

نشریه



انجمن علمی مدیریت و
کنترل مناطق بیابانی ایران

مدیریت بیابان

شاپا ۳۷۲۱-۲۴۷۶

فصلنامه:

سال دهم - شماره ۲ - تابستان ۱۴۰۱



فهرست مطالب

- ۱-۲۰ ■ ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با بهره‌گیری از مدل ESAs و اولویت‌بندی راهبردهای مدیریتی (مطالعه مورد: حوزه کویر نمک، استان خراسان رضوی)
علی اصغر طالبان فرد، مرتضی اکبری، محمود اعظمی راد
- ۲۱-۳۸ ■ شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی در دشت قزوین
اعظم ابوالحسنی، غلامرضا زهتابیان، حسن خسروی، امید رحمتی، اسماعیل حیدری علمدارلو، پائولو دی‌اودوریکو
- ۳۹-۵۴ ■ ارائه مدل حساسیت به فرسایش بادی با بهره‌گیری از روش ارزیابی چند معیاره در پناهگاه حیات وحش هامون
وحید راهداری، سعیده ملکی، محدثه میر
- ۵۵-۷۰ ■ شبیه‌سازی عددی توفان گردوغبار شدید کرمانشاه (مطالعه موردی: رخداد ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷)
طوبی علیزاده، امیرحسین نیک‌فال، مجید رضایی بنفشه، رحمن شریفی
- ۷۱-۸۶ ■ بررسی تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای رخداد گرد و غبار در استان آذربایجان غربی، تعیین عوامل اثرگذار و شناسایی منشاء
بهرام چوبین، فرزانه ساجدی حسینی، امید رحمتی، منصور مهدیزاده یوشانلونی، محمد جلالی
- ۸۷-۱۰۰ ■ تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بر ترسیب کربن و فرسایش خاک در منطقه جزینک سیستان
فرزاد طاهرخانی، عین‌اله روحی‌مقدم، علی صالحی

به نام خدا
نشریه مدیریت بیابان

فصلنامه علمی انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران
این نشریه طی مجوز شماره ۳/۱۲۶۸۸۵ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری منتشر می‌شود.

سال ۱۴۰۱

شماره ۲

دوره ۱۰

- صاحب امتیاز: انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران
□ ناشر: انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران
□ مدیر مسئول: محمدرضا اختصاصی، استاد دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد
□ سر دبیر: سید جمال‌الدین خواجه‌الدین، استاد بازنشسته دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان
□ مدیر داخلی: حسن خسروی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

- هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):
محمدرضا اختصاصی، استاد دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد
حسین آذرینوند، استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
ناصر باغستانی میدی، دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد
احمد پهلوانروی، دانشیار دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل
حسن خسروی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
سید جمال‌الدین خواجه‌الدین، استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان
محمدتقی دستورانی، استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
سعید سلطانی، استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان
امیر همایون صفارزاده، دانشیار، دانشگاه Kyushu، ژاپن
علی طالبی، استاد دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد
سادات فیض‌نیا، استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
محسن محسنی‌ساروی، استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
حسین ملکی‌نژاد، دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد

ویراستار فارسی: علی‌اکبر نظری سامانی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
ویراستار چکیده‌های انگلیسی: محمد زارع، دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد

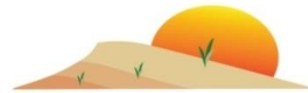
مدیر اجرایی: عاطفه جبالی
تایپ و صفحه‌آرایی: عاطفه جبالی

- آدرس دفتر مجله:
یزد، دانشگاه یزد، پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران
صندوق پستی: ۷۶۱-۸۹۱۹۵
تلفن و فکس: ۰۳۵-۳۸۲۱۰۶۹۸
پست الکترونیک: jdm.isadmc@yahoo.com

□ تیراژ: ۱۰۰ نسخه

داوران مقالات این شماره:

دکتر حسام احمدی‌بیرگانی، دکتر محمدرضا اختصاصی، دکتر مرتضی اکبری، دکتر جواد چزگی، دکتر سیدجمال‌الدین خواجه‌الدین، دکتر فرهاد ذوالفقاری، دکتر بهزاد رایگانی، دکتر وحید راهداری، دکتر محمدحسن صادقی‌روش، دکتر سعیده کلانتری، دکتر محمدحسین مختاری، دکتر سعیده ناطقی، دکتر محمدرضا یزدانی، دکتر حسن یگانه.



فهرست مطالب

- ۱-۲۰ ■ ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با بهره‌گیری از مدل ESAs و اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت (مطالعه مورد: حوزه کویر نمک، استان خراسان رضوی)
علی اصغر طالبان فرد، مرتضی اکبری، محمود اعظمی راد
- ۲۱-۳۸ ■ شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی در دشت قزوین
اعظم ابوالحسنی، غلامرضا زهتابیان، حسن خسروی، امید رحمتی، اسماعیل حیدری علمدارلو، پائولو دی‌اودوریکو
- ۳۹-۵۴ ■ ارائه مدل حساسیت به فرسایش بادی با بهره‌گیری از روش ارزیابی چند معیاره در پناهگاه حیات وحش هامون
وحید راهداری، سعیده ملکی، محدثه میر
- ۵۵-۷۰ ■ شبیه‌سازی عددی توفان گردوغبار شدید کرمانشاه (مطالعه موردی: رخداد ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷)
طوبی علیزاده، امیرحسین نیک‌فال، مجید رضایی بنفشه، رحمن شریفی
- ۷۱-۸۶ ■ بررسی تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای رخداد گرد و غبار در استان آذربایجان غربی، تعیین عوامل اثرگذار و شناسایی منشاء
بهرام چوبین، فرزانه ساجدی حسینی، امید رحمتی، منصور مهدیزاده یوشانلوئی، محمد جلالی
- ۸۷-۱۰۰ ■ تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بر ترسیب کربن و فرسایش خاک در منطقه جزینک سیستان
فرزاد طاهرخانی، عین‌اله روحی‌مقدم، علی صالحی

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 سایر نشریه‌ها 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 نویسنده 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 صفحه اول درج می‌شود.

۳) چکیده: چکیده باید مجموعه 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 منطقه 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 برگزیده جمع‌بندی خلاصه نتایج با توجه به هدف بررسی بوده و دست آوردها با توجه به یافته‌های سایر پژوهش‌ها، تجزیه و تحلیل شده و درباره آن‌ها بحث و نتیجه‌گیری صورت می‌گیرد. نگارنده (گان) در این قسمت می‌توانند توصیه‌ها و پیشنهادها را 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 نتیجه‌گیری مقاله با عنوان "نتیجه‌گیری" به صورت کوتاه و فقط نتیجه‌گیری از نتایج پژوهش، تدوین می‌گردد.

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 مأخذ 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 به ذکر است در صورتی که مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده وجود دارد، ابتدا مقالات منفرد و سپس بقیه آنها به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب گردد. از به کارگیری عبارت "et al." در لیست مقالات به جای نام نویسندگان مقاله خودداری شود و اسامی تمامی نویسندگان به ترتیب 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، به منظور 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 2013 Academic 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 به عنوان 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.

• شیوه نگارش:

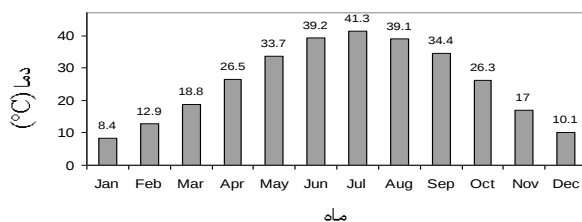
مقاله روی صفحه A4 با حاشیه‌های بالا و پایین ۲۰ میلیمتر و راست و چپ ۲۰ میلیمتر با قلم نازنین بولد (B Nazanin) فونت ۱۱، در قالب نرم افزار Word 2003 تایپ گردد. فاصله بین خطوط به صورت یک فاصله‌ای (Single space) انتخاب گردد. تعداد صفحه‌های مقاله با در نظر گرفتن جدول‌ها، شکل‌ها، نتایج، فهرست منابع نباید از 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 ۵/۰ سانتیمتر فرو رفتگی داشته باشد. نوع و اندازه قلم‌ها، طبق جدول زیر رعایت شود.

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

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:

$$E = m \cdot c^2 \quad (۱)$$

- 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.

● فایل‌های ارسالی شامل:

- (۱) متن اصلی مقاله بدون اسامی نویسندگان یا 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.
- فایل‌های 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.isadm@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.

Sensitivity Areas Assessment of Desertification Using ESAs Model and Prioritizing Management Strategies (Case study: Kavir-e- Namak Basin, Khorasan Razavi Province)

A. A. Talebanfard¹, M. Akbari^{2*}, M. Azami Rad³

1. Masters Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Desert Areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Ph.D. Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

* Corresponding Author: m_akbari@um.ac.ir

Received date: 28/02/2022

Accepted date: 13/05/2022



[10.22034/JDMAL.2022.549710.1377](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.549710.1377)

Abstract

Desertification, as a complex process, is a serious threat to the environment in many parts of the world, especially in arid regions. With accurate knowledge of the factors influencing the spread of desertification and appropriate management strategies, the impacts of this process can be controlled or reduced. The aim of the current study was to identify and assess indicators and indices of desertification for the assessment and mapping of sensitive areas of the Kavir-e-Namak basin in Khorasan Razavi province, to desertification. In this study, an assessment model of sensitive areas to desertification (ESAs or MEDALUS), available data based on field studies in 2021, was used. At first, five criteria including soil, climate, vegetation, erosion and human activities were identified as the main criteria for desertification. Then, on the basis of the opinions of over 40 natural resource experts, the indices of each criterion were classified, weighted and assessed. The quality of each criterion was determined by the calculation of the geometric average of the indices. Finally, the map of areas sensitive to desertification in the study area was produced using GIS. The identification of management strategies was conducted using the Delphi approach and distributing a two-cycle questionnaire based on scenario planning and future studies. The results showed that among the criteria for desertification in the study area, climatic criteria, human activities, soil and erosion with values of 1.54, 1.53, 1.51 and 1.50, respectively, are the most important criteria followed by the vegetation criterion with a value of 1.45 as a next effective criterion of desertification. Results indicate that 12% of the study area are in the fragile class, and approximately 88% in the moderate to severe critical class. Based on scenario planning and method of futures studies, the best and worst scenarios in four different categories including adaptive management and organizational cohesion, economic and social empowerment of local communities, educational development, culture and advertising, and participatory implementation of natural resource projects as comprehensive management strategies were developed.

Keywords: Desertification indicators; Questionnaire; Delphi method; Human activities; Scenario planning





ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با بهره‌گیری از مدل ESAs و اولویت‌بندی راهبردهای مدیریتی (مطالعه مورد: حوزه کویر نمک، استان خراسان رضوی)

علی‌اصغر طالبان فرد^۱، مرتضی اکبری^{۲*}، محمود اعظمی راد^۳

۱. کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲. استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳. دکتری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول: m_akbari@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۳

doi: [10.22034/JDMAL.2022.549710.1377](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.549710.1377)

چکیده

بیابان‌زایی فرآیندی پیچیده و تهدید جدی محیط‌زیستی در بسیاری از مناطق به ویژه مناطق خشک جهان است. با شناخت دقیق عوامل مؤثر در گسترش بیابان‌زایی و ارائه راهبردهای مدیریتی مناسب، امکان کاهش و یا مهار این پدیده، فراهم می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی معیارها و شاخص‌های مهم و پهنه‌بندی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی در حوضه کویر نمک استان خراسان رضوی و ارائه راهبردهای مدیریتی مقابله با بیابان‌زایی انجام شد. در این پژوهش از مدل ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی (ESAs)، داده‌های موجود و مبتنی بر برداشت میدانی و واقعیت‌های زمینی در سال ۱۴۰۰ استفاده شد. در آغاز پنج معیار خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش و فعالیت‌های انسانی به عنوان معیارهای اصلی بیابان‌زایی منطقه شناسایی و سپس برپایه نظر کارشناسی بیش از ۴۰ متخصص منابع طبیعی، شاخص‌های هر معیار طبقه‌بندی، وزن‌دهی و ارزش‌گذاری شد. با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌ها، کیفیت هر معیار تعیین و در آخر نقشه پهنه‌بندی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی در سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌دست آمد. تعیین راهبردهای مدیریتی با بهره‌گیری از روش دلفی و با توزیع پرسش‌نامه در دو مرحله و براساس برنامه‌ریزی سناریو و آینده پژوهی انجام شد. نتایج نشان داد از میان معیارهای بیابان‌زایی منطقه، اقلیم، فعالیت‌های انسانی، خاک و فرسایش به ترتیب با ارزش ۱/۵۴، ۱/۵۳، ۱/۵۱ و ۱/۵۰ مهمترین معیارها و پوشش گیاهی با ارزش ۱/۴۵ به عنوان معیار بعدی مؤثر در بیابان‌زایی می‌باشد. بر اساس نتایج، ۱۲٪ از مساحت منطقه در کلاس شکننده و حدود ۸۸٪ نیز در کلاس‌های بحرانی متوسط تا شدید قرار دارد. براساس برنامه‌ریزی سناریو و روش آینده پژوهی، بهترین و بدترین سناریوها در چهار دسته مختلف محیطی و طبیعی همچون اعمال مدیریت تطبیقی و انسجام سازمانی، توانمندسازی اقتصادی و اجتماعی جوامع محلی، توسعه آموزش، فرهنگ سازی و تبلیغات، طرح‌های مشارکتی منابع طبیعی، به عنوان راهبردهای مدیریتی جامع‌نگر تدوین شد.

واژگان کلیدی: شاخص‌های بیابان‌زایی؛ پرسش‌نامه؛ دلفی؛ فعالیت‌های انسانی؛ برنامه‌ریزی سناریو



■ مقدمه

بیابان‌زایی یکی از پیچیده‌ترین تهدیدهای محیط‌زیست با تأثیرهای منفی اجتماعی-اقتصادی است. از این‌رو درک ویژگی‌های فضایی- زمانی این فرآیند با پایش و ارزیابی معیارها و شاخص‌های مهم، به سختی امکان‌پذیر است (۲). براساس تعریف کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل، بیابان‌زایی عبارت است از تخریب سرزمین در اراضی خشک، نیمه خشک و خشک جنب مرطوب که بدلیل عوامل گوناگونی همچون تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی صورت می‌گیرد (۳۵) و به دلیل سوء مدیریت زمین، به آرامی توسعه می‌یابد (۳۶). در حال حاضر بیابان‌زایی یک چهارم اراضی کره زمین را تحت تأثیر قرار داده است (۳۵)، به‌طوریکه بیش از یک میلیارد هکتار از اراضی آفریقا تحت تأثیر شدید بیابان‌زایی است (۳۶). عامل‌های متعددی به مانند ماشه^۱ یا پیش‌ران، در بروز پدیده بیابان‌زایی عمل می‌کنند که می‌توان به توسعه خشکی و استمرار خشکسالی، فرسایش خاک، تخریب پوشش گیاهی در اثر چرای مفرط، فعالیت‌های معدنی، رشد جمعیت، فقر و سیاست‌های نظام‌های تحقیقاتی توسعه کشاورزی و محیط زیست اشاره کرد (۳، ۴، ۱۳). شخم‌زدن اراضی، شیوه‌های نامناسب کشاورزی، همراه با جنگل‌زدایی و چرای بیش از حد دام، دلایل اصلی بیابان‌زایی ناشی از فعالیت‌های انسان است (۲۶). این عوامل باعث ایجاد یک سری اثرات نامطلوب در خدمات بوم‌سازگان مانند از دست دادن مواد مغذی، کاهش ذخیره کربن، کاهش تنوع زیستی، کاهش پایداری خاک و در آخر کاهش امنیت غذایی می‌شوند (۲۵). این نگاه و نتیجه‌گیری در سایر مطالعات انجام شده در ارتباط با ارزیابی بیابان‌زایی مورد تأکید بسیاری از دانشمندان و محققین بوده است (۶، ۱۶، ۱۷). امروزه بیابان‌زایی به عنوان چالش مهمی است که بسیاری از کشورهای جهان بخصوص کشورهای در حال توسعه و حتی پیشرفته همچون برخی از کشورهای اتحادیه اروپا را تحت تأثیر

قرار داده است (۳۶). نتیجه فرآیند بیابان‌زایی از بین رفتن منابع تجدید شونده در بیشتر کشورهای جهان است (۱۲)، ۲۲). براساس گزارشات بین‌المللی بیش از ۷۸۵ میلیون نفر انسان ساکن مناطق خشک، معادل ۱۷/۷ درصد جمعیت کل جهان، تحت تأثیر مستقیم و غیر مستقیم اثرات بیابان‌زایی می‌باشند. به‌طوریکه، هرساله دست کم شش میلیون هکتار زمین به گستره^۲ ۴ میلیارد هکتاری بیابان‌های جهان اضافه می‌شود و سالانه خسرت‌هایی بالغ بر ۴۲ میلیارد دلار به همراه دارد (۳۶).

بنابر نظر کنوانسیون جهانی مقابله با بیابان‌زایی^۳، شناسایی شاخص‌ها و معیارهای اصلی بیابان‌زایی، مدیریت و مقابله با این پدیده را تسهیل می‌نماید. علاوه بر آن برای هدف ارزیابی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، مدل‌ها، معیارها و شاخص‌های متعدد و با رویکردهای مختلف وجود دارد (۷)، ۱۸). بررسی‌ها و پژوهش‌های صورت گرفته نشان داد که روش‌های مختلفی برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی در ابعاد جهانی و منطقه‌ای وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایبی نسبت به یکدیگر بوده که متناسب با شرایط منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرند. نخستین اقدامی که در زمینه ارزیابی و نقشه‌بندی بیابان‌زایی با هدف درک مسائل این پدیده پیچیده ضرورت گرفت، تهیه نقشه جهانی بیابان‌زایی بود که توسط فائو^۴، یونسکو^۵ و سازمان هواشناسی جهانی در سال ۱۹۷۷ میلادی انجام پذیرفته است (۱). از روش‌های مهم جهانی می‌توان به روش فائو/یونپ، مدالوس^۶ (یا مدل تهیه نقشه حساس به بیابان‌زایی در منطقه مدیترانه)، آسود^۷ (روش ارزیابی تخریب خاک در آسیا)، گلاسود، لادا^۸ (ارزیابی تخریب زمین در مناطق خشک) و روش ترکمنستان اشاره نمود. در ایران نیز می‌توان به مدل طبقه‌بندی نوع و شدت بیابان‌زایی (۱۳۷۴)^۹، روش طبقه‌بندی بسط یافته (اصلاح شده) بیابان‌زایی (۱۳۸۲)^۹، و روش^{۱۰} IMDPA (۱۳۸۵) اشاره کرد (۱، ۱۵). علاوه بر روش‌های اشاره شده، برخی از مدل‌های

6 Soil Degradation in South and Southeast Asia

7 Land Degradation Assessment in Drylands (LADA)

8 Iranian Classification of Desertification

9 Modified Iranian Classification of Desertification

10 Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA)

1Trigger

2UNCCD, The United Nations Convention to Combat Desertification

3 FAO, Food and Agriculture Organization

4 UNESCO

5 Mediterranean desertification and land use

هرچند مدیریت بوم‌نظام‌های (اکوسیستم) پیچیده همچون بیابان و فرایندها و سازوکارهای پیچیده‌تر مانند بیابان‌زایی کار دشواری است (۳، ۱). به نحویکه با بهره‌گیری از خرد جمعی و تجربه افراد متخصص، می‌توان تا حدی بر این مشکل فائق آمد. به نحویکه، انتخاب بهترین راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی بر اساس معیارهای مؤثر، تأثیر به‌سزایی در تصمیم‌سازی مدیران و کارشناسان مناطق بیابانی خواهد داشت (۴، ۵). سناریوهای توسعه در آینده نشان می‌دهد اگر با فرآیند بیابان‌زایی و تخریب سرزمین به شکل منطقی برخورد نگردد و این فرایندها تا حد امکان کنترل نگردد؛ توسعه، احتمالاً رفاه مردمان مناطق خشک را با تهدید روبرو می‌کند؛ بنابراین، بیابان‌زایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی و مانع عمده‌ای برای رفع نیازهای اساسی بشر در مناطق خشک خواهد بود (۳۶).

در خصوص ارائه راهبردهای مدیریتی مقابله با بیابان‌زایی، کاهش و کنترل اثرات محیطی و انسانی آن، روش‌های مختلفی وجود دارد که عمدتاً مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشند. از این میان می‌توان به روش الکتراه (حذف و انتخاب سازگار با واقعیت)^۹، تحلیل سلسله مراتبی^{۱۰}، روش پرومته (ساختاریافته رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی سازی ارزیابی‌ها)^{۱۱}، روش تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی براساس تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل^{۱۲}، روش تکنیک اولویت بندی ترجیحی براساس تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل فازی^{۱۳}، فرآیند تحلیل شبکه^{۱۴}، مدل رتبه‌بندی برناردو^{۱۵} و غیره اشاره نمود (۴، ۳۰)، که عمدتاً براساس نظرات جامعه متخصص و خبره انجام می‌شوند. لذا، استفاده از روش‌هایی که بتواند راه حل‌های مناسبی را بر اساس واقعیت مناطق بیابانی و فرایند بیابان‌زایی و مبتنی بر مبانی و اصول نظری ارائه دهد، در مدیریت فرآیند مقابله با بیابان‌زایی، ضروری به نظر می‌رسد (۳۰).

دیگر نیز توسط محققان ایرانی در نقاط مختلف ایران مورد استفاده قرار گرفته است که از این میان می‌توان روش مدل تاکسونومی عددی توسعه یافته^۱، مدل آسیب‌پذیری محیطی^۲، روش تحلیل مولفه‌های اصلی^۳ و روش آنتروپی شانون^۴ (۲۹، ۳۱) را نام برد. از آنجا که فرآیند بیابان‌زایی نتیجه تعامل و همگرایی عامل‌های مختلف انسانی و طبیعی است، لذا، انتخاب روش پهنه‌بندی مناسب برای شدت و خطر بیابان‌زایی که با خطای کمتر، دقت و ضریب اطمینان زیاد همراه است و مناسب با شرایط محیطی منطقه مورد مطالعه باشد، نتایج قابل قبولی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت مقابله با پدیده مخرب بیابان‌زایی در مقیاس محلی، فراهم خواهد نمود. به عنوان یک روش مناسب برای ارزیابی شدت و پهنه بندی اراضی حساس به بیابان‌زایی در مناطقی با اقلیم مدیترانه‌ای می‌توان به روش ESAs^۵ اشاره نمود. این روش در بسیاری از کشورهای جهان و از جمله ایران، برای ارزیابی حساسیت محیط‌زیستی اراضی به بیابان‌زایی استفاده شده است (۱۲، ۱۵، ۳۲، ۳۳)، که با توجه به نتایج حاصله، می‌توان از این مدل علاوه بر پهنه‌بندی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی، در برنامه‌ریزی سناریو و ارائه راهبردهای مدیریت سرزمین نیز بهره‌برداری نمود. نتایج بدست آمده بیانگر مناسب بودن مدل ESAs جهت ارزیابی شدت و پهنه بندی اراضی حساس به بیابان‌زایی بوده است. در سایر کشورها با اقلیم مشابه نیز نتایج یکسانی بدست آمده است. بطوریکه، برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی در کشورهای حوزه مدیترانه و پهنه‌بندی اراضی حساس به بیابان‌زایی در سه نقطه مختلف جغرافیایی در کشور یونان در جزیره لس وس^۶، کشور ایتالیا در حوضه آگری در باسیلیکاتا^۷ و در کشور پرتغال در منطقه آلتیگو^۸ اجرا و نتایج آن به کمیسیون اروپا ارائه گردید (۲۰، ۲۱). نتایج بررسی‌های انجام شده تحت عنوان روش و مدل پهنه‌بندی اراضی حساس به بیابان‌زایی در سال ۱۹۹۹ منتشر شد.

10 Analyzes Hierarchy Process (AHP)

11 Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

12 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

13 Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)

14 Analytical Network Process (ANP)

15 Bernardo Ranking Model

1 Modify Numerical Taxonomy (MNT)

2 Environmental vulnerability index (EVI)

3 Principal Component Analysis (PCA)

4 Shannon's Entropy Model

5 Environmentally Sensitive Areas (ESAs)

6 Lesvos Island

7 Basilicata, Agri Basin

8 Alentejo Region

9 Elimination et Choice Translating Reality (ELECTRE)

یکی از روش‌های پیش‌بینی راهبردها و استراتژی‌های مدیریت برای آینده، برنامه‌ریزی سناریو براساس روش آینده‌پژوهی است (۱۰، ۱۱). در حقیقت می‌توان گفت آینده‌پژوهی، فرآیندی سیستماتیک، مشارکتی و گردآورنده ادراکات آینده است که چشم‌اندازی میان‌مدت تا بلندمدت را با هدف اتخاذ تصمیم‌های روزآمد و بسیج اقدامات مشترک بنا می‌سازد (۱). در این میان روش دلفی^۱ به عنوان یک روش مبتنی بر نظرات دیگران و متخصصین، امکان ارائه و اولویت‌بندی روش‌های مختلف مدیریتی را فراهم می‌سازد. از این روش در جمع‌آوری نظرات درباره موضوعات خاص و نیز یافتن توافق جمعی درباره مسایل مورد اختلاف استفاده می‌گردد. دلفی علاوه بر آنکه یک روش آینده‌پژوهی است یکی از پرکاربردترین مدل‌های تحقیق کیفی نیز محسوب می‌گردد (۱۰، ۱۴).

هدف اصلی پژوهش حاضر، شناسایی و ارزیابی شاخص‌ها و معیارهای موثر بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در حوزه کویر نمک و پهنه‌بندی اراضی، بر اساس روش ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی (ESAs) و همچنین ارایه و تدوین راهبردها و استراتژی‌های مدیریتی مبتنی بر برنامه‌ریزی سناریو و روش آینده‌پژوهی می‌باشد هرچند بررسی‌ها و پژوهش‌های متعددی در مناطق مختلف استان خراسان رضوی انجام شده است، اما به دلیل عدم وجود نقشه‌های مناسب همراه با ارائه راهبردهای مدیریتی، امکان کاهش قابل توجه اثرات بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در منطقه وجود نداشته و عمده فعالیت‌های اجرایی به صورت پروژه‌های کوتاه مدت و گهگاه بدون ارزیابی اثرات انجام شده است. لذا، امید است نتایج پژوهش حاضر بتواند در ارائه دیدگاه‌های مناسب مدیریتی و ارائه راهبردها و استراتژی‌های عملیاتی مورد استفاده قرار گیرد. مقدار مساحت تحت تأثیر فرسایش بادی در شکل پیوست دیده می‌شود.

■ مواد و روش

معرفی منطقه مورد بررسی

استان خراسان رضوی دارای مساحتی در حدود 105×116 است. نزدیک به نیمی از مساحت استان، یعنی در حدود 550000 ha دارای رخساره‌های گوناگون بیابانی است و از این مقدار، در 105×15 ha اراضی تحت تأثیر فرسایش بادی و مساحتی معادل 768500 ha به عنوان کانون‌های بحرانی فرسایش بادی شناسایی شده‌اند. این استان به ۴ حوزه آبخیز بزرگ تقسیم می‌گردد (قره‌قوم در بخش شمالی، شرق کشور در جنوب و جنوب شرق استان، کویر مرکزی در غرب و بخش کوچکی از ترک در شمال غرب استان). حوزه آبخیز کویر نمک در محدوده طول شرقی 540000 تا 780000 متر و عرض شمالی 3720000 تا 3940000 متر برحسب UTM^۲ قرار دارد (۲۷). محدوده مورد بررسی، بخشی از زیر حوزه آبخیز کویر نمک در کویر مرکزی می‌باشد، از نظر زون ساختاری در پهنه ایران مرکزی واقع است (شکل ۱). بخش شمالی منطقه را کوهستان‌های مرتفع با سنگ‌شناسی رسوبی و آذرین و گستره نسبتاً پهنابوری از آمیزه‌های رنگی^۳ سنگ‌های افیولیتی با ترکیبی از سنگ‌های رسوبی تبخیری که یکی از منابع انتقال شوری به اراضی پایین دست حوزه است، تشکیل می‌دهد. از نظر اقلیمی، بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه در اقلیم بیابانی خشک و نیمه خشک و بخش شمالی آن خشک جنب مرطوب است. وضعیت پوشش گیاهی و مراتع در بخش جنوبی ضعیف تا خیلی ضعیف و در بخش شمالی، متوسط می‌باشد (۹، ۱۹، ۲۷). وجود تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه، منشاء آلودگی‌های محیطی و گهگاه مهاجرت افراد بومی شده است. علاوه بر آن چرای دام از عوامل اصلی تخریب مراتع در بخش‌های شمالی و شمالی غربی منطقه به شمار می‌آید. مساحت محدوده مورد مطالعه در حدود 106×2 ha می‌باشد که شامل شهرستان‌های مه ولات و بجستان و بخش‌های عمده‌ای از شهرستان‌های کاشمر، خلیل آباد، تربت حیدریه، زاوه، رشتخوار و گناباد و نیز قسمت محدودتری از شرق شهرستان بردسکن است. قسمت جنوبی حوزه کویر نمک در خراسان جنوبی واقع گردیده که خارج از محدوده مورد مطالعه در

پنج معیار کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش و مدیریت انسانی و تعداد ۱۵ شاخص از جمله بافت خاک، عمق خاک، شیب زمین، زهکشی خاک، بارندگی، تبخیر و تعرق، خشکی، تراکم پوشش گیاهی، محافظت از فرسایش، خطر آتش‌سوزی، فرسایش آبی، فرسایش بادی، تراکم دام سبک، تراکم جمعیت انسانی برای ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی در حوزه کویر نمک استفاده شد. هرکدام از معیارها نیز دارای تعدادی شاخص برای ارزیابی حساسیت مناطق به بیابان‌زایی می‌باشند که بیشتر در سه طبقه ۱ تا ۳ طبقه‌بندی خواهند شد. به‌نحویکه منظور از طبقه ۱ مناطقی با حساسیت کم، کلاس ۲ مناطقی با حساسیت متوسط و مناطق با ارزش و طبقه ۳ مناطقی با حساسیت زیاد به بیابان‌زایی خواهند بود. هرچند برخی از شاخص‌ها دارای بیش از ۳ طبقه می‌باشند (۱۵، ۲۰، ۲۱). مبنای زمانی پژوهش سال ۱۴۰۰ بوده است و برای تکمیل اطلاعات اولیه، علاوه بر بازدیدهای میدانی مکرر از منطقه مورد مطالعه، از طرح‌های اجرایی، گزارشات و نقشه‌های موجود در سال ۱۴۰۰ نیز استفاده شد.

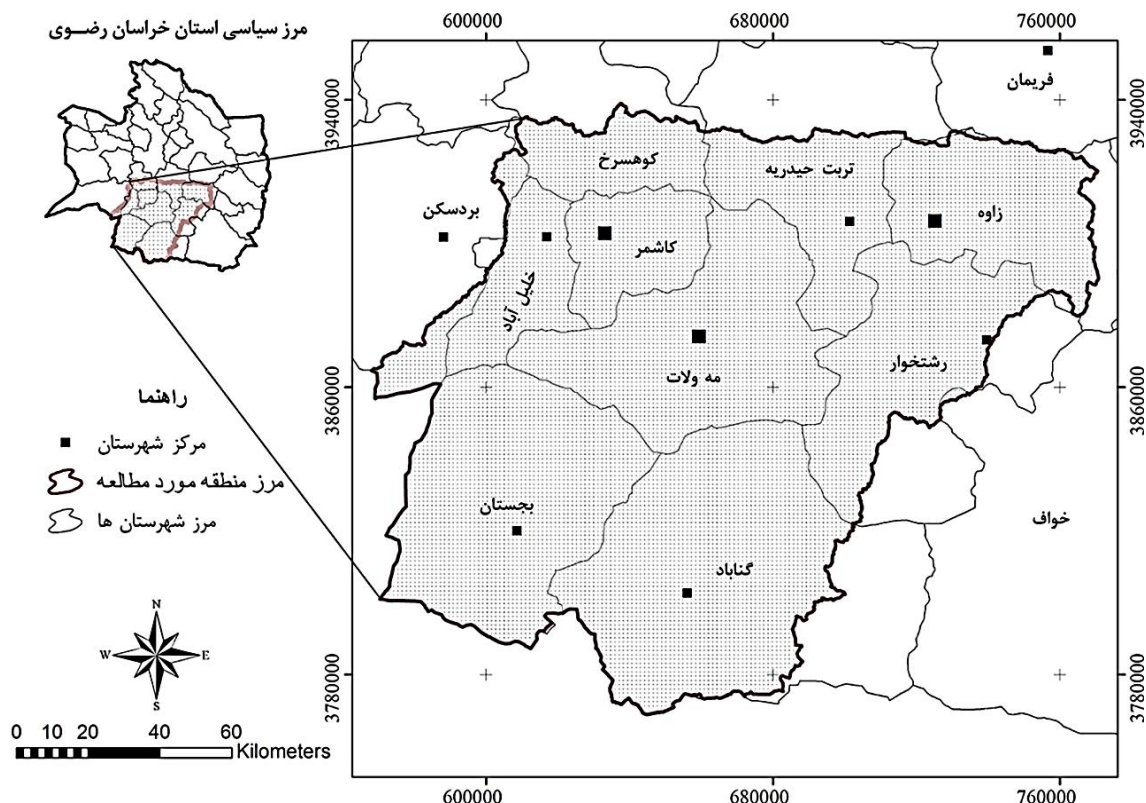
پژوهش حاضر است. علاوه بر آن، بیش از ۱/۳ مساحت این حوزه تحت تأثیر فرسایش بادی و محل وقوع کانون‌های مهم فرسایش بادی استان است. با توجه به اینکه زندگی، معیشت و فعالیت‌های اقتصادی جمعیت انسانی این منطقه که در تمام گستره یا بخشی از ۹ شهرستان واقع در این منطقه سکونت دارند، تحت تأثیر این پدیده قرار دارد (۲۷).

روش انجام پژوهش

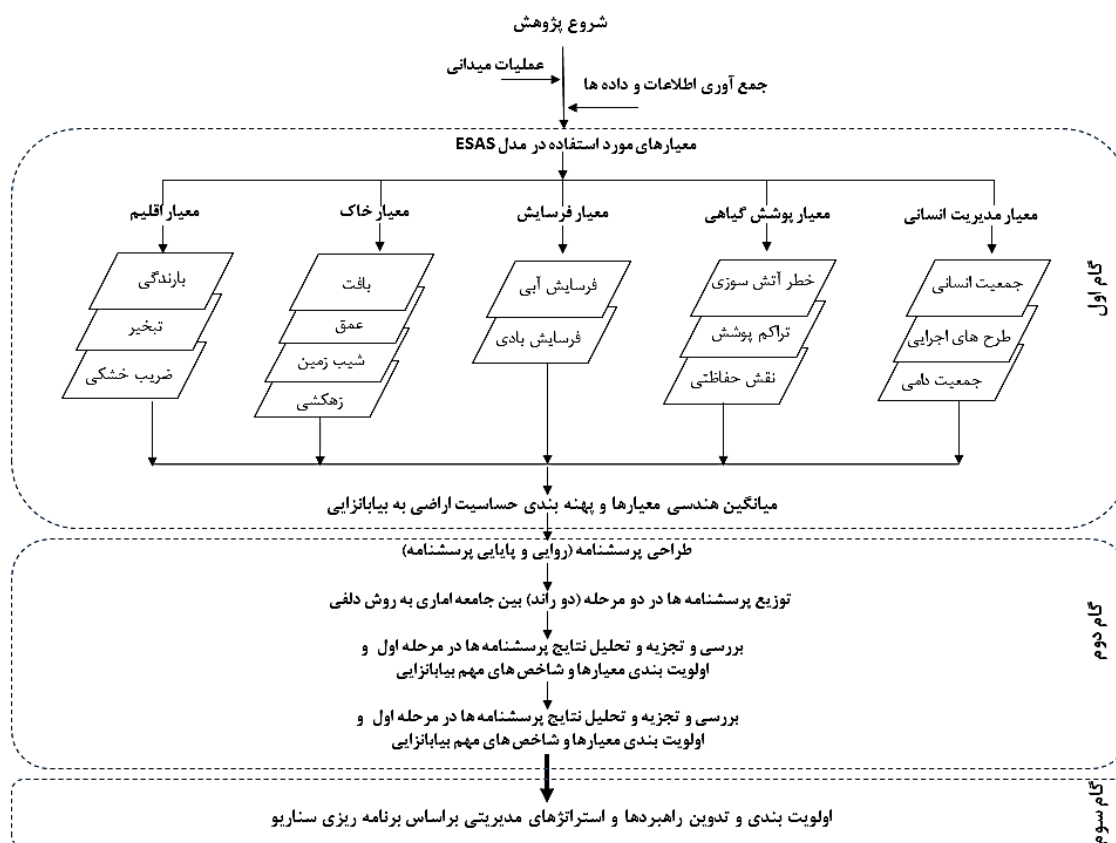
با توجه به ماهیت و هدف، پژوهش حاضر در سه گام طبق نمودار جریان (شکل ۲) انجام شد. گام اول ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی طبق روش ESAs، گام دوم، تعیین جامعه آماری، طراحی پرسشنامه و توزیع آن در دو مرحله و تجزیه و تحلیل نتایج آنها و در گام سوم تعیین و اولویت‌بندی استراتژی‌ها و راهبردهای مدیریتی.

گام اول: ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با روش ESAs

برای ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی از مدل جهانی ESAs استفاده شد. بنابراین، با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر از



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه، حوزه کویر نمک در ایران و استان خراسان رضوی



شکل ۲. نمودار جریانی مراحل انجام کار

$$MQI = (O \times Pd \times P)^{1/3} \quad (5)$$

در رابطه ۱؛ SQI معیار کیفیت خاک، T شاخص بافت خاک، D شاخص عمق خاک، S شاخص شیب زمین و Dr شاخص زهکشی خاک است (۲۴).

در رابطه ۲؛ CQI شاخص معیار کیفیت اقلیم، E شاخص تبخیر و تعرق، Ai شاخص اندکس خشکی است (۲۳).

در رابطه ۳؛ VQI شاخص معیار کیفیت پوشش گیاهی، F شاخص خطر آتش سوزی، Ep شاخص محافظت از فرسایش، V شاخص تراکم پوشش گیاهی است (۲۴).

در رابطه ۴؛ EQI معیار کیفیت فرسایش، Wa شاخص فرسایش آبی، Wi شاخص فرسایش بادی است (۲۴).

در رابطه ۵؛ MQI معیار کیفیت مدیریت انسانی، O تراکم دام، Pd تراکم جمعیت انسانی، P طرح های اجرایی (۲۴).

پس از وزن دهی و کمی نمودن هر شاخص، طبق جدول استاندارد مدل، شدت بیابانزایی براساس هر شاخص بدست آمد (جدول ۱). سپس با محاسبه میانگین هندسی شاخص های هر معیار و با استفاده از روابط ۱ تا ۵، (۲۴)، مقدار ارزش کیفیت معیارها محاسبه و در سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱، لایه اطلاعاتی معیارها تهیه شد (۲۰، ۲۲).

$$SQI = (T \times D \times S \times Dr)^{1/4} \quad (1)$$

$$CQI = (R \times E \times Ai)^{1/3} \quad (2)$$

$$VQI = (F \times Ep \times V)^{1/3} \quad (3)$$

$$EQI = (Wa \times Wi)^{1/2} \quad (4)$$

جدول ۱. ارزش وزنی معیارها و شاخص‌های موثر بیابان‌زایی حوزه کویر نمک طبق استاندارد مدل ESAs (۲۰، ۲۴)

معیار	شاخص	ویژگی کمی و کیفی شاخص‌ها	ارزش وزنی
بافت		ماسه‌ای رسی - سیلتی لوم - سیلتی رسی لوم	۱/۲
		سیلت - رس - رسی سیلتی	۱/۶
		ماسه‌ای	۲
		متوسط (۳۰ - ۷۵)	۱/۲
		کم (۱۵ - ۳۰)	۱/۶
		خیلی کم (< ۱۵)	۲
عمق (سانتی‌متر)		خیلی کم تا مسطح (< ۶)	۱
		کم (۶ - ۱۸)	۱/۲
		زیاد (۱۸ - ۳۵)	۱/۵
		خیلی زیاد (> ۳۵)	۲
		خوب	۱
		ناقص	۱/۲
شیب (درصد)		ضعیف	۲
		> ۳۰۰	۱
		(۲۰۰ - ۳۰۰)	۱/۲
		(۱۵۰ - ۲۰۰)	۱/۵
		(۱۰۰ - ۱۵۰)	۱/۷
		< ۱۰۰	۲
زهکشی خاک		> ۱۵۰۰	۱
		تبخیر و تعرق (میلی‌متر)	۱/۵
		> ۲۰۰۰	۲
		(۰/۲۰ - ۰/۵۰) نیمه خشک	۱/۵
		(۰/۲۰ - ۰/۳۰) خشک	۱/۸
		(۰/۳۰ <) خیلی خشک	۲
اقلیم		$0/10 < DVI < 0/20$	۱/۳
		$0 < DVI < 0/10$	۱/۷
		بوستان‌ها و باغات میوه - مراتع همیشه سبز	۱
		چمنزارها و مراتع دائمی	۱/۳
		کشتزارها و مزارع غلات - چمنزارهای یکساله	۱/۶
		فاقد پوشش (لخت)	۲
پوشش گیاهی		فاقد پوشش (لخت)	۱
		کشتزارها و مزارع غلات - چمنزارهای یکساله	۱/۵
		بوستان‌ها و باغات میوه - مراتع همیشه سبز	۲
		کم	۱
		متوسط	۱/۴
		زیاد	۱/۷
محافظةت از فرسایش		خیلی زیاد	۲
		کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۱/۸
		خیلی زیاد	۲
فرسایش آبی*			
فرسایش بادی			

* نقشه مورد استفاده برای ارزیابی فرسایش آبی، از نقشه‌های موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزدای استان خراسان رضوی می‌باشد که با روش PSIAC در سال ۱۳۹۷ تهیه شده است.

ادامه جدول ۱. ارزش وزنی معیارها و شاخص‌های موثر بیابان‌زایی حوزه کویر نمک طبق استاندارد مدل ESAs (۲۰، ۲۴)

معیار	شاخص	ویژگی کمی و کیفی شاخص‌ها	ارزش وزنی
مدیریت انسانی	تراکم جمعیت (نفر در هکتار)	< 20	۱
		$20 - 40$	۱/۵
		$40 - 60$	۱/۷
		> 60	۲
		$50 - 100$	۱
	تراکم دام (تعداد دام در هکتار)	$50 - 100$	۱/۲
		$100 - 200$	۱/۴
		$200 - 300$	۱/۷
		> 300	۲
		دارای طرح و اجرا شده	۱
طرح‌های اجرایی	طرح‌های اجرایی	دارای طرح، اجرا نشده	۱/۳
		فاقد طرح، اجرا نشده	۱/۷

سپس، با محاسبه میانگین هندسی معیارها، حساسیت اراضی به بیابان‌زایی منطقه یا $ESAI^1$ محاسبه و با مقایسه با طبقه‌بندی استاندارد مدل، طبقه حساسیت به بیابان‌زایی منطقه تعیین شد (جدول ۲).

گام دوم: استفاده از روش دلفی، طراحی پرسش‌نامه، انتخاب جامعه آماری و تحلیل داده‌های آماری

یکی از اهداف پژوهش حاضر، ارائه راهبردها و استراتژی‌های مدیریتی مبتنی بر آینده‌پژوهی در مدیریت حوزه آبریز کویر نمک است، منظور از راهبرد، مجموعه‌ای از اهداف غایی، مقاصد اساسی، مأموریت‌های بنیادین، قواعد زیربنایی و نحوه تخصیص منابع برای دستیابی به اهداف

است که جهت‌گیری و حرکت سازمان‌ها بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد و استراتژی نیز در مفهوم امروز آن، بدین معنی است که، مقصد کجاست و رسیدن به آن چگونه است؟. استراتژی به گونه‌ای، اهداف بلندمدت را تبیین می‌نماید، اما تأکید آن بر چگونگی تحقق این اهداف است. در واقع استراتژی، جنبه عملیاتی از راهبرد است (۱۰، ۲۸، ۳۸). لذا در این گام، به منظور استخراج نقطه نظرها جامعه آماری متخصص در خصوص عامل‌های اصلی بیابان‌زایی منطقه و نیز راهکارهای مدیریت حوضه، از روش آینده‌پژوهی دلفی استفاده شد. بدین منظور، بر اساس نتایج و داده‌های به‌دست آمده در گام اول، طی دو مرحله، پرسشنامه‌هایی تنظیم و بین جامعه آماری مورد نظر توزیع شد (پیوست ۱).

جدول ۲. طبقه بندی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی (۲۱)

دامنه تغییرات هر طبقه در $ESAI$	کلاس / طبقه حساسیت اراضی	نماد طبقه
$> 1/53$	بحرانی شدید	C3
$1/42 - 1/53$	بحرانی متوسط	C2
$1/38 - 1/41$	بحرانی	C1
$1/33 - 1/37$	خیلی شکننده	F3
$1/27 - 1/32$	شکننده	F2
$1/23 - 1/26$	نسبتاً شکننده	F1
$1/17 - 1/22$	دارای پتانسیل شکنندگی	P
$< 1/17$	غیر موثر	N

گزینه‌ها، براساس روش وزن‌دهی، ارزش عددی اختصاص داده شد و پاسخ‌های کیفی، به رتبه‌های کمی تبدیل شدند (۱). سطح مطلوبیت هر یک از شاخص‌ها، با استفاده از طیف سه قسمتی تعیین سطح مطلوبیت انجام شد. بر اساس این طیف، از ۱ تا ۱/۶۶ به عنوان نامطلوب، از ۱/۶۶ تا ۲/۳۳ نسبتاً مطلوب و از ۲/۳۳ تا ۳ به عنوان سطح مطلوب مشخص شد (شکل ۳) (۱، ۱۱) (رابطه ۶).

$$x = \frac{a * b}{N} \quad (6)$$

که در این رابطه (۱۰):

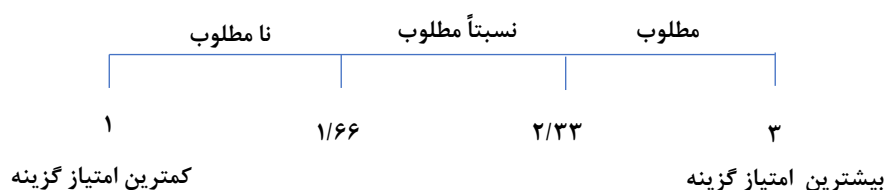
X = امتیاز نشانگر، a ، فراوانی گزینه مربوط به هر نشانگر b ، ارزش عددی وزن هر سطح N ، تعداد کل پاسخ دهندگان به سوال مورد نظر

پس از آنکه سطح مطلوبیت هر پاسخ یا هر شاخص به دست آمد، مجدداً سطوح کیفی مطلوبیت، با وزن دهی مجدد، به ارقام کمی تبدیل شد. به نحویکه به سطح مطلوب، ارزش وزنی ۳، نسبتاً مطلوب؛ ارزش وزنی ۲ و به سطح نامطلوب؛ ارزش وزنی ۱ داده شد. سپس با محاسبه ارزش وزنی سطح مطلوبیت طبق رابطه ۶، ارزش کمی هر معیار نیز تعیین و مشابه شاخص‌ها، سطح مطلوبیت معیارها نیز با استفاده از طیف سه قسمتی تعیین مطلوبیت به دست آمد (شکل ۳) (۱، ۱۱).

