تأثیر بیوچار بر رشد گیاهان انجام شده و گسترش کشاورزی ارگانیک از یک‌سو و آلودگی‌های جوی از طرف دیگر باعث شده تا استفاده از آن در سطح جهان گسترش یابد (۳). به همین منظور با توجه به شرایط، استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده جهت تأمین مواد آلی و بهبود ویژگی‌های خاک و محیط رشد گیاه در اراضی کشاورزی می‌تواند رونق زیادی پیدا کند (۲۵). قابلیت این ماده برای افزایش عملکرد خاک‌های کشاورزی غالباً وابسته به ویژگی‌های شیمیایی آن است که خود نیز تابعی از کیفیت مواد خام، دمای محیط در زمان تولید، مکانیسم و چگونگی اکسیژن‌رسانی و نیز کیفیت مواد اصلاحی به کار گرفته در خاک است (۲۳). کاربرد بیوچار می‌تواند به عنوان منبعی مستقیم برای عناصر K، Ca و P و فراهمی عناصر غذایی براثر افزودن بیوچار به خاک شود و می‌تواند pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش دهد (۱۱، ۱۸). استفاده از سطوح مختلف بیوچار اصلاح‌شده باگاس نیشکر (*Saccharum officinarum L.*) و زئولیت پتاسیمی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نشان داد که اثر دو سطح ۲ و ۵ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک در سطح ۹۵٪ بر تخلخل کل، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، کربن آلی، P قابل‌جذب، Nکل، EC، جرم مخصوص ظاهری و pH خاک معنی‌دار بوده است (۳۲، ۱۵). در پژوهش دیگر افزودن بقایای یونجه (*Medicago sativa L.*) و دو نوع بیوچار تولیدی از باگاس نیشکر و پوست گردو (*Juglans regia* L.) به تنهایی و ترکیبی با گچ و سولفات آلومینیم مورد استفاده شده و نتایج نشان داده که استفاده از بقایای آلی سبب کاهش مقدار pH و افزایش EC شده است (۲۶). کاربرد بیوچار ضایعات خرده چوب نراد به صورت اسیدی و ساده در سطوح ۲/۵ و ۵٪ به خاک با بافت لوم رسی سبب کاهش EC، نسبت جذب سدیم، میزان Na، K و Ca محلول خاک یک خاک شور سدیمی شده است (۲۹). کاربرد ضایعات میگو و ماهی بر مقدار روغن گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) اثر مثبت نشان داده و استفاده آنها به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی پیشنهاد شده است (۳۱). با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که تولید و مصرف بیوچار پتانسیل زیادی در مدیریت ضایعات گیاهی و حیوانی داشته است. همچنین با افزودن مواد اصلاحی آلی به خاک قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی و ظرفیت تولید اراضی داری محدودیت را افزایش پیدا کرده است. از طرفی قابلیت دسترسی به مواد غذایی و بهبود شرایط رشد گیاه می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر پایداری خاک و جلوگیری از تخریب (۲۲) و فرسایش خاک داشته باشد. بنابراین انجام پژوهش حاضر از این جهت اهمیت داشت که کشت گیاه بادمجان (*Solanum melongena L.*) در سطح وسیعی از اراضی استان هرمزگان ضایعات بدون

استفاده فراوانی تولید کرده که در اغلب موارد سوزانده می‌شود. از طرفی وجود پوسته میگو به عنوان ضایعات شیلاتی مناطق بندری که حدود یک‌سوم از وزن میگو را تشکیل می‌دهد و غالباً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. بنابراین تبدیل این ضایعات به مواد قابل استفاده و اصلاح کننده خاک در این مناطق لازم به نظر می‌رسد. از آن جا که مطالعه‌ای در این زمینه صورت نگرفته در پژوهش حاضر کاربرد سوسپاسیون ضایعات بادمجان و میگو در خاک‌های دارای محدودیت در شرایط طبیعی و دست‌نخورده با هدف بررسی اثر این ترکیبات بر برخی پارامترهای شیمیایی یک خاک شنی مناطق خشک مورد استفاده قرار گرفت. امید است که یافته‌های این بررسی برای اصلاح خاک‌های مناطق خشک و بیابانی مورد توجه قرار گیرد.

■ مواد و روش

نمونه‌های مورد آزمایش

در پژوهش حاضر اثر بیوچار میگو (*Fenneropenaeus merguiensis L.*) و بادمجان (*Solanum melongena L.*) بر روی نمونه‌های خاک دست نخورده با بافت شنی با مشخصات بیان شده در جدول ۱، که از اطراف بندرعباس جمع‌آوری شده مورد بررسی قرار گرفت. جهت نمونه‌برداری خاک، از لوله‌های پلیکای فشار قوی به ارتفاع ۲۵ و قطر ۲۰cm که تا ارتفاع ۲۰cm از خاک پر شده استفاده شد؛ و سپس نمونه‌های خاک تهیه شده به محل اعمال تیمارها در نهالستان باغو بندرعباس منتقل شد.

تهیه بیوچارهای مورد استفاده

ضایعات میگو و بوته‌های بادمجان جمع‌آوری شده از بازار ماهی‌فروشان و مزارع اطراف بندرعباس پس از شستشو و هوا خشک نمودن به قطعات ریز تبدیل نموده، سپس برای تولید بیوچار در شرایط با محدودیت اکسیژن در کوره الکتریکی در دمای ۴۵۰°C به مدت سه ساعت قرار گرفت. علت انتخاب دمای ۴۵۰°C به این دلیل بوده که بر اساس نتایج پژوهشگران محدوده دمایی تولید بیوچار بین دمای ۳۰۰ تا ۷۵۰°C است و در دمای کمتر از ۳۰۰°C تبدیل تمامی ضایعات مواد آلی به بیوچار انجام نمی‌شود و در دمای بالاتر از ۷۵۰°C هم عملکرد بیوچار کم می‌شود (۲۱). از آن جا که اندازهٔ ذرات بیوچار در ویژگی‌های خاک اثر گذار است (۳۲)، با توجه به هدف اولیه طرح، بیوچار تولیدی به‌وسیله آسیاب برقی، آسیاب و از الک ۰/۲۵mm عبور داده شد.

اعمال تیمارها

برای اعمال تیمار، از بیوچارهای عبور داده شده از الک ۰/۲۵mm تعلیقه‌هایی با غلظت ۴ و 8g/l در لیتر بیوچار با آب مقطر تهیه‌شده و برحسب وزن مخصوص ظاهری و مقدار تخلخل خاک به هر ستون خاک در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه غلظت ۰، ۴ و 8g/l در سه تکرار اضافه شد و به مدت ۱۰۰ روز در رطوبت بین ظرفیت زراعی تا حدود ۵۰٪ ظرفیت زراعی در نهالستان نگهداری شد. تیمارها به مدت یک ماه با پلاستیک پوشانده شدند تا تبخیر از سطح گلدان کم و شرایط رطوبتی برای واکنش پذیری ماده اصلاحی با ذرات خاک وجود داشته باشد و اثرگذاری بیوچار با ذرات خاک بیشترشود. بعد از اتمام دوره انکوباسیون و نمونه‌برداری از خاک‌های تیمار شده بعد از هوا خشک شدن و کوبیدن از الک ۲mm عبور داده شد و با عصاره گیری از گل اشباع ویژگی‌های pH ، EC، N کل با استفاده از روش کجلدال، Ca و Mg با روش تیتراسیون عصاره اشباع، K و Na با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (۲۸). برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده نرم‌افزار SPSS16 بر اساس تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ انجام شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه ویژگی‌های خاک نمونه شاهد

Texture	BD (g/cm^3)	Na (meq/l)	Mg (meq/l)	Ca (meq/l)	K (mg/kg)	N (٪)	pH	EC (ds/m)
شنی	۱/۴۹	۴/۵۳۳	۵/۵۳۳	۳۲/۰۳۳	۱۳۰	۰/۰۱۴	۸/۰۲۳	۳/۹۱۷

■ نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف آماری معنی‌دار (۱٪) بین همه ویژگی‌های مورد ارزیابی تحت تأثیر تیمارهای مختلف بیوچار (pH, EC، Ca، Mg، K، Na و N) نشان داده است (جدول ۲).

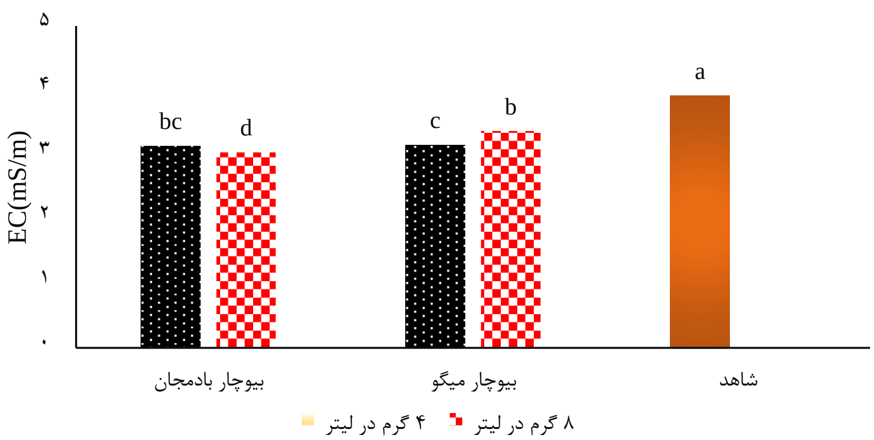
تأثیر بیوچار بر میزان هدایت الکتریکی خاک

کاربرد غلظت‌های مختلف بیوچار در همه تیمارها باعث کاهش هدایت الکتریکی (EC) شد (شکل ۱). از بین غلظت‌های مختلف مواد اصلاحی کمترین مقدار EC مربوط به تعلیقه با غلظت 8g/l بیوچار بادمجان به مقدار 3/03mS/cm بود که مقدار آن نسبت تیمار شاهد بدون هرگونه ماده اصلاحی ۲۲/۳٪ کاهش نشان داده است. این اثر کاهشی در تمامی تیمارهای بیوچار نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان داده است (شکل ۱). افزایش غلظت بین هر دو ماده اصلاحی بیوچار میگو و بادمجان روند یکسانی نشان نداده است، به‌طوری‌که در بیوچار بادمجان موجب کاهش و در بیوچار میگو روند افزایشی EC نشان داد و بین غلظت‌های مختلف بیوچار میگو و بادمجان اختلاف معنی‌دار وجود داشت. کاهش EC در خاک موردمطالعه به این دلیل است که کاربرد بیوچار در خاک مربوطه با تشکیل خاکدانه‌های پایدار سبب بهبود توزیع اندازه منافذ خاک شده (۲۲). از آنجا که در پدیده انتقال املاح فرایندهای انتقال توده‌ای، پخشیدگی و انتشاری موثر است. عواملی مثل ویژگی‌های هندسی منافذ، شیب غلظتی محلول و تغییرات میکروسکوپی سرعت جریان در منافذ در انتقال املاح نقش داشته (۱) و کاربرد تعلیقه بیوچار در ابتدای آزمایش به مقدار حجم منفذی ستون خاک و افزودن آب در دورهٔ آزمایش موجب انحلال و انتقال نمک و کاهش شوری خاک شده است. در همین زمینه بررسی‌های انجام شده توسط برخی از محققان نشان داده که افزودن بیوچار کمپوست مرغی به خاک در طول زمان دو سال موجب کاهش شوری خاک شده است (۱۶). در بررسی مشابه دیگر نیز استفاده از تعلیقه بیوچار میگو و بادمجان در خاک شنی آلوده به فلز سنگین کادمیم در شرایط ستون خاک مقدار هدایت الکتریکی خاک کاهش داده است (۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس میانگین برخی ویژگی‌های شیمیایی تحت تأثیر بیوچار میگو و بادمجان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		pH	EC	Mg	Ca	K	N	Na
تیمار	۴	**۰/۰۷۹	**۰/۳۷۵	**۰/۹۵۴	**۲۸/۸۷۵	**۲۷۴/۲۶۷	**۰/۰۰۰۰۶	**۱/۱۵۷
خطا	۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۱۱۸	۱/۲۵۳	۵/۵۳۳	**۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۱۳۲
ضریب تغییرات		۰/۵۴	۱/۶۴۵	۶/۴۲	۳/۹۲	۱/۶۱	۰/۰۲۳	۱۰/۳۸

ns,*,** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱٪



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف غلظت بیوچار بر هدایت الکتریکی خاک

افزایش شوری خاک در اثر کاربرد بیوچار نیز توسط برخی از محققین گزارش شده است (۲۴، ۶، ۳۳). در مطالعه دیگرکاربرد بیوچار نراد در غلظت ۲/۵ و ۵٪ سبب کاهش شوری در خاک با بافت لوم رسی شده است (۲۸). که با مطالعه حاضر همخوانی داشت. در برخی از مطالعات دیگر نیز کاربرد بیوچار در شرایط شوری آب و خاک اثر منفی شوری در رشد گیاه کاهش داده و رشد گیاه را بهبود بخشیده است (۱۳، ۳۵) که بررسی کاربردهای جدید بیوچار را برای کاهش تأثیر شوری در خاک‌های کشاورزی، شهری و آلوده پیشنهاد می‌شود.

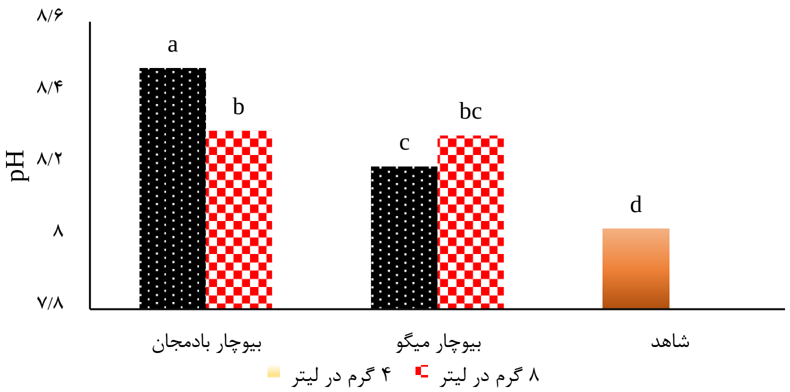
تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر pH خاک

کاربرد غلظت‌های مختلف بیوچار میگو و بادمجان موجب افزایش معنی‌داری ($P<0.05$) مقدار pH خاک نسبت به شاهد شد (شکل ۲). بیشترین مقدار pH خاک مربوط به بیوچار 4g/l بادمجان ۸/۴۷ بود که تفاوت معنی‌داری ($P<0.05$) با تمامی تیمارهای مورداستفاده داشته است. افزایش غلظت تعلیقه در بیوچار بادمجان موجب کاهش معنی‌دار مقدار pH شده در حالی‌که در بیوچار میگو افزایش اندکی نشان داده هر چند این تغییرات معنی‌دار نبوده است.