در مرحله آخر، ارزش‌های کیفی معیارها، با وزن دهی مجدد بین اعداد ۱ تا ۳، برای سطح مطلوب؛ ارزش عددی ۳، نسبتاً مطلوب؛ ارزش عددی ۲ و نامطلوب؛ ارزش عددی ۱ اختصاص یافت. در ادامه نیز، با محاسبه میانگین وزنی معیارها، امتیاز عامل محاسبه شد.

در تدوین پرسش‌ها سعی شد از سؤال‌های بی‌ربط و مبهم خودداری شود. پاسخ سؤال‌ها در این روش براساس طیف لیکرت^۱ و در ۶ ستون خیر، ناچیز، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد درجه‌بندی و به هر ستون بترتیب، ارزش عددی صفر تا ۵ داده شد (۱۰). پرسش‌نامه‌های طراحی شده، مشتمل بر ۲۵ سؤال، پیرامون ۵ معیار اصلی خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش و مدیریت انسانی طبقه‌بندی گردید. جامعه آماری شامل؛ کارشناسان ارشد و مدیران اجرایی متخصص در حوزه بیابان، منابع طبیعی و محیط زیست به تعداد ۴۸ نفر بودند که بر اساس جدول مورگان (۱۰) برای جامعه ۴۸ نفره، تعداد ۴۰ نفر از مدیران و کارشناسان بیابان اداره کل منابع طبیعی استان و سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و چند تن از استادان گروه مدیریت بیابان دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد به عنوان اعضای نمونه آماری برای تکمیل پرسشنامه انتخاب شدند. ضریب پایایی با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ به مقدار ۲/۸۶ به دست آمد که مبین پایایی مطلوب بود. در خصوص روایی پرسش‌نامه‌ها نیز از نظر کارشناسان و صاحب‌نظران اجرایی و پژوهشی استفاده و روایی پرسشنامه‌ها تایید شد (۱۰، ۱۱).

پس از توزیع پرسش‌نامه‌های دور اول و دریافت پاسخ‌ها، با استفاده از روش محاسبه امتیاز شاخص، نسبت به ارزیابی و امتیازدهی به هر پاسخ اقدام شد (۱۰). طبق این روش، هر پرسش به عنوان یک شاخص، دارای جایگاه مشخص و بر حسب مقیاس رتبه‌ای آن درجه‌بندی شد. به عبارت دیگر برای گزینه‌های این نوع مقیاس، سلسله مراتب درجه‌بندی شده خیر، ناچیز، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در نظر گرفته شد و به هر یک، ارزش وزنی از صفر تا ۵ داده شد. تعیین امتیاز شاخص‌ها؛ بدین صورت انجام شد که به پاسخ



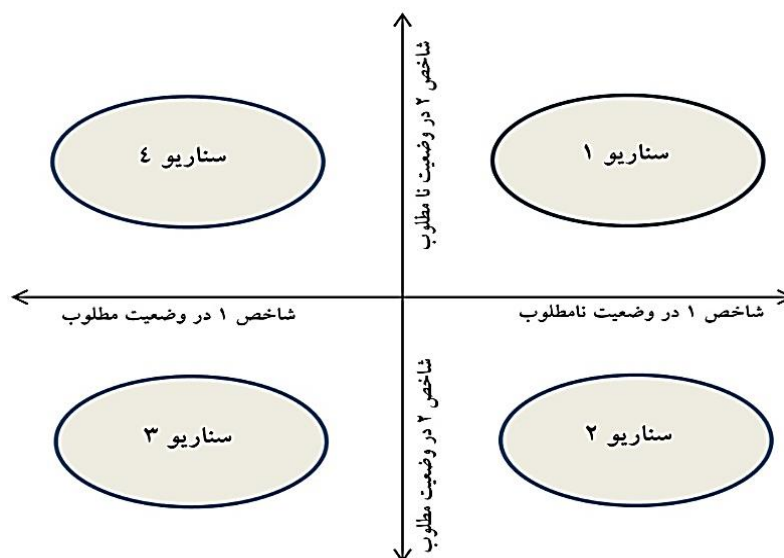
شکل ۳. طیف سه قسمتی تعیین مطلوبیت (۱، ۱۱)

و تحلیل داده‌ها، به ترتیب، معیارهای؛ اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، فرسایش و مدیریت انسانی، به عنوان معیارهای مؤثر، از دیدگاه جامعه آماری شناسایی و اولویت‌بندی شد. پس از آن، با توجه به امتیاز شاخص‌ها، بیشترین شاخص از هر معیار، انتخاب و با استفاده از ماتریس سناریو (۱۰، ۲۸، ۳۸)، شاخص منتخب از معیار اول با شاخص منتخب از معیار دوم مورد بررسی قرار گرفتند. به‌طوریکه براساس قطاع‌های صورت گرفته، تحلیل کارشناسی برای تدوین بهترین راهبردها و استراتژی‌ها طبق نظر جامعه آماری تدوین شد. با توجه به نحوه قرارگیری شاخص‌های متفاوت در هر ماتریس، سناریوهای قابل تصور، در بدترین حالت؛ سناریوی ۱، بهترین شرایط؛ سناریوی ۳ و در وضعیت حدواسط؛ سناریوهای ۲ و ۴ پیش‌بینی و تحلیل و راهبردهای مدیریتی برای هر سناریو تدوین شد (شکل ۴). با توجه به شاخص‌های منتخب از ۵ معیار مؤثر در بیابان‌زایی منطقه، تعداد ۱۰ ماتریس سناریو برای پیش‌بینی و تحلیل وضعیت طبیعی و محیطی، در ۴۰ سناریوی متفاوت تنظیم گردید. سپس با استفاده از تجربه‌های اجرایی، مدیریتی و آکادمیک نویسندگان پژوهش حاضر، راهبردها و اقدامات مدیریتی محتمل و جامع‌نگر برای هر سناریو تدوین که به دلیل حجم بالای مطالب از ارائه آنها در این مجال، خودداری می‌گردد. پس از آن با حذف موارد تکراری و ادغام موارد مشابه، رهنمودهای حاصله در ۴ عنوان، تحت راهبردهای مدیریتی و ۱۲ استراتژی طبقه‌بندی گردید.

در مرحله دوم توزیع پرسشنامه، با توجه به نتایج به‌دست آمده در مرحله اول، تغییراتی در سوال‌ها و ترتیب و تقدم آنها داده شد که بازخورد سوال‌ها مجدداً مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد. بدین ترتیب، در این گام، داده‌های حاصل از پاسخ‌نامه‌های جامعه آماری طی دو مرحله مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت و مهمترین شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی منطقه از دیدگاه پرسش‌شوندگان نیز احصا و با نتایج حاصل از گام اول مقایسه شد.

گام سوم: برنامه‌ریزی سناریوهای آینده‌نگر

در ترسیم سناریوهای آینده‌نگر، سه سطح آینده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، آینده‌های ممکن، که شامل وضعیت‌هایی است که می‌تواند در آینده محقق شود. این دسته از سناریوها، عمدتاً حاصل تصورات ذهنی است. آینده‌های باور کردنی، به آن دسته از آینده‌هایی اطلاق می‌گردد که براساس دانش فعلی تحلیل‌گران استوار است و امکان بروز آنها در آینده متصور است. آینده‌های محتمل که به آن دسته از وقایعی اشاره دارد که احتمالاً در آینده محقق می‌گردند. در سناریو نویسی برای آینده، از تقاطع دو عامل مؤثر با بیشترین عدم قطعیت استفاده و ترکیبی از آینده‌های ممکن، محتمل و باورکردنی به عنوان آینده مطلوب، به صورت ماتریس سناریو ترسیم و برای نیل به آن، راهکارهای مدیریتی مختلف تدوین می‌شود (۳۸). با توجه به نتایج به‌دست آمده از دو مرحله توزیع پرسشنامه



شکل ۴. ماتریس سناریو (۱۱)

نتیجه تحلیل و پردازش شاخص‌ها و معیارها در سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داد که معیار اقلیم با ارزش وزنی ۱/۵۴ بالاترین رتبه و سایر معیارها بترتیب، مدیریت انسانی، خاک، فرسایش و پوشش با ارزش‌های وزنی ۱/۵۳، ۱/۵۱ و ۱/۴۵ به عنوان معیارهای بعدی موثر در بیابان‌زایی منطقه هستند (جدول ۳). در سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های مربوط به معیارهای فوق نیز تهیه گردید (شکل ۵).

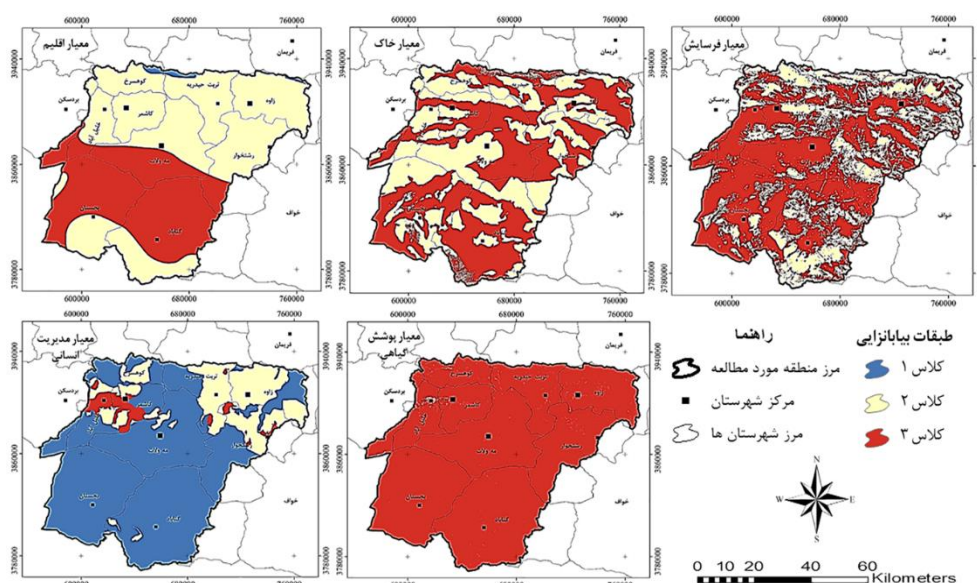
در انتها به منظور اولویت‌بندی راهبردها و استراتژی‌های آینده‌نگر، در جلسه‌ای با حضور تعداد محدودتری از جامعه آماری متخصص که عمدتاً از کارشناسان ارشد، مدیران ارشد ادارات اجرایی بودند، راهبردهای مدیریتی و استراتژی‌های مربوط به هر یک، با استفاده از شیوه ماتریس مقایسه زوجی امتیازدهی و اولویت‌بندی گردید (۱۰، ۱۱).

■ نتایج

نتایج گام اول: ارزیابی و پهنه‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی

جدول ۳. طبقه‌بندی و رتبه‌بندی کیفیت معیارها بر اساس مدل ESAs

نوع معیار	طبقه	دامنه معیار	میانگین هندسی معیار	مساحت (کیلومتر مربع)
کیفیت خاک SQI	۱	$< ۱/۱۳$	۱/۵۱	۳/۴۵
	۲	$۱/۱۳ - ۱/۴۵$		۹۶۵۵/۴۳
	۳	$> ۱/۴۶$		۱۱۵۵۱/۱
کیفیت اقلیم CQI	۱	< ۱	۱/۵۴	۱۸۲/۲۹
	۲	$۱ - ۱/۴۹$		۱۲۵۸۹/۵۸
	۳	$۱/۵ - ۲$		۸۴۴۷/۲۶
کیفیت پوشش گیاهی VQI	۱	$< ۱/۱۴$	۱/۴۵	صفر
	۲	$۱/۱۴ - ۱/۳۸$		۴۴/۴
	۳	$> ۱/۳۸$		۲۱۱۷۳/۳
کیفیت فرسایش EQI	۱	$< ۱/۱۳$	۱/۵۰	۱۰۸/۲۴
	۲	$۱/۱۴ - ۱/۴۵$		۷۹۴۵/۹۳
	۳	$> ۱/۴۶$		۱۳۱۶۴/۷۸
کیفیت مدیریت انسانی MQI	۱	$< ۱/۳۰$	۱/۵۳	۱۶۲۰۳/۲۴
	۲	$۱/۳۰ - ۱/۵۰$		۴۱۶۸/۰۲
	۳	$> ۱/۵۰$		۸۴۷/۶۲



شکل ۵. نقشه معیارهای بیابان‌زایی

بحرانی شدید C3 قرار دارند و سطح محدودی از اراضی نیز دارای پتانسیل بیابان‌زایی P است (جدول ۴).

درصد سطح اشغال طبقه‌های حساسیت اراضی به بیابان‌زایی در شهرستان‌های واقع در حوزه مورد بررسی به قرار زیر است (جدول ۵). جالب توجه است که، درصد اراضی واقع در طبقه C2 از C1 و C3 بیشتر و دقیقاً نقش‌گذار از مرحله بحرانی کم به مرحله بحرانی متوسط را ایفا می‌کنند (شکل ۶).

به‌طوریکه مقدار شاخص حساسیت اراضی به بیابان‌زایی منطقه مورد بررسی در حدود ۱/۵ به‌دست آمد و در طبقه بحرانی متوسط C2 قرار دارد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد مساحتی در حدود $1814/5 \text{ km}^2$ از اراضی منطقه در طبقه شکننده (F)، $3037/2 \text{ km}^2$ عرصه بحرانی C1، $11103/3 \text{ km}^2$ بحرانی متوسط C2، $5251/3 \text{ km}^2$ در

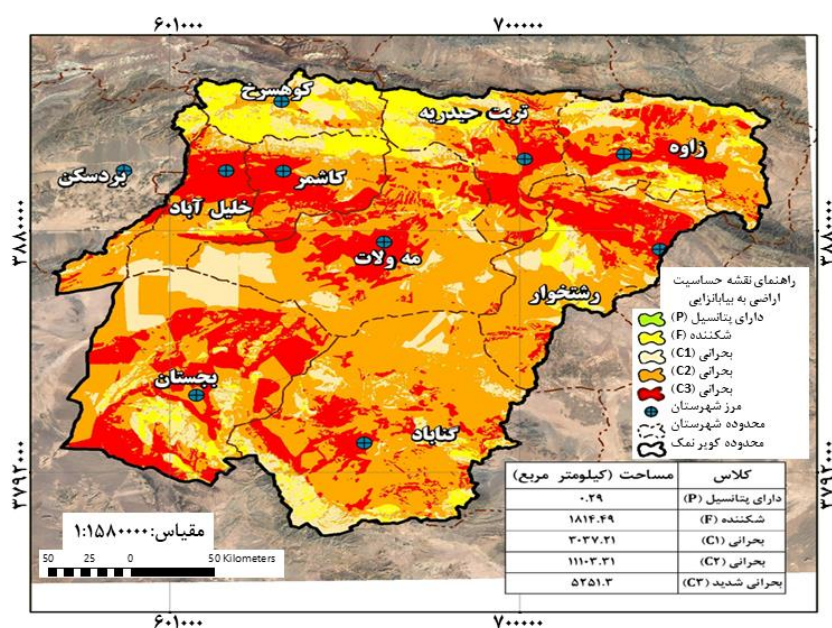
جدول ۴. طبقه‌بندی میزان حساسیت اراضی به بیابان‌زایی اراضی حوزه کویر نمک

طبقه بیابان‌زایی / نماد طبقه	مساحت (کیلومتر مربع)	سطح اشغال / درصد
دارای پتانسیل بیابان‌زایی و شکننده F و P	۲۶۱۴/۶	۱۲
بحرانی C1	۳۵۸۴/۱	۱۷
بحرانی شدید C2	۱۰۹۸۴/۸	۵۲
بحرانی خیلی شدید C3	۴۰۰۳/۳	۱۹

جدول ۵. درصد توزیع طبقه‌های حساسیت اراضی به بیابان‌زایی در شهرستان‌های حوزه مورد مطالعه

نام شهرستان	C3	C2	C1	F	P
بجستان	۲۶	۴۹	۱۸	۷	
گناباد *	۱۰	۶۲	۲۰	۸	
کاشمر	۳۷	۳۸	۱۰	۱۵	
خلیل‌آباد *	۳۳	۵۰	۱۲	۵	
مه‌ولات	۲۲	۶۲	۱۴	۳	
رشتخوار *	۲۰	۵۲	۱۸	۱۰	
زاوه *	۲۰	۴۵	۱۹	۱۷	
ترت حیدریه *	۲۰	۴۲	۱۴	۲۲	۲
کوهسرخ *	۱	۱۷	۲۰	۶۲	

* بخشی از مساحت این شهرستان‌ها در خارج از حوزه کویر نمک قرار دارد



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی اراضی حوزه کویر نمک استان خراسان رضوی

نتایج گام دوم: ارزیابی و تحلیل داده‌های آماری

نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که از نگاه جامعه آماری، معیار اقلیم، مدیریت و فرسایش، هر کدام با امتیاز ۳ مهمترین معیارها و پس از آن‌ها به ترتیب، معیارهای خاک و پوشش گیاهی با امتیازهای ۲/۷۵ و ۲/۵۰ به عنوان معیارهای موثر در بیابان‌زایی هستند (جدول ۶).

نتایج گام سوم: اولویت‌بندی راهبردها و استراتژی‌های مدیریتی

با توجه به سناریوهای آینده‌پژوهی که از طریق ماتریس سناریوهای محورهای متقاطع تدوین شد، بیش از یکصد راهکار مدیریتی برای شرایط بحرانی، عادی و حدواسط تدوین گشت که پس از حذف موارد تکراری و ادغام موارد مشابه و نزدیک بهم، راهبردها و استراتژی‌های مدیریتی جامع‌نگر برای سناریوهای مختلف تدوین شد. سپس با حذف موارد تکراری و ادغام موارد مشابه، تعداد ۴۹ رهنمود و اقدام مدیریتی احصا و در نهایت اقدامات مدیریتی در ۴ گروه اصلی، به عنوان راهبردهای مدیریتی جامع‌نگر و در ۱۲ دسته به عنوان استراتژی‌های هدفمند تفکیک و برای هر استراتژی، راهکارها و اقدامات مناسب به شرح زیر تدوین شد.

راهبرد مدیریتی ۱: اعمال مدیریت تطبیقی و انسجام سازمانی

استراتژی اول - برنامه‌های بازدارنده و جلوگیری از تخریب اراضی در کوتاه مدت

اقدام ۱- پی‌گیری وضع و یا اصلاح قوانین بازدارنده حفاظت از منابع زیستی.

اقدام ۲- اعمال تغییر و اصلاح در روش‌های بهره‌برداری از منابع محیطی و زیستی، در راستای کنترل بیابان‌زایی و

پایداری منابع.

اقدام ۳- برخورد با متخلفان تخریب منابع زیستی و محیطی و متوقف نمودن فعالیت‌های منتهی به تخریب.
اقدام ۴- برقراری مشوق‌های منطقه‌ای در راستای متوقف نمودن فعالیت‌های منجر به تخریب.

استراتژی دوم- برنامه‌های توسعه‌ای، اصلاحی و حفاظتی درمیان مدت و بلند مدت

اقدام ۱- پتانسیل‌سنجی اکولوژیکی منطبق بر اسناد بالادستی (طرح آمایش سرزمین، طرح‌های توسعه شهرستان، شهر و روستا، برنامه‌های توسعه پنجساله، طرح‌های هادی در مناطق روستایی و طرح‌های جامع در مناطق شهری).

اقدام ۲- رایزنی‌های ملی و بین‌المللی جهت برقراری انتفاع از تجارت کربن به عنوان یکی از منابع درآمدی برنامه‌های توسعه.

اقدام ۳- ایجاد زیرساخت‌های لازم برای تامین نیازهای آموزشی، بهداشتی، ورزشی و فرهنگی آحاد جامعه بخصوص جوانان در راستای کاهش مهاجرت.

اقدام ۴- تامین آب شرب پایدار، برق و گاز از سوی دستگاه‌های متولی در راستای افزایش روحیه و امید به زندگی در مناطق سخت و شکننده.

اقدام ۵- تغییر روش کشت و سبک کشاورزی در مناطق سخت و شکننده به کشت‌های گلخانه‌ای و استفاده از روش‌های نوین آبیاری با همکاری دستگاه‌های ذیربط.

اقدام ۶- اجرای برنامه‌های به‌زراعی، اعم از تغییر در نوع و الگوی کشت و تغییر در شیوه‌های آبیاری و کنترل آفات و بیماری‌های زراعی و باغی با همکاری دستگاه‌های ذیربط به منظور افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از منابع زیستی.

جدول ۶. مقایسه نتایج ارزیابی معیارها با مدل ESAs و روش دلفی (نظر کارشناسان در جامعه آماری)

معیار	ارزش وزنی معیارها در مدل ESAs	ارزش وزنی معیارها در روش دلفی
اقلیم	۱/۵۴	۳
مدیریت	۱/۵۳	۳
خاک	۱/۵۱	۲/۷۵
فرسایش	۱/۵۰	۳
پوشش گیاهی	۱/۴۵	۲/۵۰

استراتژی سوم- انسجام سازمانی و توانمند سازی ساختاری و اداری

اقدام ۱- جایگزین نمودن روش‌های مدیریت تطبیقی یا مدیریت استراتژیک بجای شیوه‌های مدیریت سنتی.

اقدام ۲- چابک‌سازی ساختاری و تشکیلاتی منابع طبیعی استان و شهرستان‌ها و تکمیل کادر مورد نیاز از طریق جذب و بکارگیری نیروهای متخصص و حفاظتی و اداری مورد نیاز در راستای اعمال مدیریت جامع مناطق بیابانی.

اقدام ۳- هماهنگ نمودن دستگاه‌های اجرایی مرتبط و موثر در ایجاد زیرساخت‌های توسعه و ارائه خدمات هوشمند و دستورالعمل‌های استفاده بهینه از منابع زیستی متناسب با ظرفیت‌های بوم‌شناختی (اکولوژیک) منطقه.

اقدام ۴- تقویت نقش مدیران محلی از طریق تفویض اختیار برای مدیریت بهینه و اعمال مقررات استفاده صحیح از منابع.

راهبرد مدیریتی ۲: توانمند سازی اقتصادی و اجتماعی جوامع محلی

استراتژی اول- توانمندسازی جوامع محلی و تقویت نهادهای اجتماعی

اقدام ۱- شناسایی افراد ذی‌نفوذ، رهبران محلی، ریش سفیدان و روحانیون موثر در جوامع محلی و برگزاری جلسات توجیهی.

اقدام ۲- استفاده از نقش افراد ذی‌نفوذ در رفع اثرات نامطلوب محیطی در راستای مدیریت ریسک و پایداری استفاده از منابع زیستی.

اقدام ۳- تشکیل اتاق فکر مشورتی با نمایندگان مورد وثوق جوامع محلی و تدوین دستورالعمل‌های مشارکتی در راستای مدیریت بحران.

اقدام ۴- برگزاری جلسات عمومی با جوامع محلی و آگاهی رسانی از وضعیت بحرانی و شرایط سخت آتی و راه‌های برون رفت.

اقدام ۵- اهمیت به نقش مردم در حفاظت از منابع زیستی و برقراری مشوق‌های لازم توسط دستگاه‌های اجرایی.

اقدام ۶- ایجاد تشکل‌های توسعه و تعاونی‌های روستایی در راستای تقویت روحیه مشارکتی و نگرش‌های محیط‌زیستی آحاد جامعه در نقاط آسیب‌پذیر.

استراتژی دوم- توان‌افزایی اقتصادی جوامع محلی در راستای کاهش وابستگی به سرزمین

اقدام ۱- ایجاد صندوق‌های اعتباری خرد روستایی و حمایت محلی و مردمی به دلیل آسیب در تولیدات روستایی.

اقدام ۲- برقراری مشوق‌های لازم جهت مشارکت سرمایه‌گذاران غیر بومی با ساکنان بومی جهت احداث نیروگاه‌های بادی و خورشیدی با همکاری و حمایت دستگاه‌های ذیربط.

اقدام ۳- اعطای وام‌های کم‌بهره و بلاعوض به مستمندان، تهیه وسایل و تجهیزات کارگاهی کوچک و بازاریابی برای ادامه چرخه تولید و کاهش مهاجرت.

اقدام ۴- اعطای وام کم‌بهره به متقاضیان احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی ۵ kw متصل به شبکه و ایجاد درآمد پایدار.

اقدام ۵- برنامه ریزی و ایجاد زیرساخت‌های متناسب با شرایط منطقه و جمعیت ساکن و نیاز گردشگران.

اقدام ۶- شناسایی و توسعه ظرفیت‌های بوم‌گردی بیابان در مناطق مستعد و ایجاد اشتغال و درآمدهای جایگزین.

استراتژی سوم - توسعه مشاغل سازگار با محیط و ایجاد درآمدهای جایگزین

اقدام ۱- توسعه مشاغل کوچک کارگاهی و حمایت از آنها و ایجاد شبکه‌های هوشمند مجازی مبادله و بازاریابی با مشارکت جوامع محلی.

اقدام ۲- توسعه و جایگزینی مشاغل سازگار با محیط زیست مانند دامداری‌های بسته، زنبورداری، پرورش آبزیان، پرورش ماکیان، تولید و فرآوری و بسته‌بندی گیاهان دارویی، مشاغل خانگی یا کارگاه‌های کوچک قالی بافی یا کشت‌های گلخانه‌ای و غیره با حمایت دستگاه‌های ذیربط

اقدام ۳- معدنکاری در مناطق بیابانی و استفاده از نیروی کار بومیان در فعالیت‌های معدنی و تدوین و نظارت بر پروتکل‌های محیط‌زیستی و کنترل بیابان.

راهبرد مدیریتی ۳: توسعه آموزش، فرهنگ‌پروری و تبلیغات

استراتژی اول- توسعه آموزش، ترویج و تقویت ظرفیت‌های مشارکتی

اقدام ۱- ارائه دوره‌های آموزشی برای جوامع محلی به منظور ارتقای دانش و آگاهی آنان از بروز شرایط شکننده و بحرانی و بهره‌برداری بهینه از منابع زیستی.

اقدام ۲- ارائه دوره‌های آموزشی برای آشنایی جوامع محلی و بهره‌برداران با روش‌های مدیریت جامع منابع طبیعی، جنگلداری، جنگلکاری، مرتعداری، حفاظت از حوضه‌های آبخیز و آشنایی با قوانین و مقررات.

اقدام ۳- آموزش و ارتقای مهارت در مشاغل روستایی و سازگار با محیط‌زیست، مانند پرورش ماهی، زنبورداری، تولید و فرآوری و بسته‌بندی گیاهان دارویی و دامداری‌های بسته، مشاغل خانگی یا کارگاه‌های کوچک قالی بافی یا کشت‌های گلخانه‌ای در مناطق روستایی.

استراتژی دوم- بکارگیری روش‌های نوین کشاورزی و دامداری

اقدام ۱- ارائه آموزش‌های ترویجی برای آشنایی و بکارگیری روش‌های نوین کشاورزی و آبیاری متناسب با شرایط منطقه.

اقدام ۲- ارائه آموزش‌های ترویجی برای آشنایی دامداران با روش‌های نوین دامداری، به‌نژادی، دامپزشکی و غیره متناسب با شرایط منطقه

استراتژی سوم- توسعه فرهنگ‌پروری و رسانه

اقدام ۱- آگاهی‌رسانی از طریق صدا و سیمای ملی و استانی در راستای بهره‌برداری‌های منطقی و پایدار از طبیعت بویژه مناطق بیابانی.

اقدام ۲- برگزاری نمایشگاه‌ها و همایش‌های عمومی و تخصصی به منظور معرفی و ارائه خدمات مورد نیاز مناطق و جوامع بهره‌بردار.

اقدام ۳- توسعه و بهره‌مندی از ظرفیت‌های رسانه‌ای و فضای مجازی در راستای ارتقای آگاهی و خرد جمعی.

راهبرد مدیریتی ۴: اجرای مشارکتی طرح‌های منابع طبیعی و آبخیزداری

استراتژی اول- اجرای سازه‌های مهار و تولید آب و پایداری آبخوان‌ها

اقدام ۱- اجرای طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری اولویت دار و زود بازده منابع طبیعی مانند عملیات کوچک برای کنترل سیلاب، تغذیه منابع و حفاظت خاک.

اقدام ۲- اجرای طرح‌های آبخیزداری و ذخیره نزولات با مشارکت خیرین و بهره‌برداران.

اقدام ۳- اجرای طرح‌های مناسب برای کنترل رواناب و استفاده از آب‌های سطحی متناسب با فرصت‌ها و تهدیدها.

استراتژی دوم- توسعه پوشش گیاهی و حفاظت خاک

اقدام ۱- اجرای طرح‌های مرتعداری تلفیقی و طرح‌های چند منظوره و غنی سازی مراتع همراه با ذخیره نزولات با هدف کاهش فشار از مراتع و ایجاد سایر درآمدها.

اقدام ۲- اجرای طرح‌های مشارکتی جنگلکاری و مرتعداری و نیز اجرای طرح‌های ذخیره نزولات و غنی سازی مراتع با سایر گونه‌های گیاهی سازگار با مشارکت مردم.

اقدام ۳- بازسازی و احیای مراتع تخریب شده با اجرای طرح‌های مرتعداری تلفیقی در راستای توسعه پایدار

اقدام ۴- اجرای طرح‌های تعادل دام و مرتع بخصوص در مناطق دارای اختلاف و تشویق دامداران به سمت ایجاد دامداری‌های بسته.

اقدام ۵- برقراری تسهیلات لازم برای تامین علوفه و جیره تکمیلی دام در نقاط حساس.

استراتژی سوم- ایجاد زنجیره ارزش در فعالیت‌های بیابان‌زایی

اقدام ۱- اجرای عملیات تثبیت ماسه‌های روان و طرح‌های احیای بیابان در مناطق بحرانی و در شعاع مناسبی از روستا و ایجاد کمربند سبز اکولوژیکی و حفاظتی با مشارکت بومیان منطقه.

توسعه بیابان‌زایی معرفی شده است (۱۲، ۱۶، ۳۲). هرچند در برخی از مطالعات انجام شده در ایران نیز می‌توان به اهمیت عواملی همچون فرسایش بادی و خصوصیات خاک در گسترش بیابان‌زایی اشاره نمود (۱۵، ۳۳).

شاخص حساسیت اراضی به بیابان‌زایی منطقه به میزان ۱/۵ که از طریق محاسبه میانگین هندسی معیارها بدست آمد، در مقایسه با جدول استاندارد مدل نشان داد که حوزه مورد مطالعه در طبقه بحرانی متوسط C2 قرار دارد. نقشه پهنه‌بندی حساسیت بیابان‌زایی منطقه نیز حاکی از آن بود که حدود ۱۲٪ از مساحت حوزه در وضعیت شکننده و سایر بخش‌های منطقه به ترتیب به میزان ۱۷٪، ۵۲٪ و ۱۹٪ در طبقه‌های بحرانی C1، C2 و C3 قرار دارند. این نتیجه‌گیری با نتایج برخی از مطالعات انجام شده در ایران در منطقه خنج لارستان در استان فارس و بررسی‌های انجام شده در جهان مانند حوزه آبخیز الماله و در دره میانی درآ در مراکش که به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی صورت گرفته است، مطابقت دارد (۲۲، ۲۳، ۳۲).

استفاده از پرسش‌نامه و روش دلفی به دلیل استفاده از آرای جامعه متخصص، نقش بسیار مهمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و تجزیه و تحلیل‌های مناسب براساس تصمیمات مبتنی بر آینده پژوهشی دارد. در مطالعات انجام شده در استفاده از پرسشنامه و روش دلفی به اهمیت این موضوع اشاره شده است (۵، ۱۰، ۱۴). نتایج پرسشنامه‌های دور ۱ و ۲ به روش دلفی و تحلیل داده‌های آماری در این پژوهش نشان داد با اختلاف بسیار کم در ترتیب و تقدم معیارهای فرسایش و خاک، با نتایج به‌دست آمده از طریق ارزیابی با مدل ESAs همخوانی داشته است.

راهبردهای مدیریتی پیشنهادی برای کنترل و کاهش بیابان‌زایی در حوزه کویر نمک (استان خراسان رضوی)، طبق نظر مدیران و کارشناسان ادارهای اجرایی به دلیل استفاده از روش آینده پژوهشی و برنامه‌ریزی سناریو و خرد جمعی متخصصان، متناسب با واقعیت زمینی در عرصه بوده است که در صورت اجرایی شدن، امکان برنامه‌ریزی آتی را نیز با دقت و احتمال وقوع بیشتر در آینده فراهم نمود و هزینه‌های پروژه‌های احیای مناطق تخریب شده و

اقدام ۲- اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی نهال‌کاری و ایجاد انواع بادشکن‌های غیر زنده و زنده با هدف کنترل و کاهش فرسایش بادی با مشارکت مردم.

اقدام ۳- اجرای بادشکن‌های زنده اطراف مزارع در مناطق خشک و بیابانی به منظور افزایش تولید.

اقدام ۴- برقراری مشوق‌های لازم جهت جوامع محلی در اجرای طرح‌های چند منظوره بیابان‌زدایی مانند نهالکاری و استفاده از زیر اشکوب برای تولید گیاهان دارویی و سایر ظرفیت‌ها.

■ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پردازش داده‌های مربوط به شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه نشان داد که بهره‌گیری از مدل ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی امکان تعیین مهمترین معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی را فراهم می‌کند. علاوه بر آن استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در ارزیابی فاکتورها، فرآیند تجزیه و تحلیل فضایی لایه‌های اطلاعاتی و همچنین دقت نتایج مدل را افزایش می‌دهد. بسیاری از مطالعات انجام شده در جهان و ایران استفاده از این مدل را جهت ارزیابی و چینه‌بندی اراضی به بیابان‌زایی را به جهت دلایل اشاره شده فوق توصیه می‌کنند (۱۲، ۱۵). تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که موثرترین معیار بیابان‌زایی منطقه، معیار اقلیم و مهمترین شاخص آن، ضریب خشکی^۱ است. پس از آن، معیارهای مدیریت انسانی، خاک، فرسایش و پوشش گیاهی بودند که مهمترین شاخص‌های هر یک بترتیب؛ شاخص تراکم و تأثیرات انسانی در معیار مدیریت؛ بافت، عمق و زهکشی در معیار خاک؛ فرسایش بادی در معیار فرسایش و شاخص تراکم و انبوهی، در معیار پوشش گیاهی، به عنوان موثرترین عامل‌های بیابان‌زایی در منطقه شناخته شدند. در بررسی‌های انجام شده در مناطق مختلف ایران و جهان با شرایط اقلیمی یکنواخت، نتایج تقریباً یکسانی بدست آمده است. بطوریکه در اکثر این مطالعات، فاکتور طبیعی مانند اقلیم و پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی از مهمترین عوامل موثر در

صورت پیلوت، در راستای اقدام مّلی مقابله با بیابان‌زایی مورد توجه مدیران عالی و سازمان‌های مسئول قرار بگیرند.

■ سپاسگزاری

نتایج پژوهش حاضر، بخشی از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد با کد طرح ۵۳۸۰۰ در دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشگاه فردوسی مشهد است. لذا، نویسندگان از تمامی بزرگوارانی که در جامعه آماری متخصص و یا بنحوی از انحاء در فراهم نمودن داده‌های پایه، تحلیل درست و منطبق با واقعیت‌های زمینی، همکاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

پروژه‌های کنترل و مقابله با بیابان‌زایی را تا حد ممکن کاهش خواهد داد (۱، ۴، ۵، ۳۰). نتایج دیگر بررسی‌های انجام شده در استان خراسان رضوی و برخی از مناطق بیابانی کشور نیز، نتایج مشابهی را رقم زده است (۱، ۳، ۱۱). با توجه به اینکه در پژوهش حاضر، واقعیت‌هایی از وضعیت و پهنه‌بندی حساسیت بیابان‌زایی بخش وسیعی از مساحت استان خراسان رضوی با استفاده از مدل جهانی ESAs، آشکار شد، پیشنهاد می‌شود، دیگر محققان نیز به بررسی دیگر حوزه‌های آبخیز استان خراسان رضوی و یا حوزه‌هایی با شرایط اقلیمی مشابه برای پهنه‌بندی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی توجه ویژه نمایند. به‌علاوه، با توجه به راهکارهای پیشنهاد شده مدیریتی جامع نگر، حوزه کویر نمک و یا برخی از شهرستان‌های واقع در آن می‌توانند به

■ References

1. Akbari, M. (2016a). *Proposing an early warning system for desertification hazard (case study: semi desert region of the Gorgan plain, Golestan province, Iran)*. Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Iran. (in Farsi)
2. Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A., & Khosravi, H. (2016b). Desertification risk assessment and management program. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(4), 365-380.
3. Akbari, M., Jafari Shalamzari, M., Memarian, H., & Gholami, A. (2020a). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran, *Ecological Indicators*, 111, 106011-106026.
4. Akbari, M., Modarres, R., & Alizadeh Noughani, M. (2020b). Assessing early warning for desertification hazard based on E-SMART indicators in arid regions of northeastern Iran, *Arid Environments*, 174, 104086-104094.
5. Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Alizadeh Noughani, M. (2020c). Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(8), 1-17.
6. Bastas, M., & Abdelrahim, A.A. (2019). Awareness of desertification of arable land among university students in Libya, *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(13), 194-204.
7. Baartman, J., Lynden, G.V., Reed, M.S., Ritsema, C.J., & Hessel, R. (2007). *Desertification and land degradation, origins, processes, and solution- A literature review*. Report number 4. Scientific reports, ISRIC. Netherlands, and November 20th 2007.
8. Chaudhuri, G. (2015). Evaluating environmental sensitivity of arid and semiarid regions in north-eastern Rajasthan, India. *Geographical Review*, 105(4), 441-461
9. 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). *Desert Management*, 5(1) 91-106. (in Farsi)

10. Feyzi Koushki, F., Akbari, M., Memarian, H. & Azamirad, M. (2019a). Identifying and ranking important factors of desertification in Khorasan Razavi province using Delphi method, *Geography and Environmental Hazards*, 8(31), 205-225. (in Farsi)
11. Feyzi Koushki, F., Akbari, M., Memarian, H. & Azamirad, M. (2019b) Provide strategic plans to manage desertification crisis using futures studies. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 8(4), 401–414. (in Farsi)
12. Fozooni, L., Fakhiri, A., Ekhtesasi, M.R., Kazemi, Y., Mohammadi, H., & Shafey. H. (2012). Assessment of desertification using MEDALUS model, with emphasis on wind and water indices, "case study Sistan province, Iran". *Elixir Pollution*, 46, 8067-8071.
13. Gomes, E., Banosa, A., Abrantes, P., Rocha, J., Kristensen, S.B.P., & Busck, A. (2019). Agricultural land fragmentation analysis in a peri-urban context: From the past into the future. *Ecological Indicators*, 97, 380-388.
14. Helms, C., Gardner, A., & McInnes, E. (2017). The use of advanced web-based survey design in Delphi research. *Advanced Nursing*, 73(12), 3168-3177.
15. Jafari, H., Akbari, M., Kashki, M.T., & Badiie 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)
16. Jiang, L. Jiapaer, G. Bao, A. Kurban, A. Guo, H., Zheng G. & De Maeyer, P. (2019). Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia. *Ecological Indicators*, 104, 195–208.
17. Kar, A. (2018). *Desertification: causes and effects*. Exploring Natural Hazards, Chapman and Hall/CRC.
18. Kairis, O., Karavitis, C., Salvati, L., Kounalaki, K., & Kosmas, K. (2015). Exploring the impact of overgrazing on soil erosion and land degradation in a dry Mediterranean agro-forest landscape (Crete, Greece). *Arid Land Research and Management*, 29(3), 360–374.
19. Khashtabeh, R., Akbari, M., Kolahi, M., Talebanfard, A. & Khashtabeh, R. (2019). Investigation of participatory needs assessment to prioritize sustainable development indicators of rural communities using hierarchical analysis process. 4th. International Conference on Researches in Science & Engineering & International Congress on Civil, Architecture, and Urbanism in Asia. Bangkok Thailand. 2019/7/18.
20. Kosmas, C., Kirkby, M., & Geeson N. (1999). Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to desertification. "The MEDALUS Model. *European Commission. European Union*. 18882, 31-47.
21. Kosmas, C., Tsara, M., Moustakas, N. K., Kosma, D., & Yassoglou, N. (2006). Environmental sensitive areas and indicators of desertification. Chapter in book: *Desertification in the Mediterranean region. A Security Issue*, 527–547.
22. Lahlaoui, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., & Moukrim, S. (2017). Desertification assessment using MEDALUS model in watershed oued El Maleh, Morocco, *Geosciences*, 7(3), 50.
23. Lamqadem, A.A., Pradhan, B., Saber, H., & Rahimi, A. (2018). Desertification sensitivity analysis using MEDALUS model and GIS: a case study of the oases of Middle Draa Valley, Morocco. *Sensors*, 18(7), 2230.

24. Lee, E.J., Piao, D., Song, C., Kim, J., Lim, C.H., Kim, E., Moon, J., Kafatos, M., Lamchin, M., Jeon, S.W., & Lee, W.K. (2019). Assessing environmentally sensitive land to desertification using MEDALUS method in Mongolia, *Forest Science and Technology*, 15(4), 210-220.
25. 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)
26. Nasrian, A., Akbari, M., Faridhosseini, A., & Neamatollahi, E. (2019). Spatio-temporal monitoring of groundwater changes on desertification intensity in agricultural areas in Dargaz plain, Khorasan Razavi province. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7(21), 75-90. (in Farsi)
27. Natural Resources and Watershed Department of Khorasan Razavi Province. (2016). *Natural resource outlook reports of Khorasan Razavi Province*. Natural Resources and Watershed Department of Khorasan Razavi Province.
28. Postma, T.J.B.M., & Liebl, F. (2005). How to improve scenario analysis as a strategic management tool? *Technological Forecasting and Social Change*, 72(2), 161-173.
29. Sadeghi raves, M.H. (2017). Zoning desertification hazard by applying Principal Component Analysis, in Kheezabad Region, Yazd. *Geographic Space*, 16(56), 241-261. (in Farsi)
30. Sadeghi raves, M.H. (2020). Evaluating optimal anti-desertification alternatives, using special vector technique and bernardo ranking model. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(29), 41-58. (in Farsi)
31. Sadeghi raves, M.H., Zehtabian, G.R., & Tahmores, M. (2013). Vulnerability assessment of environmental issues to desertification risk (Case Study: Kheezabad Region, Yazd). *Whatershed Management Research*, 25(96), 75. (in Farsi)
32. Sepehr, A., Hassanli, A.M., Ekhtesasi, M.R., & Jamali, J.B. (2007). Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 134(1), 243-254.
33. Sobhani, A., & Khosravi. H. (2015). Assessing environmental sensitivity areas to desertification in North of Iran, *Current World Environment*, 10(3), 890-902.
34. Thomas, D.S.G. (1995). *Desertification: causes and processes*. Encyclopedia of environmental biology, Vol. 1, Ed. W. A. Nierenberg. San Diego, Academic Press.
35. UNCCD. (1994). *United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification*, particularly in Africa.
36. UNCCD. (2016). *Desertification – coping with today’s global challenges in the context of the strategy of the United Nations convention to combat desertification*, Unites Nations Convention to Combat Desertification. Report on the High-Level Policy Dialogue. Bonn, Germany.
37. UNCED. (1992). *Managing fragile ecosystems: combating desertification and drought*. United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June. Agenda21, Chpter 12, pdf.
38. Wulf, T, Meißner, P. & Stubner, S. (2010). *A Scenario-based Approach to Strategic Planning – Integrating Planning and Process Perspective of Strategy*. HHL – Leipzig Graduate School of Management, working paper, No.98.

Spatial Simulation of Land Degradation in The Qazvin Plain Using A Frequency Ratio Model

A. Abolhasani¹, Gh. R. Zehtabian², H. Khosravi^{3*}, O. Rahmati⁴, E. Heydari Alamdarloo⁵, P. D'odorico⁶

1. Phd Candidate, Desert Control and Management, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kurdistan, Iran.
5. Postdoc, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
6. Professor of Ecohydrology and Water Resources, ESPM Department, University of California, Berkeley, USA.

* Corresponding Author: hakhosravi@ut.ac.ir

Received date: 18/03/2022

Accepted date: 18/06/2022

 [10.22034/JDMAL.2022.550268.1379](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550268.1379)

Abstract

Although land degradation is a worldwide challenge and a destructive phenomenon, little studies have been done on the application of new numerical methods (data mining and statistically), for spatial simulation of this phenomenon and identification of areas sensitive to land degradation. The aim of this study is to spatially simulate land degradation in the Qazvin plain using the frequency ratio model to identify areas prone to land degradation. For this purpose, using the trend of changes in net primary production during the years 2001 to 2020, the points of occurrence of land degradation in the Qazvin plain were determined. Approximately 70% and 30% of the points were used to prepare the land degradation vulnerability map and validate the model's efficiency, respectively. For this research, 15 parameters affecting land degradation (directly and indirectly) including temperature, rainfall, slope, aspect, elevation, EC and SAR of ground water, ground water level, annual ground water decline, land use, normalized difference vegetation index, normalized difference salinity index, vegetation soil salinity index, normalized difference moisture index, and visible and shortwave infrared drought index, were introduced into the model as predictors factors or independent parameters. Finally, using the area under the ROC curve, the effectiveness of the frequency ratio model for spatial simulation of land degradation was assessed. The map of land degradation susceptibility shows that the areas prone to degradation are located in the northeast, north, northwest, west, southwest, and south of the Qazvin plain, which mainly includes good, moderate and poor rangelands. For the land use parameter, the highest frequency ratio was associated with the sum of good, moderate, and poor rangeland (5.66). The value of AUC = 0.7 indicates the good performance of the frequency ratio model in spatial simulation of land degradation.

Keywords: Land degradation; Data mining; Remote sensing; ROC curve; Frequency ration





شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی در دشت قزوین

اعظم ابوالحسنی^۱، غلامرضا زهتابیان^۲، حسن خسروی^{۳*}، امید رحمتی^۴، اسماعیل حیدری علمدارلو^۵، پائولو دی‌اودوریکو^۶

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، کردستان، ایران.
۵. پژوهشگر پسادکتری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۶. استاد منابع آب و اکوهیدرولوژی، دانشگاه برکلی، کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا.

* نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

doi: [10.22034/JDMAL.2022.550268.1379](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550268.1379)

چکیده

با وجود اینکه تخریب سرزمین به‌عنوان چالش محیط زیستی در سطح جهان مطرح است، بررسی‌های اندکی در به‌کارگیری روش‌های جدید عددی (داده‌کاوی و آماری) برای تعیین مناطق حساس به تخریب انجام شده‌است. هدف از بررسی حاضر، شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین در دشت قزوین بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی و تعیین نواحی مستعد تخریب در این دشت است. بدین منظور با بهره‌گیری از روند تغییرات تولید خالص اولیه طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۹، نقاط وقوع تخریب سرزمین در دشت قزوین تعیین شد و به‌ترتیب ۷۰٪ و ۳۰٪ نقاط برای تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین و اعتبار سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای تأثیرگذار (مستقیم و غیرمستقیم) بر تخریب سرزمین شامل دما، بارش، شیب، جهت، ارتفاع، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی، افت سالانه آب زیرزمینی، تراز آب زیرزمینی، کاربری اراضی، شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی، شاخص تفاوت نرمال‌شده شوری، شاخص شوری خاک-پوشش گیاهی، شاخص تفاوت نرمال‌شده رطوبت و شاخص خشکسالی مرئی و مادون قرمز کوتاه، به‌عنوان عامل پیش‌بینی‌کننده (مستقل) به مدل معرفی شد. در پایان، با بهره‌گیری از شاخص سطح زیر منحنی (AUC) کارایی مدل در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین ارزیابی شد. نقشه قابلیت تخریب سرزمین نشان‌داد که مناطق حساس به تخریب در قسمت‌های شمال شرقی، شمال، شمال غرب، غرب، جنوب غرب و جنوب دشت قزوین واقع شده و بیشتر کاربری‌های مراتع خوب، متوسط و فقیر را شامل می‌شود. برای کاربری اراضی، بیشترین مقدار نسبت فراوانی نیز به مجموع کاربری‌های مرتع خوب، متوسط و فقیر (۵/۶۶) اختصاص داشت. مقدار $AUC = 0.7$ نیز حاکی از کارایی مناسب مدل نسبت فراوانی در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین بود.

واژگان کلیدی: تخریب سرزمین؛ داده‌کاوی؛ سنجش از دور؛ منحنی ROC؛ نسبت فراوانی



■ مقدمه

تخریب سرزمین مسئله مهم اجتماعی و محیط زیستی در دهه‌های پیش‌رو طبقه‌بندی شده (۱۸) که شناخت فرآیندها و نیروهای محرک آن در مناطق خشک و نیمه خشک به منظور تضمین توسعه پایدار محیط طبیعی لازم و ضروری است (۲۶). تخریب سرزمین به عنوان کاهش مداوم ظرفیت تولید زیستی (بیولوژیک) یا اقتصادی زمین تعریف می‌شود (۱) که ارتباط نزدیکی با امنیت غذایی، رفاه جوامع انسانی و توسعه دارد (۱۱). به دلیل تأثیر قابل توجهی که تخریب سرزمین بر تولید غذا، منابع آب، منابع انرژی و خدمات بوم‌نظام (اکوسیستم) دارد، این پدیده به عنوان مهمترین چالش در سطح جهان مطرح شده است (۱۲). بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند که تخریب سرزمین تحت تأثیر عامل‌های مستقیم و غیرمستقیم متعددی از جمله نوسان اقلیم، تغییر کاربری اراضی، تغییر کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و سطحی، شوری خاک و تغییرات پوشش گیاهی رخ می‌دهد (۳، ۱۳). شدت پدیده تخریب سرزمین که زیر تأثیر عامل انسانی - محیطی رخ می‌دهد، در مقیاس زمان و مکان، متفاوت است (۱۵). طبق بررسی‌ها، عامل انسانی علاوه بر اینکه با سرعت بیشتری نسبت به عامل طبیعی رخ می‌دهد، دارای شدت تأثیر بیشتری بر وقوع تخریب سرزمین است (۳۰).

پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که اراضی متعددی با اقلیم‌های مختلف در سطح جهان، در معرض تخریب قرار گرفته‌اند و این مسئله بر اهمیت مقابله با تخریب سرزمین و بیابان‌زایی افزوده است (۲۱، ۲۵). تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی، پایش، تهیه نقشه وضع موجود تخریب سرزمین و نیز شبیه‌سازی مکانی این پدیده جهت تعیین مناطق مستعد تخریب بکار گرفته شده است. نتایج پژوهشی که بهره‌گیری از مدل‌های یادگیری ماشین و مطالعات میدانی، به تهیه نقشه خطر تخریب سرزمین در حوزه آبخیز پل‌دوآب در ایران پرداخت، نشان می‌دهد که مطابق با نقشه‌های تولید شده توسط مدل‌های SVM، MARS، GLM و DA به ترتیب ۱۹/۱۶، ۱۹/۲۹، ۲۱/۷۶ و ۲۲/۴۰٪ منطقه در معرض خطر تخریب بسیار بالا قرار دارد. همچنین این پژوهش که بهره‌گیری از سطحی زیر

منحنی ROC به ارزیابی کارایی مدل‌ها پرداخته است، نشان می‌دهد که مدل DA کارایی بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد (۱۷). نتایج مطالعه‌ای دیگر که به منظور ارزیابی تخریب سرزمین در مراتع منطقه فیروزکوه در ارتفاعات البرز، بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام شد، ۲۰٪ مراتع این منطقه را در وضعیت بحرانی تخریب نشان می‌دهد. این پژوهش همچنین گویای کارایی بسیار خوب مدل جنگل تصادفی در شبیه‌سازی تخریب سرزمین است به طوریکه بر اساس نتایج ROC-AUC این مدل کارایی بهتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان و درخت رگرسیون و طبقه‌بندی دارد (۳۲). ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه خضرآباد استان یزد که بهره‌گیری از مدل منطق فازی و شاخص‌های آسیب‌پذیری انجام شد، نشان می‌دهد که ۹/۳۵٪ منطقه مورد بررسی در طبقه بسیار شدید بیابان‌زایی قرار دارد و مدل مورد استفاده دارای کارایی مناسبی جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی و تخریب سرزمین است (۲۵). همچنین نتایج مطالعه ارزیابی آسیب‌پذیری تخریب سرزمین در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان بهره‌گیری از فرآیند تحلیل شبکه و سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که بیشترین طبقه آسیب‌پذیری در طبقه شدید و عمدتاً با کاربری مرتع است که حدود ۶۴/۳۱٪ از مساحت منطقه را در برمی‌گیرد (۲۱). موضوع حائز اهمیت در پدیده تخریب سرزمین، تعیین به موقع و سریع فرآیند تخریب، شناسایی مناطق مستعد تخریب و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای جلوگیری از گسترش این پدیده در اکوسیستم‌های شکننده است (۲۱). روش‌های جدید که در سال‌های اخیر به منظور تعیین آسیب‌پذیری مناطق مختلف نسبت به پدیده تخریب سرزمین مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، بیشتر بر پایه بررسی‌های میدانی و تعیین نقاط وقوع این پدیده با به کارگیری خوارزمیک (الگوریتم) یادگیری ماشین بوده است و در زمینه شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی که از جمله مدل‌های آماری داده کاوی می‌باشد، بررسی انجام نشده است. با توجه به اینکه دشت قزوین در سال‌های اخیر، زیر تأثیر عامل‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی، در وضعیت بحرانی و در

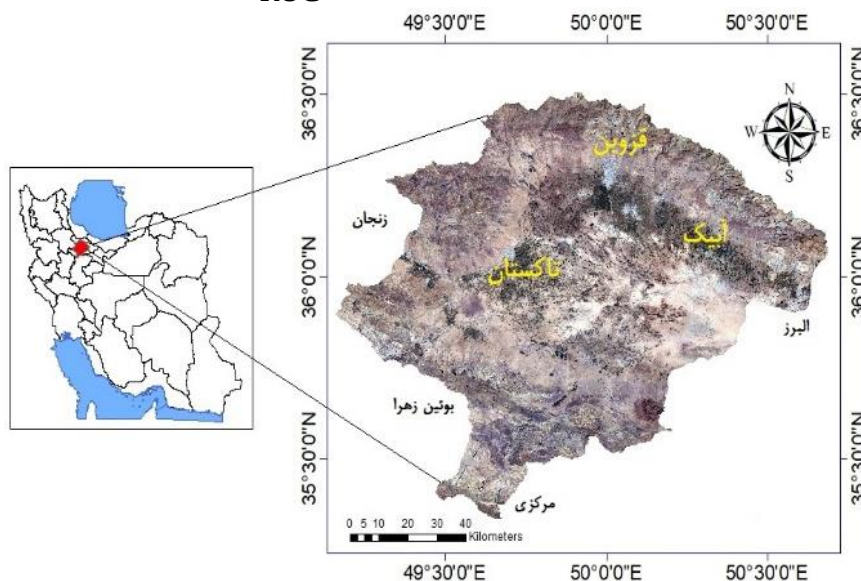
دمای مینیمم و ماکزیمم سالانه دشت به ترتیب حدود 2°C در قسمت‌های شمال شرقی و 28°C در شمال غرب منطقه است (۳۳). این منطقه در دو محدوده زمین‌ساختی البرز مرکزی و آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد و به همین دلیل ویژگی‌های متفاوتی از نظر زمین‌ساخت و سنگ‌شناسی، نوع و جنس سازندها و ژئومورفولوژی دارد. کوهستان‌های شمالی دشت در زون البرز مرکزی قرار دارد. شیب توپوگرافی در این نواحی گاهی به بیش از 70° درجه نیز می‌رسد و این قسمت‌ها را در معرض فرسایش و تخریب قرار می‌دهد. تیپ‌های عمده گیاهی این منطقه شامل *Astragalus glaucacanthus*, *Artemisia siebei*, *Halocnemum Acantholimon* و ... می‌باشد (۷). بر پایه تقسیم‌بندی دومارتن، اقلیم بخش وسیعی از دشت، نیمه‌خشک می‌باشد.

روش پژوهش

به‌طور خلاصه روش مورد استفاده در پژوهش حاضر به صورت زیر می‌باشد (شکل ۲).

- (۱) تهیه لایه اطلاعاتی پراکنش تخریب سرزمین
- (۲) تهیه لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین و طبقه‌بندی آنها
- (۳) اعمال مدل نسبت فراوانی و تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین
- (۴) ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی در شبیه‌سازی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از سطح زیر منحنی

ROC



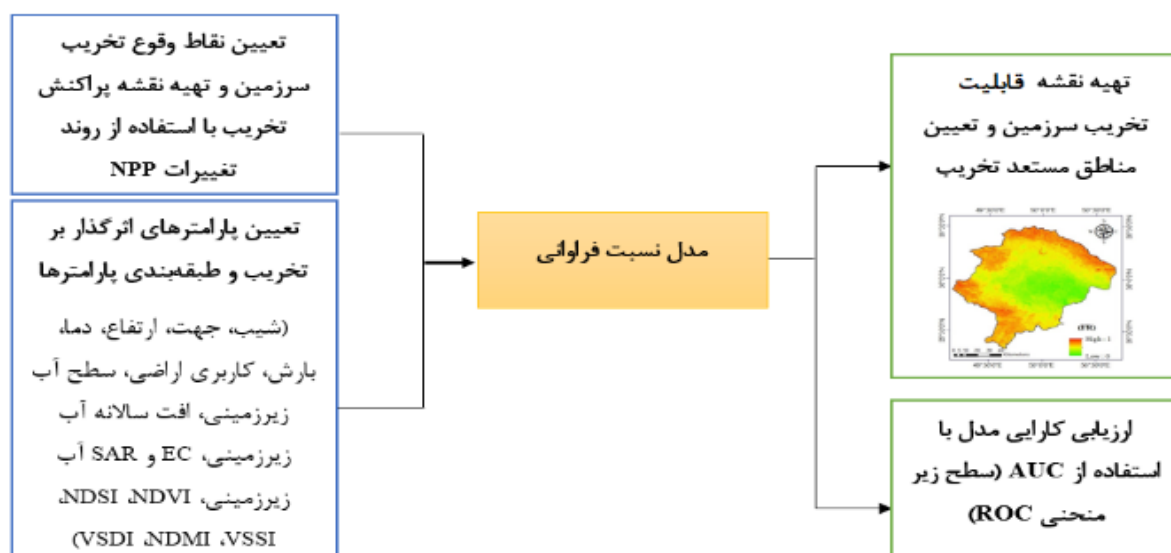
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت قزوین

معرض تخریب گرفته است، انجام پژوهشی که بهره‌گیری از شیوه‌های جدید، به تعیین مناطق مستعد تخریب در این دشت بپردازد، لازم و ضروری است. بنابراین هدف کلی در پژوهش حاضر بهره‌گیری از شاخص تولید اولیه خالص و مدل نسبت فراوانی برای شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین و تعیین ناحیه‌های حساس و مستعد تخریب در محدوده دشت قزوین می‌باشد و در ادامه: (۱) شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی در دشت قزوین، (۲) استفاده از روند تغییر تولید خالص اولیه برای تعیین نقاط وقوع تخریب سرزمین به‌عنوان شاخصی از این پدیده، (۳) تعیین کارایی مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از سطح زیر منحنی مورد توجه بوده است.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

دشت قزوین بین طول‌های شرقی $49^{\circ}10'$ و $50^{\circ}40'$ و عرض‌های شمالی $35^{\circ}20'$ و $36^{\circ}30'$ در استان قزوین قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع حداکثر آن حدود 2900m ، ارتفاع حداقل 950m از سطح دریا و مساحت آن حدود 9500km^2 کیلومترمربع است. متوسط بارندگی سالانه دشت از 210mm در قسمت‌های شرقی تا بیش از 500mm در قسمت‌های شمال شرقی متغیر است. متوسط



شکل ۲. روند انجام پژوهش

داده‌ها

انتخاب شد. ۷۰٪ نقاط وقوع که شامل ۸۴ نقطه بود، برای تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین و ۳۰٪ نقاط که شامل ۳۶ نقطه بود، برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که برای انتخاب نقاط، اراضی کشاورزی، اراضی شورزار و مرطوب و اراضی بایر که فاقد پوشش گیاهی بودند و یا پوشش گیاهی ناچیزی داشتند، نادیده گرفته شد (شکل ۳).

$$NPP = \sum_{i=1}^{365} GPP - R_m - R_g \quad (1)$$

که R_m و R_g به ترتیب تنفس نگهداری و تنفس رشد گیاه و GPP تولید اولیه ناخالص می‌باشد.

متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین

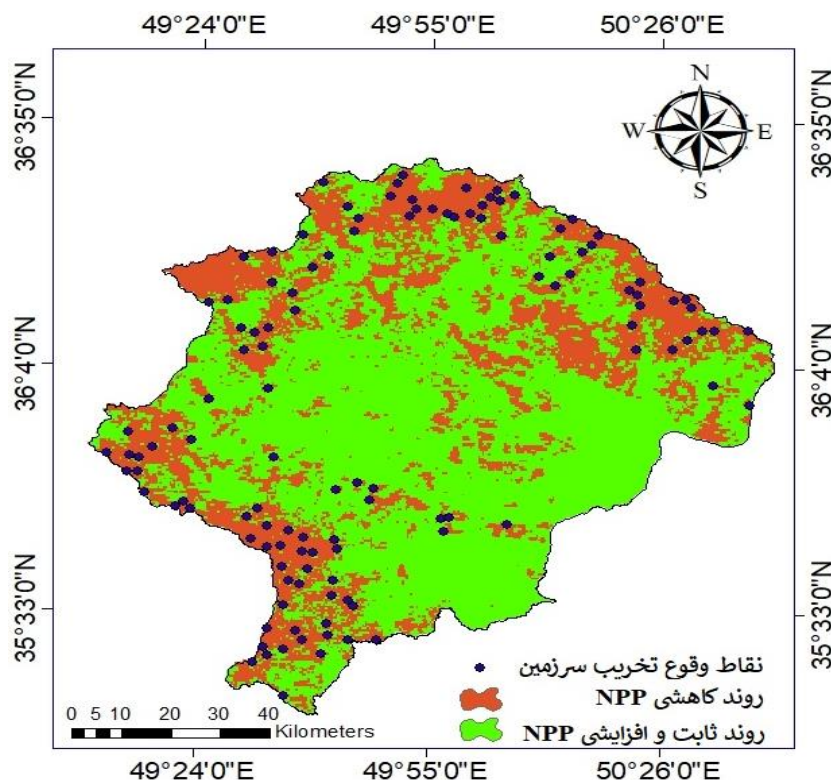
در مناطق مختلف بسته به عامل اقلیم، خاکشناسی، ژئومورفولوژی و ...، عامل تأثیرگذار بر تخریب سرزمین و بیابان‌زایی متفاوت است. برای پی بردن به اهمیت هریک در وقوع تخریب سرزمین و بیابان‌زایی مدل‌های مختلفی از جمله فائو-یونپ، آسود، گلاسود، مدالوس و IMDPA ارائه شده است.

به‌منظور تعیین تغییرات تولید اولیه خالص، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس استفاده شد. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی با بهره‌گیری از نقشه سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تهیه شد و با بهره‌گیری از پایگاه گوگل ارث تا حد امکان مورد اصلاح قرار گرفت. همچنین برای تهیه دیگر لایه‌های اطلاعاتی عامل‌های تأثیرگذار بر تخریب سرزمین، تصاویر ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI برای ماه‌های خرداد تا مهر سال ۱۳۹۹ با شماره ردیف ۳۵ و شماره گذر ۱۶۶، بهره‌گیری از سامانه ابری google earth engine مورد استفاده قرار گرفت.

لایه اطلاعاتی پراکنش تخریب سرزمین

به‌منظور اجرای مدل نسبت فراوانی در محیط GIS، ابتدا نقشه پراکنش نقاط تخریب در منطقه با بهره‌گیری از تصاویر سالانه تولید خالص اولیه (NPP^1)، محصول MOD17A3 تهیه شد (رابطه ۱). بدین منظور روند تغییر این شاخص طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۷۸ در نرم‌افزار TerrSet و بهره‌گیری از آزمون روند من‌کنندال به‌دست آمد. مناطقی که تغییرات NPP دارای روند کاهشی بود به‌عنوان مناطق تخریب‌یافته در نظر گرفته شد و ۱۲۰ نقطه به‌صورت تصادفی توسط نرم‌افزار ArcGIS در این نواحی

¹ Net primary production



شکل ۳. نقشه پراکنش نقاط وقوع تخریب سرزمین

میانگین سالانه EC و SAR، افت و سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸، میانگین ۱۰ ساله هر متغیر برای چاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی تعیین شد. همچنین میانگین سالانه دما و مجموع بارش سالانه هریک از سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ محاسبه شد و در پایان میانگین ۱۰ ساله دما و بارش تعیین شد. درونیابی متغیرهای هواشناسی و آب زیرزمینی با روش IDW^8 در سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد و لایه‌های اطلاعاتی مذکور تهیه شد. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت و ارتفاع، DEM ۳۰ متری محدوده مورد نظر استفاده گردید. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی بهره‌گیری از نقشه پایه سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد و بهره‌گیری از گوگل ارث و کارشناسان آشنا به منطقه، تا حد امکان مورد بازبینی قرار گرفت و تصحیح شد. همچنین جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی شاخص پوشش گیاهی، شاخص رطوبت سطح و شوری خاک، تصاویر ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI

در تمام مدل‌های ارائه شده، بیشتر معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، آب و مدیریت اراضی به‌عنوان عامل کلیدی تعریف شده‌اند. در پژوهش حاضر نیز متغیرهای دما و بارش (۲۱)، شیب، جهت، ارتفاع (۱۷)، هدایت الکتریکی (EC^1) و نسبت جذب سدیم (SAR^2) آب زیرزمینی، افت سالانه آب زیرزمینی، تراز آب زیرزمینی (۹)، کاربری اراضی (۱۷)، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی^۳ (۱۸)، شاخص تفاوت نرمال شده شوری^۴ (۲)، شاخص تفاوت نرمال شده خاک-پوشش گیاهی^۵ (۲۲)، شاخص خشکسالی مرئی و رطوبت خاک^۶ (۲۸، ۲۱) و شاخص خشکسالی مرئی و مادون قرمز کوتاه^۷ (۵) به‌عنوان عوامل پیش‌بینی‌کننده و پارامترهای اثرگذار بر تخریب سرزمین در نظر گرفته شدند. به‌منظور تهیه نقشه متغیرهای هواشناسی و کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌ترتیب از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) سازمان هواشناسی و شرکت مدیریت منابع آب ایران استفاده شد. بهره‌گیری از

5 Vegetation soil salinity index (VSSI)

6 Normalized difference moisture index (NDMI)

7 Visible and shortwave infrared drought index (VSDI)

8 Inverse distance weighting

1 Electrical conductivity

2 Sodium absorption ration

3 Normalized difference vegetation index (NDVI)

4 Normalized difference salinity index (NDSI)

$$NDSI = (B4 - B5)/(B5 + B4) \quad (۳)$$

$$VSSI = (2 \times B3) - 5 \times (B4 + B5) \quad (۴)$$

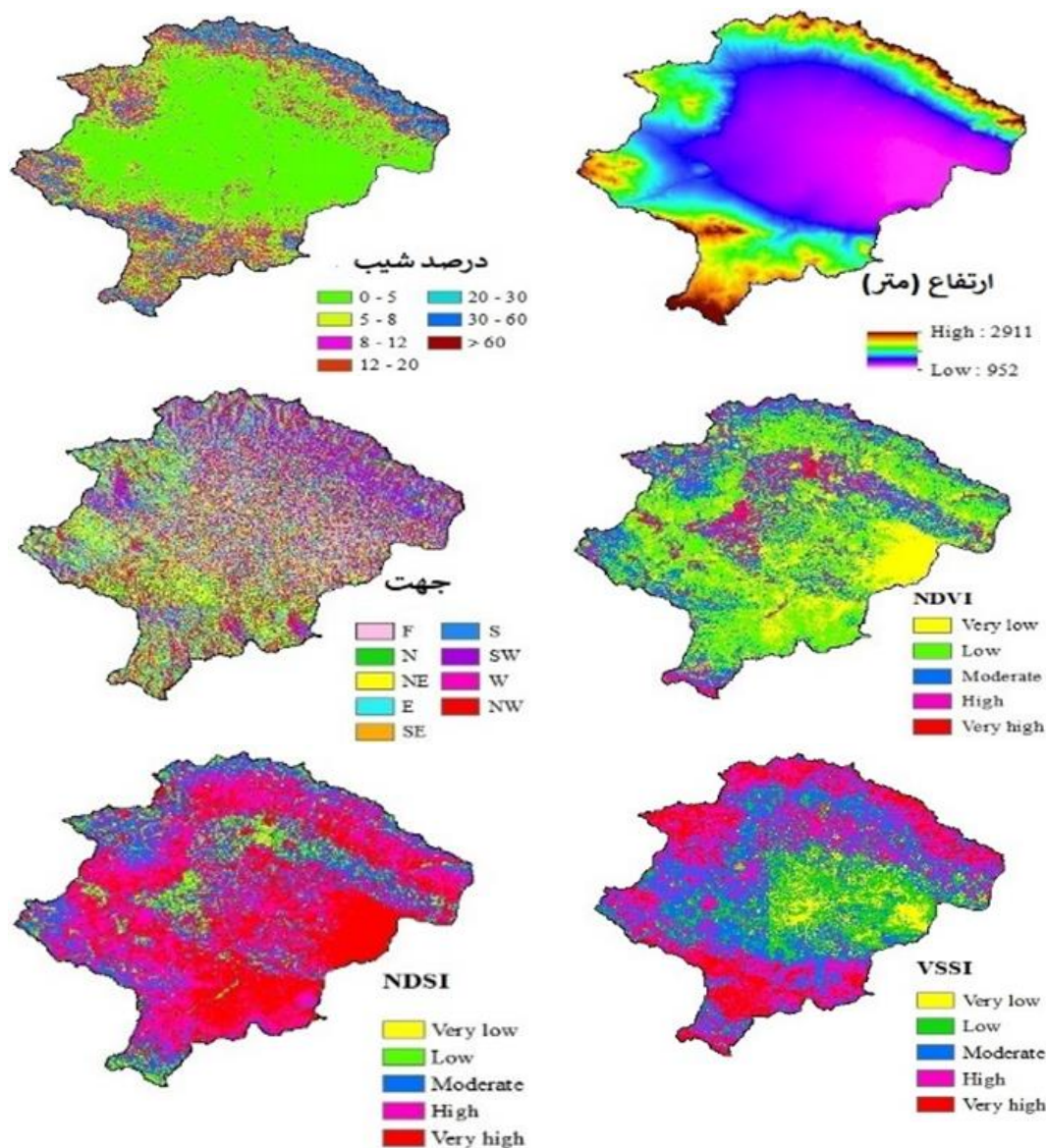
$$NDMI = (B5 - B6)/(B5 + B6) \quad (۵)$$

$$VSDI = (B6 - B2)/(B4 - B2) \quad (۶)$$

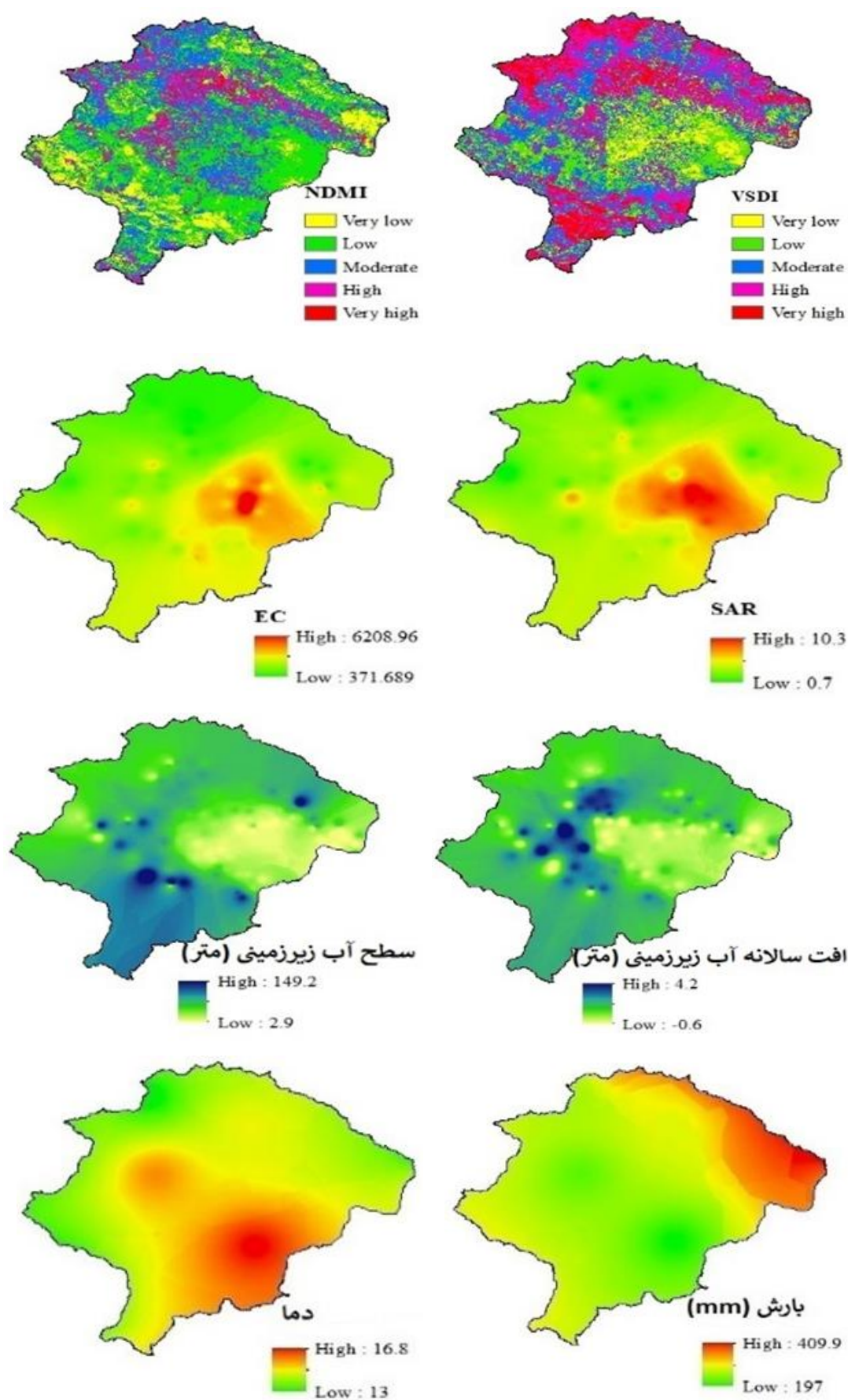
که در آنها: B3 و B4 به ترتیب باند طیفی قرمز و باند طیفی سبز می‌باشد. B5 و B6 به ترتیب باند مادون قرمز نزدیک و باند مادون قرمز طول موج کوتاه باند ۶ و B2 باند طیفی آبی را نشان می‌دهد.

برای ماه‌های خرداد تا مهر سال ۱۳۹۹ با شماره ردیف ۳۵ و شماره گذر ۱۶۶، در فضای ابری Google Earth Engine اخذ شد (شکل ۴). طبقه‌بندی نقشه‌ها بر اساس روش Natural break در نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. این روش بهترین مقادیر را در چندین طبقه تعیین می‌کند به‌طوری‌که واریانس بین طبقه را به حداکثر می‌رساند و واریانس درون طبقه را به حداقل می‌رساند (۱۰). در پایان تمام لایه‌های اطلاعاتی با پیکسل سایز ۳۰×۳۰ ذخیره شد. نحوه استخراج شاخص‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در رابطه‌های ۲ تا ۶ ارائه شده است.

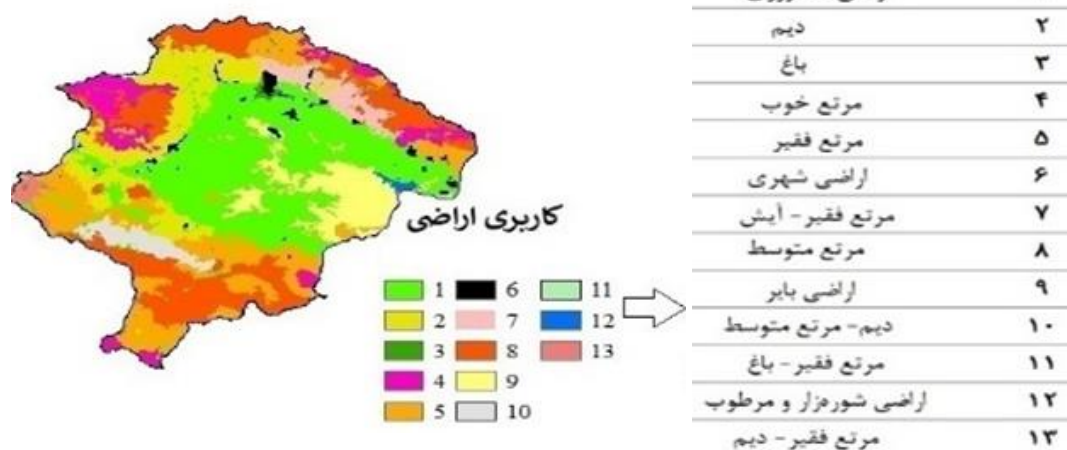
$$NDVI = (B5 - B4)/(B5 + B4) \quad (۲)$$



شکل ۴. متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین



ادامه شکل ۴. متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین



ادامه شکل ۴. متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین

در این رابطه $N_{pix}(SX_i)$ تعداد پیکسل‌هایی با تخریب سرزمین در طبقه i معیار X است. $N_{pix}(X_j)$ تعداد پیکسل‌های واقع در معیار X_j ، m تعداد طبقه‌های واقع در معیار X_i ، n تعداد معیارها در منطقه مطالعاتی و FR نسبت فراوانی است (۲۴).

کارایی مدل نسبت فراوانی جهت شبیه‌سازی تخریب سرزمین

به‌منظور ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی جهت شبیه‌سازی تخریب سرزمین در دشت قزوین، بهره‌گیری از ۳۰٪ نقاط تخریب، معادل ۳۶ نقطه، که به‌عنوان مجموعه داده‌های آزمایش و یا اعتبارسنجی، به‌طور تصادفی انتخاب شدند و نیز ۳۶ نقطه در مناطق فاقد تخریب (شکل ۵)، AUC یا سطح زیر منحنی ROC در نرم‌افزار MedCalc محاسبه شد. این منحنی یک نمایه گرافیکی از موازنه بین خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌ها است (۲۷، ۳۱). منحنی ROC و سطح زیر منحنی AUC حاکی از مقدار پیش‌بینی سامانه از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقوع و عدم وقوع پدیده مورد نظر که در پژوهش حاضر تخریب سرزمین است، می‌باشد (۲۳). نحوه محاسبه مؤلفه افقی یا نرخ مثبت کاذب منحنی که با X نشان داده می‌شود و مؤلفه قائم یا نرخ مثبت صحیح که با Y نشان داده می‌شود، در زیر ارائه شده است (رابطه ۸ و ۹).

مدل نسبت فراوانی

برای اعمال مدل نسبت فراوانی، طبقه‌بندی هریک از متغیرها و تعیین سطح هر طبقه بهره‌گیری از نرم‌افزار GIS تعیین و فراوانی تخریب سرزمین در هر طبقه بهره‌گیری از روابط مربوطه در اکسل محاسبه شد. در نهایت نقشه قابلیت تخریب سرزمین بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی و ۷۰٪ نقاط وقوع تخریب در محیط ArcGIS تهیه گردید. نسبت فراوانی عبارت است از نسبت درصد مساحت یا نقاط تخریب سرزمین به درصد مساحت یا پیکسل‌های هر طبقه از متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب. به‌عبارتی می‌توان گفت که نسبت فراوانی عبارت است از احتمال وقوع تخریب سرزمین به عدم وقوع آن برای یک عامل (۱۴). برای اجرای مدل، ابتدا درصد مساحت هر طبقه از متغیرهای تأثیرگذار و نیز درصد نقاط تخریب را در هر طبقه از متغیرها محاسبه می‌کنیم. در پایان وزن هر طبقه که حاصل نسبت درصد تخریب به درصد مساحت طبقه مورد نظر است، به دست می‌آید (رابطه ۷) و وزن پایانی هر پیکسل برابر است با مجموع وزن‌های هر طبقه در آن پیکسل خاص (رابطه ۸). پتانسیل تخریب سرزمین پژوهش حاضر با LDI نشان داده شده است.

$$FR = \frac{[N_{pix}(SX_i) / \sum_{i=1}^m SX_i]}{[N_{pix}(X_j) / \sum_{j=1}^n N_{pix} X_j]} \quad (7)$$

$$LDI = \sum_{j=i}^n FR \quad (8)$$

وقوع تخریب، نقشه قابلیت تخریب سرزمین و نیز نقشه طبقه قابلیت تخریب در ۵ طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بهره‌گیری از روش Natural break تهیه شد (شکل ۶). مطابق با نتایج حاصل شده بیشترین قابلیت تخریب سرزمین در دشت قزوین مربوط به قسمت‌های شمال شرق، شمال، شمال غرب، بخش‌هایی از غرب منطقه، جنوب و جنوب غرب منطقه می‌باشد. این ناحیه‌ها که بیشتر کاربری مرتع با درجه خوب، متوسط و فقیر را شامل می‌شود، اغلب در ارتفاعات و مناطق شیب‌دار دشت با بارش‌های نسبتاً زیاد واقع شده‌اند و در اثر بهره‌برداری بیش از حد در معرض فرسایش و تخریب قرار دارند.

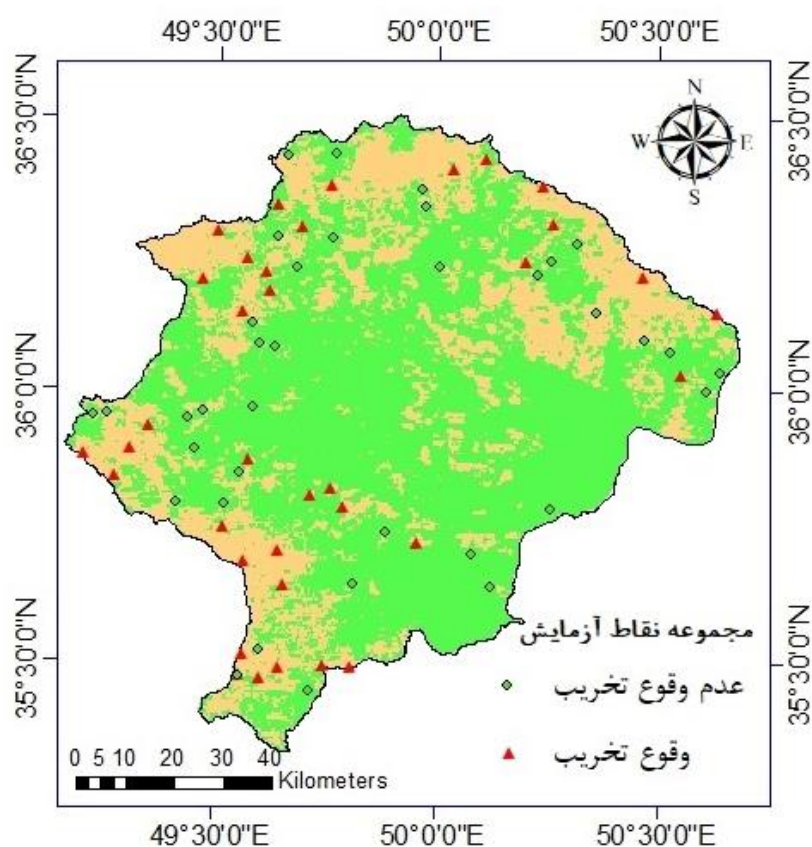
$$X = 1 - \frac{TN}{TN + FP} \quad (8)$$

$$Y = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

در این روابط TP برابر با نرخ مثبت صحیح، TN نرخ منفی صحیح، FP نرخ مثبت کاذب و FN نرخ منفی کاذب است. نحوه تفسیر مقادیر AUC در جدول ۱ نشان داده شده است.

■ نتایج و بحث

با اعمال ضرایب به‌دست‌آمده برای هر طبقه از عامل‌های تأثیرگذار بر تخریب سرزمین و محاسبه مقدار پایانی احتمال



شکل ۵. مجموعه نقاط اعتبار سنجی

جدول ۱. توصیف مقادیر AUC

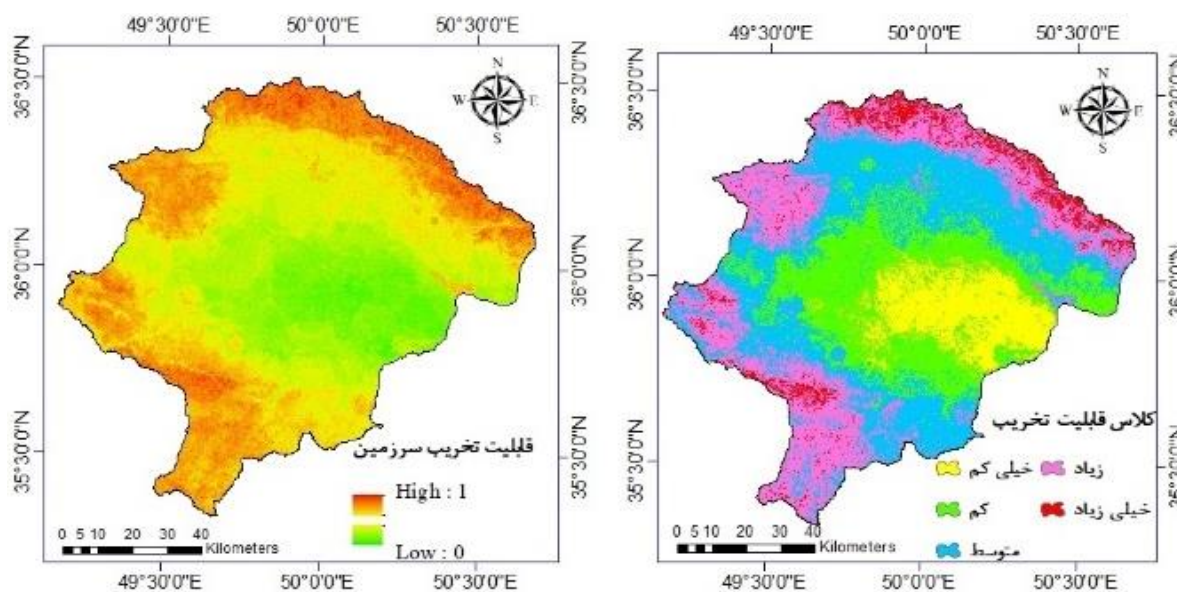
کارایی آزمون	مقادیر AUC
ضعیف	۰/۵ - ۰/۶
متوسط	۰/۶ - ۰/۷
خوب	۰/۷ - ۰/۸
خیلی خوب	۰/۸ - ۰/۹
عالی	۰/۹ - ۱

(جدول ۳)، نشان می‌دهد که بیشترین نسبت فراوانی به دو متغیر شیب با مقدار ۱۴/۵۵ و کاربری اراضی با مقدار ۱۴/۲۲ اختصاص دارد. علاوه بر تأثیر مستقیم عامل شیب بر تخریب اراضی و فرسایش، عدم رعایت اصول صحیح مرتعداری و در نظر نگرفتن ظرفیت برد مراتع که بیشتر در قسمت‌های شیب‌دار و مرتفع استان واقع شده‌اند، موجب شده که این دو متغیر نقش زیادی در تخریب سرزمین استان قزوین داشته باشند. برای معیار شیب، بیشترین مقدار نسبت فراوانی در طبقه شیب‌های بیشتر از ۳۰٪ و کمترین آن در طبقه صفر تا ۵٪ است. فرسایش خاک و تخریب اراضی به‌طور مستقیم با شیب زمین در ارتباط است و با افزایش شیب، شدت فرسایش و تخریب نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، شیب‌های بیشتر از ۳۰٪ در دشت قزوین عمدتاً به اراضی مرتعی و دیم اختصاص دارد.

در واقع چرای بی‌رویه و نادیده گرفتن ظرفیت اکولوژیک مراتع که منجر به تخریب پوشش گیاهی و در پی آن تخریب خاک و در نهایت فرسایش می‌گردد، از جمله مهمترین عوامل تخریب سرزمین و بیابان‌زایی محسوب می‌شود (۱۶). با تخریب پوشش گیاهی در این نواحی که نقش مهمی در حفظ پایداری خاک دارد و در اثر وقوع بارش‌های زیاد و در نتیجه اشکال مختلف فرسایش آبی، مراتع دشت قزوین در معرض تخریب سرزمین قرار گرفته‌اند.

بیشترین طبقه تخریب سرزمین در دشت قزوین نیز به‌ترتیب به طبقه‌های متوسط و زیاد با وسعت ۳۲/۹۱ و ۲۶/۳۳٪ اختصاص دارد (جدول ۲).