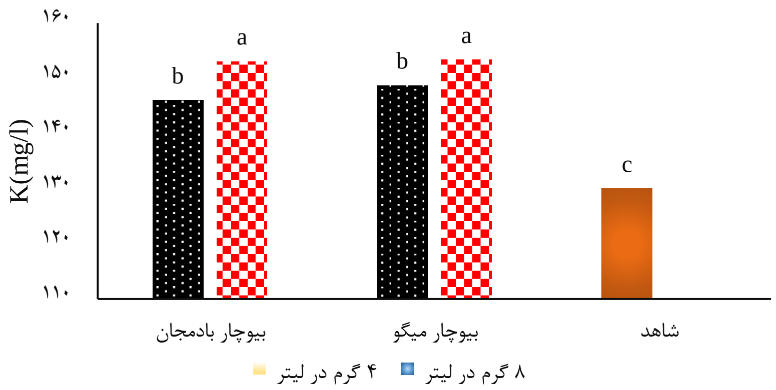
از طرفی بین غلظت‌های مشابه بیوچار بادمجان و میگو فقط در غلظت 4g/l اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است. بررسی‌ها نشان داده که pH بیوچار اثر مستقیم بر pH خاک دارد؛ و به شرایط دمایی و نوع ماده‌ای که بیوچار از آن تهیه شده بستگی مستقیمی دارد. عامل دیگر برای افزایشpH حضور بارهای منفی مثل گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل بر روی سطح بیوچار است (۱۲). از طرفی غلظت ترکیبات هم می‌تواند بر مقدار pH اثر داشته باشد. از آنجا که خاک شنی خاصیت بافری کمی دارد بنابراین کاربرد بیوچار pH خاک را افزایش داده است. مطالعات انجام شده برخی از پژوهشگران نیز حاکی از تغییر فعالیت میکروارگانیسم‌های درون خاک به علت افزایش pH خاک در اثر کاربرد بیوچار است (۸، ۱۴). علاوه بر این در بررسی‌های مشابه در رابطه با افزودن انواع بیوچارهای ضایعات گیاهی نظیر ذرت (*Zea mays L.*)، بلوط (*Quercus brantii L.*)، اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis L.*)، ضایعات چمن (*Poa trivialis L.*) و کودهای دامی به خاک pH خاک را افزایش داده است (۷، ۱۵).

تأثیر نوع و سطوح مختلف بیوچار بر مقدار پتاسیم خاک

کاربرد سطوح مختلف بیوچار در همه تیمارها مقدار K خاک افزایش داده است (شکل ۳)؛ و بیشترین مقدار K خاک مربوط به تعلیقه با غلظت 8g/l بیوچار میگو و بادمجان بود که نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارها افزایش معنی‌داری ($P<0.05$) نشان داده است. به‌طوری‌که نسبت به شاهد ۱۸٪ افزایش داشته است. با افزایش غلظت تعلیقه بیوچار میگو و بادمجان از ۴ به 8g/l مقدار K محلول خاک به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. با این‌حال بین غلظت‌های مشابه هر دو نوع بیوچار تفاوت معنی‌داری بین مقدار k خاک مشاهده نشده است (شکل ۳).



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف غلظت بیوچار بر pH خاک (مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ ٪ اختلافی ندارند)

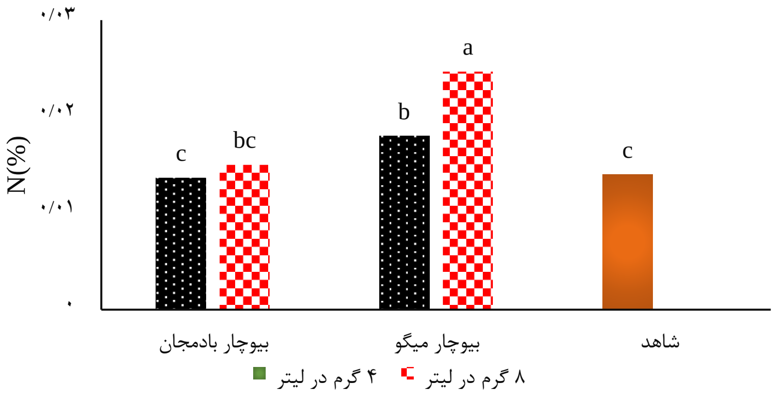


شکل ۳. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر مقدار پتاسیم محلول خاک (مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلافی ندارند)

افزایش مقدار K به‌عنوان یک عنصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه مناطق خشک و خاک‌های دارای بافت شنی با افزودن بیوچار ضایعات میگو و بادمجان می‌توان به‌عنوان یک مزیت مواد اصلاحی در نظر گرفت که سبب افزایش مقاومت در برابر تنش‌های خشکی در مناطق خشک و بیابانی می‌شود. افزایش K خاک در حضور بیوچار توسط سایر پژوهشگران نیز تایید شده است. در این زمینه کاربرد بیوچار کاه و کلش گندم در یک خاک با بافت لوم شنی شور و همراه با کشت گندم، در پایان برداشت گندم مقدار K خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزودن بیوچار کاه کلش گندم به خاک مقدار K خاک افزایش یافته است(۲۹). در پژوهش دیگر نیز اثر کاربرد بیوچارهای حاصل از کاه گندم، کاه ذرت و سبوس برنج در خاک آهکی با بافت لوم رسی بررسی شد که در این حالت نیز مقدار K خاک افزایش پیدا کرده است (۲۳). در مطالعه دیگر کاربرد بیوچار خرده نراد سبب کاهش K محلول خاک و بیوچار نراد اسیدی سبب افزایش K محلول یک خاک لوم رسی شده است (۲۹).

تأثیر نوع و سطوح مختلف بیوچار بر مقدار N خاک

نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد تعلیقه بیوچار میگو و بادمجان بر مقدار N خاک نشان داده است که افزودن بیوچار ضایعات میگو سبب افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) مقدار N خاک نسبت به تیمار شاهد بدون هرگونه ماده اصلاحی شده است. درحالی‌که بیوچار بادمجان تأثیری بر مقدار N خاک نشان نداده است. بیشترین مقدار N خاک مربوط به تعلیقه 8g/l بیوچار میگو است که افزایش ۷۱٪ نسبت به تیمار شاهد نشان داده و تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با تمامی تیمارهای اصلاحی داشت (شکل ۴).

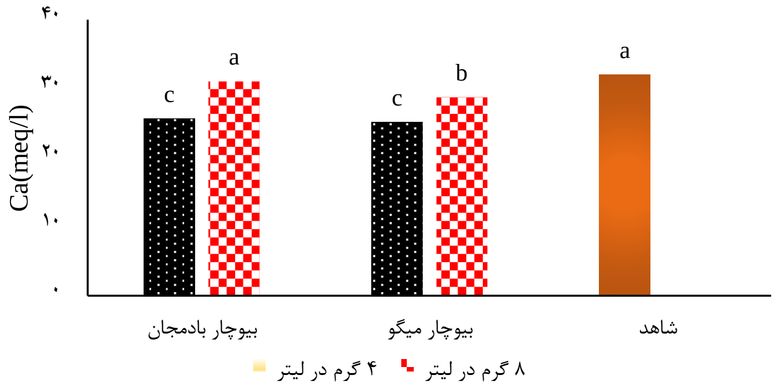


شکل ۴. تأثیر سطوح مختلف غلظت بیوچار بر مقدار N خاک (مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلافی ندارند)

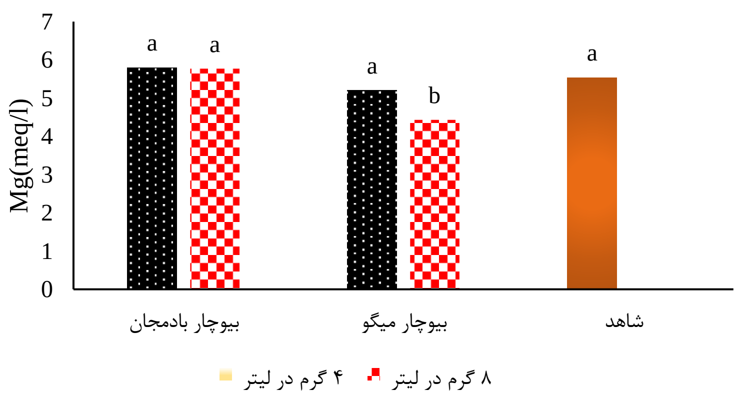
مقایسه غلظت‌های مشابه ۴ و ۸g/l دو نوع بیوچار نشان داده است که بیوچار میگو به ترتیب افزایش ۳۲ و ۶۴٪ نسبت به تعلیقه بیوچار بادمجان از نظر مقدار N نشان داده است (شکل ۴). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده‌ی سایر مطالعات کاربرد بیوچار باگاس نیشکر نیز سبب افزایش N در خاک شده است (۶). در مطالعه حاضر نیز در در تیمار بیوچار میگو این افزایش بیشتر بوده است؛ از آنجا که مواد آلی به‌عنوان منبع بارزی جهت فراهمی نیتروژن موردنیاز میکروارگانیسم‌های موجود در خاک و تأمین نیاز گیاهی این مناطق محسوب می‌شود، استفاده از بیوچار در اصلاح خاک‌های مناطق خشک و بیابانی که دارای مواد آلی و درنتیجه N کمی هستند ارزشمند است.

تأثیر نوع و سطوح مختلف بیوچار بر مقدار Ca و Mg خاک

نتایج مقایسه میانگین کاربرد سطوح مختلف بیوچار بر مقدار Ca و Mg خاک مورد مطالعه نشان داده که در همه تیمارها مقدار Ca خاک کاهش داده است (شکل ۵)؛ و غلظت ۴g/l بیوچار میگو و بادمجان کمترین مقدار Ca خاک داشته‌اند؛ که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با سایر تیمارها و تیمار شاهد (۳۲meq/l) نشان داده است (شکل ۵). بااین‌حال افزایش غلظت از ۴ به ۸g/l در هر دو بیوچار بادمجان و میگو با افزایش غلظت تعلیقه مقدار Ca محلول خاک افزایش معنی‌داری نشان داده است (شکل ۵). کاربرد غلظت‌های مختلف بیوچار میگو و بادمجان روند یکنواختی در مقدار Mg خاک نشان نداده است به‌طوری‌که اثر تعلیقه بیوچار بادمجان در هر دو غلظت مقدار Mg افزایش پیدا کرده است. هر چند این افزایش نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبوده درحالی‌که با افزایش غلظت بیوچار میگو مقدار Mg خاک کاهش پیدا کرده است؛ و در غلظت ۸g/l بیوچار میگو نسبت به تیمار شاهد از نظر آماری کاهش معنی‌دار ۱۷٪ نشان داده است (شکل ۶).



شکل ۵. تأثیر سطوح مختلف غلظت بیوچار بر مقدار Ca خاک



شکل ۶. تأثیر سطوح مختلف غلظت بیوچار بر مقدار Mg خاک (مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ ٪ اختلافی ندارند)

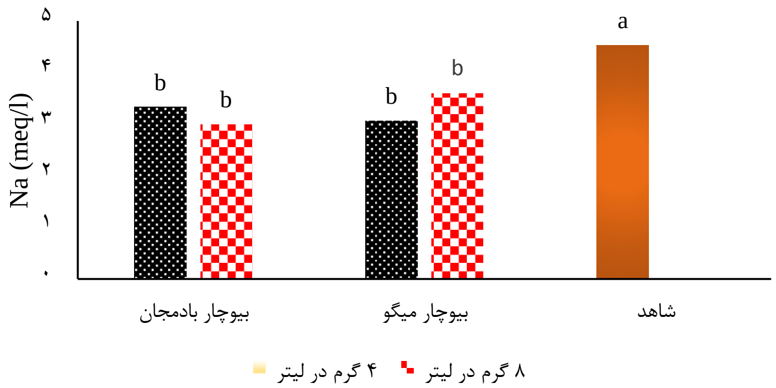
در مجموع به نظر می‌رسد افزایش بیوچار میگو و بادمجان سبب کاهش Ca شده است. در همین زمینه کاربرد پوسته میگو به خاک مقدار Ca و Mg خاک را افزایش داده است (۱۶) که با مطالعه انجام شده هم‌خوانی نداشته است. به نظر می‌رسد تغییر شکل ساختار میگو از حالت معمولی به بیوچار موجب تغییر شرایط عناصر غذایی شده است. از طرفی تغییر شرایط انجام طرح از وزنی به تعلیقه نیز در این حالت می‌تواند نقش داشته باشد و دلایل بیان شده در رابطه با فرایندهای انتقال املاح در بحث هدایت الکتریکی در این جا نیز صادق است.

تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر میزان Na خاک

کاربرد غلظت‌های مختلف بیوچار در همه تیمارها موجب کاهش مقدار Na خاک نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۷). کمترین مقدار Na خاک مربوط به تعلیقه 8g/l بیوچار بادمجان است؛ که مقدار Na محلول خاک را به میزان ۳۲/۷٪ کاهش داده است. بیشترین مقدار Na خاک مربوط به تیمار شاهد بدون هرگونه ماده اصلاحی بود که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با تمامی تیمارهای اصلاحی داشت (شکل ۷). از طرفی بین غلظت‌های مختلف تعلیقه بیوچارهای میگو و بادمجان هیچ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ مشاهده نشده است. از آنجا که در پدیده انتقال املاح فرایندهای انتقال توده‌ای، پخشیدگی و انتشار موثر است. عواملی مثل ویژگی‌های هندسی منافذ، شیب غلظتی محلول و تغییرات میکروسکوپی سرعت جریان در منافذ در انتقال املاح نقش داشته و کاتیونهای تک ظرفیتی ضریب انتشار بیشتری دارند(۱). کاربرد تعلیقه بیوچار در ابتدای آزمایش به مقدار حجم منفذی ستون خاک و افزودن آب در طی دوره آزمایش سبب آبشویی و کاهش مقدار Na خاک شده است. دلیل دیگری که می‌توان برای این موضوع بیان کرد ذرات بیوچار موجود در خاک به دلیل ساختار متخلخل خاص خود و وجود گروه‌های عاملی دارای بار منفی و سطح ویژه بالا (۶) با توجه به بافت شنی مورد مطالعه با افزایش جذب Na محلول توسط بارهای منفی بیوچار سبب کاهش مقدار Na محلول در شرایط مورد مطالعه شده است. در بررسی مشابه دیگر در رابطه با کاربرد بیوچار نراد اسیدی در خاک لوم رسی مقدار Na محلول خاک کاهش داده است (۲۹).

■ نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی کاربرد بیوچار ضایعات میگو و بادمجان در خاک مورد مطالعه موجب تغییرات ویژگی‌های اندازه‌گیری شده است. به‌طوری‌که موجب افزایش قابل‌توجه K، N و pH و کاهش EC، Na و Ca شده است. بیوچار میگو از نظر مقدار افزایش نیتروژن خاک ارجحیت بیشتری نسبت به بیوچار بادمجان داشته است و مقدار pH خاک کاهش بیشتری نسبت به بیوچار بادمجان داشته است. کاربرد هر دو نوع بیوچار به علت بهبود شرایط ساختاری آبشویی املاح را افزایش داده و مقدار Ca، Na و به دنبال آن هدایت الکتریکی خاک را کاهش داده است.



شکل ۷. تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر مقدار سدیم خاک (مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ ٪ اختلافی ندارند)

بر اساس بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت تولید و استفاده از بیوچار به عنوان یک فناوری مطمئن در بهبود خاک به عنوان محل رشد گیاهان در مناطقی که دارای مشکل هستند مورد استفاده قرار داد و تا حدودی موجب حاصلخیزی خاک و بهبود شرایط رشد گیاهان شد. از طرفی از گسترش مواد زائد که سبب آلودگی محیط زیست می‌شود نیز جلوگیری کرد.

■ References

1. Abbasi, F. (2015). *Advanced Soil Physics*. University of Tehran Press. Tehran, Iran, 320 pp. (in Farsi)
2. Alavi, Saber. (2022). *Effect of biochar suspension from fishery and agricultural wastes on some vegetative characteristics and concentration of heavy metals in Sporobolus arabicus in a soil contaminated with metals.* Master's. Thesis. Hormozgan of University. (in Farsi)
3. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T., & Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot-grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica Chinensis*). *Agronomy*, *3*(2), 404-418. Doi: 10.3390/agronomy3020404
4. Chen, P., Xie, Q., Addy, M., Zhou, W., Liu, Y., Wang, Y., Cheng, Y., Yanling, C., & Ruan, R. (2016). Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. *Bioresource Technology*, *215*, 163–172. Doi: 10.1016/j.biotech.2016.02.94
5. Choudhary, M., Panday, S.C., Meena, V.S., Singh, S., Yadav, R.P., Mahanta, D., Mondal, T., Mishra, P.K., Bisht, J.K., & Pattanayak, A. (2018). Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on sustainability and chemical soil quality indicators of soybean-wheat cropping system in the Indian mid-Himalayas. *Agriculture Ecosystems Environment*. *257*, 38–46. Doi: 10.1016/j.agee.2018.01.029
6. Divband Hafshejani, L., Naseri, A., Hooshmand, A., Abbasi, F., & Soltani Mohammadi, A. (2017). Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil. *Irrigation Sciences and Engineering*, *40*(1), 63-72. Doi: 10.22055/JISE.2017.12667. (in Farsi)
7. Fang, J., Gao, B., Chen, J., & Zimmerman, A. R. (2015). Hydro-chars derived from plant biomass under various conditions, Characterization, and potential applications and impacts. *Chemical Engineering Journal*, *267*, 253–259. Doi: 10.1016/j.cej.2015.01.026
8. Farrell, M., Kuhn, T.K., Macdonald, L.M., Maddern, T.M., Murphy, D.V., Hall, P.A., Singh, B.P., Baumann, K., Krull, E.S., & Baldock, J.A. (2013). Microbial utilisation of biochar-derived carbon. *Science of the Total Environment, 465*, 288–297. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.03.090
9. Gai, X., Liu, H., Liu, J., Zhai, L., Wang, H., Yang, B., Ren, T., Wu, S., & Lei, Q. (2019). Contrasting impacts of long-term application of manure and crop straw on residual nitrate-N along the soil profile in the North China Plain. *Science of the Total Environment*, *650*, 2251–2259. Doi: 10.1016/j.scitoteny.2018.09.275
10. Garg, V., Kaushik, P., & Dilbaghi, N. (2006). Vermi conversion of wastewater sludge from textile mill mixed with anaerobically digested biogas plant slurry employing *Eisenia foetida*. *Ecotoxicology Environmental Safety, 65*(3), 412–419. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2005.03.002
11. Guiley, A., Mousavi, A.A., & Kamgar Haghighi, A.A. (2016). Effect of Cattle Manure Biochar and Drought Stress on the Growth characteristics and Water Use Efficiency of Spinach under Greenhouse Conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, *30*(2), 243-259. (in Farsi)

12. Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physico Chemical Properties and Microbial Responses in Biochar-amended Soils: Mechanisms and Future Directions. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, *206*, 46-59. Doi: 10.1016/j.agee.2015.03.015

13. Huang, M., Zhang, Z., Zhu, C., Yaming Zhai, Y., & Lu, P. (2019). Effect of biochar on sweet corn and soil salinity under conjunctive irrigation with brackish water in coastal saline soil. *Scientia Horticulturae*, *250*, 405-413. Doi: 10.1016/j.scienta.2019.02.077

14. Iren, O., & Ediene, V. (2021). Soil pH and Microbial Properties as Affected by Integrated Use of Biochar, Poultry Manure, and Urea. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *24*(1), 90-98. Doi: 10.3923/pjbs.2021.90.98

15. khadem, A., Raeisi, F., & Besharati, H. (2017). Review of Biochar Effects on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties. *Land Management Journal*. *5*(1), 13-30. (in Farsi). Doi: 10.22092/lmj.2017.113291

16. Lara Mártez, J., and Acosta, N. (1992). Shrimp shell amendment, soil fertility, and tomato growth. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, *76*(1), 21–27. Doi: 10.46429/jaupr.v76i1.4117

17. Lashari, M.S., Liu, Y., Li, L., Pan, W., Fu, J., Pan, G., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., & Yu, X. (2013). Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. *Field Crops Research*, *144*, 113-118. Doi: 10.1016/j.fcr.2012.11.015

18. Mahmoodian Choplou, A., Niknahad Gharmakher, H., & Yousefi, H. (2020). Biochar production from peach trees pruned foliage and its qualitative properties at different temperatures, *Journal of Water and Soil Conservation*, *27*(3), 105-124. (in Farsi). Doi: 10.22069/JWSC.2020.17476.3294

19. Malinska, K., Gola´ nska, M., Caceres, R., Rorat, A., Weisser, P., & Sl˛ezak, E. (2017). Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge—The effect of biochar on the activity of Eisenia fetida and the obtained vermicompost. *Bioresource Technology*, *225*, 206–214. Doi: 10.101/j.biortech.2016.11.049

20. Marezi, M., Farahbakhsh, M., & Kheial, S. (2016). Kinetics and Isotherm of Nitrate Sorption from Aqueous Solution Using Biochar, *Water and Soil Science*, *26*(1-1), 145-158. (in Farsi)

21. Miri, F., & Zamani babgohari, J. (2020). Effects of pyrolysis temperatures on some properties of Biochar of pistachio waste. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture)*, *43*(1), 87-101. (in Farsi). Doi: 10.22055/AGEN.2020.31328.1514

22. Moshtagh R, Moradi N., & Gholam H. (2022). Investigation of the role of biochar from eggplant plant residues and shrimp waste on some soil stability characteristics. *Environmental Erosion Research*, *12* (1), 1-17. (in Farsi)

23. Najafi Ghiri, M., and Boustani, H. (2017). Effect of application of crop and licorice root residues and their biochars on potassium status of a calcareous soil, *Journal of Water and Soil Conservation*, *24*(3), 77-93. (in Farsi). Doi: 10.22069/JWST.2017.12722.2741.

24. Najafi-Ghiri, M. (2015). Effect of Different Biochars Application on Some Soil Properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil, *Iranian Journal of Soil Research*, *29*(3), 352-358. (in Farsi). Doi: 10.22092/ILSR.2014.103501

25. Nevo, E., and Chen, G. (2010). Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell and Environment*, *33*(4), 670-685. Doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.2107.x

26. Noori Z, Delavar M A., & Safari Y. (2021). Applying Biochar and Mineral Amendments to Remediate the Chemical Properties of a Saline-Sodic Soil. *Water Soil Science*, *24* (4),21-36. Doi: 10.47176/jwss.24.4.41391

27. Oliveira, L.S., Oliveira, D.S., Bezerra, B.S.; Pereira, B.S., & Battistelle, R.A.G. (2017). Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. *Journal of Cleaner Production*, *155*, 229–237. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.08.093

28. Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). Methods of soil Analysis, Part 2, second edition, *American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, USA*, 1159p.

29. parichehre, M., SadeghZadeh, F., Behmanyar, M., & Ghajar Sepanlu, M. (2017). Effects of Rice Straw and Dicer Biochars on Chemical Characteristics of Clay-Loam, Saline-Sodic Soil. *Water and Soil Science*, *27*(4), 49-61. (in Farsi)

30. Rezaie, N., Razzaghi, F., Sepaskhah, A., & Moosavi, S. (2018). Effect of biochar and irrigation water salinity on soil chemical properties after wheat harvest. *Water and Soil Conservation*, *25*(4), 291-305. (in Farsi). Doi: 10.22069/JWSC.2018.14807.2987.

31. Salehi, M., & Safaiee, M. (2019). 'The effect of applying organic fertilizer with fish and shrimp origin on some quantitative and qualitative traits of *Carthamus tinctorius* L. *Crop Production*. *11*(4), 135-146. (in Farsi). Doi: 10.22069/EJCP.2019.14716.2106

32. Shaabani Roofchaee A, Abrishamkesh S, Shabanpour Shahrestani M, & Fazeli Sangani M. (2020). Effect of olive kernel biochar suspension on physical properties and loss of an erosion-prone soil. *Environmental Erosion Research*. *10* (3),74-95. (in Farsi)

33. Soltani Mohammadi, A., khodarahmi, Y., boroomand nasab, S., & Nasseri, A. (2019). Evaluation of Modified biochar and Zeolite Effect on Some Physical and Chemical Properties of loamy Soil, *Water and Soil Resources Conservation*, *8*(4), 87-102. (in Farsi)

34. Soobhany, N. (2019). Insight into the recovery of nutrients from organic solid waste through biochemical conversion processes for fertilizer production: A review. *Cleaner Production*., *241*, 118413. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118413

35. Thomas, S.C., Frye, S., Gale, Nigel., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., Melamed, S., Murray, J., Petroff, A., & Winsborough, C. (2013). Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Environmental Management*, *129*, 62-68. Doi: 10.1016/j.jenvman.2013.05.057

36. Wang, Q., Wang, Z., Awasthi, M.K., Jiang, Y., Li, R., Ren, X., Zhao, J., Shen, F., Wang, M., & Zhang, Z. (2016). Evaluation of medical stone amendment for the reduction of nitrogen loss and bioavailability of heavy metals during pig manure composting. *Bioresource. Technology*. *220*, 297–304. Doi: 10.1016/j.biortech.2016.08.081

37. Zhang, L., and Sun, X. (2014). Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology*, *171*, 274-284. Doi: 10.1016/j.biortech.2014.08.079

Original Article, Vol. 10, No. 4, Winter, 2023, pp 93-108

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Investigating the Relationship Between Dust Storm Index and Some Climatic Parameters, Vegetation Index and Land Form Types (Yazd-Ardakan Plain)

P. Kamali[1], M. Tazeh[2], S. Kalantari[3*], M. Fehresti[4], A. Jebali[5]

1. MSc of Desert management and control, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan. Iran.
2. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
4. Assistant Professor, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
5. Postdoctoral researcher, Environmental and Desert Studies School, Yazd University, Yazd, Iran.

* Corresponding Author: skalantari@ardakan.ac.ir

Received date: 14/02/2023 **Accepted date: 20/03/2023**

doi 10.22034/JDMAL.2023.1989675.1407

Abstract

Dust is one of the most important atmospheric phenomena, which has attracted the attention of many scientists as an emergent phenomenon. Current research has studied trend of the number of dust days and its relation to climatic parameters and vegetation index from 2005 to 2017 in the Yazd-Ardakan plain. The DSI was computed for the two meteorological stations at Yazd and Meybod. By classifying the two Landsat 7 and 8 satellite images, the land form/cover maps, including agricultural lands, urban, mantled pediments, covered pediment and erg have been prepared. The NDVI layer was then computed in two classes for the Landsat 7 and 8 satellites. The class area was calculated for all levels of the region and also within two buffers of 10 and 20 km at the center of stations Yazd and Meybod. The relationship between the climatic parameters, including annual average temperature, annual average precipitation and annual average relative humidity, was then calculated. Finally, the relationship between dust index and land form types, NDVI layer and climatic parameters has been investigated. The results showed that the relationship between the DSI and the erg type is direct, but there is an inverse relation with the mantled pediments, covered pediment and agricultural land. Based on the results obtained, urban lands have little effect on the dust storm index. By comparing the DSI with the NDVI, with the increase in the region's dust storm index, the NDVI values for all levels decreased. By comparing the DSI with the climatic parameters, with the decrease in annual average precipitation and relative humidity and the increase in annual average temperature, the dust Storm index increased.