یافته‌های رابطه مکانی بین تخریب سرزمین و طبقه‌های مختلف متغیرهای تأثیرگذار بر این پدیده



شکل ۶. نقشه قابلیت و طبقه قابلیت تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی

جدول ۲. درصد مساحت طبقه‌های مختلف قابلیت تخریب سرزمین در دشت قزوین

درصد مساحت	کلاس تخریب
۱۱/۶۷	خیلی کم
۲۴/۱۴	کم
۳۲/۹۱	متوسط
۲۶/۳۳	زیاد
۹/۴۹	خیلی زیاد

نادیده گرفتن ظرفیت مراتع و بهره‌برداری بیش از حد از آن‌ها، منجر به کاهش بیوماس گیاهی و به تبع آن فرسایش خاک و افزایش بیابان‌زایی می‌شود (۴). اراضی دیم به‌ویژه آن دسته اراضی که زیر کشت غلات هستند نیز به دلیل رعایت نکردن استانداردهای صحیح کشت، نقش عمده‌ای در فرسایش خاک و تخریب اراضی دارند (۶، ۲۰). با توجه به نقشه کاربری اراضی دشت قزوین و نیز نقشه طبقه‌قابلیت تخریب سرزمین، این کاربری در طبقه‌قابلیت تخریب متوسط قرار دارد. در بررسی نقش متغیرهای کاربری اراضی، مشخص شد که مجموع سه طبقه مرتع خوب، مرتع متوسط و مرتع فقیر با مقدار ۵/۶۶ بیشترین نسبت فراوانی را دارد. اراضی مرتعی دشت قزوین که در مناطق مرتفع و پربارش دشت واقع شده است در نتیجه چرای دام، لگدکوبی خاک و بهره‌برداری بیش از حد، مستعد فرسایش آبی و در نهایت تخریب سرزمین می‌باشند که پژوهش‌های مروری بر عوامل مؤثر بر فرسایش آبی خاک در ایران این نتیجه را تأیید می‌کند (۶). بنابراین اقدامات مدیریتی جهت بهبود شرایط مراتع، می‌تواند در کاهش شدت تخریب سرزمین در دشت قزوین مفید باشد. شبیه‌سازی اثر عملیات اصلاح و احیای مراتع بر هدررفت خاک بهره‌گیری از مدل RUSLE نیز نشان می‌دهد که عملیات اصلاح مراتع از جمله بذرکاری و کپه‌کاری می‌تواند فرسایش خاک را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد (۱۹). برای معیار ارتفاع، بیشترین نسبت فراوانی در طبقه‌های ارتفاعی بیش از ۲۰۰۰m اتفاق افتاده است. عامل ارتفاع نه‌تنها به‌طور مستقیم در تکامل خاک نقش دارد بلکه متغیرهای مهم جوی از جمله دما و بارش را در تأثیر خود قرار می‌دهد و به‌عنوان متغیرهای تغییردهنده اقلیم در سطح ناحیه‌ای و عامل پایه در تخریب سرزمین محسوب می‌شود. برای معیار جهت، بیشترین مقدار نسبت فراوانی در طبقه غرب اتفاق افتاده است. جهت‌های مختلف جغرافیایی به دلیل نقش مهمی که در میزان رطوبت دریافتی، تحول خاک و استقرار پوشش گیاهی دارند، در تخریب و فرسایش خاک و اراضی نیز تأثیرگذار می‌باشند. در بررسی نقش متغیرهای دما و بارش به‌ترتیب طبقه‌های کمتر از ۱۴°C و ۳۵۰-۳۰۰mm دارای بیشترین نسبت

فراوانی است که با عامل ارتفاع و شیب نیز در ارتباط می‌باشد. درواقع با افزایش ارتفاع و شیب و در نتیجه کاهش درجه حرارت و افزایش بارش، اشکال مختلف فرسایش و تخریب رخ می‌دهد (۲۳). طبقه کمتر از ۲۰۰۰mho/cm برای پارامتر EC و طبقه کمتر از ۲ برای پارامتر SAR دارای بیشترین نسبت فراوانی بودند. عمده چاه‌های پیرومتری دشت قزوین در قسمت مرکزی دشت واقع شده است که پس از تعیین میانگین ۱۰ ساله EC و SAR درونیایی متغیرهای مذکور صورت گرفت. به‌طور کلی مطابق با نتایج حاصل از مدل نسبت فراوانی، نقش متغیرهای EC و SAR در تخریب سرزمین دشت قزوین چندان قابل توجه نمی‌باشد. همچنین طبقه ۰/۶m تا ۱/۶m در متغیر افت سالانه آب زیرزمینی و طبقه بیشتر از ۱۲۰m برای فاکتور سطح آب زیرزمینی، بیشترین مقدار نسبت فراوانی را دارند. نتایج بررسی بوعلی و همکاران نیز نشان می‌دهد که افت تراز سطح آب زیرزمینی از جمله متغیرهای مهم در توسعه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین است (۹). رابطه با اثر عامل شوری بر تخریب سرزمین نتایج نشان می‌دهد که طبقه ۰/۸-۰/۶ در متغیر NDSI و طبقه ۱-۰/۸ در متغیر VSSI بیشترین نسبت فراوانی را دارد. زیاد بودن شوری خاک در دشت قزوین، دیگر عامل مؤثر بر تخریب سرزمین است (۲۰). طبقه ۰/۶-۰/۴ و نیز ۰/۴-۰/۲ در متغیر NDVI، طبقه صفر تا ۰/۲ در متغیر NDMI و طبقه ۱-۰/۸ در متغیر VSDI نیز دارای بیشترین مقدارهای نسبت فراوانی هستند که نشان می‌دهد کاهش پوشش گیاهی، کاهش رطوبت خاک و افزایش خشکی خاک منجر به توسعه تخریب سرزمین می‌گردد. مطالعات گذشته نشان می‌دهد که مقدار رطوبت خاک و نیز درصد تراکم پوشش گیاهی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک است که به‌عنوان یکی از فرآیندهای تخریب سرزمین به شمار می‌رود (۸).

لازم به ذکر است که طبقه‌بندی متغیرهای تأثیرگذار، مطابق با نظر پژوهشگران در نرم‌افزار GIS تعیین می‌شود و در بررسی‌های مختلف و حتی منطقه مطالعاتی یکسان، قابل تغییر است.

جدول ۳. رابطه مکانی قابلیت تخریب سرزمین و متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب در دشت قزوین

متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب	طبقه	تعداد پیکسل در هر درصد پیکسل در هر	طبقه	تعداد نقاط تخریب	درصد نقاط تخریب در هر طبقه	نسبت فراوانی
NDSI	صفر تا ۰/۲	۳۱۷۰۵۳	۲/۹۹	۲	۲/۳۸	۰/۸
	۰/۲ - ۰/۴	۸۳۰۷۷۷	۷/۸۴	۳	۳/۵۷	۰/۴۶
	۰/۴ - ۰/۶	۲۱۴۶۶۰۷	۲۰/۲۷	۲۰	۲۳/۸۱	۱/۱۷
	۰/۶ - ۰/۸	۳۶۲۳۹۵۹	۳۴/۲۲	۳۵	۴۱/۶۷	۱/۲۲
	۰/۸ - ۱	۳۶۷۱۱۸۹	۳۴/۶۶	۲۴	۲۸/۵۷	۰/۸۲
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۴۷
VSSI	صفر تا ۰/۲	۷۷۵۴۸۲	۷/۳۲	۱	۱/۱۹	۰/۱۶
	۰/۲ - ۰/۴	۱۸۶۲۲۲۵	۱۷/۵۹	۱	۱/۱۹	۰/۰۷
	۰/۴ - ۰/۶	۳۱۷۹۴۲۹	۳۰/۰۲	۲۳	۲۷/۳۸	۰/۹۱
	۰/۶ - ۰/۸	۳۱۷۲۴۵۱	۲۹/۹۶	۳۱	۳۶/۹۰	۱/۲۳
	۰/۸ - ۱	۱۵۹۹۹۹۸	۱۵/۱۱	۲۸	۳۳/۳۳	۲/۲۱
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۵۸
NDVI	صفر تا ۰/۲	۲۲۲۳۹۷۲	۲۱	۱۲	۱۴/۲۹	۰/۶۸
	۰/۲ - ۰/۴	۴۳۸۸۸۹۶	۴۱/۴۵	۴۰	۴۷/۶۲	۱/۱۵
	۰/۴ - ۰/۶	۲۵۶۵۲۸۳	۲۴/۲۲	۲۸	۳۳/۳۳	۱/۳۸
	۰/۶ - ۰/۸	۱۰۲۲۵۶۰	۹/۶۶	۱	۱/۱۹	۰/۱۲
	۰/۸ - ۱	۳۸۸۸۷۴	۳/۶۷	۳	۳/۵۷	۰/۹۷
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۳۰
NDMI	صفر تا ۰/۲	۱۴۴۱۶۵۴	۱۳/۶۱	۱۷	۲۰/۲۴	۱/۴۹
	۰/۲ - ۰/۴	۴۴۳۶۵۲۴	۴۱/۸۹	۳۰	۳۵/۷۱	۰/۸۵
	۰/۴ - ۰/۶	۲۹۸۳۹۵۴	۲۸/۱۷	۳۱	۳۶/۹۰	۱/۳۱
	۰/۶ - ۰/۸	۱۲۸۸۶۴۱	۱۲/۱۶	۴	۴/۷۶	۰/۳۹
	۰/۸ - ۱	۴۳۸۸۱۲	۴/۱۴	۲	۲/۳۸	۰/۵۷
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۶۱
VSDI	صفر تا ۰/۲	۸۹۹۶۹۰	۸/۴۹	۱	۱/۱۹	۰/۱۴
	۰/۲ - ۰/۴	۲۳۳۰۹۲۴	۲۲/۰۱	۷	۸/۳۳	۰/۳۸
	۰/۴ - ۰/۶	۳۰۸۶۳۶۷	۲۹/۱۴	۳۴	۴۰/۴۷	۱/۳۹
	۰/۶ - ۰/۸	۲۷۶۶۴۴۳	۲۶/۱۲	۲۴	۲۸/۵۷	۱/۰۹
	۰/۸ - ۱	۱۵۰۶۱۶۱	۱۴/۲۲	۱۸	۲۱/۴۲	۱/۵۱
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۵۱
جهت	مسطح	۶۶۴۱۰۱	۶/۲۷۱	۱	۱/۱۹	۰/۱۹
	شمال	۹۸۱۲۷۷	۹/۲۶۶	۱۱	۱۳/۱۰	۱/۴۱
	شمال شرق	۱۴۳۵۷۴۶	۱۳/۵۵۸	۱۰	۱۱/۹۰	۰/۸۸
	شرق	۱۳۹۳۹۵۵	۱۳/۱۶۳	۶	۷/۱۴	۰/۵۴
	جنوب شرق	۱۳۲۵۱۸۶	۱۲/۵۱۴	۱۴	۱۶/۶۷	۱/۳۳
	جنوب	۱۴۸۴۳۰۹	۱۴/۰۱۷	۱۱	۱۳/۱۰	۰/۹۳
	جنوب غرب	۱۳۹۴۹۴۹	۱۲/۲۲۹	۸	۹/۵۲	۰/۷۸
		۱۰۴۳۵۹۶		۱۵	۱۷/۸۶	۱/۸۱

ادامهٔ جدول ۳. رابطه مکانی قابلیت تخریب سرزمین و متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب در دشت قزوین

متغیرهای تأثیرگذار	طبقه	تعداد پیکسل در هر درصد پیکسل در هر	طبقه	تعداد نقاط تخریب	درصد نقاط تخریب در	نسبت فراوانی
بر تخریب	طبقه	طبقه	در هر طبقه	هر طبقه		
جهت	غرب	۹۶۶۴۶۶	۹/۸۵۵	۸	۹/۵۲	۱/۰۴
	شمال غرب	۱۰۵۸۹۵۸۵	۹/۱۲۷	۸۴	۱۰۰	۸/۹۲
مجموع			۱۰۰			
	صفر تا ۵٪	۵۵۲۶۴۷۸	۵۲/۱۹	۱۸	۲۱/۴۳	۰/۴۱
	۵-۸٪	۱۴۸۶۹۰۸	۱۴/۰۴	۱۲	۱۴/۲۹	۱/۰۲
شیب	۸-۱۲٪	۱۱۱۹۰۲۱	۱۰/۵۷	۱۳	۱۵/۴۸	۱/۴۲
	۱۲-۱۵٪	۱۱۴۳۰۷۱	۱۰/۷۹	۱۳	۱۵/۴۸	۱/۴۳
	۱۵-۳۰٪	۷۰۳۷۰۱	۶/۶۵	۱۱	۱۳/۱۰	۱/۹۷
	۳۰-۶۰٪	۵۵۸۶۲۵	۵/۲۸	۱۵	۱۷/۸۶	۳/۳۹
	>۶۰٪	۵۱۷۸۱	۰/۴۹	۲	۲/۳۸	۴/۸۷
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۴/۵۵
	<۱۰۰۰	۱۶	صفر	صفر	صفر	صفر
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۶۳۵۴۲۱۱	۶۰	۱۷	۲۰/۲۴	۰/۳۴
ارتفاع	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۳۱۵۶۸۵۶	۲۹/۸۱	۴۵	۵۳/۵۷	۱/۸۰
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۱۰۳۴۴۸۸	۹/۷۷	۲۱	۲۵	۲/۵۶
	>۲۵۰۰	۴۴۰۱۴	۰/۴۲	۱	۱/۱۹	۲/۸۶
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۷/۵۶
	<۲۵۰	۲۹۹۶۹۲۹	۲۸/۳	۶	۷/۱۴	۰/۲۵
	۲۵۰-۳۰۰	۵۳۵۵۰۸۴	۵۰/۶	۴۹	۵۸/۳۳	۱/۱۵
	۳۰۰-۳۵۰	۱۰۹۶۳۱۰	۱۰/۴	۱۵	۱۷/۸۶	۱/۷۲
بارش	>۳۵۰	۱۱۴۱۲۶۲	۱۰/۸	۱۴	۱۶/۶۷	۱/۵۵
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۶۸
	<۱۴	۱۲۰۳۶۹۲	۱۱/۳۷	۱۴	۱۶/۶۷	۱/۴۷
	۱۴-۱۵	۵۱۴۰۱۷۵	۴۸/۵۴	۵۴	۶۴/۲۹	۱/۳۲
	۱۵-۱۶	۳۱۵۵۲۹۶	۲۹/۸۰	۱۲	۱۴/۲۹	۰/۴۸
	>۱۶	۱۰۹۰۴۲۲	۱۰/۳۰	۴	۴/۷۶	۰/۴۶
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵		۸۴		۳/۷۳
	<۲	۱۱۲۹۲۲۹	۱۰/۶۶	۱۴	۱۶/۶۷	۱/۵۶
	(۲-۴)	۵۹۰۰۷۵۹	۵۵/۷۲	۶۴	۷۶/۱۹	۱/۳۷
	(۴-۶)	۲۳۳۳۱۳۵	۲۲/۰۳	۶	۷/۱۴	۰/۳۲
	(۶-۸)	۹۳۶۵۳۰	۸/۸۴	صفر	صفر	صفر
	>۸	۲۸۹۹۳۲	۲/۷۴	صفر	صفر	صفر
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۳/۲۵
	<۲۰۰۰	۶۸۶۲۷۷۱	۶۴/۸۱	۶۵	۷/۳۸	۱/۱۹
	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۳۶۴۲۵۷۳	۳۴/۴۰	۱۹	۲۲/۶۲	۰/۶۶
	>۴۰۰۰	۸۴۲۴۱	۰/۸۰	صفر	صفر	صفر
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱/۸۵

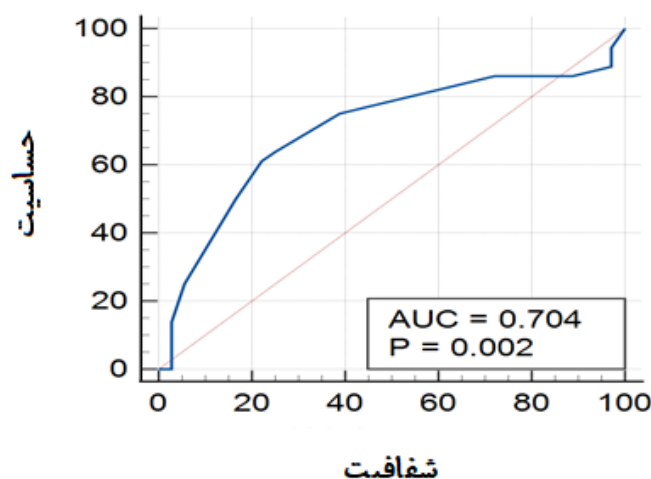
ادامه جدول ۳. رابطه مکانی قابلیت تخریب سرزمین و متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب در دشت قزوین

متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب	طبقه	تعداد پیکسل در هر طبقه	درصد پیکسل در هر طبقه	تعداد نقاط تخریب در هر طبقه	درصد نقاط تخریب در هر طبقه	نسبت فراوانی
سطح آب زیرزمینی	< ۲۰	۸۶۶۰۳۳	۸/۱۸	صفر	صفر	صفر
	۲۰-۴۰	۱۷۳۵۶۸۱	۱۶/۳۹	۴	۴/۷۶	۰/۲۹
	۴۰-۶۰	۳۸۹۹۷۰۵	۳۶/۸۳	۴۰	۴۷/۶۲	۱/۲۹
	۶۰-۸۰	۲۷۵۴۸۶۳	۲۶/۰۱	۲۵	۲۹/۷۶	۱/۱۴
	۸۰-۱۰۰	۱۲۲۸۴۴۱	۱۱/۶۰	۱۴	۱۶/۶۷	۱/۴۴
مجموع	۱۰۰-۱۲۰	۷۷۵۵۵۶	۰/۷۳	صفر	صفر	صفر
	> ۱۲۰	۲۷۳۰۶	۰/۲۶	۱	۱/۱۹	۴/۶۲
		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۸/۷۸
	< ۰/۶	۱۴۷۴۸۶۵	۱۳/۹۳	۱	۱/۱۹	۰/۰۹
	۰/۶- ۱/۶	۷۶۲۰۳۳۰	۷۱/۹۶	۷۸	۹۲/۸۶	۱/۲۹
افت سالانه آب	۱/۶- ۲/۶	۱۴۳۱۴۷۲	۱۳/۵۲	۵	۵/۹۵	۰/۴۴
زیرزمینی	۲/۶- ۳/۶	۵۴۸۳۰	۰/۵۲	صفر	صفر	صفر
	> ۳/۶	۸۰۸۸	۰/۰۸	صفر	صفر	صفر
		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱/۸۲
کشاوری	کشاوری	۳۱۵۶۴۹۳	۲۹/۸۱	صفر	صفر	صفر
	باغ	۶۹۰۰۰	۰/۶۵	۲	۲/۳۸	۳/۶۵
	بایر	۸۹۳۴۴۷	۸/۴۴	صفر	صفر	صفر
	دیم	۱۲۵۱۲۸۸	۱۱/۸۲	۶	۷/۱۴	۰/۶
	مرتع خوب	۶۴۰۲۶۸	۶/۰۵	۷	۸/۳۳	۱/۳۸
کاربری اراضی	دیم- مرتع متوسط	۲۷۷۱۴۳	۲/۶۲	۳	۳/۵۷	۱/۳۶
	دیم- مرتع فقیر	۱۱۲۳۵۴	۱/۰۶	۲	۲/۳۸	۲/۲۴
	آیش- مرتع فقیر	۳۶۳۶۰۵	۳/۴۳	۲	۲/۳۸	۰/۶۹
	شوره زار و اراضی مرطوب	۳۷۴۳۱	۰/۳۵	صفر	صفر	صفر
	مرتع متوسط	۱۹۰۹۲۶۱	۱۸/۰۳	۳۵	۴۱/۶۷	۲/۳۱
مجموع	مرتع فقیر	۱۷۲۶۷۵۸	۱۶/۳۱	۲۷	۳۲/۱۴	۱/۹۷
	اراضی شهری	۱۵۲۵۳۷	۱/۴۴	صفر	صفر	صفر
		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۴/۲۲

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی در شبیه سازی مکانی تخریب سرزمین و نیز تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین دشت قزوین انجام شد. انطباق عوامل مؤثر بر تخریب سرزمین با نقشه قابلیت تخریب سرزمین نشان داد که عمده مناطق حساس به تخریب را کاربری مرتع با وضعیت خوب، متوسط و فقیر شامل می شود که بیشتر در ارتفاعات و مناطق شیب دار دشت با بارش های نسبتاً زیاد واقع شده اند.

منحنی ROC و مقدار سطح زیر منحنی برای ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به مقدار $AUC=0/7$ ، مدل نسبت فراوانی، کارایی خوبی در شبیه سازی مکانی تخریب سرزمین در دشت قزوین داشته است (شکل ۷). بررسی های مختلفی کارایی خوب و بسیار خوب مدل را در تهیه نقشه حساسیت پدیده های مختلف فرسایش از جمله زمین لغزش گزارش کرده اند (۲۳، ۱۴).



شکل ۷. تشخیص عملکرد نسبی مدل نسبت فراوانی در تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین دشت قزوین

AUC انجام شد، نشان داد که مدل نسبت فراوانی دقت خوبی در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین در دشت قزوین داشته است. از آنجا که بررسی در رابطه با کارایی مدل نسبت فراوانی برای تهیه نقشه حساسیت تخریب سرزمین صورت نگرفته است، امکان مقایسه نتیجه تحقیق حاضر با دیگر پژوهش‌ها در زمینه تخریب سرزمین میسر نبود.

بنابراین اقداماتی از جمله در نظر گرفتن ظرفیت برد مراتع و جلوگیری از چرای زودرس دام می‌تواند در کنترل تخریب در آن منطقه مؤثر واقع شود. همچنین به دلیل شرایط بارش خوب در این مناطق، بذریابی و بذریابی از دیگر اقداماتی است که می‌تواند به منظور کنترل تخریب سرزمین مورد توجه قرار گیرد. همچنین، نتیجه اعتبارسنجی نقشه قابلیت تخریب سرزمین که توسط

References

1. Abdel-Kader, F.H. (2019). Assessment and monitoring of land degradation in the northwest coast region, Egypt using Earth observations data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 165-173.
2. AbdelRahman, M.A., Natarajan, A., Hegde, R. and 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), 323-334.
3. Akbari, M., Modarres, R., and Noughani, M.A. (2020). Assessing early warning for desertification hazard based on E-SMART indicators in arid regions of northeastern Iran. *Arid Environments*, 174, 104086.
4. Amani, S., Joneidi, H., & Karami, P. (2018). *Investigation of the effect of livestock grazing intensity on vegetation changes in rangelands of Bijar protected area*. 7th National Conference on Rangeland and Rangeland Management of Iran. April, karaj, Iran. (in Farsi)
5. Al-Quraishi, A.M.F. and Negm, A.M. (2019). *Environmental remote sensing and GIS in Iraq*. Springer-Water, Springer, Cham.
6. Arabkhedri, M. (2014). A Review on the factors affecting water erosion of soil in Iran. *Land Management*, 2(1), 17-26. (in Farsi)

7. Bagheri, S., Tamrtash, R., Jafari, M., Tatian, M.R., Malekian, A., & Payravand, V. (2021). Investigation of the capability of MODIS satellite data in preparing vegetation canopy percentage map of Qazvin plain's rangelands. *Rangeland*, 15(1), 24-36. (in Farsi)
8. Baruti, J.H.M. (2004). Study of soil moisture in relation to soil erosion in the proposed Tancítaro Geopark, Central Mexico.
9. Boali, A.H, Jafari, R., & Bashari, H. (2017). Analyzing the effect of groundwater quality on desertification using Bayesian Belief Networks in Segzi desertification hotspots. *Water and Soil Science*, 21(3), 205-218. (in Farsi)
10. Brewer, C.A. & Pickle, L. (2002). Evaluation of methods for classifying epidemiological data on choropleth maps in series. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(4), 662-681.
11. Crossland, M., Winowiecki, L.A., Pagella, T., Hadgu, K., & Sinclair, F. (2018). Implications of variation in local perception of degradation and restoration processes for implementing land degradation neutrality. *Environmental development*, 28, 42-54.
12. Ewunetu, A., Simane, B., Teferi, E., & Zaitchik, B.F. (2021). Mapping and quantifying comprehensive land degradation status using spatial multicriteria evaluation technique in the headwaters area of upper Blue Nile River. *Sustainability*, 13(4), 2244.
13. Feyzi Koushki, F., Akbari, M., Memarian, H., Azamirad, M. (2018). Identifying and ranking important factors of desertification in Khorasan Razavi Province using Delphi method. *Geography and Environmental Hazards*, 8(31), 205-225. (in Farsi)
14. Gholami. M., Soleimani, K., & Nekoei Ghachkanloo, E. (2017). Preparing map of landslide susceptibility using Weight of Evidence (WOE), Frequency Ration (FR), and Demster-Schaefer (DSH) Models (Case Study: Sari-Kiasar). *Range and Watershed Management, Volume 70*(3), 735-750. (in Farsi)
15. Gichenje, H., Pinto-Correia, T. & Godinho, S. (2019). An analysis of the drivers that affect greening and browning trends in the context of pursuing land degradation-neutrality. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100251.
16. Goudie, A.S. (1990). *Techniques for desert reclamation*, Chichester: John Wiley & Sons press.
17. Haghighi, A.T., Darabi, H., Karimidastenaie, Z., Davudirad, A.A., Rouzbeh, S., Rahmati, O., Sajedi-Hosseini, F., & Klove, B. (2021). Land degradation risk mapping using topographic, human-induced, and geo-environmental variables and machine learning algorithms, for the Pole-Doab watershed, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), 1-21.
18. Higginbottom, T.P., & Symeonakis, E. (2014). Assessing land degradation and desertification using vegetation index data: Current frameworks and future directions. *Remote Sensing*, 6(10), 9552-9575.
19. Jafarian, Z., Beshtar, V., & Kavian, A. (2017). Simulation Effects of Improvement and Restoration Operations of Rangeland on Soil Loss using RUSLE Model, *Physical Geography Research*, 49(1), 55-69. (in Farsi)
20. Khaledian, H., & Nikkami, D. (2017). The role of land use optimization in reducing the potential of erosion and sedimentation using linear programming model (Case study: Chehel-Gazi basin in Sanandaj), *Water and Soil Science*, 21(1), 95-111. (in Farsi)
21. Moradi, E., Khosravi, H., Zehtabian, Gh.R., Khalighi-Sigaroodi, Sh., & Cerda, A. (2020). Vulnerability assessment of land degradation using network analysis process and geographic information system (Case

- Study: Maharloo-Bakhtegan watershed). *Water and Soil Research of Iran*, volume 51(5), 1069-1080. (in Farsi)
22. Nguyen, K.A., Liou, Y.A., Tran, H.P., Hoang, P.P. and Nguyen, T.H. (2020). Soil salinity assessment by using near-infrared channel and Vegetation Soil Salinity Index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh Province, Mekong Delta, Vietnam. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(1), 1-16.
 23. Razavi Termeh, S.V., & Shirani, K. (2019). Land slide hazard zoning using frequency ration, entropy methods and TOPSIS decision making methods (Case study: Fahliyan basin, Fars). *RS & GIS for Natural Resources*, 9(4), 119-138. (in Farsi)
 24. Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Kumamoto, T., & Akgun, A. (2014). Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 725-742.
 25. Sadeghiravesh, M.H., Khosravi, H., Abolhasani, A., Ghodsi, M., & Mosavi, A. (2021). Fuzzy logic model to assess desertification intensity based on vulnerability indices. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18(3), 7-24.
 26. Shao, Y., Jiang, Q.O., Wang, C., Wang, M., Xiao, L., & Qi, Y. (2020). Analysis of critical land degradation and development processes and their driving mechanism in the Heihe River Basin. *Science of the Total Environment*, 716, 137082.
 27. Su, C., Wang, L., Wang, X., Huang, Z., & Zhang, X. (2015). Mapping of rainfall-induced landslide susceptibility in Wencheng, China, using support vector machine. *Natural Hazards*, 76(3), 1759-1779.
 28. Tabib Mahmoodi, F., & Ghasemi Dastgerdi, N. (2020). Investigating the potential of soil moisture indices in desertification. *Natural Environment*, 73(3), 529-542. (in Farsi)
 29. Vogt, J.V., Safriel, U., Von Maltitz, G., Sokona, Y., Zougmore, R., Bastin, G. & Hill, J. (2011). Monitoring and assessment of land degradation and desertification: towards new conceptual and integrated approaches. *Land Degradation & Development*, 22(2), 150-165.
 30. Wijitkosum, S. (2021). Factor influencing land degradation sensitivity and desertification in a drought prone watershed in Thailand. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2), 217-228.
 31. Xu, C., Xu, X., Dai, F., Xiao, J., Tan, X., & Yuan, R. (2012). Landslide hazard mapping using GIS and weight of evidence model in Qingshui river watershed of 2008 Wenchuan earthquake struck region. *Earth Science*, 23(1), 97-120.
 32. Yousefi, S., Pourghasemi, H.R., Avand, M., Janizadeh, S., Tavangar, S., & Santosh, M. (2021). Assessment of land degradation using machine-learning techniques: A case of declining rangelands. *Land Degradation & Development*, 32(3), 1452-1466.
 33. Yousefi, N., & Hejam, S. (2012). Investigating the effect of ENSO on climatic parameters of temperature and precipitation, case study: Qazvin plain. *Geographic Space*, 12(39), 195-210. (in Farsi)

Development of A Wind Erosion Sensitivity Model Using Multi-Criteria Assessment Method (Case Study: Hamoun Wildlife Refuge)

V. Rahdari^{1*}, S. Maleki¹, M. Mir²

1. Assistant Professor, Department of Environment., Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.
 2. PhD student, Agriculture faculty, University of Zabol, Zabol, Iran.
- * Corresponding Author: vrahdari@uoz.ac.ir

Received date: 07/04/2022

Accepted date: 20/05/2022



[10.22034/JDMAL.2022.551548.1382](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.551548.1382)

Abstract

Wind erosion and dust storms are among the most important natural hazards and have negative impacts on environment and people. The Hamoun international wetland- located in the southeast of Iran and southwest of Afghanistan, at the estuary of the Helmand River – due to the severe droughts during the last three decades has become the main source of soil erosion. The purpose of this study is to investigate the sensitivity of wind erosion in the Iranian section of the Hamoun wetland as the Hamoun wildlife refuge. By literature reviewing and using experts' knowledge, 15 effective criteria in the phenomenon of wind erosion were determined and weighted by using AHP method. The weights analysis showed that among the criteria, vegetation cover with 0.13 had the highest weight. Using satellite images related to November 2021, the SAVI vegetation index was prepared as an index of the amount of vegetation cover. To prepare the soil criteria maps, 135 pints of surface soil were taken and transferred to the lab. After determining the criteria value in each sample, the map of each criterion was prepared using the IDW method. The criteria were standardized using the FUZZY method, and then combined by applying the calculated weights and using the weighted linear combination method to prepare the wind erodibility model. The prepared model was classified into five erodibility classes. To assess model accuracy, the wind erosion threshold speed was calculated by installing a portable wind tunnel device at 40 sites. The resulting figures were classified into five levels according to the erodibility classes, and compared with the corresponding erosion class of the wind tunnel sites. An overall accuracy of 81% for the prepared model shows capability of this model to prepare an accurate wind erosion model.

Keywords: Dust storm; Soil properties; Weighted linear combination; Hamoun wetland





ارائه مدل حساسیت به فرسایش بادی با بهره گیری از روش ارزیابی چند معیاره در پناهگاه حیات وحش هامون

وحید راهداری^{۱*}، سعیده ملکی^۱، محدثه میر^۲

۱. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط زیست، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. دانشجوی دکتری اقتصاد محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

* نویسنده مسئول: vrahdari@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۰

doi [10.22034/JDMAL.2022.551548.1382](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.551548.1382)

چکیده

پدیده فرسایش بادی و توفان‌های گرد و غباری یکی از مهمترین مخاطره های اقلیمی فراگیر است که خسارت‌های فراوانی را بر بخش‌های مختلف از جمله محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها وارد می‌کند. تالاب بین المللی هامون در شرق ایران و در مصب رودخانه هیرمند قرار گرفته‌است که با وقوع خشکسالی‌های شدید سه دهه اخیر، بستر آن به کانون برداشت گردوخاک تبدیل شده است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی حساسیت فرسایش بادی در بخش ایرانی تالاب هامون به عنوان پناهگاه حیات وحش است. برای این منظور، با انجام مرور منابع و بررسی نظر خبرگان، تعداد ۱۵ معیار مؤثر بر فرسایش بادی تعیین و با بهره‌گیری از روش AHP، وزن‌دهی شد. بررسی وزن‌ها نشان داد تاج پوشش گیاهی با ۰/۱۳ بیشترین وزن را دارد. با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای آبان ۱۴۰۰، شاخص گیاهی SAVI به عنوان نمایه‌ای از مقدار تاج پوشش گیاهی سطح زمین تهیه شد. برای تهیه نقشه معیارهای ویژگی‌های خاک، از ۱۳۵ نقطه از خاک سطحی نمونه‌برداری انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از تعیین مقادیر عددی معیارهای مورد نظر در هر نمونه، نقشه معیارها با بهره‌گیری از روش IWD تهیه شد. معیارها به روش فازی استاندارد شد و سپس با اعمال وزن‌ها به روش ترکیب خطی وزن‌دار با یکدیگر ترکیب و مدل فرسایش‌پذیری بادی خاک، تهیه و به پنج طبقه فرسایش‌پذیری طبقه‌بندی شد. برای بررسی صحت مدل، در ۴۰ محل، با استقرار دستگاه تونل باد قابل حمل، سرعت آستانه فرسایش بادی اندازه گیری و اعداد به‌دست آمده مطابق با طبقه‌های فرسایش‌پذیری به پنج طبقه، دسته‌بندی و با طبقه متناظر فرسایش‌پذیری محل استقرار تونل باد مقایسه شد. صحت کلی به‌دست آمده ۸۱٪ نشان دهنده توانایی این روش در تهیه مدل فرسایش بادی خاک است.

واژگان کلیدی: توفان گرد و غبار؛ ویژگی‌های خاک؛ ترکیب خطی وزن‌دار؛ تالاب هامون

■ مقدمه

فرسایش بادی یکی از مهمترین معضل‌های مناطق خشک و نیمه خشک است (۳، ۲۴) که شدت گرفتن آن مشکل‌های متعدد محیط‌زیستی مانند کاهش حاصلخیزی خاک، تخریب زیرساخت‌ها و مشکلات اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی، ایجاد کرده است (۲۲، ۲۵). این مسئله به ویژه در مناطق خشک به دلیل فقر پوشش گیاهی، کمبود هوموس، خشک بودن و ریز دانه بودن، وجود املاح زیاد خاک جدی‌تر است (۴، ۱۴). اگرچه منشأ ریزگردها، مناطق خشک و بسیار خشک می‌باشند، رشد جمعیت و کاهش حاصلخیزی خاک، خشک شدن تالاب‌ها و تغییر اقلیمی این فرایند را افزایش داده‌اند (۴، ۱۷).

فرسایش‌پذیری بادی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مربوط می‌شود (۵، ۱۲، ۲۵). بنابراین برای بررسی و ارزیابی پدیده فرسایش بادی خاک و توفان‌های گرد و غبار، نه تنها ویژگی‌های مربوط به باد، بلکه ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک باید مورد بررسی قرار بگیرند (۹، ۲۴). فرسایش‌بادی در مناطق با خاک‌های نرم و رطوبت کم، دانه‌بندی ریز و بدون پوشش گیاهی، از شدت بیشتری برخوردار است و در نتیجه در این مناطق ذرات خاک در سرعت‌های کمتر باد جابجا می‌شوند (۳، ۱۶). در مطالعه‌ای برای بررسی عوامل مؤثر بر توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان، کم بودن رطوبت خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی و سرعت باد به عنوان مهمترین دلایل تشدید توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان بیان شد (۲۶). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، برای بررسی تأثیر برخی از ویژگی‌های خاک بر روی فرسایش‌پذیری بادی خاک، به میانگین وزنی قطر خاکدانه و نسبت جذب سدیم (SAR¹) به عنوان مهمترین مولفه‌های تأثیر گذار بر فرسایش بادی اشاره شده است (۲۴). در پژوهشی بر روی تغییرات مکانی سرعت آستانه فرسایش‌بادی در منطقه جزینک دشت سیستان، درصد رس، سیلت و ماسه، اسیدیته، شوری، درصد ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد سنگریزه خاک سطحی، به عنوان عوامل مهم در تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی تعیین شدند (۲). همچنین در تحقیقی،

رابطه منفی و معنی‌دار بین شدت فرسایش خاک و تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند مقدار سنگریزه سطحی، میانگین قطر خاکدانه‌ها، مقدار رس و میزان رطوبت خاک را گزارش شده است (۲۵). از طرف دیگر، رطوبت خاک سطحی، اندازه و چگالی ذرات خاک، از جمله عواملی هستند که بر روی فرسایش‌بادی خاک مؤثر هستند و افزایش آنها موجب کاهش مقدار فرسایش بادی خاک می‌گردد (۷، ۱۴). بعلاوه در مطالعه دیگر، کاتیون سدیم به عنوان مهمترین کاتیون در افزایش فرسایش‌پذیری و کاتیون کلسیم به عنوان مهمترین کاتیون در تثبیت خاک و ماده آلی خاک به عنوان یک هسته و اتصال دهنده که موجب کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌گردد، بیان شده است (۲۸).

تعیین مناطق حساس و مولفه‌های تأثیرگذار بر ایجاد حساسیت خاک در مقابل فرسایش بادی، مهمترین بخش برای کاهش روند در حال توسعه فرسایش خاک و اثرات مستقیم و غیر مستقیم آن می‌باشد (۱، ۲۵). بررسی سرعت آستانه فرسایش بادی، یکی از روش‌های تعیین حساسیت مناطق مختلف به فرسایش بادی خاک می‌باشد (۱۳، ۱۵). سرعت آستانه فرسایش بادی آن مقدار از سرعت باد است که در آن فرسایش خاک و برداشت ذرات از بستر آغاز می‌شود (۱، ۵، ۶، ۹). تعیین آستانه فرسایش‌بادی در یک منطقه موجب مشخص شدن حساس‌ترین مناطق به فرسایش‌بادی و تعیین کانون‌های بحرانی فرسایش گردد (۵). این مسئله موجب صرفه‌جویی در هزینه اقدامات لازم برای کاهش پدیده گرد و غبار خواهد شد (۵، ۶). روش‌های مختلفی برای ارزیابی حساسیت فرسایش بادی خاک تا کنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

روش ارزیابی چند معیاره یکی از روش‌های ارزیابی برای موضوع‌های مختلف است (۲۱). این روش امکان بهره‌گیری از قابلیت‌های سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS^۲) را ایجاد کرده که جهش عظیمی در مطالعات ارزیابی ایجاد نموده است (۱۵). برای ارزیابی، مهمترین کاربرد GIS بازیابی اطلاعات متفاوت از منابع مختلف، تبدیل هندسی آنها، مدل‌سازی و همپوشانی نقشه‌ها بر روی یکدیگر است (۱۹، ۲۱). GIS قادر است از تلفیق نقشه‌های مکانی

فازی، با بکارگیری مهمترین معیارهای تأثیر گذار بر روی این پدیده می‌باشد.

■ مواد و روش

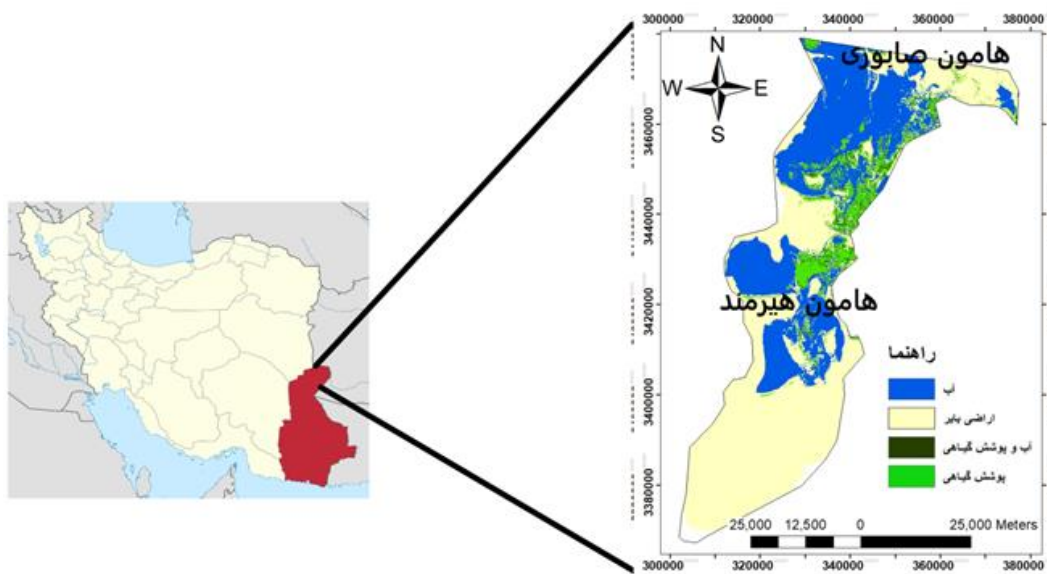
منطقه مورد بررسی

پژوهش حاضر در قسمت ایرانی تالاب بین المللی هامون با عنوان پناهگاه حیات وحش هامون، با مساحتی بالغ بر ۲۸۰۰۰۰ ha در ۲۵° ۳۰' تا ۲۷° ۳۱' عرض جغرافیایی و ۵۶° ۶۰' تا ۴۳° ۶۱' طول جغرافیایی در جنوب شرق ایران، شمال استان سیستان و بلوچستان و در مجاورت شهرستان زابل انجام شده است (شکل ۱). مهمترین منابع تامین کننده آب تالاب هامون، رودخانه‌های هیرمند و فرامرود می‌باشند (۲۲). در زمان پرآبی پناهگاه حیات وحش هامون تنوع زیستی و گیاهی زیادی دارد. میانگین بارندگی منطقه کمتر از ۵۰mm و اقلیم آن به روش دمارتن فوق خشک است (۱۷). مهمترین جهت وزش بادهای کم منطقه متأثر از سامانه موسمی، شمال به جنوب به نام بادهای ۱۲۰ روزه است که از خرداد تا شهریور هر سال می‌وزند. مهمترین عامل تهدید کننده این پناهگاه، کاهش ورودی آب رودخانه‌های منتهی به آن و خشکسالی هیدرولوژیکی می‌باشد. به دلیل خشک شدن تالاب و وزش بادهای شدید موسمی، فرسایش بادی خاک بستر تالاب شدت یافته و در نتیجه شدت و تناوب توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان افزایش پیدا کرده است (۱۲، ۲۲).

ویژگی‌های مختلف سرزمین، نقشه‌های نهایی ارزیابی را با بکارگیری مدل‌های ریاضی ارائه کند (۱۵).

منطقه سیستان با بارش سالانه حدود ۵۰mm و بدلیل وجود رسوبات آبرفتی، رودخانه‌ای و دریاچه‌ای ریزدانه، فرسایش‌پذیری زیادی دارد که با توجه به وزش بادهای ۱۲۰ روزه و اقلیم منطقه و ناکافی بودن پوشش گیاهی، ذرات خاک به آسانی جابجا شده و نه تنها موجب ایجاد ریزگردها و تشکیل توفان‌های گرد و غبار می‌شود، بلکه باعث به وجود آمدن تپه‌های ماسه‌ای به اشکال مختلف شده است (۲، ۱۲، ۱۶). این امر موجب مدفون شدن اراضی زراعی، کانال‌های آبیاری و روستاها شده و علاوه بر آن هوای آلوده و مملو از ریزگردها، ساکنین منطقه را دچار مشکلات تنفسی می‌نماید (۲۲). ردیابی توفان‌ها توسط تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که گستره وسیعی از مناطق شرق و جنوب کشور نیز تحت تأثیر توفان‌های گرد و غبارناشی از منطقه سیستان قرار می‌گیرند (۱۶). در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از مدل ارزیابی چند معیاره که کمتر در مطالعات فرسایش بادی و خاکشناسی مورد استفاده قرار گرفته به همراه نظر کارشناسان و خبرگان و بر اساس شرایط خاک، اقدام به بررسی حساسیت پذیری منطقه به فرسایش بادی شده است.

هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین حساسیت مناطق مختلف پناهگاه حیات‌وحش هامون به فرسایش بادی با بهره‌گیری از روش ارزیابی چند معیاره و تلفیق آن با روش



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی

روش پژوهش

داده‌ها

برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر از تصویر ماهواره‌ای برای مرداد ۱۳۹۷ در زمان وقوع توفان گرد و غبار و تصویر آبان سال ۱۴۰۰ مربوط به سنجنده OLI^۱، همزمان با مطالعات میدانی، بررسی مطالعات گذشته مرتبط با موضوع مطالعه و نتایج مطالعات میدانی و نظرات کارشناسان و خبرگان استفاده شد.

تعیین معیارهای مورد نیاز مطالعه

برای تعیین معیارهای مورد نیاز ارزیابی حساسیت فرسایش بادی منطقه، در آغاز با مرور منابع ۱۹ معیار انتخاب شد. در پایان بر پایه پرسشنامه تکمیل شده توسط ۱۷ نفر از خبرگان خاکشناسی، مرتعداری، ژئومورفولوژی و محیط‌زیست تعداد ۱۴ معیار مربوط به خاک و ۱ معیار درصد تاج پوشش گیاهی انتخاب شد.

تعیین وزن معیارها

با تهیه ماتریس مقایسه‌های زوجی در قالب ۱۷ پرسشنامه و به روش AHP^۲ معیارها به صورت دو به دو، با یکدیگر مقایسه، نتایج به نرم افزار Expert choice وارد و وزن معیارها در هر پرسشنامه محاسبه شد. برای بررسی پرسشنامه‌ها، ضریب سازگاری آنها محاسبه و پرسشنامه‌های با ضریب بیش از ۰/۱ تعیین و ضمن توضیح، جهت بررسی مجدد برگشت داده شدند. با میانگین‌گیری هندسی از وزن‌های بدست آمده از هر پرسشنامه، وزن نهایی معیارها

تعیین شد. جواب‌های مقایسه برای هر دو معیار بر اساس جدول ۱، تکمیل شد.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

برای تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی منطقه از تصویر سنجنده OLI مربوط به آبان ۱ و همزمان با نمونه برداری‌های میدانی استفاده شد. بنا به اطلاعات همراه تصویر، تصحیح هندسی بر روی تصاویر انجام شده بود. برای تهیه نقشه دقیق، تصحیح اتمسفریک به روش FLASH^۳ در محیط نرم افزار ENVI 5.1 بر روی تصویر اعمال شد. همچنین با اعمال مرز پناهگاه حیات وحش هامون، تصویر این منطقه از کل تصویر ماهواره‌ای جدا شد. برای معیار تراکم پوشش گیاهی از شاخص گیاهی SAVI^۴ تهیه شد. این شاخص با بهره‌گیری از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز و با ضریب L برابر ۰/۵ تهیه گردید (۱۱). رابطه ۱، نحوه محاسبه شاخص SAVI را نشان می‌دهد.

$$SAVI = \left(\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right) \cdot (1 + L) \quad (1)$$

در این رابطه RED باند قرمز و NIR باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد. همچنین برای تهیه نقشه پوشش‌های مختلف خاک در تالاب هامون، با اعمال طبقه‌بندی نظارت نشده به روش خوشه‌ای، نقشه منطقه بر اساس تنوع بازتابشی سطح زمین در ۹ طبقه بدون برچسب^۵ تهیه شد.

جدول ۱. مقیاسی برای مقایسه دو به دو معیارها (۱۹)

ردیف	امتیاز	تعریف
۱	۱	اهمیت مساوی
۲	۳	اهمیت اندکی بیشتر
۳	۵	اهمیت بیشتر
۴	۷	اهمیت خیلی بیشتر
۵	۹	اهمیت مطلق
۶	۸، ۶، ۴، ۲	اهمیت بینابین

4 Soil-Adjusted Vegetation Index

5 Label

1 Operational Land Imager

2 Analytic Hierarchy Process

3Fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hyper cubes

حساسیت خیلی زیاد، استاندارد شدند.

تهیه مدل حساسیت فرسایش بادی منطقه

برای تهیه مدل فرسایش بادی منطقه، معیارهای استاندارد شده با توجه به وزن‌های محاسبه شده به روش ترکیب خطی وزن دار (WLC^2) بر پایه رابطه ۲، با یکدیگر ترکیب و مدل حساسیت فرسایش بادی پناهگاه حیات وحش هامون تهیه شد.

$$S = \sum W_i X_i \prod C_i \quad (2)$$

S = حساسیت به فرسایش بادی، X_i = ارزش فازی معیار، $\prod$ = علامت ضرب، C_i = لایه بولین که محدودیت نامیده می‌شود، W_i = از لایه‌ها هریک وزن

در این مطالعه، لایه بولین مورد استفاده قرار نگرفت. برای تهیه نقشه طبقه‌های حساسیت به فرسایش، با در نظر گرفتن دامنه عددی استفاده شده در فازی‌سازی داده‌ها که بین صفر تا ۲۵۵ بود، مدل تهیه شده در طبقات ۵۰ واحدی، با توجه به جدول ۲، در ۵ طبقه تهیه شد.

ارزیابی صحت مدل فرسایش‌پذیری خاک

برای بررسی دقت نقشه تولید شده در ارتباط با سرعت آستانه فرسایش بادی و نتیجه مدل فرسایش بادی، در زمان نمونه برداری در ۴۰ محل نمونه‌برداری خاک که در شعاع بیش از ۵۰۰ متری محل از جهت وضعیت ظاهری خاک و پوشش گیاهی از وضعیت همگن برخوردار بود، با استقرار تونل باد سرعت آستانه فرسایش بادی اندازه‌گیری شد. به این ترتیب سعی شد تا سرعت آستانه محاسبه شده نماینده سطح وسیعی از منطقه باشد.

نمونه‌برداری میدانی و تهیه ویژگی‌های خاک

برای تهیه بررسی ویژگی‌های خاک منطقه با توجه به دسته‌های تهیه شده در طبقه‌بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای، بررسی نظر کارشناسان و بودجه زمانی و مکانی، تعداد ۱۳۵ نقطه محل نمونه‌برداری خاک در ۹ طبقه بازتابشی تعیین شد. برای تعیین زمان نمونه‌برداری، به منظور جلوگیری از تأثیر رطوبت حاصل از بارندگی، داده‌های مربوط به بارش شهرستان زابل بررسی و نمونه‌برداری به گونه‌ای انجام شد که طی ۲ ماه قبل از بررسی میدانی، باران در منطقه نباریده باشد. نمونه‌برداری از خاک سطحی تا عمق ۰/۱ متری انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل و اطلاعات مورد نیاز بر اساس جدول ۴، با روش‌های استاندارد، تعیین شد.

آماده سازی معیارها

برای ممکن شدن ترکیب معیارها با واحدها و مقادیر متفاوت، معیارها به روش فازی و با اعمال توابع مناسب با در نظر گرفتن تأثیر هر معیار در پدیده فرسایش بادی، بین صفر تا ۲۵۵ از مناطق بدون حساسیت تا حساسیت خیلی زیاد، استاندارد شدند. نقشه هر یک از معیارهای مربوط به خاک، با بهره‌گیری از روش درون‌یابی فاصله معکوس وزنی IDW^1 در محیط نرم افزار ARC GIS تهیه شد.

استانداردسازی داده‌ها

برای فراهم شدن امکان تلفیق معیارها با ارزش‌ها و واحدهای متفاوت، تمامی آنها با توجه به تأثیر گذاری مثبت یا منفی بر روی مقدار فرسایش‌پذیری بادی خاک، با بهره‌گیری از توابع کاهنده یا افزایشنده و با بهره‌گیری از توابع J شکل، بین صفر تا ۲۵۵ با عنوان بدون حساسیت و با

جدول ۲. حدود مناسب برای هر طبقه حساسیت فرسایش بادی

نام هر طبقه حساسیت فرسایش بادی	دامنه اعداد
با حساسیت فرسایش بادی خیلی کم	۰ - ۵۰
با حساسیت فرسایش بادی کم	۵۰ - ۱۰۰
با حساسیت فرسایش بادی متوسط	۱۰۰ - ۱۵۰
با حساسیت فرسایش بادی زیاد	۱۵۰ - ۲۰۰
با حساسیت فرسایش بادی خیلی زیاد	۲۰۰ - ۲۵۵

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^c E_{ii}}{N} \quad (۱۷) \quad (۳)$$

که در آن C تعداد طبقه‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا و $O.A^2$ صحت کلی می‌باشد.

■ نتایج و بحث

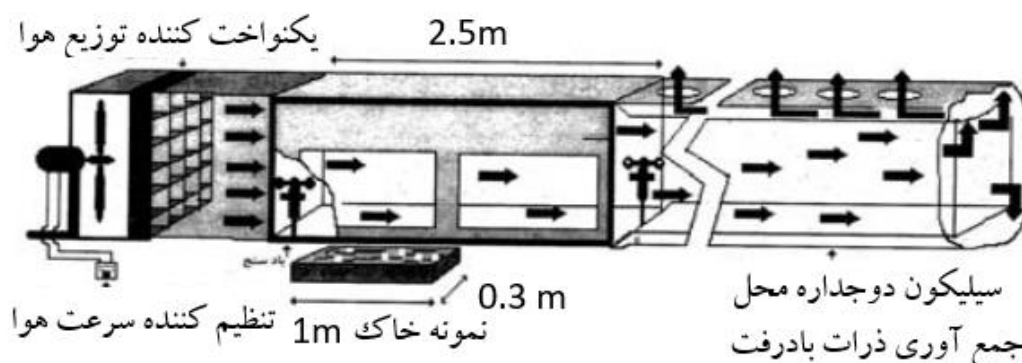
تعیین، تهیه نقشه و استانداردسازی نقشه معیارها

تصمیم‌گیری چند معیاره، روشی برای تصمیم‌گیری در مورد اهداف پیچیده چندگانه است (۱۵). این روش برای حل مسائل در دوره‌های زمانی بلند مدت، عدم قطعیت، ریسک و موضوعات پیچیده به کار می‌رود (۱۹). یکی از مزایای این روش امکان استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان در موضوعات مطالعه می‌باشد (۱۹، ۲۱). در ارزیابی چند معیاره، وزن‌دهی موجب می‌شود که لایه‌های مختلف ارزش‌های متفاوتی پیدا کنند و از این طریق تجزیه و تحلیل‌ها با دقت بیشتری صورت گیرد (۲۱).

دستگاه که دارای یک سطح تماس با خاک است و تغییرات ایجاد شده در خاک توسط باد با وجود جدار شیشه‌ای تعبیه شده قابل مشاهده است. کیسهٔ رسوبگیر که در انتهای تونل قرار دارد و بیشتر برای تعیین مقدار خاک فرسایش‌یافته قابل استفاده است. در این پژوهش از دستگاه تونل بادی (۲) ساخته شده توسط دانشگاه یزد استفاده شد (شکل ۲).

آستانه‌های مربوط به فرسایش بادی منطقه، در نرم‌افزار آماری و با بهره‌گیری از دستور گروه‌بندی شرطی^۱ براساس جدول ۳، با طبقه‌های مختلف حساسیت فرسایش‌پذیری بادی تطبیق داده شدند.

سپس آستانه فرسایش به سطح همگن نسبت داده شد و با مقایسه موقعیت هر محل با طبقه متناظر در نقشه فرسایش‌پذیری خاک، صحت کلی نقشه‌های تولیدی بر پایهٔ رابطهٔ ۳، محاسبه شد. صحت کلی به‌عنوان یک معیار ارزش‌گذاری دقت مدل از طریق تقسیم مجموعه پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده تمامی طبقات به مجموع پیکسل‌های مرجع می‌باشد:



شکل ۲. تصویر تونل باد مورد استفاده

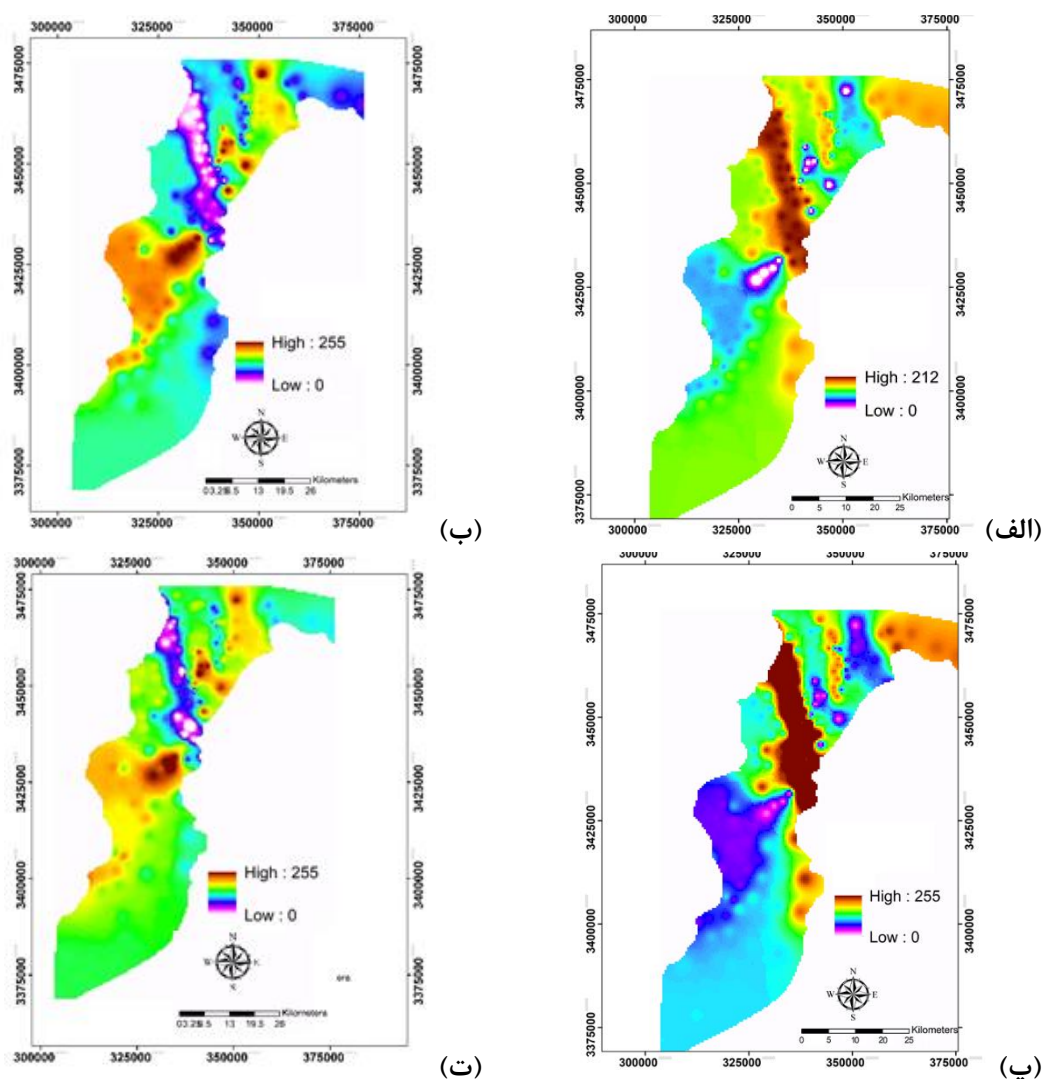
جدول ۳. حدود تعیین شده برای تعیین طبقات حساسیت فرسایش بادی بر اساس مقدار سرعت باد

ردیف	طبقات حساسیت فرسایش بادی	سرعت آستانه فرسایش بادی (متر بر ثانیه)
۱	با حساسیت فرسایش بادی خیلی کم	بیشتر از ۱۲
۲	با حساسیت فرسایش بادی کم	۱۰ تا ۱۲
۳	با حساسیت فرسایش بادی متوسط	۷ تا ۱۰
۴	با حساسیت فرسایش بادی زیاد	۵ تا ۷
۵	با حساسیت فرسایش بادی خیلی زیاد	کمتر از ۵

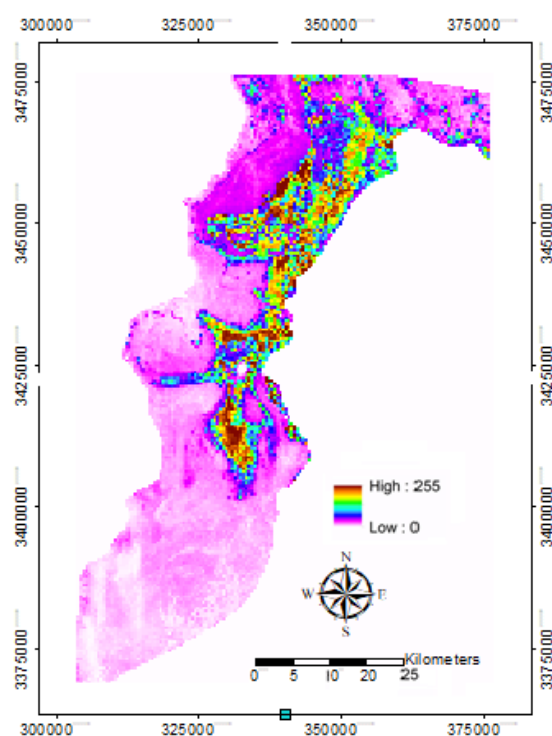
عددی پیکسل‌ها به مقادیر واقعی آنها گردید. مقادیر مربوط به هر شاخص نیز با بهره‌گیری از روش‌های استاندارد در آزمایشگاه تهیه شد. نقشه معیارهای خاک با بهره‌گیری از روش IDW درون‌یابی شدند. از مزایای این روش حفظ مقدار نمونه در محل نمونه برداری و تهیه نقشه مناسب در صورت پراکنش مناسب نقاط نمونه برداری در منطقه می‌باشد (۲۷). نقشه‌های مختلف ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به همراه شاخص گیاهی SAVI تهیه و به صورت فازی استاندارد شدند. (شکل‌های ۳ الف الی ت)، نقشه استاندارد شده تعدادی از معیارهای مربوط به خاک و شکل ۴، نقشه استاندارد شده پوشش گیاهی بر اساس شاخص SAVI که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.

همچنین امکان تلفیق این روش با روش فازی، موجب می‌شود تا از مقدار عدم قطعیت که معمولاً در داده‌های مربوط به محیط زیست و منابع طبیعی وجود دارد کاسته شود (۱۹). با توجه به پیچیدگی ویژگی‌های خاک و معیارهای مؤثر بر فرسایش بادی، ارزیابی چند معیاره حساسیت فرسایش و استفاده از روش فازی، ضمن کاهش عدم قطعیت داده‌ها، امکان استفاده از طیف مختلفی از داده‌ها را فراهم نموده است.

در این پژوهش، با انجام مرور منابع و بررسی نظر کارشناسان، تعداد ۱۵ معیار شامل ۱۴ معیار خاک و معیار درصد تاج پوشش گیاهی، مناسب شرایط منطقه و مطالعه، در نظر گرفته شد. برای تهیه شاخص SAVI تصحیح اتمسفریک بر روی تصاویر انجام شد که موجب تبدیل ارزش



شکل ۳. نقشه فازی شده هدایت الکتریکی (EC) (الف)، کاتیون سدیم (ب)، کاتیون منیزیم (پ)، کاتیون کلسیم (ت)



شکل ۴. نقشه استاندارد شده پوشش گیاهی

در پژوهش حاضر وزن معیارها به روش AHP تعیین گردید. در مجموع ۱۷ پرسشنامه توسط استادان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته‌ها و تخصص‌های مختلف (خاکشناسی، آب و حفاظت آب و خاک) تکمیل شد. ضریب ناسازگاری در ۶ پرسشنامه بیش از ۰/۱ برآورد، به مصاحبه شونده اعلام و از ایشان درخواست شد تا در قضاوت‌ها بازنگری کنند. وزن نهایی لایه‌ها به روش میانگین گیری هندسی محاسبه شد. جدول ۴، وزن معیارها را نشان می‌دهد.

همانطور که جدول ۴، نشان می‌دهد، پوشش گیاهی دارای بیشترین وزن در بین معیارهای مورد بررسی بوده که نشان دهنده تأثیر مهم پوشش گیاهی بر روی فرسایش بادی می‌باشد. بررسی میدانی و تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی نشان داد در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم بونی^۱ (چمن) یا بوته‌ای همراه بونی، وجود دارد، مقدار آستانه فرسایش بادی در حالت بیشینه خود می‌باشد. همچنین در بررسی تأثیر افزایش مقدار پوشش گیاهی بر روی کاهش شدت توفان گرد و غبار در مرکز ایران اشاره شده است (۸). در پژوهش حاضر، وزن تخصیص داده شده به معیار EC خاک دومین رتبه را به خود اختصاص داده است.

بررسی (شکل‌های ۳ الف و ب) نشان می‌دهد معیارهای هدایت الکتریکی و سدیم خاک به عنوان معیارها با اثر گذاری افزاینده بر روی فرسایش خاک در بستر هامون صابری دارای بیشترین مقادیر در سطح پناهگاه حیات وحش هامون می‌باشند. از طرف دیگر، بررسی (شکل‌های ۳ پ و ت) مربوط به مقدار کاتیون‌های کلسیم و منیزیم نشان می‌دهد در همین مناطق این کاتیون‌ها با اثر کاهنده بر روی پدیده فرسایش بادی، دارای مقادیر کمتر می‌باشند. برخلاف کاتیون سدیم که موجب از هم پاشیدگی ذرات خاک می‌شود، کاتیون‌های منیزیم و کلسیم دارای رابطه معکوس با قابلیت فرسایش پذیری خاک می‌باشند (۲۴). شکل ۴، مربوط به کمیت پوشش گیاهی در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد بیشتر نواحی تالاب هامون دارای خاک بدون پوشش می‌باشند. استقرار پوشش گیاهی، موجب تثبیت خاک و مقاومت در برابر فرسایش بادی، می‌گردد (۲۶).

تعیین وزن معیارها

جدول ۴. وزن محاسبه شده برای معیارها

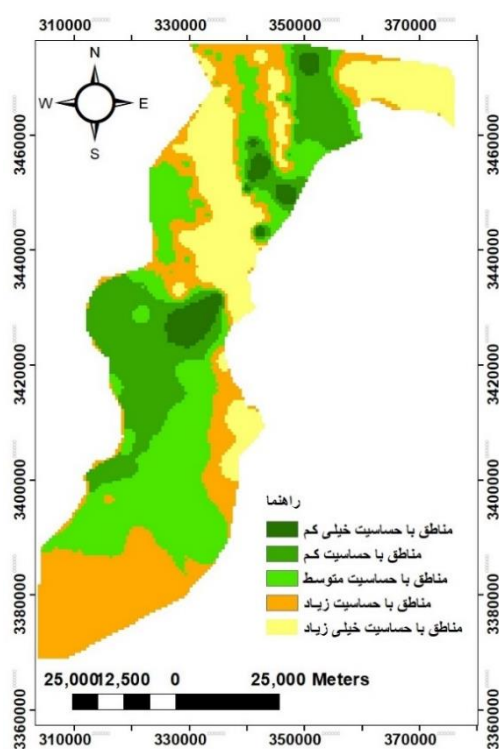
ردیف	معیار	وزن	ردیف	معیار	وزن
۱	کربنات کلسیم	۰/۰۷	۹	ماده الی	۰/۰۴
۲	کلسیم	۰/۰۳	۱۰	pH	۰/۰۶
۳	رس	۰/۰۶	۱۱	سیلت	۰/۰۸
۴	EC	۰/۱	۱۲	شن	۰/۰۳
۵	ESP	۰/۰۹	۱۳	SAR	۰/۰۸
۶	رطوبت	۰/۰۵	۱۴	وزن مخصوص	۰/۰۷
۷	منیزیم	۰/۰۲	۱۵	پوشش گیاهی	۰/۱۳
۸	سدیم	۰/۰۹			

نیز با افزایش حساسیت خاک به فرسایش بادی، دارای ارتباط مستقیم است (۲۴).

تلفیق معیارها

تمامی معیارها با بهره‌گیری از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) با یکدیگر ترکیب گردیده و مدل تهیه شده بر اساس جدول ۲، طبقه‌بندی شد. نقشه مربوط به حساسیت خاک پناهگاه حیات وحش هامون به فرسایش بادی در (شکل ۵) و مساحت هر یک از طبقات حساسیت به فرسایش بادی در (شکل ۶) نشان داده شده است.

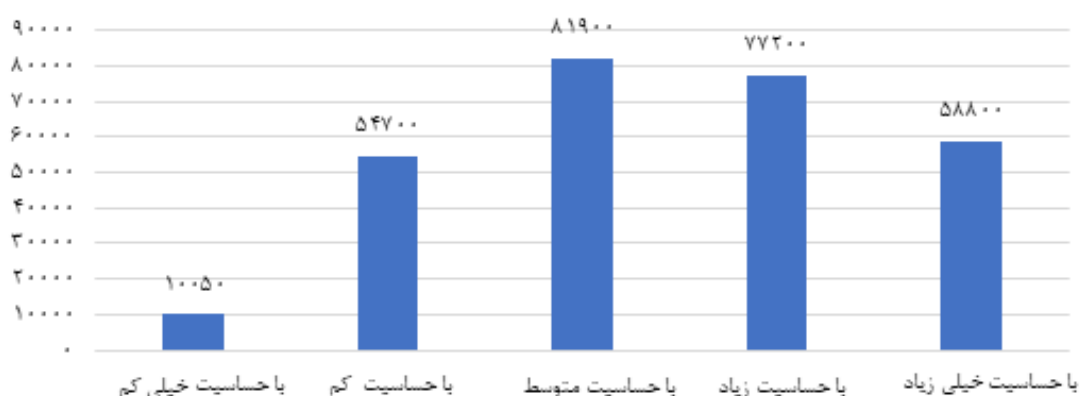
بررسی حساسیت خاک به فرسایش بادی، نشان‌دهنده است که هدایت الکتریکی به عنوان عامل مهمی در فرسایش بادی خاک است که با افزایش مقدار آن، خاک از نمک اشباع و نمک تبلور یافته به عنوان بخشی از ذرات خاک، موجب از هم پاشیدگی ذرات خاک و در نتیجه کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود که در نتیجه آن، سرعت آستانه فرسایش بادی کاهش پیدا می‌کند (۹) و ۲۰٪ از طرف دیگر، با افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک مقدار نسبت جذب سدیم افزایش پیدا می‌کند که این معیار



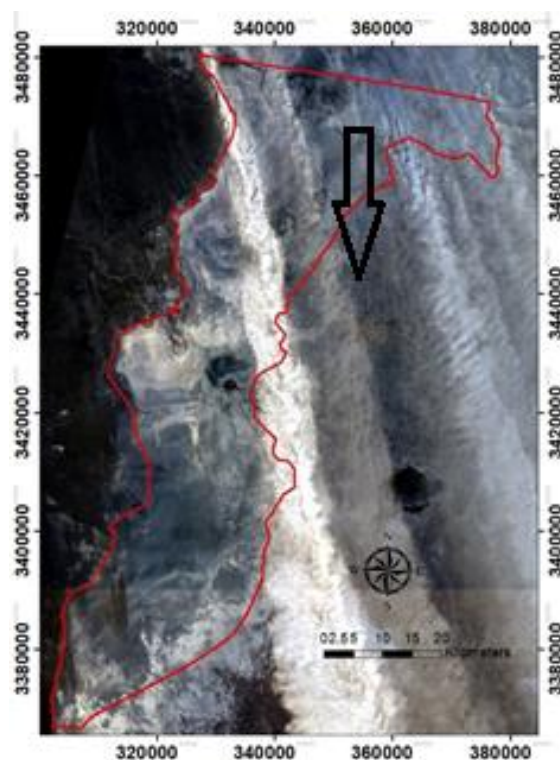
شکل ۵. نقشه حساسیت خاک به فرسایش بادی

(شکل ۷) مربوط به وقوع توفان گرد و غبار در مرداد سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد مناطق با بیشترین حساسیت به فرسایش بادی، منطبق با تونل‌های گرد و غبار در بستر هامون صابری می‌باشند که بررسی (شکل ۴) و (شکل ۷) نشان می‌دهد که شدیدترین آنها مربوط به نواحی بدون پوشش در بستر هامون صابری هستند. همچنین، قسمت جنوب شرقی منطقه در پناهگاه، دارای خاک حساس و منطبق با شدت توفان گرد و غبار در مرداد ۱۳۹۷ می‌باشد.

بررسی (شکل ۶)، مربوط به مساحت مناطق، نشان می‌دهد سطح وسیعی از منطقه در طبقه با حساسیت فرسایش متوسط تا خیلی زیاد قرار گرفته است. تصویر مربوط به وقوع توفان گرد و غبار در سطح منطقه سیستان و پناهگاه حیات وحش هامون مربوط به مرداد سال ۱۳۹۷ در (شکل ۷) نشان داده شده است. در این شکل قسمت‌های روشن مربوط به توفان گرد و غبار از جهت شمال به جنوب است که جهت وزش باد با فلش نشان داده شده است. مقایسه (شکل ۵) مربوط به حساسیت به فرسایش بادی با



شکل ۶. مساحت هر یک از طبقات حساسیت به فرسایش بادی (ha)



شکل ۷. تصویر توفان گرد و غبار در منطقه سیستان (خط قرمز، مرز پناهگاه حیات وحش هامون)

خشکی شدید و تردد زیاد دام و خودرو، توسط باد و با همراهی ذرات درشت‌تر، جابجا شده و بافت خاک به سمت سیلتی شدن پیش می‌رود (۲۶). از آنجاییکه پوشش گیاهی با دارا بودن تأثیر زیاد نقش مهمی در تثبیت خاک دارد (۸)، با ادامه خشکی بستر دریاچه و نیز روند شدید چرای دام‌های اهلی، با کاهش تراکم پوشش گیاهی، کوبیده شدن خاک توسط دام و با شورتر شدن خاک سطحی و در نتیجه از هم گسیختگی ذرات خاک، امکان تبدیل هر طبقه از حساسیت فرسایش بادی به طبقه و یا طبقات حساس‌تر وجود دارد که تهدید بزرگی برای حیات منطقه سیستم می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر به تأثیر عبور و مرور دام بر روی از بین رفتن سله‌ها و ساختمان سطح خاک و ایجاد ذرات ریزتر و در نتیجه افزایش شدید فرسایش پذیری خاک اشاره شده است (۵).

بررسی دقت مدل حساسیت فرسایش بادی

سرعت‌های محاسبه شده برای هر محل راه اندازی تونل باد با وضعیت موقعیت متناظر آن در نقشه حساسیت به فرسایش بادی مقایسه و صحت کلی نقشه برابر ۸۱٪ محاسبه شد که در حد قابل قبول در مقیاس مطالعه می‌باشد.

جدول ۵، ماتریس تهیه شده برای ارزیابی صحت نقشه مدل حساسیت فرسایش بادی را نشان می‌دهد. بررسی جدول ۵، نشان می‌دهد بیشتر خطاهای مدل مربوط به تخصیص پیکسل‌های یک طبقه فرسایش‌پذیری به پیکسل‌های در طبقات بالاتر و پایین‌تر می‌باشد. در این جدول، سطر بیانگر مجموع پیکسل‌های نمونه برداری شده بر اساس نتایج استقرار تونل باد است.

بررسی میدانی نقشه فرسایش‌پذیری و روی هم اندازی لایه پوشش گیاهی بر روی آن نشان داد، مناطق با حساسیت فرسایش‌پذیری خیلی کم، بیشتر، منطبق با نواحی با پوشش گیاهی متراکم و با تخریب کم در اثر چرای دام، می‌باشند. از طرف دیگر، بافت خاک بر روی مقدار فرسایش بادی، دارای تأثیر است (۱، ۵، ۱۳). کاهش سطح پوشش گیاهی موجب افزایش سطح تماس باد با ذرات خاک می‌گردد و در نتیجه مقدار فرسایش بادی افزایش پیدا می‌کند (۱۸). مقایسه نقشه حساسیت خاک به فرسایش و نقشه مقدار رس خاک نشان داد، منطقه‌های موجود در دو طبقه با حساسیت خیلی کم و کم، بیشتر شامل مناطق با بافت رسی سخت با رطوبت بیشتر می‌باشد. از طرف دیگر، مناطق با کمترین مقدار سرعت آستانه فرسایش بادی، اراضی با بافت لومی و شنی، با مقادیر بیشتر سدیم، رطوبت کم و SAR زیاد می‌باشد. در پژوهشی دیگر، ضمن اشاره به تأثیر بافت و رطوبت خاک بر روی فرسایش بادی و افزایش آن در مناطق با بافت لومی - شنی، به فرسایش‌پذیر بودن خاک‌های با بافت درشت و فاقد ذرات ریز چسبنده اشاره شده است (۳). در پژوهشی دلیل تأثیر رس در کاهش فرسایش‌پذیری خاک را کاهش نفوذپذیری خاک و پایداری خاک‌دانه‌ها و ایجاد چسبندگی بین ذرات خاک بیان کرده‌اند (۲۳). با این وجود، نتایج پژوهش حاضر نشان داد علی‌رغم رسی بودن خاک در برخی مناطق، فرسایش‌پذیری این نواحی بسیار زیاد می‌باشد. در پژوهشی در دشت سیستم بیان شده است، ذرات ریز رس با داشتن رطوبت موجب ایجاد چسبندگی می‌شوند، اما در شرایط خشکسالی‌های متوالی سیستم و کاهش رطوبت خاک، این ذرات به دلیل شدت یافتن وزش بادهای موسمی منطقه،

جدول ۵. نتیجه ارزیابی صحت مدل حساسیت فرسایش بادی

با حساسیت خیلی زیاد	با حساسیت زیاد	با حساسیت متوسط	با حساسیت کم	با حساسیت خیلی کم
۲۹	۱۱	۰	۱۰	۲۹۸
۳۵	۲۰	۳۴	۳۹۳	۱۷
۴۰	۷۲	۴۶۸	۳۰	۹
۸۰	۴۵۰	۳۳	۲۶	۴
۶۹۸	۴۱	۱۶	۲۱	۱۰
۹۰۳	۵۹۴	۵۵۱	۴۵۰	۳۳۸
مجموع پیکسل‌های قطر اصلی	۲۳۰۷	صحت کلی	٪۸۱	
مجموع پیکسل‌ها	۲۸۴۵			

با این وجود، در طبقات با قابلیت فرسایش زیاد و خیلی زیاد، پیکسل‌هایی مشاهده می‌شوند که نتایج استقرار دستگاه تونل باد، آنها را به طبقات با قابلیت فرسایش‌پذیری کم و حتی خیلی کم نسبت داده است. بازدیدهای میدانی نشان داد، در برخی مناطق پوسته رویی خاک سطحی با ضخامت در حدود یک تا دو میلیمتر، محکم و با آستانه منطبق با فرسایش‌پذیری کم یا حتی خیلی کم بود. بررسی وضعیت خاک لایه خاک زیرین این پوسته نشان داد که خاک، به صورت کاملاً پودری و بسیار فرسایش‌پذیر است. در این موارد علی‌رغم اینکه بر اساس معیارهای ارزیابی و نتایج آزمایشگاهی، منطقه دارای حساسیت فرسایش‌پذیری بسیار زیاد تعیین شده بود، اما سرعت آستانه محاسبه شده، تأییدکننده نقشه تهیه شده نبود. بررسی نمونه‌های برداشت شده، سدیمی بودن شدید خاک این نواحی را نشان داد. در مطالعه‌ای بیان شده است در خاک‌های غنی از نمک‌ها، نمک در سطح خاک تلغیظ شده و پوسته نازک نمکی را ایجاد می‌کند که مانع بادرزدگی ذرات خاک می‌گردد. همچنین، وجود کربنات کلسیم بخصوص در خاک‌های رسی، موجب ایجاد سطح سخت و صیقلی بیان شده است (۹). بررسی جدول ۵، نشان می‌دهد، در برخی از نواحی، استقرار دستگاه تونل باد، یک منطقه با حساسیت زیاد به فرسایش بادی را نشان می‌داد در حالی که نتایج مدل‌سازی بر اساس ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی، نشان‌دهنده یک ناحیه با فرسایش کم و حتی خیلی کم بود. بررسی میدانی منطقه نشان دهنده چرای شدید و تخریب پوشش گیاهی در زمان نمونه برداری بود که موجب ایجاد اختلاف در مدل تهیه شده و واقعیت میدانی شده بود. بررسی‌های میدانی و مصاحبه با افراد محلی نشان داد در صورت شکستن لایه نازک سطحی خاک به وسیله دام‌های منطقه، این نواحی از مهمترین کانون‌های گردوغبار منطقه می‌باشند (۵).

■ نتیجه‌گیری

تالاب هامون قبل از شروع خشکسالی در سال ۱۳۷۸، به عنوان یکی از مهمترین زیستگاه‌های شرق ایران، منبع اقتصادی ساکنین منطقه سیستان و متعادل‌کننده وضعیت اقلیمی منطقه بوده است (۱۶، ۱۷، ۲۲). با تداوم

خشکسالی‌ها به دلیل قطع رودخانه‌های تامین‌کننده آب آن، در طی سه دهه اخیر بسیاری از کارکردهای خود را از دست داده است و هم‌اکنون بستر آن به یکی از مهمترین کانون‌های گرد و غبار در جنوب شرق ایران و کشورهای همسایه با اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تبدیل شده است (۱۶، ۲۲). این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک پناهگاه حیات وحش هامون بر قابلیت فرسایش‌پذیری نواحی مختلف آن انجام شد. آگیری برخی از قسمت‌های تالاب در زمان بررسی، یکی از محدودیت‌های این بررسی بود. بررسی تصاویر ماهواره‌ای مربوط به وقوع توفان‌های گرد و غبار، بررسی نظر کارشناسان و بازدیدهای میدانی، نواحی مختلف این تالاب دارای حساسیتهای متفاوت به پدیده فرسایش بادی هستند (۱۶). یکی از مهمترین یافته‌های پژوهش حاضر، پهنه بندی حساسیت فرسایش بادی خاک بر اساس معیارهای فازی شده مؤثر در مقدار فرسایش بادی منطقه، در سطح تالاب هامون بود. بررسی نمونه‌های خاک برداشت شده از سطح تالاب هامون نشان داد، هر چند مقدار رس در بیشتر نواحی تالاب غالب می‌باشد، اما با تداوم خشکسالی و از دست دادن رطوبت خاک، چسبندگی ذرات خاک کاهش یافته و ذرات ریز رس، با وزش باد از سطح خاک کنده می‌شوند (۲۰). یکی از تفاوت‌های مهم در خاک این تالاب، تفاوت در مقدار هدایت الکتریکی و مقدار کاتیون سدیم خاک در برخی مناطق بود که موجب از هم پاشیدگی ذرات خاک در این نواحی شده بود (۹). از طرف دیگر، در برخی مناطق، به‌ویژه در هامون صابری، حتی علی‌رغم وجود پوشش گیاهی، به دلیل چرای شدید دام، پیوستگی بین ذرات سبک خاک از بین رفته بود که استقرار تونل باد در این نواحی نشان داد، این مناطق به یکی از مهمترین کانون‌های گرد و غبار در سطح تالاب تبدیل شده‌اند که منطبق با نتایج مدل تهیه شده نبود. با توجه به تداوم خشکسالی در منطقه سیستان و وزش بادهای شدید موسمی، این امکان وجود دارد تا برخی از طبقات حساسیت فرسایش بادی این منطقه به طبقات با حساسیت بیشتر تبدیل شوند که موجب تشدید پدیده گرد و غبار در منطقه سیستان، کشورهای افغانستان، پاکستان و ایران خواهد

بر روی افزایش فرسایش‌پذیری خاک مورد بررسی بیشتری قرار گیرد.

■ سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تأمین‌کننده مالی این پژوهش، دانشگاه زابل با شماره پژوهانه IR-UOZ-GR-4211 تقدیر و تشکر نمایند.

شد. با توجه به تأثیرهای وسیع پدیده گرد و غبار در زندگی جوامع منطقه سیستان، نتایج این بررسی در انجام اقدامات مدیریتی با بیشترین تأثیر در کاهش پدیده گرد و غبار در مناطق با بیشترین قابلیت فرسایش‌پذیری بادی و نیز کنترل طبقات با قابلیت کمتر اما مستعد افزایش مقدار فرسایش‌پذیری، دارای کاربرد خواهد بود. همچنین، پیشنهاد می‌شود در بررسی دیگر مناطق، تأثیر چرای دام

■ References

1. Amin, P and Taghizadeh, R. (2016). Investigating the potential of soil wind erodibility in arid and hyper arid lands in central Iran (Case Study: Yazd-Ardakan plain). *Quantitative Geomorphological Research*, 5(2), 20-35. (in Farsi)
2. Arbab, M., Pahlavanravi, A., Piri, S. H & Amiri, M. (2018). Accuracy assessment of geo-statistics and artificial neural networks methods to estimate threshold wind velocity: A Case of Jazinak Region, Sistan Plain. *Environmental Erosion Research Journal*, 8(31), 87-105. (in Farsi)
3. Ayazi, Z., Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H and Mashhadi, N. 2017. Investigation potential sedimentation geomorphology facies with usage wind erosion meter and IRIFR. E. A model (case study, Kashan- Aran). *Desert Management*, 4(8), 70-83. (in Farsi)
4. Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L & Panagos, P. (2016). A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modeling approach. *Land Degradation and Development*, 28, 335-344.
5. Chakherlou, S., Jafarzadeh, A.A., Ahmadi, A., Feizizadeh, B and Shahbazi, F. 2021. Soil Wind Erodibility Zonation of the Urmia Lake Eastern shores. *Water and Soil Science*, 31(3), 1-14.
6. Chatrenour, M., Landi, A., Noroozi, A.A & Bahrami, H.A. (2021). Estimation of Wind Erosion Threshold Friction Velocity in Areas Prone to Dust Production by Spectroscopy in Khuzestan. *Soil Research*, 34(4), 465-483. (in Farsi)
7. Cornelis, W.M., Gabriels, D., and Hartmann, R. (2004). A parameterization for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment. *Geomorphology*. 59, 43-51.
8. Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M and Naghavi, S. (2019). Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management*, 34(3), 239-263.
9. Ekhtesasi, M.R. Akhavan, M., Azimzadeh, H.R and Emtehani, M.H. (2003). Effect of salt on erodibility of soil by wind. *Natural Resource*, 56(1), 17-28. (in Farsi)
10. Hagen, L. J., Van, S.V & Sharratt, B. (2010). Estimating the saltation and suspension components from field wind erosion. *Aeolian Research*, 1, 147-153.

11. Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 25, 295-309.
12. Jahantigh, M. (2015). Study of back and forth role in wind erosion of dry land region, case study: dry bed of Hamoon lake in Sistan area. *Watershed Engineering and Management*, 7(3), 297-305. (in Farsi)
13. Ji, J, H., Qiang, C & Wen, C. (2013). Tunnel study of multiple factors affecting wind erosion from cropland in agro-pastoral area of Inner Mongolia, China. *Mountain Science*, 10, 68-74.
14. Mahmoudabadi, M & Zamani, S. (2013). Effect of wind speed and soil particle size distribution on sediment transport mechanisms due to wind erosion. *Watershed Engineering and Management*, 4(3), 1-16. (in Farsi)
15. Malcezewski, J. (2006). GIS-based multi criteria decision analysis: a survey of the literature. *Geographical Information Science*, 20(7), 703-726
16. Maleki, S., Miri, A., Rahdari, V and Dragovich, D. (2021). A method to select sites for sand and dust storm source mitigation: case study in the Sistan region of southeast Iran, *Environmental Planning and Management*, 64(12), 2192-2213
17. Maleki, S & Rahdari, V. (2022). Investigation of L band PALSAR synthetic aperture radar (SAR) data in land cover mapping. *Desert Management*, 9(4), 23-38. (in Farsi)
18. Middleton, N. (2018). Rangeland management and climate hazards in drylands: Dust storms, desertification and the overgrazing debate. *Natural Hazards*, 92 (S1), 57-70.
19. Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R & Mirfenderesk, H. (2015). Comparison of and AHP in spatial multi criteria decision making model for urban land-use planning. *Computer, Environment and Urban Systems*, 49, 54-65.
20. Panayiotopoulos, K. P., N. Barbayiannis and K. Papatolios. (2004). Influence of electrolyte concentration, sodium adsorption ratio, and mechanical disturbance on dispersed clay particle size and critical flocculation concentration in Alfisols. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35, 1415-1434.
21. Rahdari, V. (2020). Black bear habitat suitability modeling in a part of Sistan and Balouchestan province using multi-criteria evaluation method. *Natural Environment*, 73(3), 485-499. (in Farsi)
22. Rahdari, V & Maleki, S. (2019). *Assessing the economic damage of drought and dust storm in the last two decades in Sistan region*. International Conference of Dust storm in Southwest Asia, University of Zabol. (in Farsi)
23. Sadatinejad, S, J., Yazdani, Y, Khazayi, M and Vali, A. 2015. Study of soil erodibility using geostatistics way (Case Study: Province of Kohgiluyeh Boyer Ahmad). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(6), 2015. 43-54. (in Farsi)
24. Shahabinejad, N., Mahmoodabadi, M., Jalalian, A and Chavoshi, E. (2020) . The Influence of Soil Properties on the Wind Erosion Rate at Different Regions of Kerman Province. *Water and Soil Science*, 24(3), 209-222. (in Farsi)

25. Sirjani, E., A. Sameni, A. A. Moosavi, M. Mahmoodabadi and B. Laurent. (2019). Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma*, 333, 69-80.
26. Soloki, H., Khamsehchian, M., Hafezi.M, N & Alavi.P, S.K. (2009). Study of wind erosion in Sistan plain and its effects on engineering properties of soils. *Engineering Geology*, 2(3), 13-26.
27. Zhengquan, L., Kuo, W., Hao, M and And Yaoxiang, W. 2018. Adjusted inverse distance weighted spatial interpolation method. *Advances in Computer Science Research*, 65, 128-132.
28. Yan, N., P. Marschner, W. Cao, C. Zuo and W. Qin. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3,316-323.

Numerical Simulation of Kermanshah Severe Dust Storm (Case Study: Dust Storm on November 26 - 28, 2018)

T. Alizadeh^{1*}, A.H. Nikfal², M. Rezaei Banafsheh³, R. Sharifi⁴

1. PhD Student in Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. PhD student in meteorology, Atmospheric Science and Meteorology Research Center, Tehran, Iran.
3. Professor of Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4. Master of Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

* Corresponding Author: mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir

Received date: 22/09/2021

Accepted date: 26/11/2021

 [10.22034/JDMAL.2021.539412.1353](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.539412.1353)

Abstract

Iran's location in the drylands belt has increased the frequency of dust storms in western parts of Iran, particularly the city of Kermanshah and negative environmental impacts. Arid lands, as one of the main sources of suspended dust in the atmosphere, face problems such as sandstorms, high levels of dust particles and reduced visibility, which are major climate problems in the country, especially in the border provinces. The purpose of the present study is to investigate the performance of a numerical model between the meteorological-chemical atmosphere scale called WRF-Chem model in the simulation of the concentration of suspended particles in Kermanshah region. By comparing the spatial distribution and concentration of suspended particles, meteorological parameters simulated by the model, and the available observational values for PM₁₀ particles in Kermanshah, the efficiency of the WRF-Chem model was evaluated. The results of the simulation of PM₁₀ particles for the studied days showed that the central and western deserts of Iraq, Syrian desert, Kuwait and northern Saudi Arabia are the main source of dust storm. Due to the logical correlation between dust particle emissions and temperature and relative humidity parameters, accurate estimation of these parameters is very effective in PM₁₀ particle simulation accuracy. Based on the analysis of the PM₁₀ variables, temperature and relative humidity and the plotted graphs and their comparisons, a favorable agreement was achieved between the simulated and measured values for PM₁₀, temperature and relative humidity.

Keywords: Dust particles; Schema; Temperature; relative humidity; Particle concentration





شبیه‌سازی عددی توفان گردوغبار شدید کرمانشاه (مطالعه موردی: رخداد ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷)

طوبی علیزاده^{۱*}، امیرحسین نیکفال^۲، مجید رضایی بنفشه^۳، رحمن شریفی^۴

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲. دانش آموخته دکتری هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.

۳. استاد آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۴. کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول: mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۵

doi: [10.22034/JDMAL.2021.539412.1353](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.539412.1353)

چکیده

قرار گرفتن ایران در نواحی بیابانی موجب افزایش رخداد توفان‌های گردوغبار در نواحی غربی ایران به‌ویژه شهر کرمانشاه و تأثیر نامطلوب محیط‌زیستی شده‌است. از آن جایی که یکی از چشمه‌های اصلی در گسیل ذرات معلق به جو، سطوح بیابانی است، مسائلی از قبیل توفان ماسه، غلظت زیاد ذرات گردوغبار و کاهش دید از مشکلات عمده اقلیمی در کشور است. هدف این پژوهش، بررسی عملکرد مدل عددی میان مقیاس هواشناسی- شیمی جو به نام مدل WRF-Chem در شبیه‌سازی غلظت گردوغبار شهر کرمانشاه است. با مقایسه غلظت گردوغبار و توزیع مکانی متغیرهای هواشناسی شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقدارهای مشاهداتی ذرات PM₁₀ در کرمانشاه، کارایی مدل WRF-chem ارزیابی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ذرات PM₁₀ برای روزهای مورد بررسی، بیابان‌های مرکزی و غربی عراق، بیابان‌های سوریه، کویت و شمال عربستان را به عنوان منبع اصلی برداشت ذرات گردوغبار نمایش داد. به دلیل همبستگی منطقی گسیل ذرات گردوغبار با متغیرهای دما و رطوبت نسبی، برآورد مناسب آنها، در میزان دقت شبیه‌سازی ذرات PM₁₀ بسیار مؤثر است. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته برای متغیرهای PM₁₀، دما و رطوبت نسبی و نمودارهای ترسیم شده و مقایسه‌های انجام شده، توافقی مطلوب بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده PM₁₀، دما و رطوبت نسبی را نشان داد.

واژگان کلیدی: گردوغبار؛ طرحواره؛ دما؛ رطوبت نسبی، ذرات معلق

■ مقدمه

ذرات معلق موجود در جو که دارای منشأ طبیعی و انسانی می‌باشند، اثرات زیادی بر آب و هوا، تابش حرارتی خورشید، محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها می‌گذارند (۱۴). سرچشمه طبیعی گردوغبارها، ذرات نمک برخاسته از اقیانوس‌ها و ذرات بسیار ریز حمل شده توسط باد از نواحی بیابانی و ذرات جامد ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی است (۲۷). یکی از دلایل اصلی انتشار ذرات گردوغبار با قطر آئرودینامیک کم‌تر از $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) در جو نواحی بیابانی جهان (از جمله ایران)، وقوع توفان‌های گردوغبار است که نسبت به گذشته شدت آن افزایش یافته و بازتاب‌های محیط‌زیستی نامطلوبی به همراه داشته است (۲۲). مهم‌ترین رخداد منفی برآمده از افزایش تراکم ذرات گردوغبار، به خطر افتادن سلامت انسان‌ها در این نواحی است که در مطالعات مختلف به تأیید رسیده است (۱۳)، میزان غلظت ذرات معلق در جو نواحی مختلف جغرافیایی و از جمله در هوای نواحی شهری به علل مختلف آب و هوایی، محیطی و زمینی وابسته است که از بین این عوامل، عامل آب و هوایی نقش تأثیرگذارتری بر تغییر تراکم ریزگردها دارند (۳۶). از این رو، شناسایی عوامل آب و هوایی تأثیرگذار بر تغییر تراکم گردوغبارها گامی مؤثر برای کاهش پیامدهای نامطلوب برآمده از آن‌ها به شمار می‌رود (۷).