Keywords: Dust; Landsat; Image classification; Buffer

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۹۳ تا ۱۰۸

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

بررسی رابطهٔ شاخص غبارناکی با برخی از متغیرهای اقلیمی، شاخص پوشش گیاهی و تیپ‌های اراضی (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان)

پریسا کمالی[۱]، مهدی تازه[۲]، سعیده کلانتری[۳*]، مسعود فهرستی[۴]، عاطفه جبالی[۵]

۱. کارشناس ارشد مدیریت کنترل و بیابان، گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۲. دانشیار گروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۳. استادیارگروه طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۴. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۵. پژوهشگر پسادکتری، دانشکده منابع‌طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: skalantari@ardakan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۹

doi 10.22034/JDMAL.2023.1989675.1407

چکیده

گردوغبار یکی از مهم‌ترین پدیده‌های اتمسفری رایج در مناطق خشک و نیمه خشک است که طی دههٔ اخیر مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. پژوهش حاضر، تعداد روزهای گردوغبار و رابطهٔ آن با ویژگی‌های اقلیمی، پوشش گیاهی و تیپ‌های اراضی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی، واقع در منطقه دشت یزد-اردکان مورد بررسی قرار داده است. شاخص غبارناکی منطقه مورد مطالعه در دو ایستگاه هواشناسی یزد و میبد، محاسبه و با طبقه‌بندی تصاویر دو ماهواره لندست ۷ و ۸ در سال‌های مذکور، نقشهٔ تیپ‌های اراضی در واحدهای کاری اراضی زراعی، اراضی شهری، دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده و ارگ، تهیه شد، سپس لایه NDVI در دو طبقه، برای ماهواره های لندست ۷ و ۸ محاسبه شد. مساحت طبقات برای تمام سطوح منطقه و همچنین در دو حریم ۱۰ و ۲۰ Km به مرکز ایستگاه‌های یزد و میبد، محاسبه گردید. در گام بعد رابطهٔ متغیرهای اقلیمی شامل میانگین دما، بارش و رطوبت نسبی سالانه محاسبه و در پایان رابطهٔ بین شاخص غبارناکی با تیپ اراضی، لایه NDVI و متغیرهای اقلیمی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که رابطهٔ بین شاخص DSI با تیپ ارگ مستقیم، ولی با تیپ‌های دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده و اراضی زراعی رابطه عکس دارد. طبق نتایج به‌دست آمده، تیپ اراضی شهری بر روی شاخص غبارناکی دارای تأثیر چندانی نیست. در بررسی شاخص DSI با شاخص NDVI با افزایش شاخص غبارناکی منطقه، مقادیر NDVI برای تمام سطوح کاهش یافته است. رابطه متغیرهای اقلیمی با شاخص DSI نیز نشان داد که با کاهش میانگین بارش سالانه و رطوبت نسبی و افزایش دمای میانگین، شاخص غبارناکی افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: بافر؛ طبقه‌بندی تصاویر؛ گرد و غبار؛ لندست

■ مقدمه

توفان گردوغبار، یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی است که جایگاه ویژه‌ای نزد پژوهشگران دارد. شناسایی مکان‌های گردوغبار و نمایش وقایع توفان درمدل‌های عددی، کلیدی برای برآورد تأثیر گردوغبار بر محیط و جامعه است (۱). این فرایند پیچیده، ناشی از تعامل بین ویژگی‌های خاک، گردش هوا و فعالیت‌های انسانی است که در پایان موجب ایجاد گردوغبار می‌شود. پدیده‌های انتقال و فرونشست گردوغبار و پیچیدگی‌های زمانی و مکانی آن، در مدل مفهومی پیشنهادی مک‌تانیش به‌خوبی بررسی شده است. طبق این مدل در ابتدا با تغییر الگوی فصلی در منبع تولید اولیه، باعث تولید گردوغبار شده و سپس انتقال آن در جهت باد می‌باشد و با کاهش سرعت باد فروکش می‌کند (۱۰). امکان دارد رسوب اولیه با افزایش فعالیت‌های انسانی و سرعت باد، تحت تأثیر تغییرات ثانویه واقع شود و در جهت باد منتقل گردد و ذرات ریزتر به‌عنوان رسوب ثانویه فرونشیند. به‌طور کلی می‌توان گفت که نرخ فرونشست گردوغبار به تعامل متغیرهای مختلف جوی مانند باد، رطوبت نسبی، بارندگی و دما بستگی دارد (۱۴).

در پژوهشی با تحلیل توفان‌های گردوغبار استان سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص DDI[1] و DSI[2] و متغیرهای سرعت باد و دید افقی، اقدام به بررسی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد و دید افقی در ایستگاه همدیدی زابل شد. نتایج نشان داد که در بازهٔ زمانی ۲۷ ساله، منطقهٔ سیستان نسبت به سایر مناطق ایران وضعیت بحرانی‌تری از غبارناکی را دارد (۱۲). در تحقیقی دیگر در بررسی توزیع مکانی و دسته‌بندی شاخص توفان‌های گردوغبار با استفاده از گشتاور خطی، اقدام به محاسبه این شاخص در ۴۴ ایستگاه کشور شد که براساس نتایج، از منظر شاخص توفان‌های گردوغبار، کشور به ۶ منطقهٔ همگن تقسیم گشت. نتایج نشان داد برای گروه‌های همگن ۱، ۴، ۵ و ۶ تابع پیرسون ۳ و برای گروه‌های همگن ۲ و ۳، تابع لجستیک تعمیم‌یافته، به‌عنوان بهترین تابع توزیع منطقه‌ای است (۱۵). نتایج بررسی روند داده‌های مشاهده‌ای ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۴، برای بررسی وضعیت تغییرات توفان‌های گردوغبار در ایران، نشان داد، روند گردوغبار با دما، تبخیر و بارش همبستگی دارد، ولی با ارتفاع و ژئومورفولوژی همبستگی ندارند (۱۳). در بررسی تغییرات پدیده گردوغبار در شمال چین یک شاخص جدید به نام DSE[3] با در نظرگرفتن عوامل مختلف که شامل سرعت و جهت باد می‌باشد، تعریف شد و همچنین برای مشخص شدن کارآیی آن با شاخص DSF[4] مقایسه نمودند. نتایج نشان داد بین شاخص‌های DSE و DSF در توصیف ویژگی‌های منطقه‌ای گردوغبار تفاوت وجود دارد و شاخص DSE کارآیی بهتری دارد (۲۰). در بررسی مدل‌سازی انتشار گردوغبار در شمال چین، به‌منظور شناسایی رابطهٔ گردوغبار با انواع پوشش‌های زمین، محققان اقدام به طراحی مدل فرسایش بادی نمودند. با توجه به داده‌های پوشش زمین و تصاویر سنجندهٔ مودیس، میزان انتشار گردوغبار درمناطق طبیعی بیشتر از مناطق انسانی به دست آمد (۶). در پژوهشی، مدلی مفهومی برای ارزیابی قطر ذرات گردوغبار مؤثر با استفاده از تفاوت دمای باندهای مادون قرمز در ماهوارهٔ متئوست درآسیای غربی ارائه شد. نتایج نشان داد این مدل در ارائه داده‌های مرجع مستقل برای مدل‌های غبار جوی، پیش‌بینی پدیدهای گردوغبار، کارآیی لازم را دارد (۲). محققان در بررسی توفان‌های گردوغبار براساس مشاهدات زمینی و ماهواره‌ای، سازگاری مناسبی بین عمق نوری[5] با استفاده از سنجندهٔ مودیس و اندازه‌گیری داده‌های جمع‌آوری شده توسط پایگاه شبکه رباتیک زمینی در کویت بدست آوردند (۱۷).

علم سنجش از دور امروزه کاملاً در اختیار شاخه‌های مختلف علوم قرار گرفته و می‌توان، آن را یک ابزار قوی و کارآمد برای تولید داده‌های مکانی نامید. درنتیجه با بهره‌گیری از این فنآوری، با صرف زمان و هزینه کمتر، می‌توان پروژه‌های متعددی را در سطوح ملی، منطقه‌ای و جهانی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ

---

[1] Dusty Days Index
[2] Dust Storm Index
[3] Dust Storm Event
[4] Dust Storm Frequency
[5] Aerosol Optical Depth

داده‌های ماهواره‌ای به فاصلهٔ زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را به خوبی برای بشر فراهم ساخته است (۲۱). در این پژوهش قابلیت داده‌های ماهواره‌ای موجب شده، روند پدیده گردوغبار قابل شناسایی شود. همچنین با مقایسه شاخص غبارناکی و نتایج داده‌های ماهواره‌ای پدیدهٔ گردوغبار و تغییرات اقلیمی و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده، می‌توان به بررسی روند این پدیده و متغیرهای مؤثر در آن پرداخت. هدف از پژوهش حاضر تعیین تعداد روزهای گردوغبار در بازهٔ زمانی مورد مطالعه و همچنین بررسی ارتباط فراوانی گردوغبار با متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی است. همچنین روابط و تغییرات متغیرهای اقلیمی و تعداد روزهای گردوغبار مورد ارزیابی و پایش قرار گرفت. از آنجا که پوشش گیاهی نیز تابعی از تغییرات شرایط اقلیمی می‌باشد، تأثیرگذاری این متغیر نیز در فرسایش بادی و گردوغبار بررسی شد.

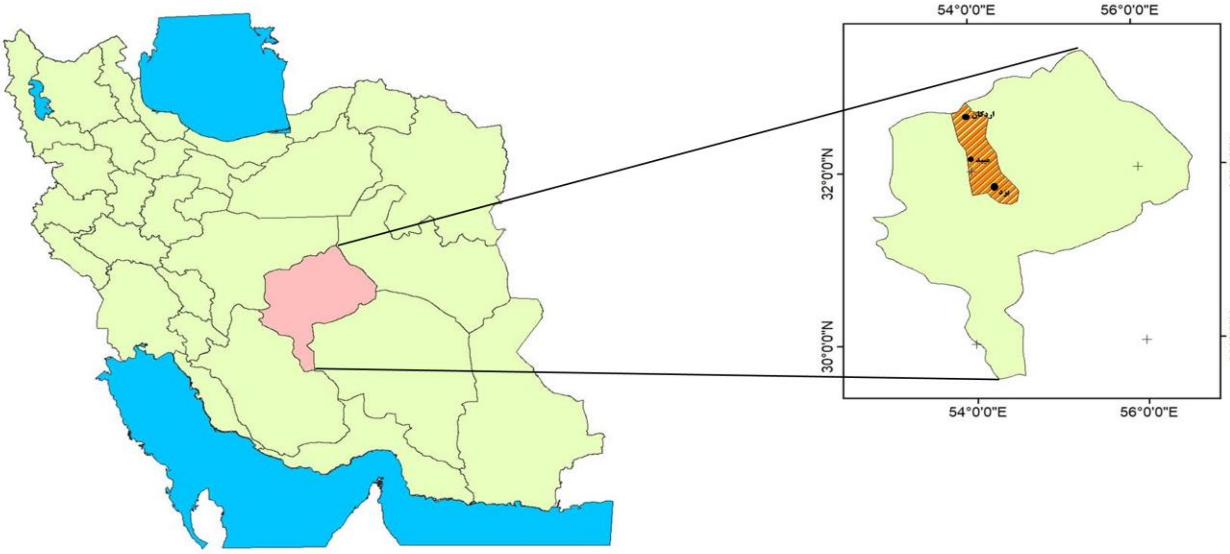
■ مواد و روش

منطقهٔ مورد بررسی

منطقهٔ مورد مطالعه واقع در دشت یزد-اردکان در طول جغرافیایی '۱۵ °۵۳ تا '۵۰ °۵۴ شرقی و در عرض جغرافیایی '۱۵ °۳۱ تا '۱۵ °۳۲ شمالی، با مساحت تقریبی ۲۱۹۹Km واقع شده‌است. این دشت یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان یزد از دیدگاه منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی به‌شمار می‌رود و شهرهای یزد، تفت، اردکان، میبد، اشکذر و مهریز را در بر می‌گیرد و به وسیلهٔ رشته کوه‌های شیرکوه در جنوب، کوه هنگران و مرغ زرد در غرب، کوه‌های هفت آدمین و خونزا در شرق کوه چک‌چک محصور شده‌است (شکل ۱).

تعاریف

ارزیابی شاخص DSI روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است. این شاخص ترکیبی از سه نمایه است که عبارتند از: رویدادهای گردوغبار محلی[1](LDE)، توفان‌های گردوغبار متوسط[2] (MDS) و توفان‌های گردوغبار شدید[3] (SDS)، که بر مبنای تعداد دفعات ثبت کدهای پدیدهٔ گردوغبار در ایستگاه‌های همدیدی، براساس کاهش میدان دید نسبت به‌عوامل مختلف، محاسبه شده‌است. براساس محاسبات سازمان هواشناسی استرالیا[4]، معیار تعریف پدیده‌های توفان گردوغبار، براساس میدان دید شناسایی می‌شود (۲۲،۱۵).



شکل ۱. محدودهٔ مورد بررسی

[1] Local Dust Events
[2] Moderate Dust Storms
[3] Severe Dust Storms
[4] Australian Bureau of Meteorology

$$DSI = \sum_{i=1}^{n}[(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)] \quad (۱)$$

که در آن:

DSI : شاخص توفان‌های گردوغبار در n ایستگاه، که در آن‌ها رویداد گردوغبار در یک بازهٔ زمانی مشخص مشاهده و ثبت شده است، مدت زمان یک دورهٔ نرمال، یک سال است اما می‌تواند چند ماه در یک سال هم باشد.

SDS: روزهای توفانی با گردوغبار شدید، مجموع کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۳۳-۳۴-۳۵، دید افقی کمتر از ۲۰۰m.

MDS: روزهای توفانی با گردوغبار میانگین، مجموع کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۰۹-۳۰-۳۱-۳۲-۹۸، دید افقی بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰m.

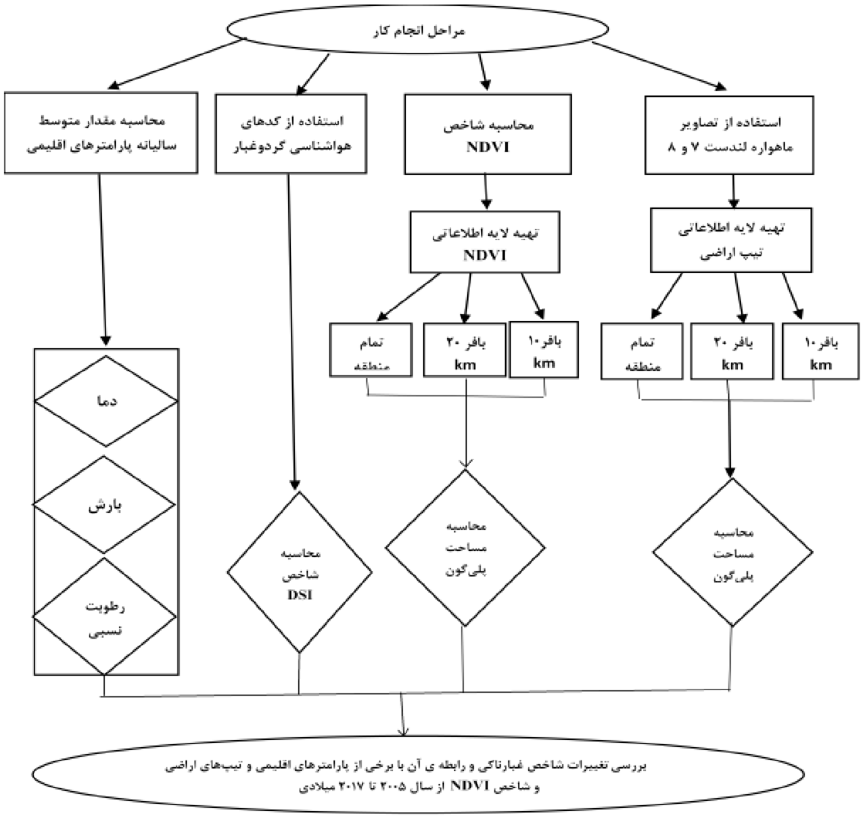
LDE: روزهای با گردوغبار محلی، مجموع کدهای گردوغبار حداکثر روزانه ۰۷-۰۸، دید افقی بیشتر از ۱۰۰۰m.

روش کار

انجام پژوهش حاضر در چند بخش به شرح ذیل و مطابق شکل ۲ انجام گرفت.

تهیه لایه اطلاعاتی تیپ اراضی

تهیه لایه اطلاعاتی تیپ‌های اراضی موجود در منطقهٔ مورد مطالعه ملزم به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی آن می‌باشد، برای این کار، تصاویر ماهوارهٔ لندست ۷ و ۸ در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و جولای از پایگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) در محدودهٔ مورد مطالعهٔ دشت یزد-اردکان با فرم ۳۸-۱۶۲ در زون ۴۰ از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی انتخاب شد. انتخاب تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای تاریخ، فیلترهای ابرناکی و کیفیت بصری تصاویر بود. در گام بعد رفع خطای SLC ماهوارهٔ لندست۷ صورت گرفت. نرم‌افزار ENVI قابلیت رفع خطای SLC ماهواره‌لندست۷ را داراست به همین منظور برای افزایش بازدهٔ کار باید اقدام به رفع این خطا نمود که از اکستنشن Landsat-gapfill استفاده شد. سپس تصویر رنگی کاذب ایجاد شد که از تلفیق باندهای مختلف به‌دست می‌آید.



شکل ۲. فلوچارت انجام کار

انتخاب این باندها بر مبنای وضوح بیشتر براساس مشاهدات بصری می‌باشد که برای تمام سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی ایجاد شد. در مرحله بعد به‌منظور مطالعهٔ بهتر تصاویر رنگی کاذب بر روی محدودهٔ مورد نظر برش داده شد و در ادامه برای ایجاد دقت بیشتر در این محدوده و تمرکز بیشتر بر روی اراضی که مستعد فرسایش بادی هستند، قسمت اراضی کوهستان حذف شد. در گام بعد طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در پنج طبقه تیپ اراضی صورت گرفت. این بخش با استفاده از ابزار Classification Work flow در نرم‌افزار ENVI، طبقه‌بندی نظارت‌شده بر روی FCC برش داده شده در ۵ طبقه تیپ اراضی که شامل دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده، ارگ، اراضی زراعی و اراضی شهری با ایجاد نمونه‌های تعلیمی متعدد برای هر کدام از تیپ‌ها انجام گرفت. به‌منظور کاهش خطا در انجام محاسبات و افزایش مفهوم مشاهدات بصری تصاویر طبقه‌بندی شده، اقدام به ادغام پلی‌گون‌های بسیار کوچک یعنی کمتر از $۲۵۰۰۰m^2$ با تیپ‌های مجاور شد تا خطاهای مربوطه در فرایند محاسباتی برطرف گردد و در گام آخر مساحت تیپ‌های اراضی برای تمام تصاویر طبقه‌بندی شده محاسبه شد.

ایجاد بافر ۱۰ و ۲۰km

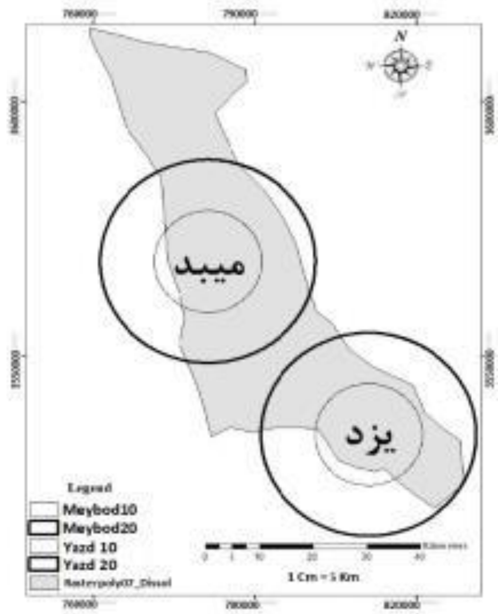
از آن‌جا که اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای و در محل ایستگاه می‌باشد، بافرهای ۱۰ و ۲۰km در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی یزد و میبد، برای بررسی تیپ اراضی و تغییرات آن ترسیم شد (شکل ۳) و سپس تأثیر تیپ‌ها و تغییرات آن در محدوده مذکور بر روی شاخص‌های غبارناکی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

رابطهٔ مساحت تیپ‌های اراضی و شاخص DSI

به‌منظور بررسی رابطهٔ بین مساحت تیپ‌های اراضی و شاخص DSI کل منطقه و همچنین برای افزایش اطمینان و دقت بیشتر از پروژهٔ مطالعاتی از ابزار بافر به مرکز هر کدام از ایستگاه‌ها استفاده شد. سپس از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی نمودار رسم شد و براساس خط برازش داده شده هر دو نمودار نقش پدیده گردوغبار بر روی هر تیپ اراضی مشخص شد.

رابطهٔ بین شاخص طوفان‌های گردوغبار با متغیرهای اقلیمی

داده‌های مربوط به متغیرهای بارش، دما و رطوبت‌نسبی از دو ایستگاه هواشناسی سینوپتیک یزد و میبد اخذ شد (۸). سپس برای تمام سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی میانگین بارش، دما و میانگین رطوبت‌نسبی در مقیاس سالانه محاسبه شد و برای هر کدام از متغیرهای اقلیمی با شاخص DSI، نمودار رسم شد.



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه همراه با حریم ۱۰ و ۲۰km ایستگاه‌های هواشناسی یزد و میبد

رابطهٔ بین شاخص طوفان‌های گردوغبار با شاخص NDVI

به‌منظور کاهش اثر عوامل ناخواسته مانند تأثیرات توپوگرافی، بازتاب پوشش‌های سنگی، خاک لخت و افزایش اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی می‌توان حداقل دو باند را باهم ترکیب نموده و شاخص پوشش گیاهی ایجاد نمود. هدف از ایجاد این شاخص آن است که برخی از ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر خصوصیات تاج پوشش، بیومس (زیست‌توده)، تولید، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی پیش‌بینی و ارزیابی شود. از معروف‌ترین شاخص‌های گیاهی، شاخص NDVI یا شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده[1] می‌باشد که فرمول آن به‌صورت زیر است (۲۲):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \qquad (۲)$$

NDVI: شاخص تفاوت پوشش‌گیاهی نرمال‌شده، NIR: محدودهٔ مادون قرمز، Red: محدودهٔ قرمز

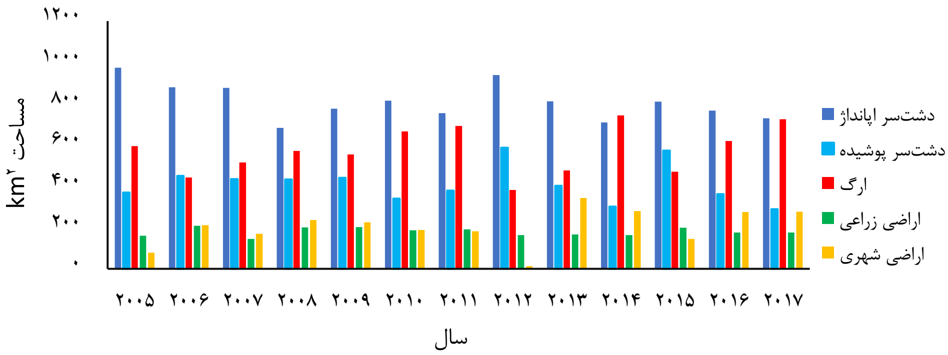
به‌منظور ساخت لایهٔ NDVI، ابتدا می‌بایست بر روی تمام تصاویر ماهواره‌ای منتخب، تصحیح خطاهای رادیومتریک و اتمسفریک صورت گیرد. نرم‌افزار ENVI دارای این قابلیت می‌باشد که پس از ورود فایل در محیط این نرم‌افزار با استفاده از دو ابزار Radiometric Calibration و Quick Atmospheric Correction به‌ترتیب اقدام به تصحیح خطاهای رادیومتریک و اتمسفریک نماید، درنتیجه با استفاده از ابزار NDVI می‌توان لایهٔ نام‌برده را ساخت. در نهایت برای داده‌های مربوط به شاخص NDVI در لندست ۷ دو بازه ۱ تا ۰/۱۵ و ۰/۱۵ تا ۱- اما داده‌های مربوط به لندست ۸ به دو طبقه ۱ تا ۰/۱۵ و ۰/۱۷ تا ۱- طبقه‌بندی گشت. باید ذکر نمود که علت انتخاب بازه‌های عددی مذکور این است که در شاخص NDVI به طور کلی بازهٔ ۱- تا ۰ پدیده‌های آب، ۰ تا ۰/۱ پدیدهٔ خاک و بازهٔ ۰/۱ تا ۱ پدیده‌های مربوط به پوشش گیاهی را مشخص می‌کند، لازم به ذکر است که گاهی اوقات پدیده‌های خاکی در بازهٔ ۰ تا ۰/۱ یا حتی ۰ تا ۰/۲ نمایان است.

■ نتایج و بحث

تیپ‌های اراضی منطقه

بعد از تهیه نقشه تیپ اراضی، مساحت تیپ‌ها در بازه زمانی مورد بررسی برآورد و نمودار مساحتی آن ترسیم شد.

تغییرات مساحت تیپ اراضی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در شکل ۴ نشان داده شده است که در مجموع دو تیپ دشت‌سر اپانداژ و اراضی زراعی با کاهش مساحت، اما دشت‌سر پوشیده، ارگ و اراضی شهری با افزایش مساحت روبرو است. با این وجود در بازهٔ زمانی بررسی شده نوساناتی در مساحت تیپ‌های مختلف اراضی مانند تیپ ارگ، اراضی مسکونی و غیره مشاهده شد. بخشی از این نوسانات در مساحت تیپ‌های در سال‌های مختلف ناشی از خطای طبقه‌بندی به‌دلیل تشابه بالای انعکاس‌های طیفی خاک در تیپ‌های ارگ، دشت‌سرها و اراضی مسکونی بود؛ و بخشی دیگر به‌دلیل تغییر در سطح پوشش گیاهی منطقه در طی سال‌های مختلف بود. به‌طوریکه با کاهش سطح پوشش گیاهی واقع در محدودهٔ دشت‌سرها و یا سایر تیپ‌ها بر مساحت تیپ دیگر افزوده شد و بالعکس.



شکل ۴. مساحت تیپ‌های اراضی منطقه

[1] Normalized Difference Vegetation Index

تیپ‌های اراضی در بافرهای ۱۰ و ۲۰Km

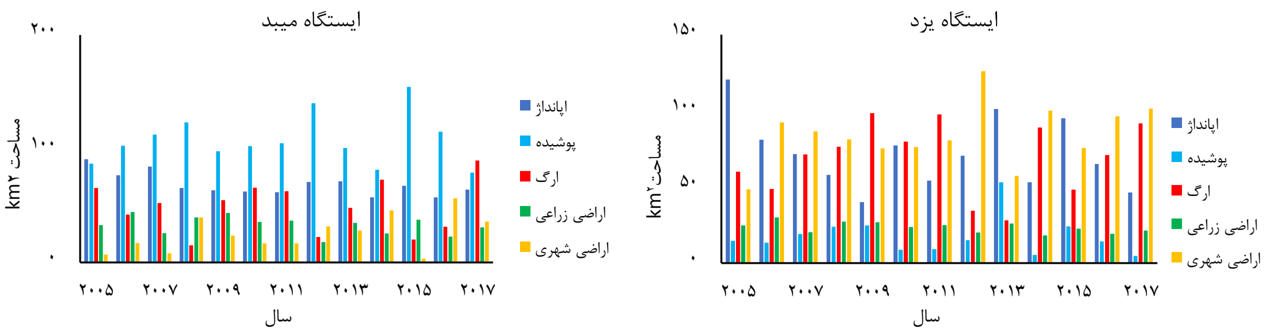
از آن‌جا که نمی‌توان تأثیر تغییرات تیپ اراضی را بر روی شاخص غبارناکی محاسبه کرد، لذا این تغییرات در بافرهای ۱۰ و ۲۰Km در مجاورت ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی قرارگرفت. وضعیت تیپ اراضی و تغییرات مساحت آنها، در بافرهای ۱۰Km در ایستگاه هواشناسی یزد و میبد از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در ایستگاه یزد با استفاده از مشاهدات بصری می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر مساحت تیپ‌های اراضی دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده و اراضی زراعی کاهش یافته، اما اراضی شهری و ارگ با افزایش مساحت مواجه است. اما در ایستگاه میبد براساس محاسبات صورت گرفته، مساحت اراضی دشت‌سر اپانداژو اراضی زراعی کاهش یافته، اما دشت‌سر پوشیده، ارگ و اراضی شهری افزایش مساحت را در پی داشته است.

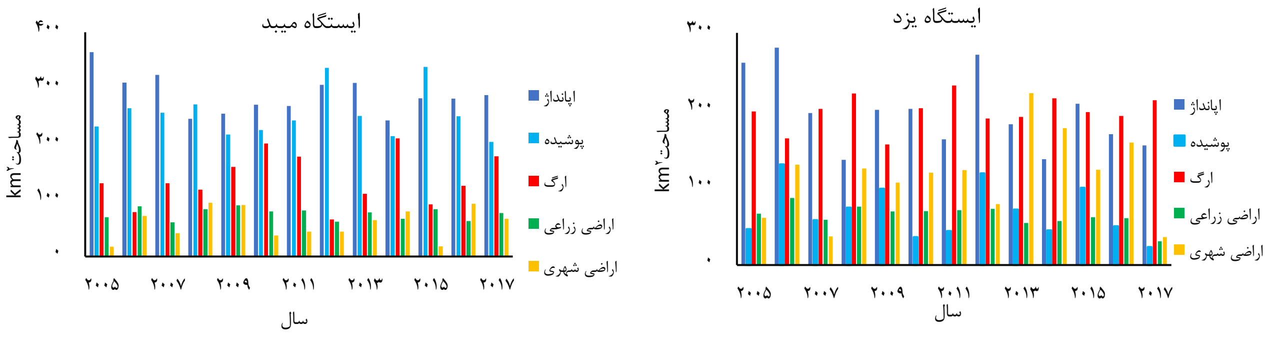
مقادیر استخراج شده تیپ‌های اراضی در بافر ۲۰Km ایستگاه یزد و میبد در سال‌های مذکور در شکل ۶ آمده است که در ایستگاه یزد نشان‌دهندۀ کاهش مقادیر دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده و اراضی زراعی و افزایش مساحت ارگ و اراضی شهری می‌باشد و مساحت تیپ‌های اراضی شهری، ارگ و دشت‌سر پوشیده افزایش، اما اراضی زراعی و دشت‌سر اپانداژ در ایستگاه میبد، کاهش یافته است.