به‌دلیل ویژگی‌های خاص آب و هوایی و زمین‌شناسی، کشور ایران زیر تأثیر مشکلاتی از قبیل توفان گردوغبار و تراکم بالای گردوغبار قرار دارد. نواحی خاورمیانه، شمال آفریقا و آسیای میانه به دلیل وجود بیابان‌های بزرگی مانند بیابان‌های شبه‌جزیره عربستان، نواحی بین رودخانه دجله و فرات، مناطق خشک مرکزی ایران و منطقه سیستان و بلوچستان و بیابان قره قوم در ترکمنستان، پتانسیل زیادی برای فرایند فرسایش بادی و وقوع توفان‌های گردوغبار دارد (۳۴). پدیده توفان‌های گردوغبار در سال‌های اخیر با تشدید بیابان‌زایی در کشورهای عراق و عربستان و سوریه جنبه‌های مختلفی از زندگی مردم کرمانشاه که در همسایگی کانون‌های گردوغباری هستند را متأثر ساخته است با توجه به اهمیت آثار منفی توفان‌های گردوغبار و

همچنین روند افزایشی آنها بررسی، تشخیص و تحلیل زمانی و مکانی ویژگی‌های این ریزگردها به منظور مدیریت این بحران و جلوگیری از اثرات زیان‌آور این ریزگردها بسیار مهم می‌باشد (۱۹). با توجه به پیامدهای زیاد این پدیده، طی دهه‌های اخیر مطالعه این پدیده از جنبه‌های مختلف آماری (۲۳، ۳)، همدیدی (۲۶، ۴۰، ۴)، شبیه‌سازی (۳۴، ۲۹، ۱۷، ۳۰) در مناطق مختلف کشور مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. برای نمونه در پژوهشی به پایش زمانی و مکانی پدیده گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران، با تأکید بر منطقه جازموریان پرداخته شد. که چند نقطه در جنوب شرق ایران به عنوان مرکز ایجاد ریزگردها؛ شامل: زابل، نواحی در پاکستان نزدیک ایران، سواحل مکران و منطقه جازموریان شناسایی شد (۶). در مطالعه‌ای دیگر به ردیابی و شبیه‌سازی عددی توفان گردوغبار در شهر کرمانشاه پرداختند. نتایج بررسی نقشه‌های ردیابی HYSPLIT نشان داد که بیابان‌های مرکزی و غربی عراق و صحرای سوریه، کانون‌های اصلی گردوغبار برای منطقه مورد مطالعه هستند (۲). در مقاله‌ای به بررسی تشکیل و انتشار توفان گردوغبار با استفاده از نرم افزار HYSPLIT و تصاویر ماهواره‌ای مودیس در شهر اهواز پرداختند، نتایج تحقیق نشان داد که جریان‌ات باد شمال با جهت شمال غرب-غرب و جنوب غرب سبب جابجایی حجم انبوه گردوغبار از بیابان‌های کویت، عراق، سوریه و عربستان به سمت جنوب غرب ایران و شهر اهواز شده است (۲۰).

توفان‌های گردوغبار بزرگ ایران اغلب دارای ابعاد منطقه‌ای هستند. به همین دلیل برای بررسی این رخدادهای لازم است از ابزارها و روش‌هایی که توانایی مطالعه بعدهای مختلف این رخداد را در ابعاد منطقه‌ای دارند به کار گرفته شود. امروزه شبیه‌سازی عددی نسبت به رویدادهای گردوغبار به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین ابزارهای افزایش آگاه‌شناخته می‌شود و در بسیاری از پژوهشگاه‌ها و ارگان‌های اجرایی مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته و می‌توان برای پیش‌بینی زمان، شدت و در مقیاس‌های متفاوت رخدادهای گردوغبار مورد استفاده قرار گیرد. چرخه گردوغبار شامل ۳ بخش، انتشار گردوغبار، انتقال گردوغبار و فرونشست گردوغبار است که می‌توان آن را از

طریق مدل‌های مختلف شبیه‌سازی نمود (۳۸). از آنجا که توفان گردوغبار، پدیده‌های جوی هستند، می‌توانند با بهره‌گیری از الگوهای مختلف جوی در ابعاد جهانی، منطقه‌ای و محلی شبیه‌سازی و پیش‌بینی شوند (۳۷). در میان مدل‌ها و روش‌های شبیه‌سازی گردوغبار، مدل WRF می‌باشد. مدل تحقیقاتی و پیش‌بینی وضع هوا WRF سامانه عددی شبیه‌سازی جوی است. مدل WRF^۱ علاوه بر توسعه نسل قبلی مدل‌های میان‌مقیاس^۲ پیش‌بینی وضع هوا و سیستم‌های گوارد داده‌ها، عامل پیشرفت و افزایش کارایی در سامانه‌های پیش‌بینی میان‌مقیاس و همچنین درک چگونگی عملکرد این مدل‌ها می‌باشد. وجود تعداد قابل توجه از زیر برنامه‌ها در WRF، بستر مناسبی برای پژوهش‌ها و شبیه‌سازی‌های جوی و اقیانوسی توسط این مدل ایجاد کرده است. استفاده از این مدل، بخش وسیعی از پژوهش‌های علمی از شبیه‌سازی حالات ایده‌آل تا پیش‌بینی‌های کاربردی را در برمی‌گیرد. فواصل بین نقاط شبکه در مدل WRF قابلیت تغییر از یک تا چند ده کیلومتر دارد (۱۵). تا این اواخر روندهای شیمیایی در الگوهای مدل‌سازی کیفیت هوا از نمونه‌های هواشناسی به‌صورت مستقل به‌کار می‌رفت. در مدل WRF-Chem^۳، انتقالات ذرات شیمیایی گردوغبار به شکل بر خط^۴ ارزیابی می‌شود. از فرایندهای شیمیایی مورد استفاده در مدل WRF (WRFV3)، ۳۹ مورد از ترکیبات شیمیایی به طور کامل مناسب پیش‌بینی و ارزیابی می‌باشند. یکی از ماژول‌های مرتبط به شیمی جو که در این تحقیق به کار گرفته شد بر پایه الگوی پویای گردوغبارها برای اروپا MADE^۵ است (۱)، که این مدل نیز توسط تغییرات و پیشرفت الگوی منطقه‌ای (۸) برنامه ریزی شده است. ذرات معلق آلی ثانویه SOA^۶ به وسیله مدلی به نام SORGAM^۷ وارد طرح MADE شده است. طرحواره پیشرفته MADE-SORGAM به‌عنوان طرحواره گسیل گردوغبار جوی استفاده می‌شود. درباره هر موضوع و در پژوهش‌های مختلف وجود پیشینه‌ای از مطلب و اطلاع از تحلیل‌های

صورت گرفته می‌تواند تا حد زیادی به توسعه مطالعه و دست‌یابی به نتایج جدید کمک کند. در ادامه تعدادی از منابع داخلی و خارجی در مورد موضوع پژوهش، مورد ارزیابی قرار گرفت. در پژوهشی به شبیه‌سازی عددی توفان گردوغبار شرق ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل WRF-chem از لحاظ بعد زمانی، تا حدی ارزیابی درست از گردوغبار در منطقه مورد مطالعه به دست می‌دهد. همچنین اجرای مدل با قدرت تفکیک ۱۰ و ۳۰ Km بیانگر این واقعیت است که شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار نواحی سیستان به شدت از ویژگی‌های جغرافیایی محلی، به‌ویژه توپوگرافی متأثر است (۲۰). بررسی قابلیت‌های مدل عددی WRF-Chem در برآورد غلظت گردوغبار نشان داد که خروجی مدل WRF-Chem می‌تواند غلظت PM₁₀ و باد سطحی روز ۱۲ خرداد ۱۳۹۳ را نشان دهد. در ساعت ۱۲ توده کوچکی در شمال‌غربی استان تهران مشاهده شده که به تدریج با گذشت زمان، مقدار غلظت ذرات افزایش یافته و وزش بادهای غربی و شمال غربی سبب ورود گردوخاک به داخل شهر تهران شده تا جایی که در ساعت ۱۵ کلانشهر تهران را با غلظتی زیاد در بر گرفت. نکته قابل توجه این بود که اگر چه مدل غلظت زیادی را در مناطق غرب کشور نشان داد، که منشأ آن نواحی شرقی و شمال‌شرقی کشور عراق بوده، چشمه گسیل توفان گردوخاک شهر تهران را کاملاً داخلی و مستقل از آن به‌دست آورده است (۲۹). در مقاله‌ای دیگر، توفان گردوغبار در چین با استفاده از مدل شبیه‌سازی عددی WRF-Chem مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت، از مقایسه خروجی مدل WRF Chem با تصاویر سنجنده MODIS به این نتیجه رسیدند که قسمت عمده تولید گردوغبار در چین به دلیل بادهای شدید سطحی در بیابان گبی است و کم‌ترین مقدار گردوغبار مربوط به بیابان تکه‌لکه مکان است (۹). در مقاله‌ای به مدل‌سازی توزیع سه بعدی آئروسول‌های^۸ گردوغبار در حوضه تاریم^۹ در شمال‌غرب چین پرداخته شد. به این نتیجه دست یافتند که توزیع سه

6 Secondary Organic Aerosols

7 Secondary Organic Aerosol Model

8 Aerosols

9 Tarim

1 Weather Research & Forecasting

2 Mesoscale

3 WRF-Chemical

4 Online

5 Modal Aerosol Dynamics Model for Europe

شبیه‌سازی غلظت PM_{10} در شهر کرمانشاه است. به عبارت دیگر، با مقایسه توزیع مکانی و تراکم گردوغبار و متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقدارهای مشاهداتی در دسترس برای ذرات معلق PM_{10} و متغیرهای هواشناسی در منطقه کرمانشاه، کارایی مدل WRF-Chem مورد بررسی قرار گرفت.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

شهر کرمانشاه در غرب ایران به دلیل مجاورت به نواحی خشک کشورهای همسایه در معرض توفان‌های گردوغباری بسیاری است. با توجه به مسیر حرکت سامانه‌ها و شیوه قرارگیری کم‌فشارها در روزهای مختلف ایام سال، مهمترین مبدأ گردوغباری وارد به این شهر، بیابان‌های مرکزی و غربی عراق، صحرای سوریه، کویت، و بیابان نفود در عربستان است. از نظر موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در بین $25^{\circ} 46'$ تا $47^{\circ} 4'$ طول شرقی و $45^{\circ} 33'$ تا $44^{\circ} 33'$ عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. شهرستان کرمانشاه مساحتی بالغ بر 24640 km^2 و ایستگاه آن 1420 m از سطح دریا ارتفاع دارد. دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک با جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای است. میانگین بارندگی و دمای سالیانه آن به ترتیب $400-500 \text{ mm}$ و 16°C است. سمت وزش بادهای غالب در این شهر در طول سال غربی بوده، که همراه با نوسان‌های در جهت شمال‌غرب و جنوب غربی است (شکل ۱).

روش پژوهش

در پژوهش حاضر به بررسی عملکرد مدل عددی میان‌مقیاس هواشناسی- شیمی جو به نام مدل WRF-Chem در شبیه‌سازی غلظت ذرات PM_{10} در شهر کرمانشاه پرداخته شد. از آنجایی که شبیه‌سازی غلظت ذرات گردوغبار، بخشی از فرایند پیچیده سنجش کیفی وضعیت هوا است که در برگیرنده متغیرهای هواشناسی مانند

بعدی آئروسول‌های گردوغبار در لایه مرزی فوقانی در ارتفاع ۵-۳ km با همگرایی جریان‌های نزدیک سطح بر روی حوضه تاریم به دلیل وجود فلات‌ها و کوه‌های اطراف حوضه تاریم با ایجاد لایه گردوغبار شناور بر روی این حوضه، بیشتر از لایه‌های دیگر است (۲۴). در تحقیقی به شبیه‌سازی فعل و انفعالات شیمی آئروسول‌های هوا با مدل MOSAIC^۱ و پیش‌بینی ذرات گردوغبار با مدل WRF-Chem به وسیله سیستم درون‌یابی آماری Gridpoint و همچنین اندازه‌گیری نوری آئروسول AOD^۲، گردوغبار در منطقه کاشی^۳، نزدیک صحرای تکل‌مکان^۴، شمال‌غربی چین پرداختند. بهترین نتیجه کلی از جذب چندگانه غلظت ذرات سطحی و AOD بدست آمد. جذب به طور قابل توجه بخش‌های شیمیایی آئروسول را تغییر نمی‌دهد. بعد از شبیه‌سازی DA^5 ، نیروی تابشی آئروسول در منطقه کاشی $10/4 \text{ w/m}^2$ در بالای جو بوده، که 55% بیشتر از ارزش نیروی تابشی قبل از شبیه‌سازی با DA بوده است (۱۰). گسیل ذرات گردوغبار از سطح زمین در ارتباط مستقیم با طبقه‌بندی جنس خاک، مقدار فرسایش‌پذیری، پوشش گیاهی و شرایط هواشناسی و زمین‌شناسی، به ویژه باد و رطوبت خاک است. ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه شبیه‌سازی به ویژه پارامتر فرسایش‌پذیری، توسط مدل WRF-Chem طی فرایند پیش‌پردازش آماده شده و در فرایند شبیه‌سازی غلظت هواویزهای سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابلیت سامانه جفت شده WRF-Chem در مدل‌سازی کیفیت هوا به صورت برخط با فرایندهای هواشناسی، به ویژه در شبیه‌سازی گردوغبار شایان توجه است. از آنجایی که گسیل ذرات گردوغبار به جو در مقایسه با مقدار گسیل آلاینده‌های گازی انسان‌زاد که مستقل از شرایط هواشناسی است، کاملاً در ارتباط مستقیم با پارامترهای هواشناسی و زمین‌شناسی است، قابلیت شبیه‌سازی برخط فرایندهای هواشناسی و کیفیت هوا از امتیازات مدل عددی جفت شده WRF-Chem است (۲۹). هدف از پژوهش حاضر، بررسی عملکرد مدل عددی میان‌مقیاس هواشناسی- شیمی جو مدل WRF-Chem در

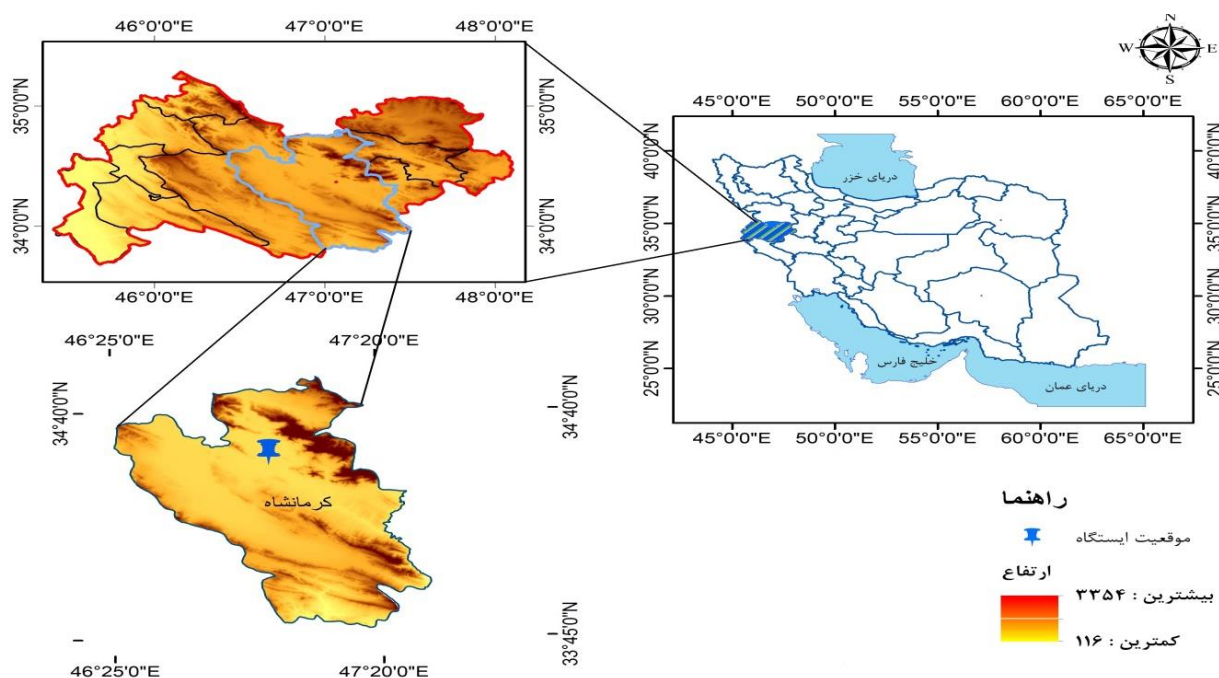
4 Taklimakan

5 Data assimilation

1 Model for Simulating Aerosol Interactions and Chemistry

2 Aerosol Optical Depth

3 Kashi



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه در استان

فرایندهای فیزیکی شامل فرایندهای مربوط به لایه مرزی سیاره‌ای، همرفت، میکروفیزیک ابر، تابش و برهم‌کنش‌های سطح و جو پارامترسازی می‌شوند. بخش فیزیک مدل به واسطه فصل مشترک فیزیکی با هسته دینامیکی در ارتباط است. بخش شیمی جو نیز در این مدل به فرایندهای شیمیایی مربوط به گازهای جوی و ذرات هواویز موجود در جو اختصاص دارد (۳۹).

مدل WRF-Chem حاصل کارگروهی مجموعه‌ای از معتبرترین مراکز پژوهشی علوم جو شامل NCAR^۳، NOAA، GFS، NCEP، FSL، AFWA، FAA و ECMWF است (۱۸). این مدل برای بررسی کیفیت هوا در مقیاس منطقه‌ای و همچنین تجزیه و تحلیل فعل و انفعالات بین ابر و ترکیبات شیمیایی جو است. این مدل توسط دو مرکز NOAA/ESRL و DOC/PNLL در ایالات متحده طراحی و توسعه یافته است.

در مدل WRF-CHEM، مدل‌های هواویز متعددی برای پارامترسازی گونه‌های مختلف هواویز و گازهای آلاینده جو وجود دارد که در جدول ۱ به چند طرحواره اشاره می‌شود.

تشکیل ابر، بارندگی و فرایندهای شیمیایی مانند گسیل ذرات هواویز به جو، نشست ذرات، انتقال ذرات می‌باشد، بنابراین از مدلی توانمند استفاده شد که در تحلیل این گونه شبیه‌سازی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از مدل WRF-Chem به عنوان قسمتی از مدل WRF است که کاربرد اصلی آن در بررسی شیمی جو متأثر از ساختارهای طبیعی، فعالیت‌های انسانی، آلاینده‌ها و گردوغبار در اندازه‌های متفاوت، روش انتشار و نهشت آنها می‌توان بکار برد. ساختار نرم‌افزاری مدل WRF شامل هسته‌های پویا، بخش فیزیکی، بخش شیمی و برنامه‌هایی به منظور تعیین مقادیر مرزی در شبیه‌سازی‌ها و گوارد داده‌ها است. در حال حاضر دو هسته پویای متفاوت که عبارتند از هسته تحقیقاتی پیشرفته ARW^۱ (باعنوان هسته پویای مختصات جرمی اولبری) و هسته پویای مدل میان‌مقیاس غیر هیدرواستاتیک NMM^۲ در مدل WRF وجود دارد. هسته ARW توسط سازمان NCAR و هسته NMM توسط سازمان NCEP تهیه شده است (۳۹). علاوه بر هسته پویای فرایندهای فیزیکی و شیمی فاز گازی و ذرات هواویز نیز به طور جداگانه در دو ماژول فیزیک و شیمی در مدل WRF در نظر گرفته می‌شوند. در بخش فیزیک مدل، کلیه

^۳ <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>

^۱ Advanced Research WRF

^۲ Nonhydrostatic Mesoscale Model

$$M_k = \int_{-\infty}^{\infty} d_p^k n(\ln d_p) d(\ln d_p) \quad (۳)$$

با جایگذاری k در رابطه بالا به شاخص‌های مختلفی می‌توان دست یافت. M_0 تعداد کل ذرات جامد معلق در حجم واحد از هوا را نشان می‌دهد. M_2 سطح کل ذرات معلق در حجم واحد هوا را نشان می‌دهد. و در پایان M_3 بیانگر حجم کل ذرات ریزگرد معلق در حجم واحد از هوا است (۱۹).

حوزه شبیه‌سازی، شبکه‌ای از نقاط به تعداد ۱۴۶×۱۷۱ گره با تفکیک مکانی ۱۰ Km شامل بخش‌هایی از خاورمیانه می‌باشد که تقریباً کل مساحت ایران را پوشش داد، به صورتی که منطقه غربی ایران و شهر کرمانشاه در مرکز آن قرار گرفت (شکل ۲).

به‌منظور انجام پژوهش حاضر در ابتدا با تهیه داده‌های هواشناسی و استخراج کدهای ۰۶ از گزارش‌های همدیدی از سازمان هواشناسی کل کشور، توفان‌های گردوغبار و تاریخ وقوع آنها شناسایی شد همچنین داده‌های مربوط به مقدار غلظت گردوغبار و ذرات PM_{10} برای تاریخ و منطقه مورد مطالعه برای تطبیق از سازمان حفاظت محیط زیست استان کرمانشاه اخذ شد. توفان گردوغبار تاریخ ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷ به علت تداوم زمانی و گستردگی مکانی و غلظت بالای آن در غرب کشور بخصوص شهر کرمانشاه انتخاب شد.

برای مدل‌سازی عددی اندازه ذرات معلق از جدیدترین نسخه الگوی پیش‌بینی عددی WRF-Chem با طرحواره MADE- SORGAM استفاده شد. (۱). این طرحواره بر پایه مدل دینامیک مودال^۱ برای ذرات گردوغبار در اروپا طراحی شده است (۹). این رهیافت نیز به نوبه خود بر پایه مدل منطقه‌ای ذرات معلق طراحی شده است. در طراحی MADE ذرات معلق جوی در سه بخش با قطر کمتر از $۰.۱ \mu\text{m}$ ، تجمعی با قطر بین ۰.۱ تا $۲ \mu\text{m}$ و درشت با قطر بزرگتر از $۲ \mu\text{m}$ با توزیع لوگ-نرمال در فرآیند شبیه‌سازی کیفیت هوا وارد می‌شوند. پراکنش اندازه ذرات گردوغبار با قطر کوچکتر از $۱۰ \mu\text{m}$ از پراکنش لوگ-نرمال پیروی می‌کند که یکی از مقیاس‌های اصلی در محاسبه طرحواره‌های گردوغبار است:

$$\left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln dp - \ln dp_g)^2}{\ln \delta g^2} \right] n(\ln dp) = \frac{N}{\sqrt{2\pi \ln \delta g}} \exp \quad (۱)$$

که در آن: N تعداد ذرات بر حسب مترمکعب، dp : قطر ذرات، dp_g : قطر میانه، σ_g : انحراف معیار می‌باشد (۱۹). شاخص‌هایی نیز به شکل رابطه‌های ۲ و ۳ معرفی می‌شوند:

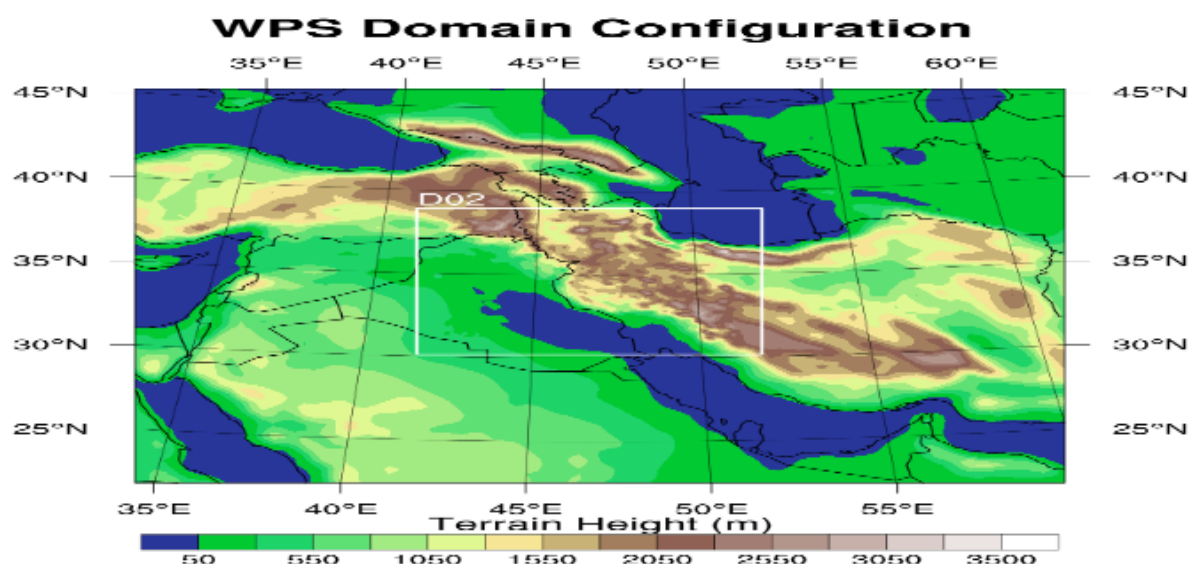
$$M_k = N d_{pg}^k \exp \left[\frac{k^2}{2} (\ln \sigma_g)^2 \right] \quad (۲)$$

با حل تحلیلی رابطه ۳:

جدول ۱. برخی طرحواره‌های مهم بخش شیمی جو مدل WRF-Chem (۱۸)

طرحواره	رهیافت
Atmospheric chemistry جو شیمی	RADM2
Aerosol هواویز	MADE/SORGAM
گسیل ذرات معلق Aerosol emission	GOCART
فوتوشیمیایی Photochemical	Madronich photolysis

¹ Modal Aerosol Dynamic Model



شکل ۲. موقعیت حوزه شبیه‌سازی شده

طرحواره MADE/SORGAM انجام شد و نتیجه با داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. در حالت دوم، توسط فرآیند پس‌پردازش نقشه‌های غلظت PM_{10} ، دمای میانگین و رطوبت نسبی برای سه روز از ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷ توسط برنامه NCL^۵ ترسیم شدند که خطوط قرمز رنگ معرف میانگین دمای روزانه و رطوبت نسبی با خطوط منقطع آبی بر روی نقشه‌ها نمایش داده شد، همچنین مناطقی از حوزه که دارای بیشترین غلظت PM_{10} بودند به عنوان منابع اصلی گسیل ذرات معلق شناسایی شدند. در پایان نمودار پراکنش نقطه‌ای بین مقادیر شبیه‌سازی PM_{10} توسط مدل WRF-Chem و مقادیر مشاهده‌ای که از سازمان محیط زیست استان کرمانشاه اخذ شده بود، ترسیم شد و به این ترتیب با به کارگیری از ضریب تعیین R^2 ، اندازه تغییرات گردوغبار شبیه‌سازی شده تعیین گردید.

■ نتایج

نتایج خروجی مدل WRF برای غلظت ذرات PM_{10}

شبیه‌سازی غلظت PM_{10} برای دوره زمانی ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷ شهر کرمانشاه توسط مدل WRF-Chem انجام گرفت. در این اجرا از طرحواره MADE/SORGAM برای مدل‌سازی گردوغبار استفاده شد. مقایسه‌های انجام شده

همچنین میانگین دمای روزانه و رطوبت نسبی از سازمان هواشناسی کل کشور^۱ برای شهر کرمانشاه جهت مقایسه با خروجی مدل اخذ شد. شبیه‌سازی فضاهای جوی با شرایط اولیه و مرزهای جانبی گرفته شده از داده‌های FNL که از بایگانی مرکز پیش‌بینی محیطی آمریکا NCEP^۲ و مرکز تحقیقات جوی آمریکا NCAR^۳ با گام زمانی ۶ ساعته و تفکیک مکانی $1^\circ \times 1^\circ$ در ابعاد طول و عرض جغرافیایی به‌دست آمد (۲۹). فرآیند شبیه‌سازی با کمک آخرین نسخه ۳.۶ از مدل WRF-Chem توسط طرحواره پیشرفته MADE-SORGAM به‌عنوان طرحواره گسیل ذرات معلق جوی با استفاده از شبیه‌سازی برخط^۴ با در نظر داشتن پارامترهای هواشناسی، به برآورد غلظت PM_{10} پرداخته شد و خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید.

در پژوهش حاضر با مقایسه غلظت PM_{10} ، دما و رطوبت نسبی مشاهداتی در شهر کرمانشاه با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-Chem، به ارزیابی قابلیت این مدل در شبیه‌سازی پرداخته شد. مقایسه به دو صورت انجام شد. در حالت نخست، شبیه‌سازی غلظت PM_{10} و متغیرهای هواشناسی دما و رطوبت نسبی با گام سه ساعته برای دوره زمانی ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷ برای شهر کرمانشاه از

4 Online

5 NCARG Command Language

1 www.irimo.ir

2 National Centers for Environmental Prediction

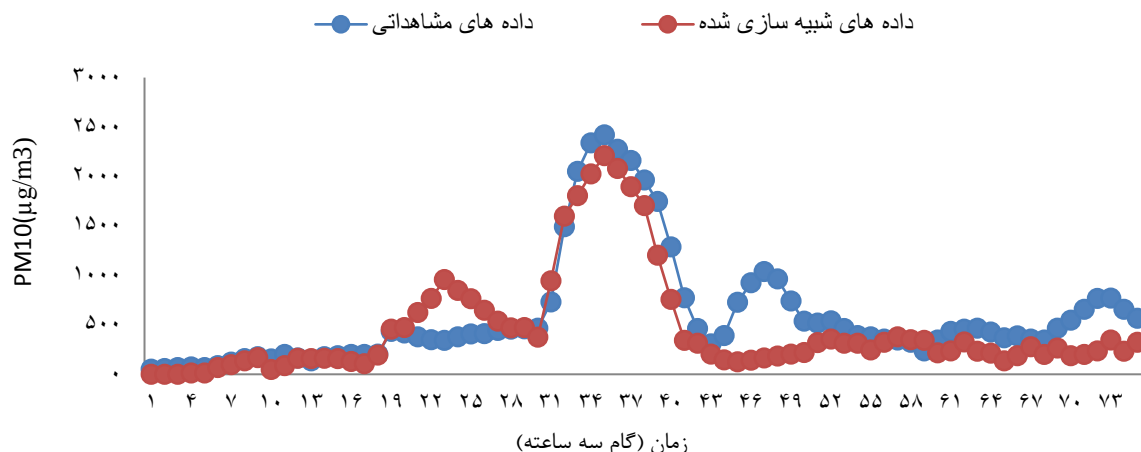
3 <http://dss.ucar.edu/datasets/ds083.2/>

اصلی دخیل بر مقدار گسیل، انتشار و بارگذاری گردوغبار در لایه‌های مختلف جوی هستند. بالا رفتن دما، با اثر بر رطوبت خاک، منبع اصلی گسیل ذرات به جو در ایران و کاهش آن، موجب گسستگی در ذرات خاکدانه‌ها می‌شود که افزایش گسیل ذرات به جو را در پی دارد. متغیر رطوبت نسبی نیز با افزایش رطوبت هوا بین ۲۰ تا ۸۰٪ بر ذرات گردوغبار اثرگذار هستند، ذرات گردوغبار از راه رطوبت‌گیری آب را جذب می‌کنند در نتیجه جذب، قطر و سطح مقطع ذرات گردوغبار افزایش می‌یابد بنابراین با بزرگ شدن ذرات گردوغبار دید افقی کاهش می‌یابد (۲۱). در این قسمت با مقایسه غلظت PM_{10} ، دما و رطوبت نسبی مشاهداتی در شهر کرمانشاه با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF، به ارزیابی قابلیت این مدل در شبیه‌سازی پرداخته شد. مقایسه به دو صورت انجام شده است. در حالت نخست، دمای شبیه‌سازی شده هماهنگ با دمای مشاهداتی با گام ۳ ساعته برای روزهای ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷ به صورت نمودار برای شهر کرمانشاه ترسیم شد (شکل ۴). مقایسه بیانگر وجود توافق خوب بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. در ساعت ۱۵ روز ۵ آبان زمان وقوع توفان گردوغبار، دمای اندازه‌گیری شده در سازمان هواشناسی شهر کرمانشاه $25^{\circ}C$ بوده است و دمای شبیه‌سازی شده در این روز $25^{\circ}C$ بدست آمد. می‌توان نتیجه گرفت که مدل WRF-Chem به خوبی دما را برای شهر کرمانشاه شبیه‌سازی کرده است.

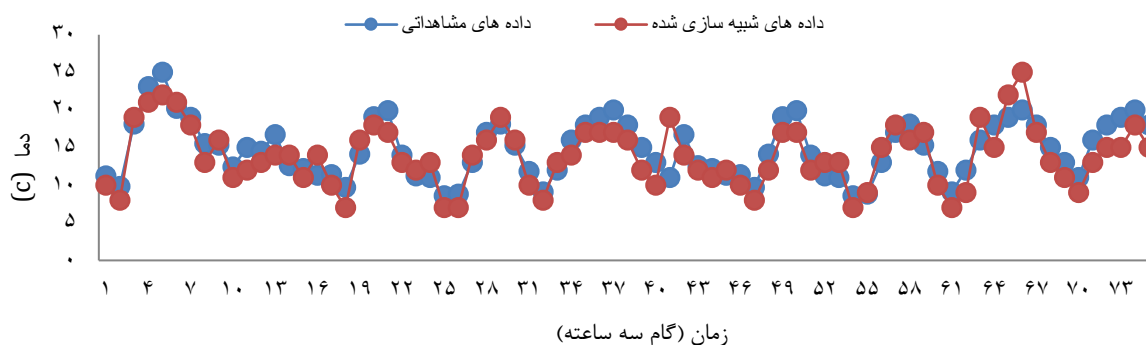
بین مقادیر شبیه‌سازی شده PM_{10} با مقادیر مشاهداتی، تا حد زیادی مقدار بیش برآورد غلظت PM_{10} شبیه‌سازی شده به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک است تغییرات زمانی PM_{10} به عنوان کمیتی که نمایش دهنده مقدار ذرات گردوغبار موجود در جو است، در (شکل ۳) نشان داده شده است. پس از گذشت ۳۴ ساعت از شروع شبیه‌سازی، در ساعت ۱۵ روز ۵ آبان ماه، یک جهش خیلی شدید در غلظت ذرات PM_{10} مشاهده می‌شود که بیشینه آن به بیش از $2000 \mu g/m^3$ می‌رسد. از آنجایی که این زمان مطابق با زمان وقوع توفان در کرمانشاه است، می‌توان نتیجه گرفت که مدل WRF-Chem به خوبی وقوع توفان گردوغبار برای شهر کرمانشاه را شبیه‌سازی نموده است. اگر چه در بعضی از ساعت‌ها مقداری خطا در شبیه‌سازی PM_{10} به چشم می‌خورد، می‌تواند به دلیل استفاده از داده‌های جهانی برای گسیل ذرات باشد، به همین دلیل احتمال رخداد خطا در برآورد غلظت گرد و غبار آشکار و روشن است.

دما و رطوبت نسبی شبیه‌سازی شده

با توجه به همبستگی منطقی گسیل ذرات گردوغبار با دو متغیر دما و رطوبت نسبی، برآوردی مناسب از آن دو در مقدار دقت شبیه‌سازی ذرات PM_{10} بسیار مؤثر می‌باشد. در واقع وجود خطا در برآورد دما و رطوبت نسبی، عامل قابل توجهی در کاهش دقت مقادیر شبیه‌سازی شده برای ذرات PM_{10} است. متغیرهای دما و رطوبت نسبی از عوامل



شکل ۳. مقایسه غلظت PM_{10} شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF و مشاهداتی در شهر کرمانشاه

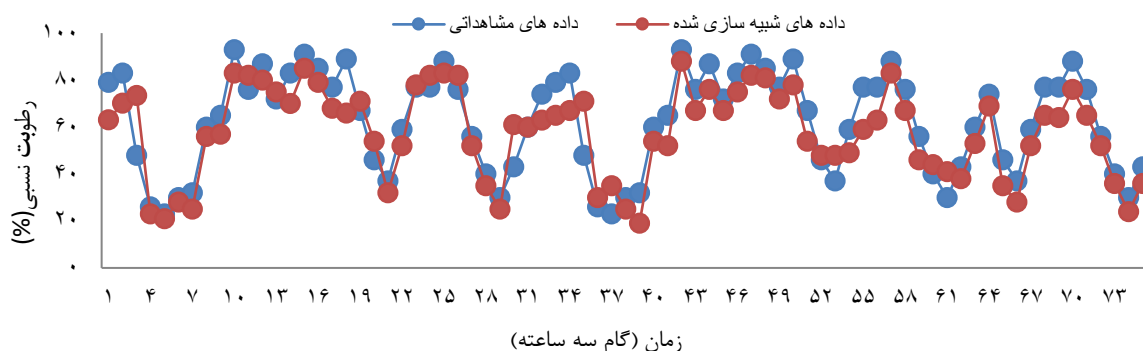


شکل ۴. مقایسه دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF و مشاهداتی در شهر کرمانشاه

افزایش تراکم ذرات گردوغبار در هوای شهر مکه، کاهش رطوبت نسبی و افزایش سرعت باد گزارش شد (۲۸). بنابراین می‌توان رابطه دقیق بین دو عنصر مهم اقلیمی دما و رطوبت نسبی با غلظت گردوغبار را با استفاده از مدل شبیه‌سازی عددی WRF-Chem بیان کرد. در حالت دوم، دستیابی نقشه‌های توزیع غلظت ذرات PM_{10} توسط فرآیند پس‌پردازش بر خروجی مدل شبیه‌سازی (شکل ۶) می‌توان نواحی را از ناحیه شبیه‌سازی که دارای بیشترین غلظت ذرات معلق گردوغبار می‌باشند به عنوان مناطق اصلی گسیل ذرات معلق معرفی کرد. نقشه‌های غلظت PM_{10} دمای میانگین و رطوبت نسبی برای سه روز از ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷ توسط برنامه NCL تهیه شد و خطوط قرمز رنگ که معرف میانگین دمای روزانه و همچنین رطوبت نسبی با خطوط منقطع آبی بر روی نقشه‌ها نمایش داده شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ذرات PM_{10} برای روزهای ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۷ (شکل ۶) بیابان‌های مرکزی و غربی عراق، صحرای سوریه، کویت و شمال عربستان کانون‌های اصلی توفان گردوغبار را به عنوان چشمه اصلی نشان داد.

تحلیل‌های صورت گرفته، بیانگر تطابق بسیار خوب مقادیر شبیه‌سازی شده رطوبت نسبی با مقادیر مشاهداتی آن دارد. با توجه به شکل ۵ در روز ۵ آبان ۱۳۹۷، روز توفان گردوغبار با افزایش غلظت گردوغبار مقدار رطوبت نسبی کاهش یافته است.

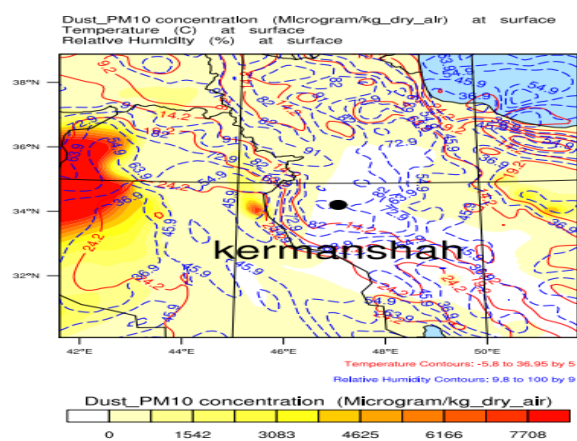
این نتایج منطبق بر یافته‌های دیگر محققان می‌باشد. به عنوان نمونه در بررسی، تغییرات زمانی و مکانی فرونشست ذرات معلق در منطقه اصفهان و ارتباط آن با برخی متغیرهای هواشناسی، همبستگی معنی‌دار منفی بین نرخ فرونشست گردوغبار با مقدار رطوبت نسبی و همبستگی معنی‌دار مثبت با دما وجود داشته است (۳۲). در پژوهشی اثر رطوبت نسبی در غلظت گردوغبار اتمسفری در نواحی نیمه‌خشک بررسی شد، نتایج نشان داد که غلظت گردوغبار با افزایش رطوبت نسبی به طور بیشینه تا ۲۵٪ افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد (۱۱). در پژوهشی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر افزایش تراکم PM_{10} در شهر اگزیان^۱ چین در سال ۲۰۱۰، افزایش سرعت باد و کاهش رطوبت نسبی معرفی شده است (۴۱). همچنین دلیل اصلی



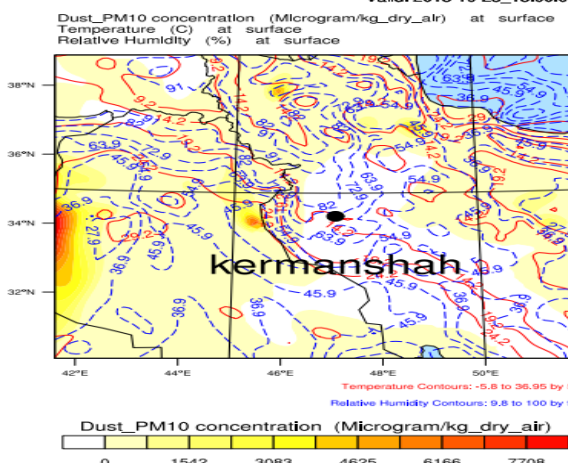
شکل ۵. مقایسه رطوبت نسبی شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF و مشاهداتی در شهر کرمانشاه

پراکنش غلظت PM₁₀ مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-Chem نشان داد (شکل ۷) که ضریب تعیین حاصل از برازش مدل رگرسیون بین داده‌های

(الف)

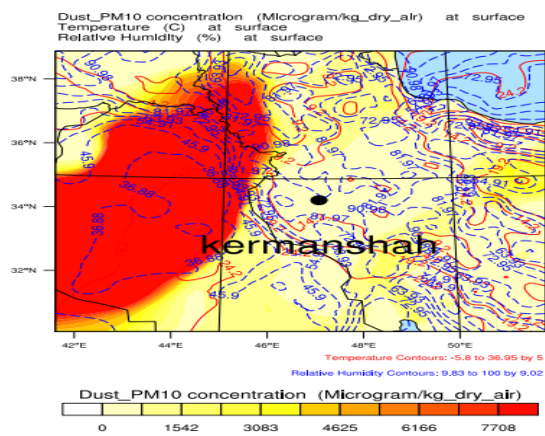


(ب)

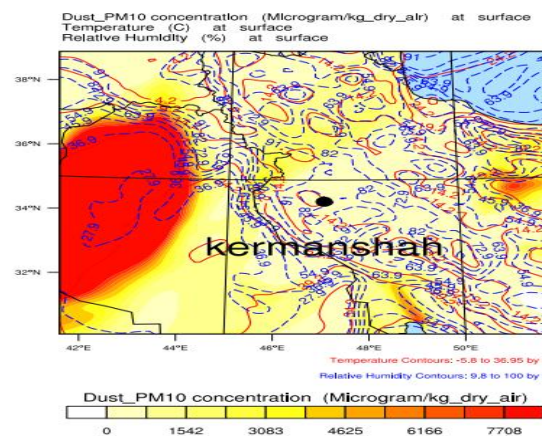


(ج)

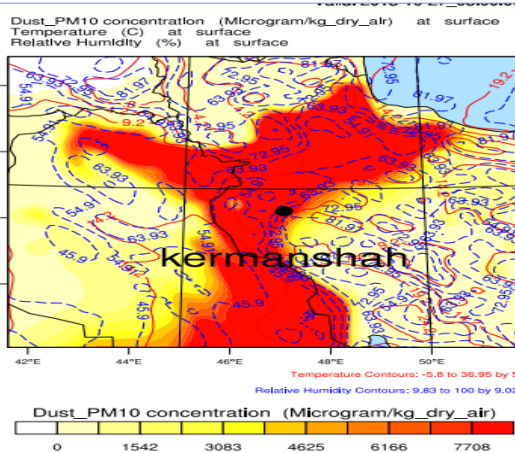
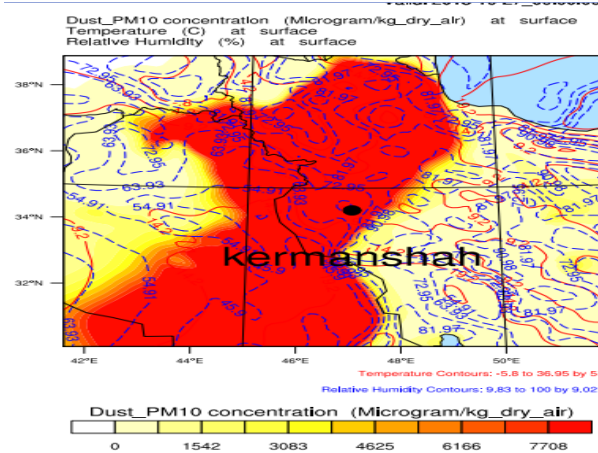
(د)



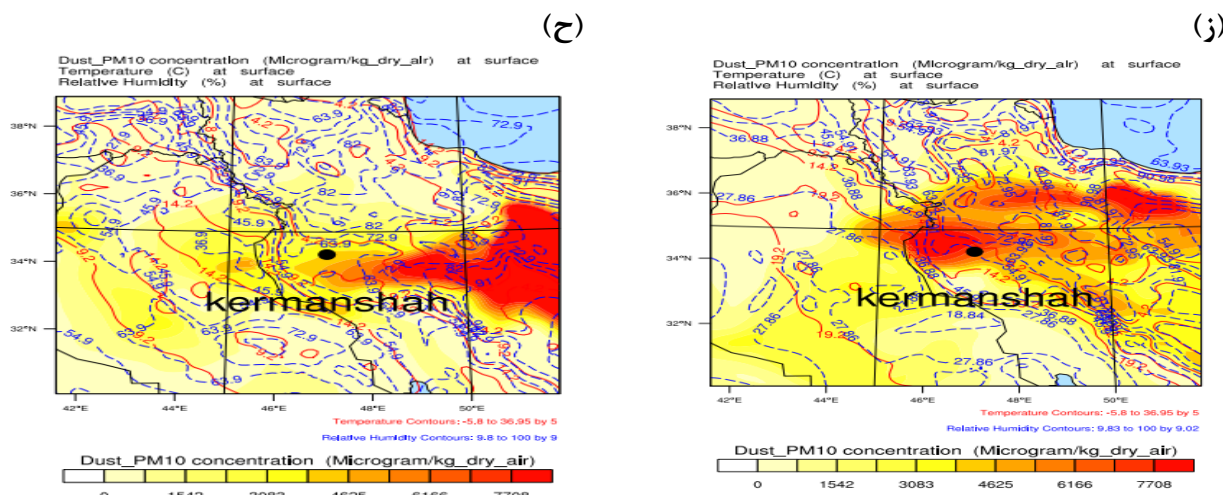
(و)