رابطۀ بین نمودارهای شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی

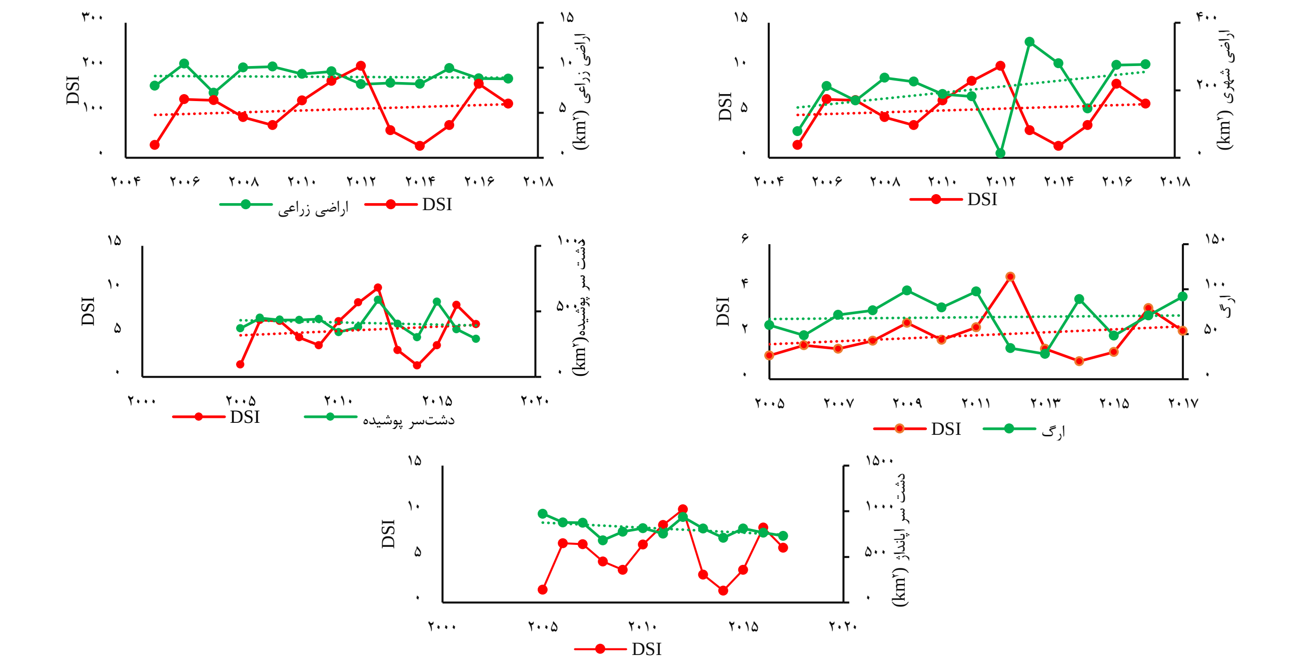
افزایش سطوح شهری و توسعه فیزیکی مناطق شهری عملاً موجب کاهش سطوح فرسایش‌پذیری شده است (شکل۷). نمودار ارائه شده نشان می‌دهد که با افزایش سطح اراضی شهری مقدار شاخص غبارناکی نیز اضافه شده است. اما در عمل و در واقعیت چنین چیزی بالعکس بوده و انتظار بر آن است که با افزایش سطوح شهری و کاهش سطوح در معرض فرسایش بادی شاخص غبارناکی نیز کاهش یابد. علت این تناقض را می توان به دو عامل نسبت داد. یکی اینکه عواملی مهم‌تر و تأثیرگذارتر از تغییرات سطح شهری در منطقه وجود داشته و تأثیر آنها غالب بر تأثیر توسعه اراضی شهری بوده است و دوم اینکه توسعۀ شهری به‌ویژه در نواحی حومه موجب تردد و بهم ریختگی خاک و ایجاد شیار در سطح منطقه شده و به‌خصوص ایجاد کننده جاده‌های خاکی و محل تخلیه نخاله‌ها بوده است.



شکل ۵. نمودار مساحت تیپ‌های اراضی در حریم ۱۰km ایستگاه یزد و میبد



شکل۶. نمودار مساحت تیپ‌های اراضی در حریم ۲۰km ایستگاه یزد و میبد



شکل ۷. رابطهٔ بین نمودارهای شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی

با توجه به دو نمودار مساحت اراضی زراعی و شاخص طوفان‌های گردوغبار کل منطقه، رابطه تغییرات شاخص غبارناکی با مساحت اراضی زراعی معکوس می‌باشد. بنابراین کاهش سطح اراضی زراعی و باغات، تغییر تیپها به سایر موارد و یا رها شدن این مناطق و تبدیل آن به زمین‌های بایر باعث افزایش فرسایش بادی و شاخص DSI می‌شود. براساس دو نمودار شاخص طوفان‌های گردوغبار و مساحت ارگ کل منطقه، رابطه بین این دو متغیر از نوع مستقیم است. به‌عبارتی افزایش سطح ارگ‌ها باعث بیشتر شدن طوفان‌های گردوغبار شده است، البته این افزایش یک رابطه دو طرفه می‌باشد. نمودار شاخص غبارناکی کل منطقه حالت صعودی داشته اما خط برازش داده شده نمودار مساحت دشت‌سر پوشیده به حالت نزولی است. لازم به ذکر است در نگاه اولیه، کاهش سطح اراضی دشت‌سر پوشیده که معمولاً از مناطق مستعد فرسایش بادی است، انتظار کاهش غبارناکی را همراه دارد، ولی در عمل کاهش سطح آن همراه با افزایش شاخص‌های غبارناکی بوده است. بدین‌ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های غبارناکی عملاً با کاهش سطوح دشت‌سر پوشیده همبستگی نداشته و یا ارتباطی با این سطوح ندارد. بر اساس مشاهدات دو نمودار شاخص DSI و مساحت دشت‌سر اپانداژ در کل منطقه می‌توان به این نتیجه رسید که خط برازش‌داده شده نمودار مساحت دشت‌سر مربوطه کاهشی بوده در حالی‌که این خط روند در مورد نمودار شاخص غبارناکی به حالت افزایشی است.

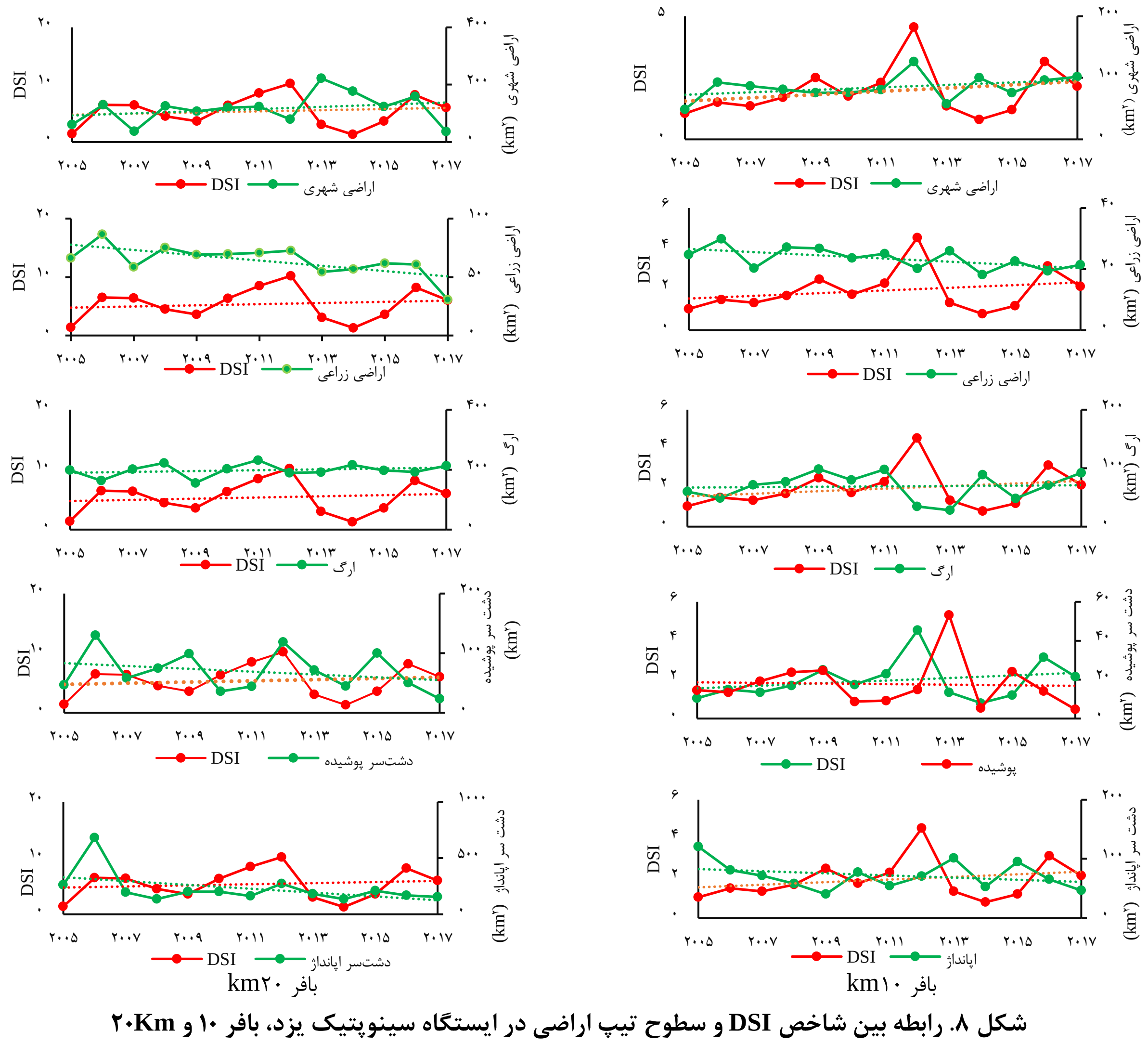
رابطهٔ بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه یزد، بافر ۱۰ و ۲۰Km

رابطهٔ بین متغیر شاخص طوفان‌های گردوغبار با مساحت اراضی شهری در بافر ۱۰Km حالت صعودی دارد، یعنی با افزایش مناطق شهری میزان غبارناکی منطقه نیز افزایش می‌یابد، اما در مورد این تیپ اراضی در بافر ۲۰km افزایش سطوح شهری و توسعه فیزیکی آن باعث کاهش میزان فرسایش‌پذیری آن گشته است. یکی از دلایل این امر می‌تواند توسعهٔ شهری به‌ویژه در نواحی حومه باشد که موجب تردد و بهم ریختگی خاک و ایجاد شیار در سطح منطقه شده است. به‌خصوص اینکه ایجاد کننده جاده‌های خاکی و محل تخلیه نخاله ها بوده است. تغییرات شاخص غبارناکی و اراضی زراعی در هر دو بافر دارای رابطه معکوس است. به عبارتی کاهش سطح اراضی و باغات، تغییر کاربری آن به سایر کاربری‌ها و یا رها شدن این مناطق و تبدیل آن به اراضی بایر باعث افزایش میزان غبارناکی منطقه می‌شود، زیرا پوشش‌گیاهی عاملی مهم در جهت کاهش یا جلوگیری

از فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار است و این نوع تیپ عامل بیولوژیکی مهمی در کنترل فرسایش بادی و مقابله با آن به حساب می‌آید. با توجه به نمودارهای شاخص غبارناکی و مساحت ارگ در هر دو بافر، رابطهٔ بین آن‌ها از نوع مستقیم است. این مناطق خود نوعی اراضی مستعد در جهت افزایش طوفان‌های گردوغبار هستند. به عبارتی رابطه این دو متغیر از نوع دو طرفه است. زیرا وجود نهشته‌های این مناطق، خود عاملی در جهت افزایش طوفان‌های گردوغبار و شاخص DSI منطقه تلقی می‌شوند.

در هر دو بافر نتایج رابطهٔ بین متغیرهای شاخص طوفان‌های گردوغبار و دشت‌سر پوشیده، نشان می‌دهد تغییرات این دو متغیر ارتباط معکوس دارند. زیرا بر اساس مشاهدات بصری تصاویر ماهواره‌ای، بیشترین درصد دشت‌سر پوشیده در سال ۲۰۰۵ به مرور زمان به علت نزدیک بودن به اراضی شهری تغییر کاربری داده و ازآن به عنوان کارخانجات، تأسیسات، مجتمع‌های کاشی نزدیک شهر استفاده شده است. باید ذکر نمود که پیش‌بینی کاهش سطح اراضی دشت‌سر پوشیده و شاخص غبارناکی معکوس انتظارات بوده است، درنتیجه می‌توان گفت که کاهش سطوح دشت‌سر پوشیده همبستگی با شاخص DSI ندارد.

تغییرات شاخص DSI با مساحت دشت‌سر اپانداژ در هر دو بافر معکوس بوده، با توجه به اینکه شیب موجود این دشت دو تا پنج درصد می‌باشد و نوع قرارگیری آبراهه‌ها به حالت موازی است، افزایش شدت تبخیر در فصول گرم کاهش چسبندگی ذرات خاک و رسوبات را به همراه دارد، در نتیجه باعث از بین رفتن بستر اصلی دشت‌سر اپانداژ می‌گردد که افزایش شدت فرسایش بادی در منطقه را به همراه خواهد داشت. نمودارهای مربوطه در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸. رابطه بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه سینوپتیک یزد، بافر ۱۰ و ۲۰Km

رابطهٔ بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه میبد، بافر ۱۰ و ۲۰Km

رابطهٔ بین طوفان‌های گردوغبار و مساحت اراضی شهری در هر دو بافر، حالت صعودی داشته است. از آنجایی که انتظارات بر این است که افزایش مناطق شهری، کاهش فرسایش‌پذیری را به همراه داشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط غبارناکی خارج از منطقه به آن تحمیل می‌شود، از طرفی این نوع تیپ خود دلیلی بر کاهش فرسایش بادی است، درنتیجه افزایش شاخص طوفان‌های گردوغبار تابعی از تغییر سطوح اراضی شهری نیست.