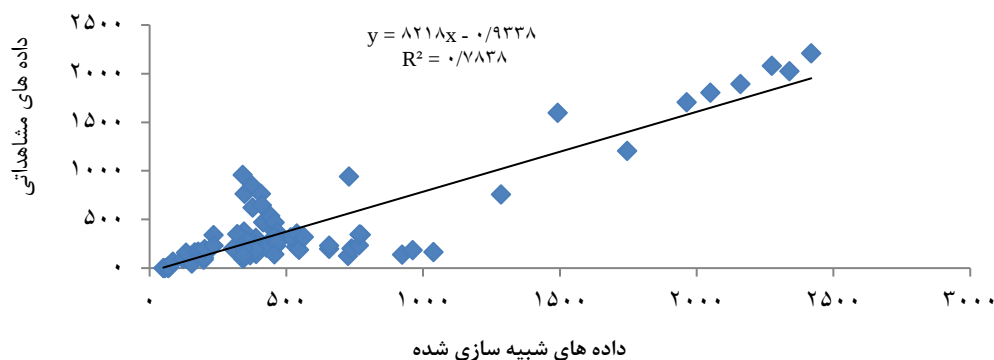
(ه)



شکل ۶. توزیع دمای میانگین، رطوبت نسبی و توزیع غلظت PM₁₀ شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF برای روزهای ۴ آبان (الف، ب، ج، د، ۵ آبان (ه، و) و ۶ آبان (ز، ح) ۱۳۹۷



ادامه شکل ۶. توزیع دمای میانگین، رطوبت نسبی و توزیع غلظت PM₁₀ شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF برای روزهای ۴ آبان (الف، ب، ج، د)، ۵ آبان (ه، و) و ۶ آبان (ز، ح) ۱۳۹۷



شکل ۷. پراکنش مقادیر مشاهده‌اتی و شبیه‌سازی شده PM₁₀ شهر کرمانشاه

■ بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، به بررسی عملکرد مدل عددی میان‌مقیاس جو، مدل WRF-Chem در شبیه‌سازی غلظت PM₁₀ در شهر کرمانشاه پرداخته شد. با توجه به نتایج آماری حاصل از پردازش داده‌های گردوغبار ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت که گردوغبارهای ورودی به غرب ایران و شهر کرمانشاه از گسترده‌گی مکانی و زمانی قابل توجه برخوردار شده‌اند و در راستای غربی-شرقی نواحی غرب ایران را تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده توسط دیگر محققان (۳۳، ۳۱ و ۲۵) و یافته‌های مشابه می‌توان گفت این گسترده‌گی مکانی و زمانی می‌تواند در نتیجه کاهش رطوبت خاک و افزایش زمین‌های بدون پوشش در مناطق منشأ کشورهای مجاور عراق، سوریه و عربستان و همچنین افزایش زمین‌های بدون پوشش در مناطق غربی کشور در نتیجه تغییرات اقلیمی و دخالت‌های

انسانی باشد (۲۵). مدل‌سازی کیفیت هوا به صورت برخط و با واردسازی هم‌زمان متغیرهای هواشناسی و شیمی جو در فرآیند اجرای مدل، به ویژه هنگامی که غلظت ذرات گردوغبار مورد نظر باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. در خروجی مدل، سری زمانی غلظت PM₁₀ در شهر کرمانشاه جهشی ناگهانی را درست در زمان وقوع و شدت توفان را به درستی شبیه‌سازی کرده است. بررسی الگوی غلظت PM₁₀ در حوضه شبیه‌سازی نشان داد که مدل عددی WRF، چشمه انتشار ذرات معلق را به درستی بدست آورده است. بنابراین می‌توان گفت عملکرد طرحواره پیشرفته MADE-SOGAM در برآورد مقادیر کمیت PM₁₀ به عنوان غلظت گردوغبار، به ویژه از نظر الگوی تغییرات و آشکارسازی توفان، از کیفیت قابل قبول و رضایت بخشی برخوردار است. متغیرهای دما و رطوبت نسبی از عوامل اصلی دخیل بر میزان گسیل، انتشار و بارگذاری گردوغبار در

لایه‌های مختلف جوی است. بالا رفتن دما، با اثر بر رطوبت خاک، منبع اصلی گسیل ذرات به جو در کرمانشاه و کاهش آن، باعث گسستگی در ذرات خاکدانه‌ها می‌شود که افزایش گسیل ذرات به جو را در پی دارد. متغیر رطوبت نسبی، باعث افزایش قطر و سطح مقطع ذرات گردوغبار می‌باشد. همچنین با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته برای متغیرهای دما و رطوبت نسبی و نمودارهای ترسیم شده و مقایسات صورت گرفته، توافقی مطلوب بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای دو متغیر دما و رطوبت نسبی به دست آمد. این نتایج حاکی از این می‌باشد که مدل WRF-Chem در شبیه‌سازی متغیرهای اصلی هواشناسی مؤثر بر غلظت گردوغبار به خوبی عمل کرده است. این نتیجه طی تحقیقی در شبیه‌سازی ذرات PM_{10} توسط مدل WRF-Chem در منطقه شرق ایران نیز به دست آمده است. همچنین نتایج حاکی از انطباق نسبی محدوده‌های با حداکثر غلظت گردوغبار شرق و جنوب شرق ایران بر مناطق شناسایی شده ذرات خاک بستر خشک تالاب هامون است (۳۰). پیرو تحقیقات صورت گرفته برای توفان گردوغبار شدید ۱۸ تا ۲۳ مارس ۲۰۰۹ در شرق آسیا، نشان دادند که WRF-Chem برای شبیه‌سازی مسیر گردوغبار، حمل و نقل و غلظت آن در مسیرهای طولانی دارای قابلیت است (۴۲). این نتیجه در تحقیقی دیگر نیز به اثبات رسیده است. نتایج نشان داد که مقدار غلظت گردوغبار شبیه‌سازی شده نسبت به طرحواره‌های مختلف رسوبات خشک بسیار دقیق‌تر است، در طرحواره GOCART مسیریابی ذرات گردوغبار نشان می‌دهد که توزیع فضایی مقدار غلظت گردوغبار را به طور دقیقی می‌تواند شبیه‌سازی کند (۴۳). همچنین در مطالعه‌ای دیگر به بررسی تغییرات زمانی-مکانی و فصلی آئروسول‌ها، ازن تروپوسفریک و گردوغبار موجود در هوای خاورمیانه (ME) برای سال ۲۰۱۲، با استفاده از طرحواره HTAP در مدل WRF-

Chem پرداختند. پارامترهای هواشناسی، دما و بردار باد با استفاده از مدل MERRA2 مورد ارزیابی قرار گرفت. این مدل تنوع مکانی-زمانی بالایی در پارامترهای هواشناسی در تابستان و تنوع کم در زمستان را نشان داد (۳۵). در پژوهشی به بررسی مسیرهای انتشار گردوغبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند. بر اساس خروجی‌های به دست آمده، مناطق مرکزی و جنوبی عربستان، مناطق غربی افغانستان و پاکستان، نواحی شرقی استان هرمزگان، تالاب جازموریان، شرق سیستان و بلوچستان از اصلی‌ترین چشمه‌های ایجاد توفان‌های گردوغبار در این نواحی شناخته شدند (۱۲). همچنین در پژوهشی از بادهای ۱۲۰ روزه و توفان گردوغبار در سیستان و بلوچستان، با استفاده از مدل شبیه‌سازی عددی WRF-Chem به این نتایج رسیدند که بادهای قوی در نزدیک سطح زمین در پراکندگی ذرات معلق در مسیرهای طولانی تأثیر زیادی دارند (۵). نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج بررسی‌های انجام‌شده هم‌خوانی بسیار خوبی دارد. به طور کلی عملکرد مدل عددی WRF-Chem در پژوهش حاضر، قابلیت کاربردی این مدل را در مدل‌سازی و پیش‌بینی کیفیت هوا، به ویژه برای هواویزهای که از چشمه‌های گسیل طبیعی مانند مناطق فرسایش‌پذیر و بیابان‌ها تولید می‌شوند، تأیید می‌کند. مدل WRF-Chem علاوه بر توانایی شبیه‌سازی ذرات معلق طبیعی، قابلیت مدل‌سازی ذرات و آلاینده‌های گازی و انسان زاد را نیز دارد. در صورت آماده‌سازی دقیق فهرست انتشار برای مناطق شهری، می‌توان از خروجی‌های مدل WRF-Chem برای سنجش و پیش‌بینی کیفیت هوا در حوضه‌های شهری نیز بهره گرفت. البته استفاده از داده‌های جهانی پراکنش هواویزها گزینه مناسبی برای شبیه‌سازی آلاینده‌های معیار مانند NO_2 ، SO_2 و CO است.

References

1. Ackermann, I.J., Hass, H., Memmesheimer, M., Ebel, A., Binkowski, F.S. & Shankar, U. (1998). Modal aerosol dynamics model for Europe: development and first applications. *Atmospheric Environment*, 32(17), 2981-2999.

2. Alizadeh, T., Rezaei Banafsheh, M., Goudarzi, G., & Sheikh Ghaderi, S.H. (2021). Detection and numerical simulation of dust storm in Kermanshah, *Desert Management*, 9(2), 1-14. (in Farsi)
3. Alizadeh, T. (2014). Investigation of the role of climatic elements and pollutants in respiratory and heart diseases (Case study of Kermanshah), Master Thesis, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University. (in Farsi)
4. Alizadeh, T., Rezaei Banafsheh, M., & Sharifi, R. (2021). Detection and simulation of dust storm in different levels of Kermanshah atmosphere using HYSPLIT and WRF-chem models, *Environmental Science Studies*, 6(4), 4266- 4279.
5. Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P., & Sturman, A. (2014). A global satellite view of the seasonal distribution of mineral dust and its correlation with atmospheric circulation. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 60, 20-34.
6. Arjmand, M., Rashki, A.R., & Sargzi, H. (2018). Temporal and spatial monitoring of dust phenomenon using satellite data in southeastern Iran, with emphasis on Jazmourian region. *Sepehr Geographical Information Quarterly*, 27(106), 153-168. (in Farsi)
7. Ashpole, I, Washington, R. (2013). A new high-resolution central and western Saharan summertime dust source map from automated satellite dust plume tracking. *Geophysical Research Atmospheres*, 118(13), 6981-6995.
8. Bian, H., Tie, X., Cao, J., Ying, Z., Han, S. & Xue, Y. (2011). Analysis of a severe dust storm event over China: application of the WRF-dust model. *Aerosol and Air Quality Research*, 11(4), 419-428.
9. Binkowski, F. & Shankar, U. (1995). The Regional particulate matter model. 1. model description and preliminary results. *Geophysical Research Atmospheres*, 100(D12), 26191-26209.
10. Chang, W., Zhang, Y., Li, Z., Chen, J., & Li, K. (2021). Improving the sectional Model for Simulating Aerosol Interactions and Chemistry (MOSAIC) aerosols of the Weather Research and Forecasting-Chemistry (WRF-Chem) model with the revised Gridpoint Statistical Interpolation system and multi-wavelength aerosol optical measurements: the dust aerosol observation campaign at Kashi, near the Taklimakan Desert, northwestern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21, 4403-4430.
11. Csavina, J., Field, J., Félix, O, Corral-Avitia, A.Y., Sáez, A.E., & Betterton, E.A. (2014). Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. *Science of the Total Environment*, 487(1), .82-90.
12. Damizadeh, M., Mahdavi, A.A., Gholami, H., & Halisaz, A. (2021). Investigation of dust diffusion paths province using HYSPLIT model in Hormozgan, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 13(2), 431-444. (in Farsi)
13. Daryanoosh, M., Goudarzi, Gh.R., Rashidi, R., Keishams, F., Hopke, P.K., Mohammadi, M.J., Nourmoradi, H., Sicard, P., Takdastan, A., & Vosoughi, M. (2018). Risk of morbidity attributed to ambient PM10 in the western cities of Iran. *Toxin Reviews*, 37(4), 313-318.
14. Faraji, M., Pourpak, Z., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Nicknam, M.H., Shamsipour, M., Rezaei, S., Ghozikali, M.Gh., Ghanbarian, M., Mesdaghinia, A.R. (2018). Effects of airborne particulate matter (PM10) from dust storm and thermal inversion on global DNA methylation in human peripheral blood mononuclear cells (PBMCs) in vitro. *Atmospheric Environment*, 195, 170-178.
15. Fouquart, Y., Bonnel, B., Brogniez, G., Buriez, J. C., Smith, I., & Morcrette, J.J. (1987). Observations of Saharan aerosols: Results of ECLATS field experiment. Part II: Broadband radiative Characteristics of the aerosols and vertical radiative Flux divergence. *Applied Meteorology and Climatology*, 26(1), 38-52.

16. Gautam, S., Patra, A.K., Sahu, S.P., & Hitch, M. (2018). Particulate matter pollution in opencast coal mining areas: a threat to human health and environment. *Mining, Reclamation and Environment*, 32(2), 75-92.
17. Goudarzi, G., Heidari Farsani, M., Shirmardi, H., Maleki, H., Sorooshian, A., Babaei, A., (2018), Evaluation of the relationship between PM10 concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz, Iran. *Aeolian Research* 33, 12–22.
18. Goudie, A.S. & Middleton, N.J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56(1-4), 179-204.
19. Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C. & Eder, B. (2005). Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*. 39(37), 6957-6975.
20. Heidari, M., Shirmardi, M., Alavi, N., Malehi, H., Sorooshian, A., Babaei, A., Asgharnia, H., Marzouni, M., Goudarzi, Gh., (2018). Evaluation of the relationship between PM₁₀ concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz, *Aeolin Research*, 33, 12-22.
21. Hyslop, N. P. (2009). Impaired visibility: the air pollution people see. *Atmospheric Environment*, 43(1), 182-195.
22. Karegar, I., Badagh Jamali, J., Ranjbar Saadatabadi, A., Moen Aldini, M., Goshtasb, H. (2016). Numerical simulation of sandstorms and severe dust in eastern Iran using WRF_Chem model. *Spatial analysis of environmental hazards*, 3(4), 110-119. (in Farsi)
23. Lashkari, H., & Kikhosravi, GH. (2008). Synoptic statistical analysis of dust storms in Khorasan Razavi province in time interval (1993-1995). *Natural Geography Studies*, 40(65), 17-33. (in Farsi)
24. Lu, M., Xinghua, Y., Tianliang, Z., Qing, H., Lua, H., Ali, M., Wen, H., Fan, Y., Chong, L. (2019). Modeling study on three- dimensional distribution of dust aerosols during a dust storm over the Tarim Basin, Northwest China. *Atmospheric Research*, 218, 285-295.
25. Miri, M., Pilehvaran, R., Zand, M., & Nowruzi, A. A. (2021). Detection of dust nature using WRF-Chem model and remote sensing data (Case study: West and southwest of Iran). *Soil and Water Resources Protection*, 10(4), 81-94. (in Farsi)
26. Miri, m., Azizi, Gh., & Shamsi pour, A.A. (2014). Identifying patterns of summer and winter atmospheric circulation of dust entering western Iran, *Geography and environmental planning*, 25(4), 203-220. (in Farsi)
27. Modarres, R., & Sadeghi, Sh. (2018). Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards*, 90(1), 101-114. (in Farsi)
28. Munir, S. (2016). Modelling the non-linear association of particulate matter (PM10) with meteorological parameters and other air pollutants-a case study in Makkah. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(1), 1-13.
29. Nikfal, A.H. (2014). *Simulation of the density of PM10 particulates by the coupled WRF-Chem modeling system over the region of Iran*. Proceedings of the 16th Iranian Geophysical Conference, 77-81. (in Farsi)
30. Nikfal, A.H., Karami, S., Ranjbar Saadatabadi, A., & Sehatkashani, S. (2017). Capabilities of the WRF-Chem model in estimating the concentration of dust–A case study of a dust storm in Tehran. *Environmental Sciences*, 15(1), 115-126. (in Farsi)
31. Nowruzi, A.A., & Shoaie, Z. (2018). Identification of areas with dust production potential in the southwestern watersheds of the Iran. *Watershed Engineering and Management*, 10(3), 398-409. (in Farsi)

32. Nowrouzi, S., & Khademi.H. (2015). Spatial and temporal variation in dust deposition rate in Isfahan and its relationship with selected climatic Parameters. *Water and Soil Science*, 19(72), 149-162. (in Farsi)
33. Rezaei Banafsheh, M., Sharifi, L., PirKhezryan, S.Gh., (2012). Estimation of dust using satellite images (case study: Kurdistan province), *Natural Geography*, 5(18), 13-22. (in Farsi)
34. Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao, Y. (2013). Dust emission simulation with the WRF-Chem model using new surface data in the Middle East region. *Earth and Space Physics*, 39(1), 191-212. (in Farsi)
35. Shahid, M. Z., Chishtie, F., Bilal, M., & Shahid, I. (2021). WRF-Chem simulation for modeling seasonal variations and distributions of aerosol pollutants over the Middle East. *Remote Sensing*, 13(11), 2112.
36. Sharafi, K., Khosravi, T., Moradi, M., & Pirsahab, M. (2015). Air quality and variations in PM10 pollutant concentration in western Iran during a four-year period (2008–2011), Kermanshah-a case study. *Engineering Science and Technology*, 10(1), 47-56.
37. Shaw, P. (2008). Application of aerosol speciation data as an insitu dust proxy for validation of the Dust Regional Atmospheric Model (DREAM). *Atmospheric Environment*, 42, 7912-7913.
38. Stix, J., de-Moor, J.M., Rüdiger, J., Alan, A., Corrales, E., D'Arcy, F., Andres Diaz, J., & Liotta, M. (2018). Using drones and miniaturized instrumentation to study degassing at turrialba and masaya volcanoes, central America. *Geophysical Research: Solid Earth*, 123(8), 6501-6520.
39. Stockwell, W.R., Kirchner, F., Kuhn, M., & Seefeld, S. (1997). A new mechanism for regional Atmospheric chemistry modeling. *Geophysical Research*, 102(D22), 25847-2587.
40. Tulabi nezhad, M., Hejazizadeh, Z., Zarei, Z., Amrai, B., (2018). Dust storm monitoring in the western hemisphere: a case study of dust storm June 16-19, 2015. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*. 5(4), 107-124. (in Farsi)
41. Wang, P., Cao, J., Tie, X., Wang, G., Li, G., Hu, T., Wu, Y., Xu, Y., Xu, G., Zhao, Y., Ding, W., Liu, H., Huang, R., & Zhan, CH. (2015). Impact of meteorological parameters and gaseous pollutants on PM2.5 and PM10 mass concentrations during 2010 in Xi'an, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(5), 1844-1854.
42. Yu, X., Wang, T., Liu, Ch., Pu, L. (2017). Numerical studies on a severe dust storm in East Asia using WRF-Chem. *Atmospheric and Climate Sciences*, 7(1), 92-116.
43. Zeng, Y., Wang, M., Zhao, CH., Chen, S., Liu, Zh., Huang, X., & Gao, Y. (2020). WRF-Chem v3.9 simulations of the East Asian dust storm in May 2017: modeling sensitivities to dust emission and dry deposition schemes, *Geoscientific. Model Development*, 13(4), 2125-2147.

Temporal and Spatial Variations of Dust Days in Western Azarbaijan Province, Determination of The Influencing Factors and Source of Events

B. Choubin^{1*}, F. Sajedi Hosseini², O. Rahmati³, M. Mehdizadeh Youshanloei⁴, M. Jalali⁴

1. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.
2. PhD, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran.
4. Research Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

* Corresponding Author: b.choubin@areeo.ac.ir

Received date: 16/03/2022

Accepted date: 21/05/2022

 [10.22034/JDMAL.2022.550729.1378](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550729.1378)

Abstract

In addition to the increase in prone areas to wind erosion processes in western Azarbaijan province due to the drying of Lake Urmia, there is a growing concern regarding the intensification of dust storms. Considering the impacts of this phenomenon on the environment, public health, agriculture, and transportation sections, more detailed studies on its source, severity, and frequency is necessary. Therefore, this study was designed to assess the temporal and spatial changes of dust storm events using satellite data, to detect the dust source, and to analyze the factors affecting the occurrence of dust storms in western Azarbaijan province. Analysis of the number of dusty days using the MODIS-AOD product indicated that the years 2003, and 2008 to 2012 were the dust storm peaks during the period 2000-2020 at western Azarbaijan province. Most dust storm events have occurred in summer and spring seasons, and monthly changes indicate the maximum dust storm between March and October. Trend analysis indicated that there was no significant trend in AOD and dust storm events. Among vegetation and climate variables, there is a significant relationship between AOD and wind speed (i.e., the correlation is about 64%). Spatially, dust storms occur more frequently along the shores of Urmia Lake (mostly in the east and south and slightly in the west). Southern areas of the province reported a higher frequency of dust event than the central and northern parts of the province. Due to the direction of the prevailing wind, it seems to be most affected by dust storms coming from the neighboring country of Iraq, however, the areas around the Lake Urmia are the inner source of dust storms.

Keywords: Dust source; Aerosol; Wind erosion; MODIS; Urmia





بررسی تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای رخدادهای گرد و غبار در استان آذربایجان غربی، تعیین عوامل اثرگذار و شناسایی منشاء

بهرام چوبین^{۱*}، فرزانه ساجدی حسینی^۲، امید رحمتی^۳، منصور مهدیزاده پوشانلوئی^۴، محمد جلالی^۴

۱. استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
 ۲. دانش‌آموخته دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۳. استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.
 ۴. کارشناس پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
- * نویسنده مسئول: b.choubin@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۱

doi: [10.22034/JDMAL.2022.550729.1378](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550729.1378)

چکیده

خشک شدن سطح وسیعی از دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی، موجب تشکیل مناطق مستعد به فرآیندهای فرسایش بادی و افزایش رخدادهای گرد و غبار شده است. با توجه به پیامدهای اثرگذار گرد و غبار بر سلامت انسان، محیط زیست، کشاورزی و حمل و نقل، بررسی دقیق‌تر برای یافتن منبع وقوع گرد و غبار، فروانی و شدت آن ضروری است. پژوهش حاضر به بررسی تغییرات زمانی و مکانی وقوع گرد و غبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، شناخت منشاء گرد و غبار و واکاوی عوامل اثرگذار بر رخداد گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی می‌پردازد. بررسی نوسان‌های سالانه تعداد روزهای همراه با گرد و غبار با استفاده از شاخص عمق نوری هواپیز (AOD) سنجنده MODIS در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ نشان داد که سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ اوج رخداد گرد و غبار بوده است. بیشترین وقایع گرد و غبار در فصل‌های تابستان و بهار به وقوع پیوسته و نوسان‌های ماهانه گرد و غبار نشان‌گر بیشینه گرد و غبار از ماه اسفند تا مهر است. تحلیل نوسان‌های زمانی نشان داد که از نظر آماری هیچ روند معنی‌داری در مقدار AOD و فروانی رخداد گرد و غبار وجود ندارد. بررسی ارتباط بین AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی حاکی از آن است که AOD تنها با سرعت باد رابطه معنی‌داری (به میزان ۶۴٪) دارد. تغییرات مکانی دهنده فراوانی بیشتر تعداد رخداد گرد و غبار در حاشیه دریاچه ارومیه (بیشتر در بخش‌های شرقی و جنوبی و اندکی در بخش غربی) است. مناطق جنوبی استان فراوانی بیشتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و شمالی نشان می‌دهد که با توجه به جهت باد غالب به نظر می‌رسد بیشتر تحت تاثیر گرد و غبارهای کشور عراق قرار دارد؛ اما حاشیه دریاچه ارومیه منشاء داخلی وقوع گرد و غبار هستند.

واژگان کلیدی: ارومیه، تحلیل روند، فرسایش بادی، سنجنده مودیس، منبع گرد و غبار



■ مقدمه

امروزه با توجه به پدیده‌های تغییر اقلیم، خشکسالی و بیابان‌زایی، وقوع توفان‌های گرد و غبار از جمله مهمترین مخاطره‌های اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۲۷، ۱۱). نگرانی جهانی برای وقوع توفان‌های گرد و غبار با توجه به تأثیرهای مهم اجتماعی و اقتصادی، محیط زیست و سلامت انسان وجود دارد (۶، ۹). کاهش درآمد جوامع، افزایش بیکاری و مهاجرت، تعطیلی مراکز تفریحی و آموزشی، تخریب سرزمین، خسارت به بخش‌های صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و گردشگری نمونه‌های آشکاری از تبعات اجتماعی-اقتصادی گرد و غبار است (۱۸، ۲۶، ۷). همچنین سازمان جهانی بهداشت و بسیاری از موسسه‌های تحقیقات سرطان، گرد و غبار معلق هوا را بسیار مضر برای سلامت انسان دانسته و سرطان‌زا معرفی کرده‌اند (۹).

بر اساس بررسی‌های پیشین خسارت‌های ناشی از وقوع توفان‌های گرد و غبار به بخش کشاورزی استان آذربایجان غربی منطبق با سناریوهای کاهش ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ ارزش ستاده به‌ترتیب برابر با ۱۷۳۰۶، ۳۸۹۳۸، ۶۶۷۵۱ و ۱۰۳۸۳۵ میلیارد ریال در دروه زمانی ۹۱-۱۳۸۵ برآورد شده است. همچنین بر اساس ارزش افزوده استانی، خسارت ناشی از هر روز تعطیلی به‌علت گرد و غبار حدود ۱۷۳ میلیارد ریال معادل ۱۷ میلیون دلار در سال ۱۳۸۸ برآورد شده است (۱۸). تحلیل زمانی و مکانی وقایع گرد و غبار در شرق دریاچه ارومیه در طول سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ نشان‌دهنده افزایش گرد و غبار بین سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ می‌باشد که هر چقدر از مناطق دوردست شرقی به سمت دریاچه حرکت شود بر مقدار وقایع گرد و غبار افزوده می‌شود (۱۰). همچنین پردازش تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۷۹-۱۳۹۶ حاکی از آن است که سطوح خشک شده دریاچه ارومیه به یک منشاء فعال برداشت گرد و غبار تبدیل شده که حتی فواصل بزرگ بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر در پایین دست دریاچه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵).

از بین بررسی‌هایی که در مناطق دیگر کشور انجام شده می‌توان به مطالعه‌ای اشاره کرد که به بررسی عوامل مؤثر بر وقوع گرد و غبار در استان خوزستان پرداخته است. نتایج

این پژوهش حاکی از آن است که عامل سرعت باد از بین عوامل مختلف شامل سرعت باد، بارش، بافت خاک، چگالی ظاهری خاک، هدایت الکتریکی، ماده آلی، ظرفیت آب در دسترس، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، کاربری زمین، زمین‌شناسی و مدل رقومی ارتفاع، مهمترین فاکتور اثرگذار بر رخداد گرد و غبار می‌باشد (۱۴). تحلیل زمانی نوسان پدیده گرد و غبار در شهرستان خرم‌آباد بین سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۴ با استفاده از روش‌های تحلیل روند خطی، پلی‌نومینال^۱ و آزمون روند من-کندال^۲ نشان می‌دهد که رخداد توفان‌های گرد و غبار به‌طور معنی‌داری در حال افزایش می‌باشد (۱۳). بررسی ماهواره‌ای کانون‌های برداشت گرد و غبار در استان البرز حاکی از آن است که با اعمال شاخص‌های طیفی، بخوبی منابع بالقوه گرد و غبار شناسایی می‌شوند (۱۹). بررسی توزیع مکانی-زمانی رخدادهای گرد و غبار در جنوب غربی ایران در بازه زمانی ۲۲ ساله از ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷ با استفاده از کدهای گرد و غبار ۰.۶، ۰.۷، ۳۰ تا ۳۵ نشان داده که ۸۴٪ از رویدادهای گرد و غبار منشأ محلی نداشته است. میانگین تعداد روزهای گرد و غبار در خرداد برابر با ۱۸۸ روز و در تیر برابر با ۱۹۳ روز می‌باشد که بیشتر از دیگر ماه‌های سال است؛ در حالی که رخداد گرد و غبار پس از مرداد ضعیف می‌شود (۱۶). بررسی پراکنش رخدادهای گرد و غبار نشان داده است که کشور ایران متأثر از مناطق برداشت گرد و غبار داخلی و خارجی می‌باشد. توفان‌های گرد و غبار که در مناطق خاصی از ایران به ویژه در ماه‌های تابستان بوقوع می‌پیوندند منشأ فرامرزی گرد و غبار از صحرا و شمال آفریقا، بیابان‌های عراق و سوریه، عربستان، دشت‌ها و مرداب‌های بین‌النهرین، افغانستان و ترکمنستان دارند. منشأ اصلی داخلی نیز شامل دشت‌ها و مرداب‌های بین‌النهرین در ایران، دشت‌های کویر و لوت، فرورفتگی جازموریان، سیستان و سواحل مکران است (۲۵). در همین راستا، بررسی منشأ گرد و غبار در شرق خاورمیانه از طریق شاخص‌های آشکارسازی گرد و غبار حاکی از آن است که تعداد ۹۳ نقطه برداشت در خارج از کشور و ۱۲۳ نقطه برداشت در داخل کشور وجود دارد (۴). علاوه بر این، ارزیابی وقایع گرد و غبار با استفاده از شاخص عمق نوری

برخی از عوامل طبیعی مانند تغییر اقلیم و خشکسالی، پدیده بیابانزایی در سطح استان در حال گسترش می‌باشد. علاوه بر این سطح وسیعی از دریاچه ارومیه کم آب و خشک شده است؛ که همه این موارد موجب افزایش مناطق مستعد به فرآیندهای فرسایش بادی در سطح استان شده است.

داده‌های مورد استفاده

الف) شاخص عمق نوری هواویز (AOD): برای پایش گرد و غبار استان آذربایجان غربی از محصول MCD19A2 سنجه MODIS استفاده شد. این محصول خروجی ترکیبی تصاویر ماهواره‌های Terra و Aqua است که به صورت روزانه و با توان تفکیک مکانی ۱ km در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. این محصول شامل AOD در طول موج‌های باند آبی با مقدار $0.47 \mu\text{m}$ و باند سبز با مقدار $0.55 \mu\text{m}$ می‌باشد. شاخص AOD کمیتی بی‌بعد می‌باشد که میزان جلوگیری از عبور پرتو نور در جو به دلیل وجود هواویزها را نشان می‌دهد (۲۸، ۲۰). در پژوهش حاضر داده‌های محصول سنجه از دوری AOD در طول موج $0.47 \mu\text{m}$ طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ به صورت روزانه با استفاده از سامانه گول ارث انجین دریافت شد. بنابراین ۲۱ سال آمار به منظور پایش وضعیت گرد و غبار در منطقه مورد استفاده شد. تمامی پیش پردازش‌های مورد نیاز این محصول مثل تصحیحات هندسی و حذف پوشش ابری در این محصول توسط ناسا انجام شده است. بر اساس گزارش اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا، مقادیر AOD نزدیک به ۰/۰۱ مربوط به جو بسیار صاف و مقدار ۰/۴ مربوط به یک شرایط بسیار مه‌آلود می‌باشد (۲۲). ب) متغیرهای هواشناسی: متغیرهای بارش، دما و باد ایستگاه‌های هواشناسی از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی دریافت شد. نقشه متغیرهای سرعت باد غالب، متوسط بارش و متوسط دمای هوای سالیانه از طریق روش درونیابی کریجینگ و نقشه جهت باد غالب از طریق ابزار Voronoi map در نرم افزار ArcGIS برای هر سال طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ استخراج شدند. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شکل ۱ ارائه شده است.

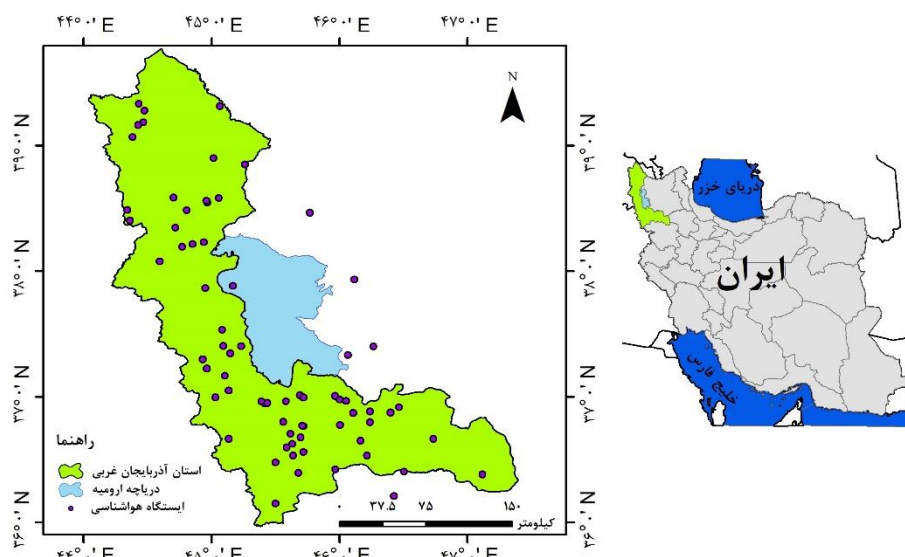
هواویز (AOD)^۱ سنجنده MODIS نشان می‌دهد که سال ۱۳۸۸ فعال‌ترین سال گرد و غبار بوده و پس از آن سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۸۷ به دلیل شرایط خشکسالی طولانی و افزایش انتشار گرد و غبار از دشت‌های عراق بوده است. سال‌هایی که بیشترین رخداد گرد و غبار را داشته‌اند مصادف با بارش کمتر و بادهایی با شدت بیشتر در دشت‌های عراق و جنوب غربی ایران بوده است (۱۶).

یکی از روش‌های شناسایی کانون‌های گرد و غبار بررسی میزان فراوانی وقوع گرد و غبار در منطقه می‌باشد. بر اساس این دیدگاه، مناطقی که فراوانی بیشتری از رخداد گرد و غبار را به خود اختصاص داده‌اند خود منشاء برداشت گرد و غبار می‌باشند (۱۵، ۲۱، ۲۳، ۲۴). بر اساس مرور منابع انجام شده، خلاء بررسی‌های پیشین را می‌توان ارزیابی این دیدگاه در کنار واکاوی عوامل اثرگذار دانست. از اینرو، اهداف اصلی پژوهش حاضر شامل استفاده از داده‌های ماهواره‌ای روزانه برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی وقوع گرد و غبار، شناخت منشاء گرد و غبار بر اساس شاخص میزان فراوانی وقوع، و واکاوی عوامل اثرگذار بر رخداد‌های گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی بودند.

■ مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در سطح استان آذربایجان غربی واقع در شمال غربی کشور انجام شد که سطحی حدود 37210 km^2 را دربر دارد (شکل ۱). از نظر اقلیم این استان متأثر از جریان‌های هوایی اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه است و اکثر بارش استان ناشی از حاکمیت این جریانات غربی می‌باشد. در فصل زمستان جریانات سرد سیبری به این منطقه نفوذ کرده و دمای هوا را به شدت کاهش می‌دهد و بعضاً در طول ۲ تا ۳ ماه یخبندان شدید حاکمیت دارد. ریزش‌های جوی در کوهستان‌های بیشتر به صورت برف است. میانگین درازمدت بارش استان بین $810 - 210 \text{ mm}$ متغیر است. با توجه به مشکل‌های ناشی از مداخله‌های انسانی در بهره‌برداری بیش از اندازه از آب‌های سطحی و زیرزمینی، از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب اراضی و فرسایش خاک و



شکل ۱. موقعیت استان آذربایجان غربی

به عبارتی در هر پیکسل مشخص شد که تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در هر فصل و هر سال چقدر بود. جهت آشکارسازی تغییرات زمانی وضعیت گرد و غبار، در هر سال تعداد وقایع گرد و غبار برای هر پیکسل شناسایی شده و از این طریق تغییرات سالیانه گرد و غبار در طی دوره زمانی یاد شده بررسی شد.

بررسی ارتباط بین AOD و متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی

ارتباط بین مقادیر AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد جهت آشکارسازی عوامل اثرگذار بر گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی بررسی شد. بدین صورت که مقادیر متوسط منطقه‌ای مقادیر AOD و متغیرهای پوشش گیاهی و اقلیمی از طریق لایه‌های رستری سالیانه محاسبه شد و سپس میزان همبستگی متغیرها بررسی شد.

تغییرات مکانی فراوانی وقایع گرد و غبار و شناسایی کانون‌های بالقوه تولید آن

علاوه بر تغییرات زمانی، تغییرات مکانی گرد و غبار نیز برای هر سال و فصل بررسی شد. بر اساس منابع موجود، کانون‌های گرد و غبار با استفاده از میزان فراوانی وقوع گرد

ج) شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)^۱: جهت استخراج NDVI از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. بدین صورت که از طریق سامانه گول ارث انجین تصاویر ۱۶ روزه لندست با پوشش ابری کمتر از ۱٪ در هر سال فراخوانی شد و از طریق مقادیر بازتاب میانه، شاخص NDVI سالیانه برای سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ استخراج شد.

شناسایی وقایع گرد و غبار

بر اساس تحقیقات گذشته مقدار AOD برابر با ۰/۵ به عنوان آستانه تشخیص روزهای همراه با گرد و غبار استفاده شد (۱، ۳، ۸). به عبارتی، پیکسل‌هایی که دارای مقادیر AOD بیشتر از ۰/۵ در یک روز مشخص می‌باشند نشانگر وقوع گرد و غبار در آن پیکسل‌ها در همان روز می‌باشد. بر این اساس پیکسل‌های گرد و غبار از پیکسل‌های بدون گرد و غبار در هر روز در کل منطقه شناسایی شدند.

بررسی فراوانی وقایع گرد و غبار و آشکارسازی تغییرات زمانی

در پژوهش حاضر با بررسی پیکسل‌های توأم با گرد و غبار در طی بازه زمانی یاد شده، فراوانی روزهای توأم با گرد و غبار در هر پیکسل توسط نرم افزار R محاسبه شد.

1 Normalized difference vegetation index

و غبار منطقه شناسایی شد (۱۵، ۲۱، ۲۳، ۲۴). به عبارتی پیکسل‌هایی که فراوانی بیشتری از رخداد گرد و غبار داشتند به عنوان منشاء برداشت گرد و غبار شناخته شدند؛ که از طریق بازدید میدانی و ارزیابی عرصه نیز مورد تایید قرار گرفتند. بر این اساس، فراوانی وقوع گرد و غبار به تفکیک هر پیکسل در طی دوره زمانی مورد بررسی، استخراج شد. منظور از فراوانی وقوع گرد و غبار، تعداد روزهایی است که میزان AOD بیشتر از ۰/۵ در طی دوره زمانی ۲۱ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۹) می‌باشد.

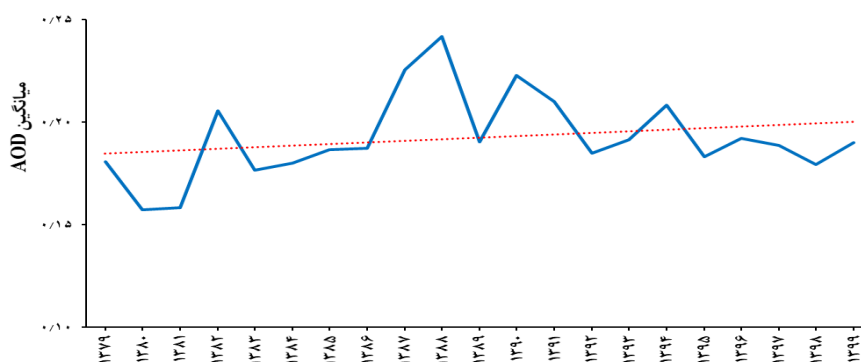
■ نتایج

نتایج بررسی تغییرات زمانی گرد و غبار

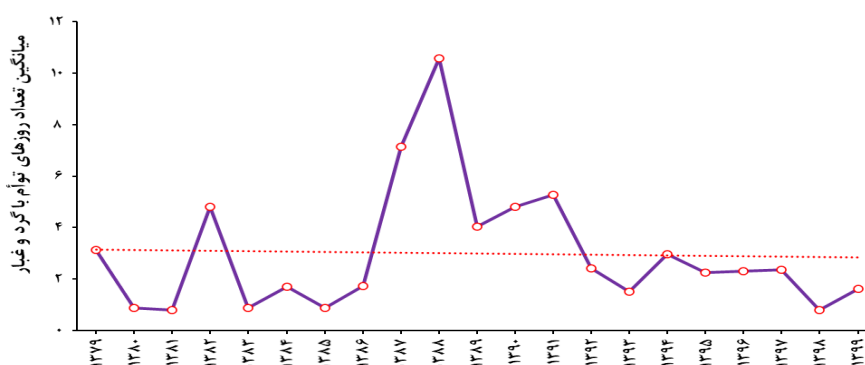
تغییرات زمانی مقادیر میانگین منطقه‌ای AOD در سطح استان آذربایجان غربی در شکل ۲ ارائه شده است. حداکثر مقدار میانگین AOD مربوط به سال ۱۳۸۸ با مقدار ۰/۲۴۲ می‌باشد و حداقل مقدار میانگین AOD برابر با ۰/۱۵۷ بوده که مربوط به سال ۱۳۸۰ می‌باشد. خط روند حالت نسبتاً صعودی در طی زمان را نشان می‌دهد (شکل

۲). تغییرات تعداد روزهای توأم با گرد و غبار (AOD > ۰/۵) در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی حاکی از آن است که سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ بیشترین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار را داشته‌اند (شکل ۳). مقادیر میانگین منطقه‌ای تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در سال ۱۳۸۸ برابر با ۱۰/۵۷، در سال ۱۳۸۷ برابر ۷/۱۵، در سال ۱۳۹۱ برابر ۵/۲۸، در سال ۱۳۸۲ برابر ۴/۸۲، در سال ۱۳۹۰ برابر ۴/۸۰ و در سال ۱۳۸۹ برابر ۴/۰۴ روز بود که خط روند تقریباً حالت ثابت در طی زمان را نشان می‌دهد (شکل ۳).

تعداد پیکسل‌های بدون گرد و غبار با AOD کوچکتر از ۰/۵ و توأم گرد و غبار با AOD بزرگتر از ۰/۵ حداقل یک روز در سال در سطح استان آذربایجان غربی بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که سطح فراگیری گرد و غبار از روند خاصی تبعیت نمی‌کند ولی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ تعداد پیکسل‌های بیشتری درگیر گرد و غبار بوده‌اند (شکل ۴). فراوانی تعداد پیکسل‌های همراه با گرد و غبار بر حسب روز در سطح استان آذربایجان غربی تعیین شد (جدول ۱).



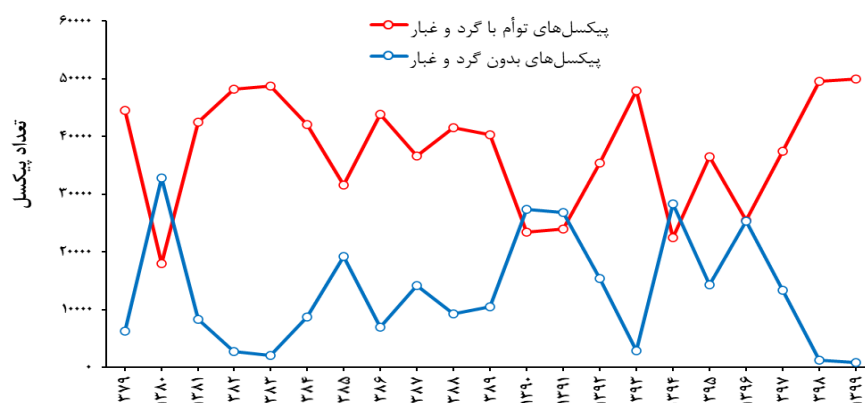
شکل ۲. میانگین AOD سالانه در سطح استان آذربایجان غربی



شکل ۳. تعداد روزهای توأم با گرد و غبار (AOD > ۰/۵) در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی

۱). نتایج نشان می‌دهد که سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ گستره بیشتری از استان در معرض گرد و غبار بوده است. در سال ۱۳۹۸ تعداد ۴۹۵۲۲ پیکسل و در سال ۱۳۹۹ تعداد ۴۹۹۷۱ پیکسل حداقل یک روز دارای رخداد گرد و غبار بوده‌اند (شکل ۴، جدول ۱).