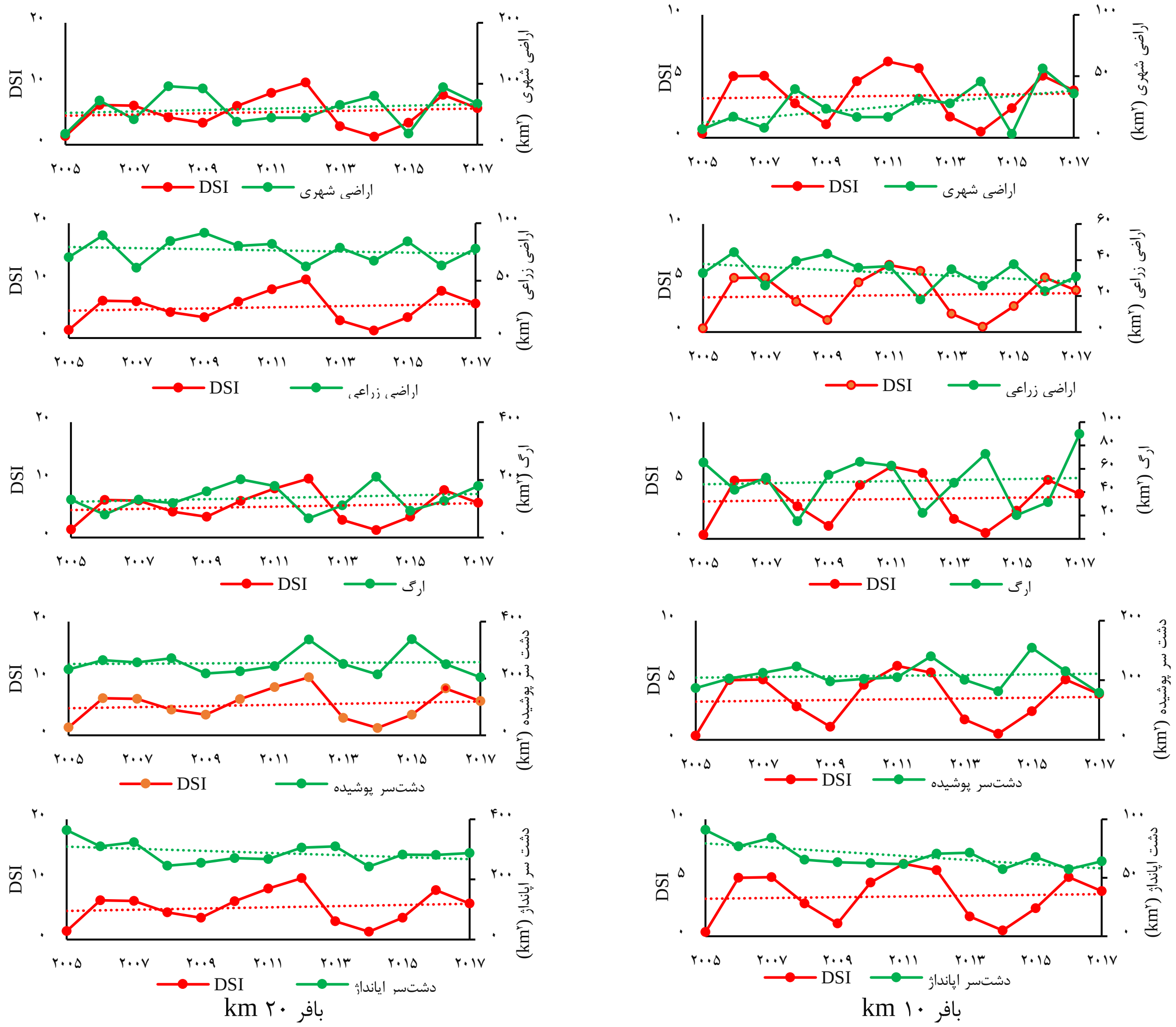
نتایج مربوط به نمودار شاخصDSI و مساحت اراضی زراعی در هر دو بافر بدین صورت می‌باشد که رابطه بین این دو متغیر از نوع معکوس است و نشان از این است که کمبود پوشش گیاهی در منطقه منجر به افزایش طوفان‌های گردوغبار و فرسایش بادی می‌گردد.

در هر دو بافر و با توجه به نمودار شاخص طوفان‌های گردوغبار و مساحت ارگ، رابطه بین این دو متغیر از نوع مستقیم می‌باشد. بنابراین نوعی رابطه دو طرفه بین دو متغیر برقرار است و به دلیل واقع شدن این منطقه در مرحله دوم فرسایش بادی یعنی مرحلهٔ ترانزیت و همچنین وجود تپه‌های ماسه‌ای و نهشته‌های ماسه‌ای بادپناهٔ، خود دلیلی بر بیشتر شدن شدت طوفان‌های گردوغبار شده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه بین دو متغیر مساحت دشت‌سر پوشیده و شاخص طوفان‌های گردوغبار در هر دو بافر و مطابق با پیش‌بینی‌های انجام شده، از نوع مستقیم می‌باشد، زیرا این منطقه واقع در کانال باد میبد است و مستعد فرسایش است. از طرفی تبخیر شدید، رطوبت ناچیز درون ماسه‌ها و خشک شدن خاک باعث از بین رفتن چسبندگی ذرات خاک در این مناطق شده که در نهایت طوفان‌های توأم با گردوغبار را بوجود می‌آورد. بر اساس مشاهدات در هر دو بافر این ایستگاه رابطهٔ معکوس بین شاخص غبارناکی و مساحت دشت‌سر اپانداژ برقرار است. نمودارهای مربوط به این بخش در شکل ۹ نمایش داده شده است.

رابطهٔ بین شاخص DSI و متغیرهای اقلیمی

نتایج این مبحث نشان می‌دهد که رابطه بین دو شاخص غبارناکی منطقه و میانگین دمای سالانه از نوع مستقیم می‌باشد. بیشتر شدن میزان دمای منطقه بخصوص در ماه‌های گرم، باعث کم‌شدن رطوبت موجود در بین ذرات خاک گشته که در نهایت موجب از هم پاشیده شدن آن می‌گردد و با وزش باد در منطقه باعث حمل ذرات خاک توسط باد و سرانجام فرسایش بادی می‌شود (۳).

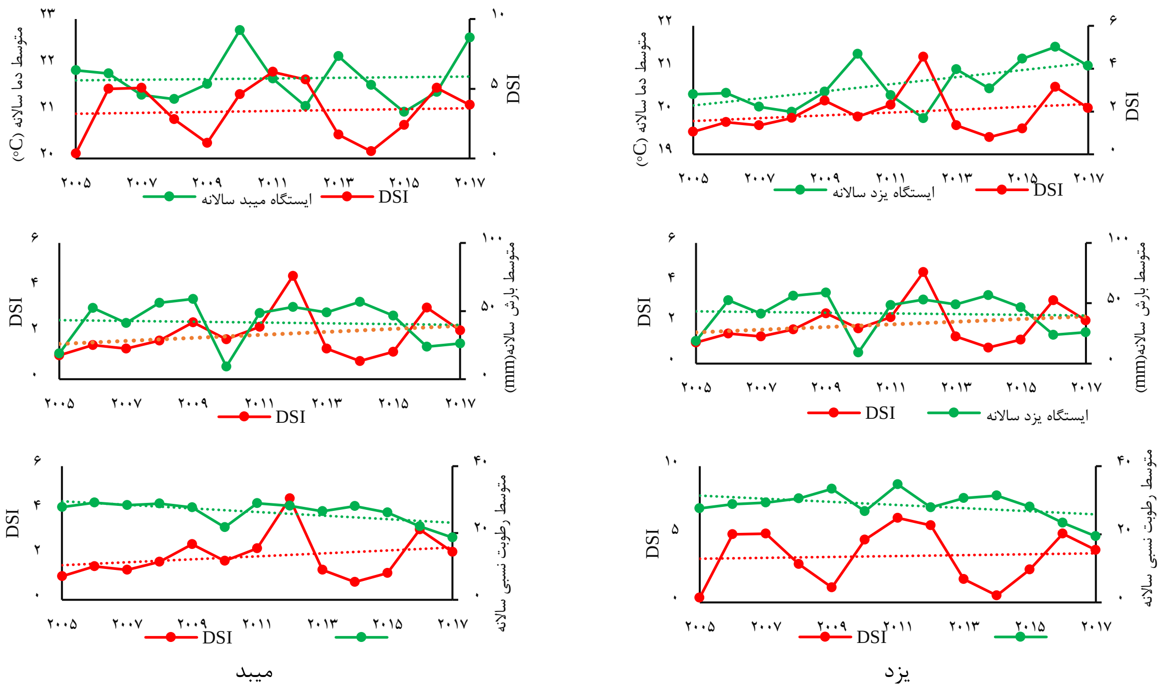
با توجه به دو نمودار شاخص DSI و میانگین بارش سالانه، رابطه بین این دو از نوع معکوس می‌باشد. لیکن هرچه میزان ریزش نزولات جوی کمتر، مقدار شاخص طوفان‌های گردوغبار بیشتر می‌شود. لازم به ذکر است که اقلیم حاکم بر منطقه از نوع گرم و خشک می‌باشد که باعث تبخیر شدید رطوبت موجود خاک شده و در نهایت موجب از بین رفتن نیروی چسبندگی بین ذرات خاک می‌گردد و در نتیجه با وزش بادهای فرساینده و غالب، فرسایش بادی رخ می‌دهد. بررسی شاخص غبارناکی منطقه با متغیر میانگین رطوبت‌نسبی سالانه، نشان‌دهنده این است که رابطه بین هر دو از نوع معکوس است. زیرا کمبود رطوبت برابر با خشکی هوای منطقه می‌باشد و از طرفی گرمای حاکم باعث تبخیر شدید و کم‌شدن چسبندگی رسوبات خاک گردیده و بستر را برای فرسایش بادی مهیا می‌کند. در حالی‌که رابطه بین دو شاخص غبارناکی منطقه و میانگین دمای سالانه از نوع مستقیم است. براساس دو نمودار شاخص طوفان‌های گردوغبار و میانگین بارش سالانه خط برازش داده شده هر دو نمودار همان‌طور که قابل مشاهده است، به یکدیگر بسیار نزدیک هستند. بنابراین نمی‌توان در این بازه زمانی نتیجه‌گیری قطعی برای آن بدست آورد. ارتباط بین طوفان‌های گردوغبار با متغیر میانگین رطوبت‌نسبی سالانه از نوع معکوس است. زیرا با کاهش رطوبت نسبی منطقه و وجود گرمای حکم‌فرما بر آن باعث تبخیر آب موجود میان ذرات خاک گردیده، که این خود علتی موجه برای توضیح از هم پاشیده‌شدن ذرات خاک است. در نتیجه وزش باد موجب بلند شدن ذرات از سطح خاک و در نهایت فرسایش خاک منطقه می‌گردد (۱۰).



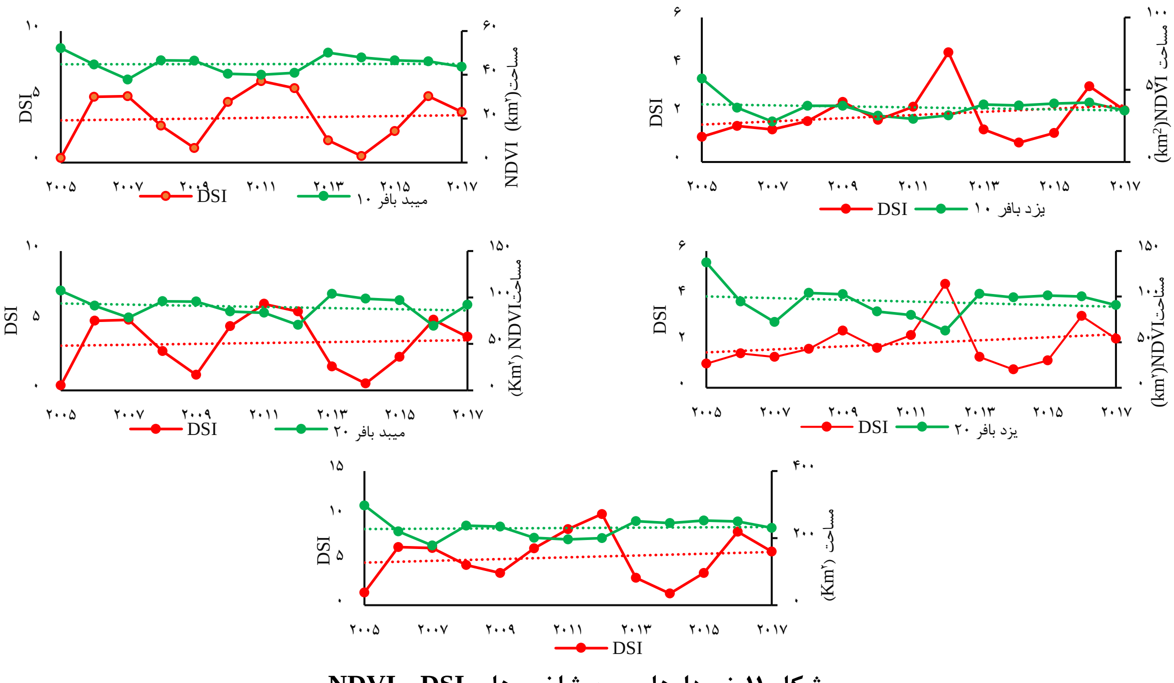
شکل ۹. نمودارهای رابطهٔ بین شاخص DSI و سطوح تیپ اراضی در ایستگاه سینوپتیک میبد، بافر ۱۰ و ۲۰km

رابطهٔ بین شاخص‌های DSI و NDVI

با توجه به نمودارهای رسم شده در هر دو بافر و کل محدوده مطالعاتی رابطه بین شاخص توفان‌های گردوغبار (DSI) در سال‌های مذکور صعودی بوده، یعنی میزان وقوع گردوغبار طی سال‌ها بیشتر شده است. اما در شاخص NDVI در نمودارهای ایستگاه‌های سینوپتیک یزد بافر ۱۰Km و میبد بافر ۲۰Km حالت نزولی داشته است و این بدان معناست که مقدار پوشش گیاهی در منطقه رو به کاهش است، زیرا پوشش گیاهی سالم، در دو باند مادون قرمز نزدیک و سبز، نسبت به دیگر طول موج ها، انعکاس بیشتری دارد. در صورتی که مقدار انعکاس در محدوده قرمز کم و در مادون قرمز زیاد باشد، مقدار NDVI زیاد خواهد شد که نشان‌دهنده تراکم بیشتر پوشش گیاهی و سلامت گیاه است. در صورتی‌که این شاخص کاهش یابد معمولاً پوشش گیاهی ضعیف یا از بین رفته‌است. تغییر کاربری اراضی، خشکسالی‌های پیوسته، آبیاری با آب‌های نامناسب و روش‌های غیر اصولی کشاورزی باعث این نوع وضعیت می‌شود. در ایستگاه همدیدی میبد بافر ۱۰Km همان‌طور که هویداست، خط برازش داده شده در نمودار شاخص NDVI موازی با محور xها است. به‌طورکلی با توجه به تعداد انگشت شمار پلی‌گون‌های موجود در این محدوده نمی‌توان نتیجه‌گیری قطعی برای آن در نظر گرفت زیرا در این منطقه در بافر ۲۰Km نمودار حالت نزولی دارد. خط برازش داده شده نمودار شاخص NDVI به مقدار ناچیز حالت افقی است، اما نمی‌توان گفت که میزان پوشش‌گیاهی افزایش یافته است، زیرا مقدار شیب نزدیک به صفر است در نتیجه تغییر مشخصی را نشان نمی‌دهد (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. رابطه بین شاخص DSI با متغیرهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک یزد و میبد



شکل ۱۱. نمودارهای بین شاخص‌های DSI و NDVI

نتایج پژوهش حاضر نشان داد از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی، مقدار شاخص غبارناکی منطقه افزایش یافته، در نتیجه همان‌طورکه انتظار می‌رفت، تعداد رویدادهای گردوغبار بیشتر شده است. رابطه شاخص DSI در کل منطقه و حتی در دو ایستگاه همدیدی یزد و میبد در دو بافر ۱۰ و ۲۰Km، برای تیپ مناطق ارگ از نوع مستقیم می‌باشد، یعنی افزایش

این مناطق موجب از بین رفتن عوامل بازدارنده فرسایش بادی اعم از بیولوژیک و غیر بیولوژیک می‌شود که این فزونی، فرسایش بادی و شاخص گردوغبار و در نهایت گسترش ارگ‌ها را نیز در پی دارد (۷). لیکن این مناطق به دلیل وجود ماسه‌های روان مستعد فرسایش هستند، از طرفی منطقه میبد که واقع در مرحله ترانزیت فرسایش بادی می‌باشد،

خود دلیلی بر افزایش شدت توفان‌های گردوغبار منطقه شده است (۳). رابطه بین شاخص DSI با دشت‌سر اپانداژ و اراضی زراعی از نوع معکوس است، زیرا کاهش اراضی زراعی به‌دلیل وجود تغییرات کاربری، رها شدن و تبدیل شدن به اراضی بدون پوشش، خود عامل مهمی در جهت کاهش یا جلوگیری از فرسایش بادی و توفان‌های گردوغبار است. علاوه بر آن رابطه‌ی شاخص NDVI با شاخص غبارناکی از نوع معکوس است و این بدان معناست که میزان پوشش گیاهی رو به کاهش است، زیرا بر اساس محاسبات انجام شده، باند مادون قرمز نزدیک دارای انعکاس کم و میزان انعکاس باند قرمز در حال افزایش است که نشان‌دهنده تضعیف پوشش گیاهی است و یا آن که به‌طورکلی از بین رفته است. دشت‌سر اپانداژ دارای فرسایش آبی کم بوده ولی به علت اینکه محل ترسیب رسوبات آبی است، فرسایش بادی در آن فعال است. اما در مورد اراضی در دشت‌سر پوشیده در محاسبه برای کل منطقه مورد مطالعه و منطقه یزد در دو بافر ۱۰ و ۲۰Km، خط برازش داده شده نمودار آن نزولی، اما این خط در نمودار شاخص DSI از نوع صعودی است که با استناد به مشاهدات بصری تصاویر ماهواره‌ای و بررسی آن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی می‌توان نتیجه گرفت که تغییر کاربری این اراضی به کارخانه و تأسیسات مجتمع‌های کاشی‌سازی به‌علت نزدیک بودن به مناطق شهری، دلیل نزولی بودن خط برازش داده شده نمودار دشت‌سر پوشیده شده‌است، در نتیجه همبستگی با شاخص غبارناکی ندارد. اما این اراضی در منطقه میبد، در دو بافر ۱۰ و ۲۰Km، شیب خط برازش داده شده آن کمی به حالت صعودی است که مهم‌ترین علت آن، قرارگیری این منطقه در کانال باد میبد که مرحله دوم فرسایش بادی است، می‌باشد و علاوه بر آن با افزایش درجه حرارت و تبخیر آب موجود در خاک باعث فروپاشی نیروی بین ذرات خاک گردیده، موجب افزایش شدت طوفان‌های گردوغبار می‌شود. در مورد اراضی شهری، از آن‌جایی که افزایش سطوح و توسعه فیزیکی آن عملاً موجب کاهش مقدار فرسایش پذیری می‌باشد، لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش مساحت این نوع تیپ تأثیری در وضعیت شاخص توفان گردوغبار ندارد. با توجه به سه نوع متغیر اقلیمی بررسی شده در پژوهش حاضر، تأثیر متغیرهای اقلیمی بر روی شاخص توفان‌های گردوغبار، در سال‌های مذکور برای هر نوع متفاوت می‌باشد. با افزایش مقدار متغیر میانگین دمای سالانه در ایستگاه همدیدی یزد مقدار شاخص توفان‌های گردوغبار افزایش یافته یعنی هرچه میزان دما بیشتر باشد مقدار شاخص DSI بر اساس این نوع محاسبات در بازه زمانی مشخص شده بیشتر شده است، زیرا با افزایش دما شدت تبخیر آب میان ذرات به خصوص در ماه‌های بررسی شده بیشتر گشته و با وزش باد فرسایش بادی رخ داده که میزان توفان‌های گردوغبار را افزایش می‌دهد. در رابطه با متغیر میانگین بارش سالانه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در ایستگاه همدیدی یزد می‌توان به این نتیجه رسید که با شاخص DSI رابطه عکس دارد، زیرا با کاهش مقدار بارش و از طرفی درجه حرارت بالای منطقه در فصول گرم سال، رطوبت موجود در خاک کمتر شده و موجب از بین رفتن نیروی چسبندگی ذرات و افزایش فرسایش بادی و در نهایت افزایش شاخص DSI می‌گردد، اما در ایستگاه همدیدی میبد خط برازش داده شده هر دو نمودار بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشد که شاید در این بازه زمانی به علت نداشتن روند قطعی با گسترش بازه زمانی نتوان نتیجه‌گیری دقیق‌تری به‌دست آورد. متغیر میانگین رطوبت‌نسبی سالانه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در هر دو ایستگاه مذکور با شاخص DSI رابطه معکوس دارد، زیرا کمبود رطوبت و افزایش درجه حرارت بالا باعث تبخیر شدید شده و بستر را برای فرسایش بادی مهیا می‌کند که خود دلیلی بر بیشتر شدن شاخص غبارناکی منطقه و تعداد روزهای گردوغبار می‌باشد.

تحلیل‌های انجام‌شده نشان داد که شاخص غبارناکی منطقه در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ میلادی در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و جولای به حالت افزایشی است. این موضوع بدان معناست که مقدار گردوغبار این بازه به مرور زمان بیشتر شده و از طرفی بر روی تیپ‌های اراضی تأثیر بسزایی داشته است. با توجه به نوع اقلیم حکم فرما بر منطقه نمی‌توان به‌طور چشمگیری از وقوع توفان‌های گردوغبار جلوگیری کرد. در رابطه با شاخص غبارناکی منطقه و متغیر اقلیمی همان‌طور که مورد انتظار بود با افزایش شاخص DSI، میزان میانگین بارش سالانه و رطوبت‌نسبی کاهش، اما میانگین دمای سالانه افزایش یافته است. در تحقیقی دیگر میانگین انتشار گردوغبار در کشور چین

۱۳۰Tg/y بیان نموده که تنها ۳/۷٪ آن ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد (۶). همچنین محققان بیان کردند که با افزایش پوشش گیاهی و بارندگی مقدار گردوغبار اندکی کاهش یافته، اما اگر دما زیاد و جهت حرکت باد رو به بالا باشد در مقیاس فصلی و روزانه شرایط به نفع انتشار گرد و غبار است، حتی اگر در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی افزایش یابد (۹). با این وجود نتایج این دو تحقیق با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد. در تحقیقی بیان شد با افزایش شاخص DSI، وسعت ارگ نیز افزایش یافته، زیرا محل‌های ساخت و ساز و جاده‌های بدون سنگ فرش به عنوان دو منبع مهم انتشار گردوغبار می‌باشند که بخشی از منبع تأمین‌کنندۀ ماسه در محل ارگ‌ها می‌باشند (۵). یافته‌های به‌دست‌آمده با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهشی نتایج نشان می‌دهد که توفان‌های گردوغبار عامل اقلیمی هستند که هم بر دیگر متغیرهای اقلیمی تأثیر می‌گذارند و هم از آن‌ها تأثیر می‌پذیرد، به عبارتی دقیق‌تر یک همبستگی را بین تعداد روزهای غبارناکی ایران با متغیرهای تبخیر، دما و بارش نشان می‌دهد (۱۰) و این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت داشت بخشی از دلیل افزایش گردوغبار به‌علت کمبود بارش و افزایش شدت تبخیر، رکود اقتصادی ناشی از خشکسالی و عدم انجام روش‌های مدیریت زمین همانند استفادۀ نادرست از منابع‌طبیعی به‌علت نداشتن دانش کافی معرفی شده است (۱۱). نتایج پژوهش حاضر نیز این دلایل را تأیید نمود. یافته‌های پژوهشی (۴) هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که رطوبت‌نسبی و سرعت باد تنها عامل تعیین کننده، مقدار گردوغبار نمی‌باشد بلکه عوامل دیگر مانند شدت، تغییر جهت و سرعت باد در این رابطه مؤثر می‌باشند.

■ نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق را می توان در مورد، تغییرات تیپ‌های اراضی تأثیر عوامل اقلیمی و مقادیر شاخص گیاهی بر روی مقدار غبارناکی به دست آمده از ایستگاه هواشناسی منطقه خلاصه نمود. در مورد تیپ‌های اراضی، افزایش شاخص غبارناکی با افزایش سطوح ارگ و در نقطۀ مقابل کاهش تیپ‌های دشت سر اپانداژ، پوشیده و اراضی زراعی بوده است، از آنجایی که شاخص غبارناکی در منطقه صعودی است، این تغییر متناسب با کاهش رطوبت و افزایش دما در منطقه بوده است. از طرفی افزایش شاخص غبارناکی متناسب با کاهش مقادیر پوشش گیاهی مستخرج از NDVI بوده است و در بیان کلی نقش مؤثر ویژگی‌های پوشش گیاهی، تیپ‌های اراضی و متغیرهای اقلیمی بر شاخص غبارناکی در منطقه محرز است.

■ References

1. Afrasiabi, S., Tazeh, M., Taghizadeh, R., Ghaneei bafghi, M.J., & Kalantari, S. (2019). Performance of two measurement methods of pin meter and laser disto meter in the measurement of microtopography created by desert pavement. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *8*(22), 1-14. (in Farsi)

2. AlBadi, H., Boland, J., Bruce, D., & Wedding, B. (2018). Estimating effective dust particle size from satellite observations. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *11*, 186-197.

3. Azad, M.R., Kalantari, S., Shirmardi, M., & Tazeh, M. (2021). Investigation of land use and physico-chemical properties of soil on wind erosion threshold velocities using data mining. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *9*(28), 1-14. (in Farsi)

4. Csavina, J., Field, J., Felix, O., Corral-Avitia, A.Y., Saez, A.E., & Betterton, E.A. (2014). Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentration in semi-arid climates. *Science of the Total Environment*, *487*, 82-90.

5. Cui, M., Lu, H., Etyemezian, V., & Su, Q. (2019). Quantifying the emission potentials of fugitive dust source in Nanjing, East China. *Atmospheric Environment*, *207*, 129-135.

6. Du, H., Wang, T., Xue, X., & Li, S. (2018). Modelling of sand/dust emission in northern China from 2001 to 2014. *Geoderma*, *330*, 162-176.

7. Goudie, A.S., & Middleton, N.J. (2001). Saharan dust storms: Nature and consequences. *Earth Science Reviews*, *56*, 179-204.

8. Iran Meteorological Organization, 2018. Recived September 9, 2018, from http://www.irimo.ir. (in Farsi)

9. Jury, M.R. (2018). Climatic modulation of early summer dust emissions over west Africa. *Arid Environment*. *152*, 55-68.

10. Kargaran, F., Kalantari, S., ghanei Bafghi, M.J., & Tazeh, M. (2017). The Compare of grading criteria in Coarse ripple Mark on the windward and leeward slopes (Case Study: Hassan Abad erg in Bafg). Q*uantitative Geomorphology Research*, *5*(19), 111-120. (in Farsi)

11. Lee, J.A., & Gill, T.E. (2015). Multiple causes of wind erosion in the dust Bowl. *Aeolian Research*, *19*, 15-36.

12. Miri, A. (2019). Analysis of dust storms in Sistan using DDI and DSI indices and parameters of wind speed, horizontal visibility and PM10 concentration. *Water and Soil Protection Research*, *27*(1), 1-23.

13. MohammadKhan, Sh. (2016). Status and trends of dust storms in Iran from 1364 to 1384. *Range and Watershed Managment*, *70*(2), 495-514. (in Farsi)

14. Norouzi, S., & Khademi, H. (2015). Spatial and temporal variation in dust deposition rate in Isfahan and its relationship with selected climatic parameters. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*. *19*(72), 149-162. (in Farsi)

15. O′Loingsigh, T., Tainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J.F., Shinkfield, P., & Tapper, N.J. (2014). The dust storm index (DSI): A method for monitoring broad scale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, *12*, 29-40.

16. Rashki, A., kaskaoutis, D.G., & Sepehr, A. (2018). Statistical evaluation of the dust events at selected stations in south west Asia: From the Caspian Sea to the Arabian Sea. *Catena*, *165*, 590-603.

17. Sabbah, I. Leon, J.F., Sorribas, M., Guinot, B., Cordoba-Jabonero, C., Souza, A., & Al Sharifi, F. (2018). Dust and dust storms over Kuweit: Ground-Based and satellite observations. *Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, *179*, 105-113.

18. Tavousi, T., & Zahraei, A. (2012). Time series modeling of dust phenomenon in Ahvaz city. *Chapter-Letter of Geographical Research*, *28*(2),159-170.

19. Tazeh, M., Asadi, M., Taghizadeh, R., Kalantari, S., & Sadeghinia, M. (2018). Evaluation of geomorphomety indicators in the semi-automatic separate of geomorphology types in desert areas (case study: west north of Ardekan). *Rangeland and Desert Research*, *25*(1), 29-43. (in Farsi)

20. Wang, R., Liu, B., Li, H., Zou, X., Wang, J., Liu, W., Cheng, H., Kang, L., & Zhang, Ch. (2017). Variation of strong dust storm events in Northern China during 1978-2007. *Atmospheric Research*, *183*, 166-172.

21. Zarei, M., Tazeh, M., Moosavi, V., & Kalantari, S. (2021). Investigating the capability of thermal-moisture indices extracted from MODIS data in classification and trend in wetlands. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *49*(10), 2583-2596.

22. Zehtabian, G., Azarnivand, H., Ahmadi, H., & Kalantari, S. (2013). Presentation of suitable model to estimate vegetation fraction using satellite images in arid region (case study: Sadough-Yazd, Iran). *Rangeland Science*, *3*(2), 108-117.

Desert Management

Vol. 10, No. 4, Winter 2023

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Contents

JOURNAL OF DESERT MANAGEMENT

Published Quarterly by the Scientific Association of Management and Control of Iran's Desert Regions, Under the License No. 3.126885 of the Ministry of Science, Research and Technology of I.R. Iran

Vol. 10 No. 4 2023

License Holder: Scientific Association of Management and Control of Iran's Desert Regions
Publisher: Scientific Association of Management and Control of Iran's Desert Regions
Director-in-Charge: M.R. Ekhtesasi, Professor of the Yazd University
Editor- in- Chief: S.J. Khajeddin, Emeritus Professor of the Isfahan University of Technology
Technical Manager: H. Khosravi, Associate Professor, University of Tehran

Executive Manager: A. Jebali
Type & Layout: A. Jebali
Address: Iranian Scientific Association of Desert Management and Control (ISADMC), Arid Lands & Desert Research Institute (ADRI), Yazd University, Po. Box 89195-741, Yazd, IRAN
Telefax: +98 35 38210698 E-mail: jdm.isadmc@yahoo.com

Journal of

Desert Management

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control (ISADMC)

ISSN 2476-3721

Quarterly: Volume 10 - No 4- Winter 2023

24

Contents