برای نمونه، تعداد پیکسل‌هایی که بیش از ۳۰ روز در سال دارای گرد و غبار بوده‌اند در سال ۱۳۷۹ برابر با ۵۰۳ پیکسل و در سال ۱۳۹۹ برابر با ۴۶۷ پیکسل بود. در حالیکه در برخی از سال‌ها مثل ۱۳۸۲، ۱۳۸۴ و ... هیچ پیکسلی بیشتر از ۳۰ روز گرد و غبار را تجربه نکرد (جدول



شکل ۴. تعداد پیکسل‌های بدون ($AOD < 0.5$) و توأم (حداقل یک روز $AOD > 0.5$) گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی

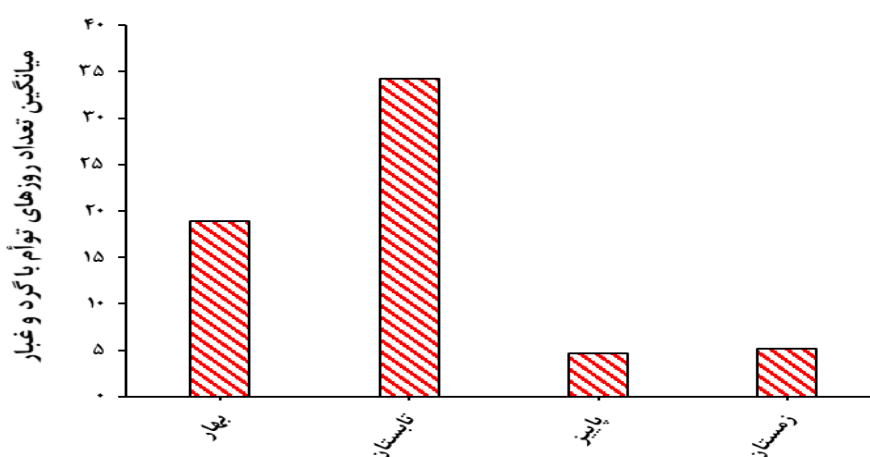
جدول ۱. فراوانی تعداد پیکسل‌های همراه با گرد و غبار در استان آذربایجان غربی

سال	$AOD > 0.5$						$AOD < 0.5$
	دارای گرد و غبار	≤ 5 روز	≤ 7 روز	≤ 10 روز	≤ 15 روز	≤ 20 روز	بدون گرد و غبار
۱۳۷۹	۴۴۵۶۰	۷۵۱۷	۲۷۲۵	۱۳۳۲	۸۶۵	۷۱۲	۶۲۷۰
۱۳۸۰	۱۸۰۱۵	۱۴۶۲	۱۰۴۶	۷۴۳	۵۶۲	۴۳۷	۳۲۸۱۵
۱۳۸۱	۴۲۴۹۲	۱۹۳۸۷	۱۳۳۰۱	۴۷۵۵	۳۸۸	۸۲	۸۳۳۸
۱۳۸۲	۴۸۱۲۵	۲۲۱۴۴	۱۲۹۱۷	۵۷۲۶	۱۱۶۰	۱۳۷	۲۷۰۵
۱۳۸۳	۴۸۷۷۰	۲۴۶۵۴	۱۶۲۱۶	۷۱۹۲	۹۵۸	۱۸۴	۲۰۶۰
۱۳۸۴	۴۲۰۹۱	۷۳۵۲	۲۱۱۰	۵۲۶	۱۱۷	۳۱	۸۷۳۹
۱۳۸۵	۳۱۶۲۱	۳۰۴۵	۱۷۴۶	۱۰۰۲	۴۶۳	۱۸۶	۱۹۲۰۹
۱۳۸۶	۴۳۸۶۰	۱۰۸۸۱	۴۷۵۵	۱۲۶۲	۳۰۶	۹۷	۶۹۷۰
۱۳۸۷	۳۶۶۵۱	۷۷۳۵	۲۵۹۰	۸۵۷	۲۷۵	۱۱۲	۱۴۱۷۹
۱۳۸۸	۴۱۵۱۶	۶۷۰۲	۱۴۳۸	۳۶۹	۱۴۱	۴۴	۹۳۱۴
۱۳۸۹	۴۰۲۸۸	۷۴۳۷	۲۷۹۱	۸۴۷	۱۸۷	۵۳	۱۰۵۴۲
۱۳۹۰	۲۳۴۴۱	۱۰۱۳	۵۵۸	۲۲۹	۴۰	۷	۲۷۳۸۹
۱۳۹۱	۲۳۹۹۵	۱۰۰۵	۴۹۸	۱۶۹	۴۶	۹	۲۶۸۳۵
۱۳۹۲	۳۵۴۰۲	۲۶۳۵	۱۱۱۸	۵۹۰	۲۵۳	۹۵	۱۵۴۲۸
۱۳۹۳	۴۷۸۷۷	۲۴۷۷۷	۱۳۸۸۴	۳۷۴۵	۴۷۱	۱۲۹	۲۹۵۳
۱۳۹۴	۲۲۴۳۱	۱۴۷۸	۹۳۵	۴۳۶	۱۴۰	۵۳	۲۸۳۹۹
۱۳۹۵	۳۶۴۸۰	۳۵۰۰	۱۰۲۲	۳۳۱	۸۳	۳۲	۱۴۳۵۰
۱۳۹۶	۲۵۴۲۶	۱۰۱۳	۴۴۸	۱۷۱	۴۳	۶	۲۵۴۰۴
۱۳۹۷	۳۷۴۷۳	۳۰۶۳	۱۳۱۸	۶۵۸	۲۳۱	۶۸	۱۳۳۵۷
۱۳۹۸	۴۹۵۲۲	۳۴۸۶۸	۲۶۳۶۶	۱۴۴۱۷	۲۵۴۷	۵۹۲	۱۳۰۸
۱۳۹۹	۴۹۹۷۱	۳۶۰۹۸	۳۰۵۸۸	۲۴۲۷۳	۱۵۷۱۹	۸۰۱۰	۸۵۹

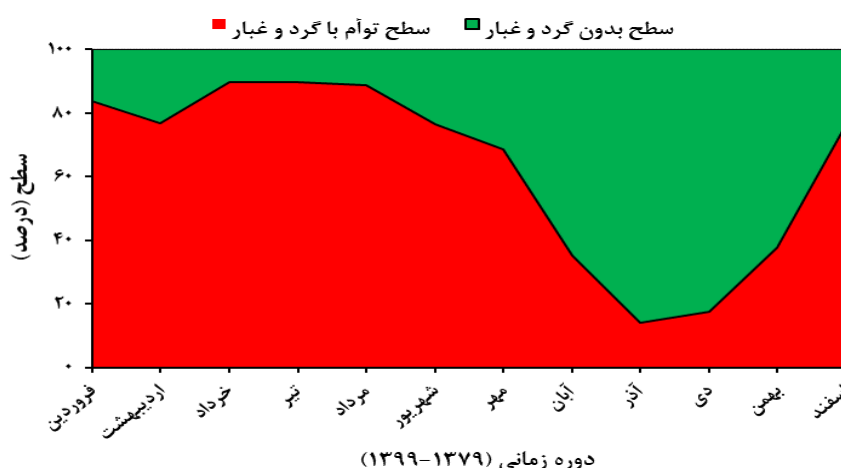
رخ نداده است. بر این اساس حداکثر فراگیری گرد و غبار در هشت ماه از اسفند تا مهر می‌باشد، که بیش از ۶۸٪ پیکسل‌ها یا سطح استان در ۸ ماه یاد شده حداقل یکبار دارای گرد و غبار بوده‌است. ماه‌های آذر، دی، آبان و بهمن که جزء ماه‌های سرد سال هستند به ترتیب کمترین مقادیر فراگیری را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۶).

برای بررسی روند تغییر زمانی وقایع گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی از آزمون من-کندال و آماره من-کندال استفاده شد. بر اساس این آزمون، میانگین وضعیت نسبتاً صعودی را نشان می‌دهد (شکل ۲) ولی از نظر آماری معنی‌دار نبوده و مقدار AOD طی زمان بدون روند می‌باشد (جدول ۲). میانگین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار (شکل ۳) و تعداد پیکسل‌های توأم با گرد و غبار (شکل ۴) نیز فاقد روند معنی‌دار در سطح خطای ۵٪ در طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ را نشان می‌دهند (جدول ۲).

تغییرات فصلی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی بررسی شد. بیشترین مقدار گرد و غبار به ترتیب در فصل‌های تابستان، بهار، زمستان و پاییز رخ داده است، به‌طوریکه در فصل تابستان میانگین درازمدت تعداد روزهای گرد و غبار برابر با ۳۴/۲ روز، در فصل بهار ۱۸/۹ روز، در فصل زمستان ۵/۱ روز و در فصل پاییز ۴/۷ روز بود. بنابراین فصول تابستان و بهار بیشترین رخدادهای گرد و غبار در سطح استان بوقوع پیوسته است (شکل ۵). همچنین تغییرات ماهانه سطوح بدون گرد و غبار در مقایسه با سطوح توأم با گرد و غبار بررسی شد. سطح قرمز رنگ در شکل ۶ درصد پیکسل‌ها یا سطح استان را نشان می‌دهد که حداقل یک روز در ماه در معرض گرد و غبار بوده است و سطح سبز رنگ حاکی از درصد پیکسل‌ها یا سطح استان که مقادیر AOD از حد (۰/۵) تجاوز نکرده و به اصطلاح گرد و غبار



شکل ۵. تغییرات فصلی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار (AOD > ۰/۵) در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی



شکل ۶. تغییرات ماهانه سطوح بدون گرد و غبار در مقایسه با سطوح توأم با گرد و غبار در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹

جدول ۲. آزمون من-کندال جهت بررسی روند سالیانه AOD و تعداد روزها و پیکسل‌های توأم با گرد و غبار

متغیر	آماره من-کندال	P-value	وضعیت روند
AOD	۰/۲۰	۰/۲۲	بدون روند معنی‌دار
میانگین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار	-۰/۰۱	۰/۹۸	بدون روند معنی‌دار
تعداد پیکسل‌های توأم با گرد و غبار	-۰/۰۴۸	۰/۷۹	بدون روند معنی‌دار

بررسی ارتباط بین AOD و متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی

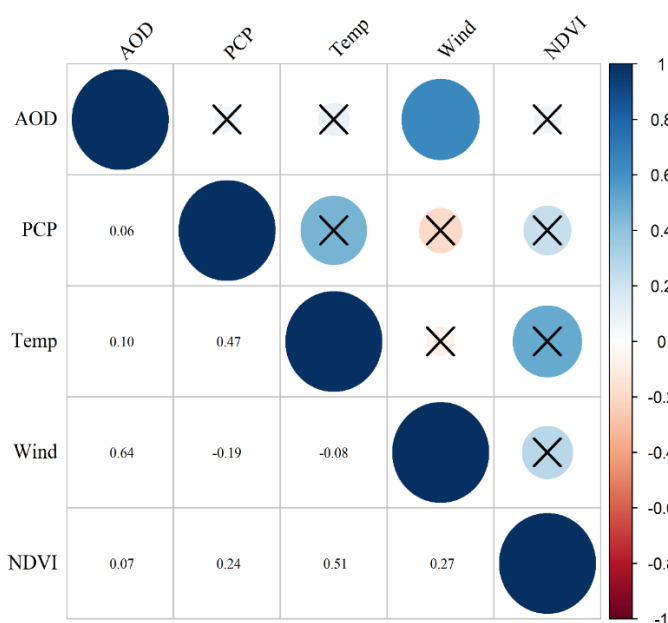
بررسی ضریب همبستگی سالیانه بین میانگین AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد حاکی از آن است که AOD تنها با سرعت باد رابطه معنی‌داری در سطح ۵٪ دارد ($r = 0.64$) می‌باشد؛ در حالیکه با NDVI، بارش و دما هیچ ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۷). نمودار رابطه همبستگی و پراکنش بین AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد نشان داد که مقدار R^2 بین AOD و سرعت باد بیشتر از بقیه بود و برابر با ۰/۴۱ می‌باشد (شکل ۸).

نتایج بررسی تغییرات مکانی و شناسایی بالقوه منشاء گرد و غبار

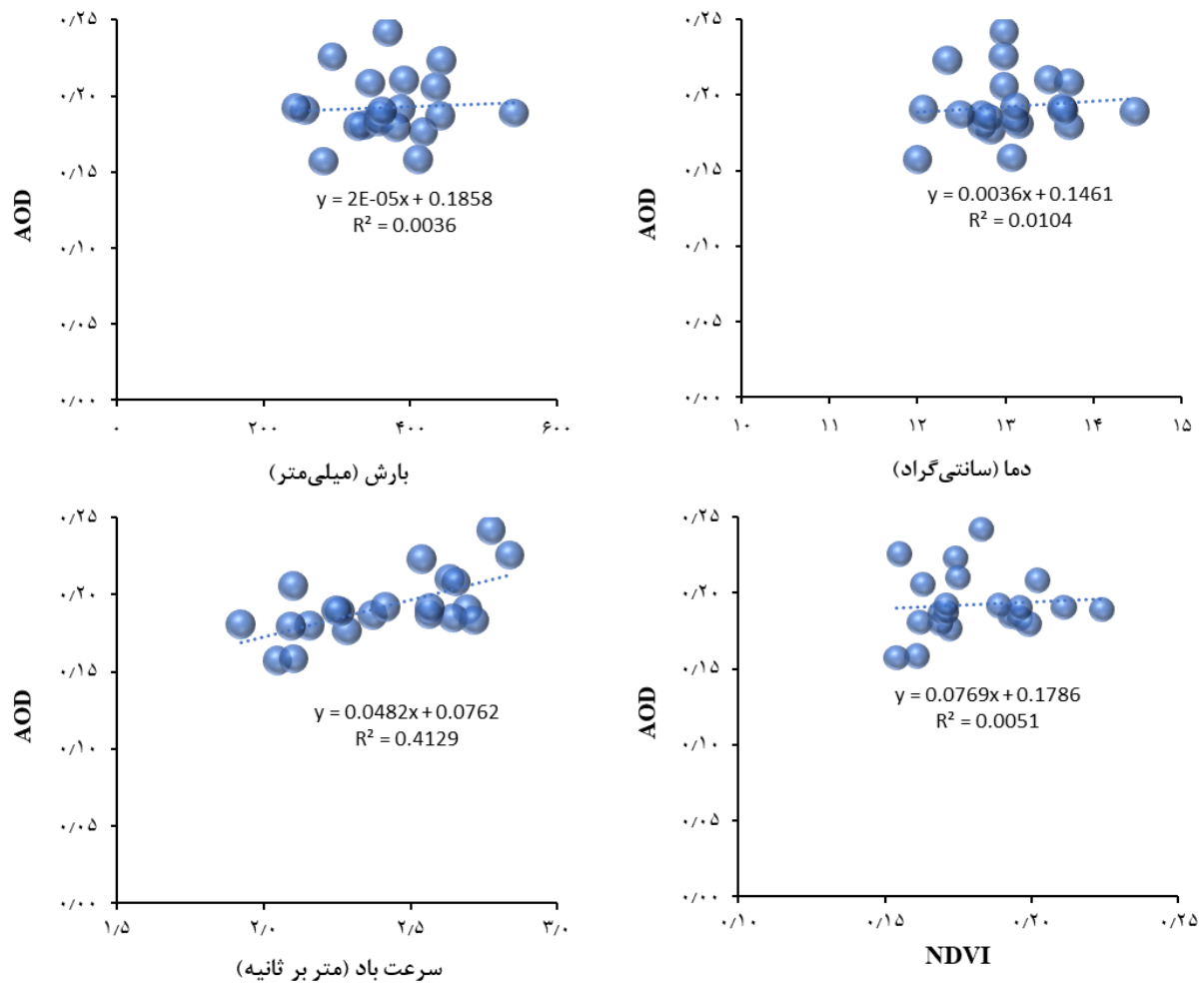
تغییرات مکانی فراوانی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار طی سال‌های مختلف نشان داد که در سال‌های

۱۳۸۲، ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ فراوانی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار بیشتر بود (شکل ۹). در سال ۱۳۸۸ بیشترین رخداد گرد و غبار بوقوع پیوسته است که حواشی دریاچه ارومیه واقع در مناطق شرقی و جنوبی دریاچه به‌همراه مناطق جنوبی استان فراوانی بیشتری از گرد و غبار را تجربه کرده‌اند (شکل ۹).

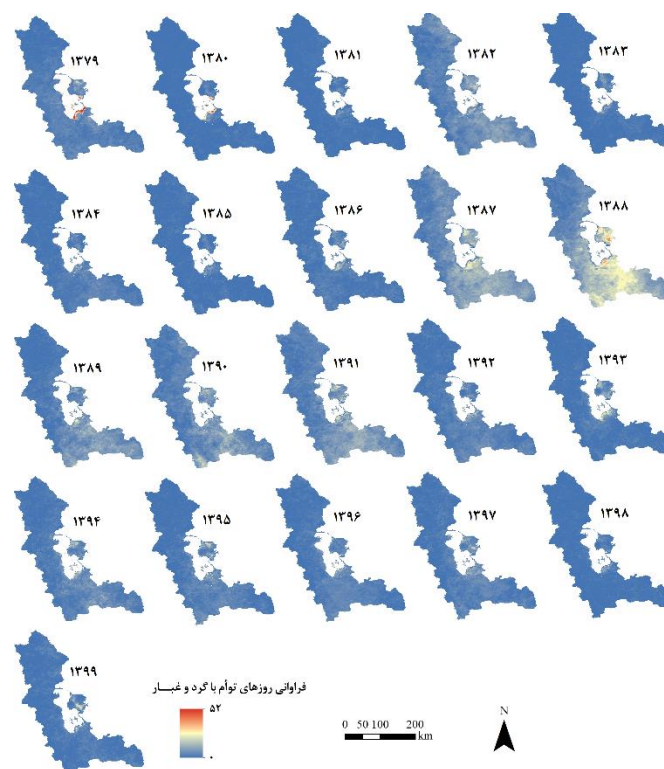
تغییرات مکانی فراوانی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در فصل‌های مختلف در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ نیز بررسی شد (شکل ۱۰). تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در فصل‌های بهار و تابستان فراوانی بیشتری نسبت به پاییز و زمستان نشان می‌دهد. از نظر پراکنش مکانی در تمامی فصول اطراف دریاچه فراوانی بیشتری را نسبت به دیگر قسمت‌ها دارد، در حالیکه مناطق جنوبی استان نیز فراوانی قابل توجهی از رخداد‌های گرد و غبار بخصوص در فصل تابستان را نشان می‌دهند (شکل ۱۰).



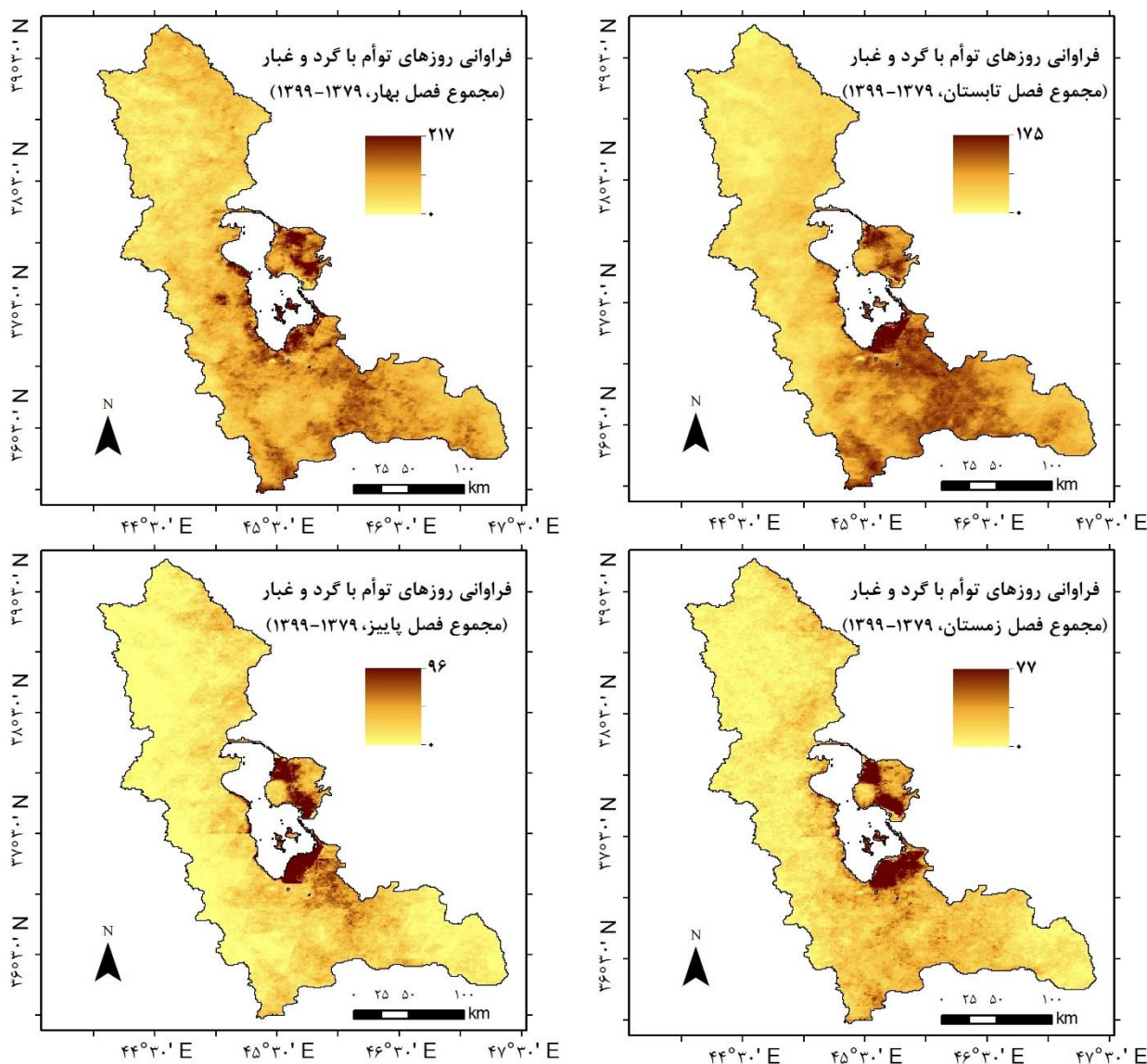
شکل ۷. ضریب تبیین بین مقدار AOD با متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹



شکل ۸. مقادیر سالیانه AOD در برابر متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹



شکل ۹. نقشه فراوانی سالیانه روزهای همراه با گرد و غبار (راهنمای نقشه‌ها جهت مقایسه در یک مقیاس واحد ارائه شده)



شکل ۱۰. نقشه فراوانی فصلی روزهای همراه با گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹

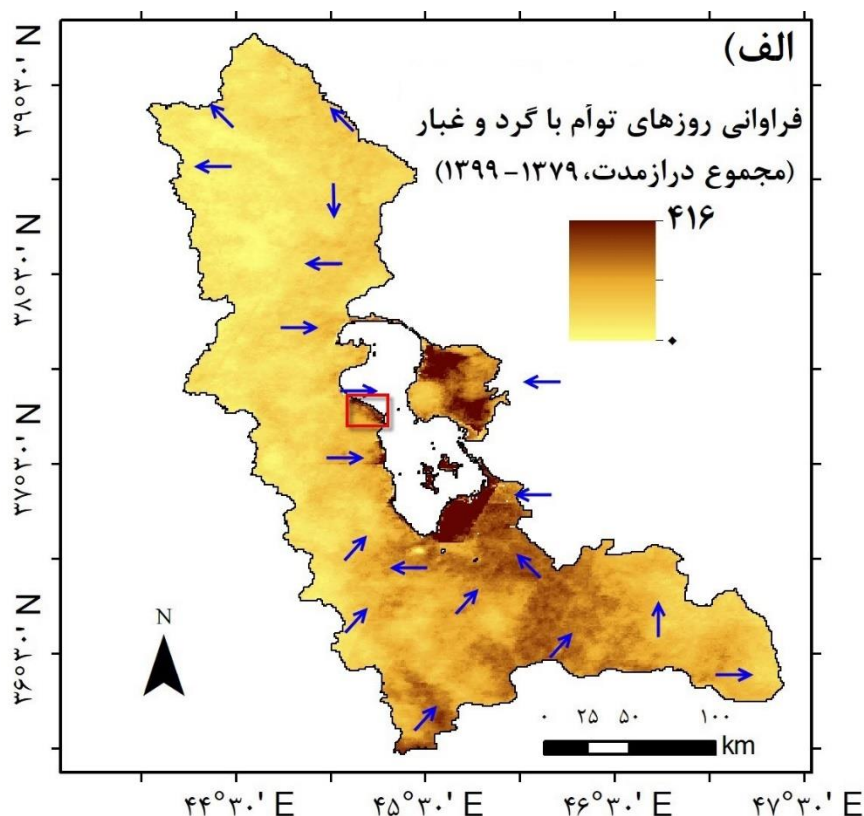
جهت باد غالب در ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهند. با توجه به جهت باد غالب، مناطق جنوبی متأثر از گرد و غبارهای کشورهای همسایه و عراق می‌باشد ولی مناطق اطراف دریاچه منشاء داخلی دارند (شکل ۱۱ الف).

■ بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات سالیانه تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی نشان داد که سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ بیشترین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار را داشته‌است. از بین این سال‌ها، سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ بیشترین مقادیر AOD و تعداد رخدادهای گرد و غبار را به‌خود اختصاص داده‌اند.

نقشه فراوانی روزهای همراه با گرد و غبار در دوره زمانی مورد بررسی نشان داد که مجموع فراوانی طی ۲۱ سال بین صفر تا ۴۱۶ روز متغیر می‌باشد. تغییرات مکانی حاکی از فراوانی بیشتر در حواشی دریاچه عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوبی و اندکی در بخش غربی می‌باشد (شکل ۱۱ الف). بازدیدهای میدانی انجام شده نیز نتایج حاصل شده را تایید کرد. به‌عنوان نمونه محدوده قرمز رنگ ارائه شده در شکل ۱۱ ب مناطق جبل‌کندی و سپرغان را نشان می‌دهد که دربرگیرنده ماسه‌های بادی است و توسط ماهواره به‌درستی تشخیص داده شده است.

همچنین مناطق جنوبی استان فراوانی بیشتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و شمالی نشان می‌دهد. فلش‌ها



شکل ۱۱. (الف) فراوانی روزهای توأم با گرد و غبار در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ (فلش‌ها جهت باد غالب در ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهند)، (ب) تصاویر میدانی

طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ حاکی از آن است که به ترتیب فصل‌های تابستان، بهار، زمستان و پاییز دارای بیشترین مقدار گرد و غبار بوده‌اند. بنابراین بیشترین وقایع گرد و غبار در فصل‌های تابستان و بهار به وقوع پیوسته است. این نتایج مطابق با نتیجه‌های بررسی‌های پیشین در جنوب شرقی و جنوب غربی ایران است (۲، ۱۷). تغییر ماهانه گرد و غبار نشانه بیشترین گرد و غبار از ماه اسفند تا مهر است. همچنین، ماه‌های آذر، دی، آبان و بهمن که جزء ماه‌های

در این راستا طی بررسی‌های پیشین نیز مشخص شده است که سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ اوج توفان‌های گرد و غبار در جنوب شرق ایران بوده است (۲). همچنین از نظر وقوع گرد و غبار سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ فعال‌ترین سال‌ها در جنوب غرب ایران عنوان شده است (۱۶، ۱۷). در حوضه‌های شرقی دریاچه ارومیه نیز مقدار گرد و غبار در سال ۱۳۸۸ بیشتر از دیگر سال‌ها گزارش شده است (۱۰). تغییر فصلی تعداد روزهای دارای گرد و غبار

سرد سال هستند به ترتیب کمترین مقادیر گرد و غبار را بخود اختصاص داده‌اند. در این راستا بررسی‌ها در جنوب شرق ایران نیز حاکی از آن بوده است که فعالیت گردوغبار در چهار ماه آبان، آذر، دی و بهمن ضعیف‌تر از سایر ماه‌ها می‌باشد (۲). همچنین تغییرات ماهانه گرد و غبار در جنوب غرب ایران و استان خوزستان نیز حاکی از آن است که ماه‌های سرد سال از آبان تا بهمن ماه کمترین مقدار روزهای گرد و غبار را دارند (۱۶، ۱۷).

بررسی روند تغییرات زمانی در سطح استان آذربایجان غربی نشان داد که از نظر آماری هیچ روند معنی‌داری در میزان AOD و وقایع گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ وجود ندارد. برخلاف نتایج پژوهش حاضر، روند تعداد روزهای گرد و غبار در استان خوزستان افزایشی و معنی‌دار بوده است، اما بعضی از ایستگاه‌های هواشناسی مثل اهواز، دزفول، رامهرمز و مسجدسلیمان فاقد روند معنی‌دار می‌باشند (۱۷). بررسی ارتباط بین میانگین مقادیر AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد حاکی از آن است که AOD تنها با سرعت باد رابطه معنی‌داری در سطح ۵٪ دارد که این مقدار همبستگی برابر با ۶۴٪ می‌باشد؛ در حالیکه با NDVI، بارش و دما هیچ ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین مطابق با نتایج بررسی‌های پیشین سرعت باد مهمترین عامل مؤثر بر ایجاد گرد و غبار می‌باشد (۱۴، ۲۴).

تغییرات مکانی حاکی از فراوانی بیشتر تعداد وقایع گرد و غبار در حواشی دریاچه ارومیه عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوبی و اندکی در بخش غربی می‌باشد. همچنین مناطق جنوبی فراوانی بیشتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و شمالی استان نشان می‌دهند. با توجه به جهت باد غالب بنظر می‌رسد مناطق جنوبی بیشتر متأثر از گرد و غبارهای کشورهای همسایه و عراق می‌باشد، کما اینکه مناطق جنوبی از میزان بارش و پوشش گیاهی بهتری برخوردار می‌باشند. ولی احتمال گسترش گرد و غبارهایی که منشأ خارجی از کشور عراق دارد به بخش‌های شمالی وجود ندارد، به همین دلیل مناطق جنوبی گرد و غبار بیشتری نسبت به مناطق شمالی نشان می‌دهند. در این راستا، در نشریه‌های هواشناسی استان آذربایجان غربی که به صورت

ماهانه و فصلی انتشار پیدا می‌کند نیز وضعیت انتشار گرد و غبار در مناطق جنوبی استان بیشتر است (۱۲). به هر حال عمده مناطقی که وقایع بیشتر گرد و غبار را بخود اختصاص داده‌اند در اطراف دریاچه ارومیه قرار دارند. مجموعه‌ای از عوامل زیر را می‌توان عنوان کرد که پیرامون دریاچه ارومیه منشأ داخلی گرد و غبار می‌باشند: (۱) تمرکز و تعداد پدیده گرد و غبار شناسایی شده توسط سنجش از دور بیشتر در این مناطق قرار دارد. مناطقی که فراوانی بیشتری از گرد و غبار را دارند خود منشأ برداشت گرد و غبار هستند (۱۵، ۲۱، ۲۳، ۲۴)؛ که از طریق بازنده‌های میدانی نیز مورد تأیید قرار گرفتند. (۲) جهت باد غالب در مناطق شرقی و جنوبی دریاچه که بیشترین وقایع گرد و غبار را دارند از سمت شرق می‌باشد که به‌طور قطع نمی‌توان منشأ خارجی گرد و غبار برای این مناطق عنوان کرد. (۳) مقادیر NDVI در حواشی دریاچه ارومیه نسبت به سایر قسمت‌ها کمتر می‌باشد. (۴) حواشی دریاچه ارومیه جزء مناطقی هستند که کمترین مقدار بارش را دارند. (۵) کم آب شدن دریاچه و قرارگیری سطوح خشک شده پیرامونی. به‌طوریکه از اواخر دهه ۱۹۹۰ دچار خشکی فاجعه‌آمیز شد و موجب از دست رفتن ۵۰٪ از مساحت آن تا سال ۲۰۱۴ شده است (۲۵). (۶) رده خاک غالب در طراف دریاچه ارومیه از نوع اریدیسول است که در آنها رس، کربنات کلسیم، سیلیس، نمک و گچ تجمع یافته است. (۷) همچنین از نظر زمین‌شناسی نیز واحد سنگی Qsl که حاکی از وضعیت نمکی غالب در حواشی دریاچه ارومیه است. بنابراین با استناد به دلیل‌های مذکور پیرامون دریاچه ارومیه منشأ تولید گرد و غبار داخلی است. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، در بررسی‌های گذشته نیز ساحل جنوبی دریاچه ارومیه منبع تولید و برداشت گرد و غبار عنوان شده است (۵). به‌طوریکه گرد و غبار فعال ناشی از سطوح خشک شده دریاچه ارومیه تا فواصل بزرگ (بیش از ۱۰۰ کیلومتر) در پایین دست دریاچه نیز گسترش پیدا می‌کند (۵). از قسمت‌های شرقی نیز هر چقدر به سمت دریاچه ارومیه حرکت می‌شود بر مقدار گرد و غبار افزوده می‌شود (۱۰).

■ سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از نتایج پروژه تحقیقاتی با کد مصوب "۰۰۱۰۳-۰۰۶-۲۹-۳۶-۲" در سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. از حمایت‌های مادی و معنوی این سازمان و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی تشکر و قدردانی می‌شود.

■ References

1. Al-Dabbagh, S. K. (2020). The use of aerosol optical properties in identification of dust sources in Iraq. *Physics: Conference Series*, 1660(1), 012049.
2. Arjmand, M., Rashki, A., & Sargazi, H. (2018). Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the Hamoun e Jazmurian, Southeast of Iran based on the Satellite Data. *Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 153-168. (in Farsi)
3. 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.
4. Boroghani, M., Pourhashemi, S., Zanganeh Asadi, M., & Moradi, H. (2017). Dust source identification in the Middle East by using remote sensing. *Natural Environmental Hazards*, 6(11), 101-118. (in Farsi)
5. Boroughani, M., Hashemi, H., Hosseini, S. H., Pourhashemi, S., & Berndtsson, R. (2019). Desiccating Lake Urmia: a new dust source of regional importance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(9), 1483-1487.
6. Boroughani, M., Pourhashemi, S., Hashemi, H., Salehi, M., Amirahmadi, A., Asadi, M. A. Z., & Berndtsson, R. (2020). Application of remote sensing techniques and machine learning algorithms in dust source detection and dust source susceptibility mapping. *Ecological Informatics*, 56, 101059.
7. 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.
8. Ciren, P., & Kondragunta, S. (2014). Dust aerosol index (DAI) algorithm for MODIS. *Geophysical Research: Atmospheres*, 119(8), 4770-4792.
9. Dehghan, A., Khanjani, N., Bahrampour, A., Goudarzi, G., & Yunesian, M. (2018). The relation between air pollution and respiratory deaths in Tehran, Iran-using generalized additive models. *BMC pulmonary medicine*, 18(1), 1-9.
10. Delfi, S., Mosaferi, M., Hassanvand, M. S., & Maleki, S. (2019). Investigation of aerosols pollution across the eastern basin of Urmia lake using satellite remote sensing data and HYSPLIT model. *Environmental Health Science and Engineering*, 17(2), 1107-1120.
11. El-Askary, H., Gautam, R., & Kafatos, M. (2004). Remote sensing of dust storms over the Indo-Gangetic basin. *Indian Society of Remote Sensing*, 32(2), 121-124.
12. General Meteorological Department of West Azarbaijan Province (2022). *Meteorological journals of West Azarbaijan province*, Received on March 3, 2015 from <http://www.azmet.ir/in/book/nashreh.htm>. (in Farsi)

13. Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Lashani Zand, E. (2018). The temporal analysis of dust storms in Khoramabad synoptic station. *Applied researches in Geographical Sciences*, 18(51), 87-102. (in Farsi)
14. Gholami, H., Mohamadifar, A., & Collins, A. L. (2020). Spatial mapping of the provenance of storm dust: Application of data mining and ensemble modelling. *Atmospheric Research*, 233, 104716.
15. Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50, RG3005.
16. Hamzeh, N. H., Kaskaoutis, D. G., Rashki, A., & Mohammadpour, K. (2021). Long-term variability of dust events in southwestern Iran and its relationship with the drought. *Atmosphere*, 12(10), 1350.
17. Karami, S., Hossein Hamzeh, N., Sabzevari, H., & Lo Alizadeh, M. (2021). Investigation of trend analysis of the number of dust stormy days and aerosol concentration derived from satellite in Khuzestan province by using non-parametric Mann-Kendall test. *Climate Research*, 1399(44), 91-103.
18. Khaledi, K. (2017). Estimating the economic losses of dust storms on agriculture sector in the western provinces of the Iran. *Eqtesad-E Keshavarzi Va Towse'e*, 24(96), 151-183. (in Farsi)
19. Kheirandish, Z., Bodagh Jamali, J., & Rayegani, B. (2018). Identification of the best algorithm for dust detection using MODIS data. *Natural Environmental Hazards*, 7(15), 207-220. (in Farsi)
20. Levy, R. C., Remer, L. A., Mattoo, S., Vermote, E. F., & Kaufman, Y. J. (2007). Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance. *Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D13211).
21. Moridnejad, A., Karimi, N., & Ariya, P. A. (2015). A new inventory for middle east dust source points. *Environmental monitoring and assessment*, 187(9), 1-11.
22. NOAA Research. (2020). NOAA ESRL global monitoring laboratory: SURFRAD aerosol optical depth, Retrieved March 03, 2020, from <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/surfrad/aod/>.
23. Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., & Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*, 40(1), 2-1.
24. Rahmati, O., Panahi, M., Ghiasi, S. S., Deo, R. C., Tiefenbacher, J. P., Pradhan, B., Jahani, A., Goshtasb, H., Kornejady, A., Shahabi, H., Shirzadi, A., Khosravi, H., Davoudi Moghaddam, D., Mohtashamian, M., & Bui, D. T. (2020). Hybridized neural fuzzy ensembles for dust source modeling and prediction. *Atmospheric Environment*, 224, 117320.
25. Rashki, A., Middleton, N. J., & Goudie, A. S. (2021). Dust storms in Iran—Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, 100655.
26. Song, H., Zhang, K., Piao, S., & Wan, S. (2016). Spatial and temporal variations of spring dust emissions in northern China over the last 30 years. *Atmospheric environment*, 126, 117-127.

27. Toofan, M. (2010). The challenges and the prospect of regional cooperation in curbing micro dust phenomenon. *Foreign Policy*, 24(4), 943-958. (in Farsi)
28. Van Donkelaar, A., Martin, R. V., Brauer, M., Kahn, R., Levy, R., Verduzco, C., & Villeneuve, P. J. (2010). Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application. *Environmental health perspectives*, 118(6), 847-855.

The Effect of Different Types of Land Uses on Carbon Sequestration and Soil Erosion in Jazink Region of Sistan

F. Taherkhani¹, E. Rouhi-Moghaddam^{2*}, A. Salehi³

1. Graduated MSc Student in desertification, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Associate Professor, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
3. Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Gilan, Gilan, Iran.

* Corresponding Author: erouhimm@uoz.ac.ir

Received date: 08/05/2022

Accepted date: 18/06/2022



[10.22034/JDMAL.2022.553384.1385](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.553384.1385)

Abstract

The aim of the present study is to investigate the effect of different land uses (forest, rangeland, cane brake and bare land) on carbon sequestration and soil erosion in Jazink region located in Zahak city, Sistan and Baluchestan province. For this purpose, following the field evaluation of various land uses, soil samples were taken from at depths of 0-30 cm and 30-60 cm for each land use. Some soil properties including organic carbon, texture, bulk density, sequestered carbon and soil stability index (MWD) were measured according to standard methods. Data analysis was performed using one-way ANOVA analysis in a completely randomized block design, and the averages were compared by Tukey test at 95% confidence level using SPSS software. The results showed that the amount of bulk density at various soil depths in cane brake land use had the lowest of 0.992 and 0.956 gr/cm³, respectively, and in the bare land had the highest value about 1.59 and 1.61 gr/ cm³, respectively. Carbon sequestration in land use by cane brake was 3234.02 and 2455.32 kg/ha, respectively, and in bare land, it was the lowest around 1967.37 and 987.65 kg/ha. Soil stability in the bare land was the lowest at 0.342 mm and the highest in the canebrake land use at 1.67 mm. Higher amount of carbon and organic matter in the soil and the lower bulk density indicates that the soil is more stable and resistant to erosion. In this region, cane brake and forest land uses have the highest degree of stability and carbon sequestration among land uses. These results can be very useful for decision-making and for choosing suitable management practices and desertification programs in arid areas such as this region.

Keywords: Soil organic carbon stock; Ecosystem stability; Soil gradation; Drylands





تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بر ترسیب کربن و فرسایش خاک در منطقه جزینک سیستان

فرزاد طاهرخانی^۱، عین‌اله روحی‌مقدم^۲، علی صالحی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته بیابان‌زدایی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. دانشیار دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

* نویسنده مسئول: erouhimm@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

doi: [10.22034/JDMAL.2022.553384.1385](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.553384.1385)

چکیده

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف جنگل، مرتع، نی‌زار و بایر بر میزان ترسیب کربن و فرسایش‌پذیری خاک در منطقه جزینک واقع در شهرستان زهک، استان سیستان و بلوچستان است. برای این منظور پس از ارزیابی میدانی انواع کاربری‌ها، نمونه‌هایی از عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتیمتری خاک در هر کاربری برداشت شد. برخی ویژگی‌ها شامل کربن آلی خاک، بافت، جرم مخصوص ظاهری، کربن ترسیب شده و شاخص پایداری خاک‌دانه‌ها (MWD) طبق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق آنالیز یک طرفه ANOVA در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح اعتماد ۹۵٪ با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار جرم مخصوص ظاهری در کاربری نی‌زار در عمق‌های مختلف به ترتیب 0.992 gr/cm^3 و 0.956 gr/cm^3 کمترین، و در بایر به ترتیب 1.059 gr/cm^3 و 1.061 gr/cm^3 بیشترین مقدار بوده است. ترسیب کربن در کاربری نی‌زار به ترتیب در عمق‌های اول و دوم خاک $2455/32 \text{ kg/ha}$ و $3234/02 \text{ kg/ha}$ و بیشترین مقدار به دست آمد. کمترین مقدار آن مربوط به اراضی بایر به ترتیب در عمق‌های اول و دوم خاک $1967/37 \text{ kg/ha}$ و $987/65 \text{ kg/ha}$ می‌باشد. پایداری خاک در بایر 0.342 mm کمترین مقدار و در نی‌زار 1.067 mm بیشترین مقدار را داشت. در پژوهش حاضر مشخص شد که هر چه مقدار کربن و ماده آلی خاک بیشتر و جرم مخصوص کمتر باشد، خاک دارای پایداری و مقاومت بیشتری نسبت به فرسایش است. در این منطقه کاربری‌های نی‌زار و جنگل بیشترین سطح پایداری و ترسیب کربن را در بین کاربری‌ها دارد. این یافته‌ها می‌تواند برای تصمیم‌گیری و به کارگیری شیوه‌های صحیح مدیریتی و برنامه‌های بیابان‌زدایی در مناطق خشک مشابه این منطقه، مفید باشد.

واژگان کلیدی: ذخیره کربن آلی خاک؛ پایداری بوم‌نظام؛ دانه‌بندی خاک؛ مناطق خشک

■ مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به همراه کمبود آب شیرین و بیابان‌زایی به عنوان مهمترین چالش جهانی برای زیست‌کره محسوب می‌شود و برای بقا بشر تهدیدی جدی به شمار می‌رود (۴). این پدیده یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در توسعه پایدار بوده که تأثیر منفی بر زیست‌بوم‌های خشکی و آبی دارد (۲۰). مطالعات نشان می‌دهد که افزایش غلظت گاز CO₂ در اتمسفر سبب افزایش دمای جهانی شده که این افزایش دما پیامدهای فراوانی به دنبال خواهد داشت. گرم شدن و تغییر اقلیم کره زمین ممکن است به طور معنی‌داری موجب تخریب اراضی و کاهش محصولات کشاورزی، کاهش ذخایر آب، به خطر افتادن سلامتی انسان و بوم‌نظام‌های آبی و زمینی، افزایش خشکسالی، افزایش تبخیر و تعرق، تغییر در الگوی بارش، افزایش فرسایش بادی، افزایش شور شدن خاک‌ها و کاهش معدنی شدن کربن شود (۷، ۵۴).

ترسیب کربن که همان ذخیره کربن در دراز مدت در اکوسیستم‌های طبیعی نظیر جنگل، مرتع، خاک و بیوماس اقیانوس‌ها یا به وسیله روش‌ها و وسیله‌های مصنوعی است، از راه حل‌های پیشنهادی مهم جهت کاهش کربن تولید شده در اتمسفر مطرح می‌باشد. به نظر می‌رسد بهبود فرآیند ذخیره کربن در خاک و گیاه اکوسیستم‌های خشکی مطرح‌ترین گزینه باشد که با افزایش قابلیت تولیدی زمین، دی اکسید کربن اتمسفر در مخزن‌های خاک و گیاه را به‌صورت بلند مدت ذخیره خواهد کرد (۳۷).

تغییر کاربری اراضی پویاترین عامل انسانی مؤثر در وقوع یا تشدید بیابان‌زایی و در عین حال قابل کنترل و مدیریت پذیرترین عامل بیابان‌زایی به شمار می‌رود (۱۹). نظارت بر تغییرات محیطی ناشی از تغییرات در کاربری اراضی، یک جزء اصلی برای مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های طبیعی است (۳۸). تغییر کاربری اراضی را پس از سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین منبع انتشار کربن از طریق انسان به اتمسفر می‌دانند. بنابراین با یقین می‌توان از تغییر کاربری اراضی با مدیریت غیر اصولی، به عنوان یکی از دلایل اصلی پدید آمدن اثر گلخانه‌ای و گرم شدن هوای کره زمین طی دهه‌های اخیر نام برد. الگوی کلی تغییر

کاربری به طور وسیع می‌تواند در دو گروه اصلی جای گیرد: گروه اول شامل افزایش اراضی کشاورزی در پی تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و به ویژه جنگل به دلیل رشد جمعیت و افزایش نیاز جهانی غذا، و گروه دوم بهبود بوم‌نظام‌هایی که تحت تأثیر اراضی کشاورزی حاشیه قرار دارند. تغییر در کاربری اراضی اغلب به کاهش سریع در اجزاء بوم‌نظام وابسته است (۱۰)، مانند کاهش در کربن ذخیره شده در بیوماس و خاک. مقدار کربن ذخیره شده در ماده آلی خاک یکی از بزرگترین و مهم‌ترین ذخایر پویای کربن در چرخه جهانی است (۵۱). خاک مخزن اصلی ذخیره طولانی مدت کربن آلی خاک است (۳۰). کاهش در سطوح مواد آلی خاک به علت تغییر کاربری اراضی، کیفیت خاک را کاهش می‌دهد و علاوه بر افزایش فرسایش‌پذیری و ناپایدار شدن توان اکولوژیک بوم‌نظام، منجر به انتشار زیاد گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر می‌شود، که در نتیجه باعث افزایش تغییرات اقلیمی خواهد شد.

تغییر در کاربری اراضی اغلب به تغییر پوشش زمین و ذخیره کربن وابسته است (۵، ۹، ۴۰). میزان ترسیب کربن در مناطق مختلف با توجه به نوع گونه‌های گیاهی، روش احیاء و شرایط محیطی به ویژه مقدار بارندگی متفاوت است. میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریتی، تغییر کاربری اراضی، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (۲۹، ۳۵). فرسایش خاک پدیده‌ای اجتناب ناپذیر است. نوع و شدت فرسایش خاک در یک منطقه تابع عوامل مختلفی از جمله شرایط اقلیمی، توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی می‌باشد. در این میان اهمیت کاربری اراضی به دلیل نقش مؤثر انسان در آن نسبت به دیگر عوامل زیادتر می‌باشد. در صورتی که فعالیت‌های انسانی در بهره‌برداری از منابع خاک بر اساس استعداد و قدرت تولیدی آن باشد، فرسایش از حالت طبیعی خارج نخواهد شد (۱، ۴۲).

سیستان با داشتن آب و هوای خشک، خاک شور و قلیایی و املاح زیاد در اراضی آن متأثر از کاربری‌های مختلف گردیده است. جزینک به عنوان یکی از مناطق جنگلی سیستان با اهداف چند منظوره از جمله احیاء

شمال غربی - جنوب شرقی در نظر گرفته شده است (۵۲). معروف‌ترین باد سیستان، باد ۱۲۰ روزه معروف به لوار می‌باشد که این باد معمولاً از اوایل خرداد ماه شروع و تا پایان شهریور ماه ادامه می‌یابد و همواره با فرسایش بادی و ایجاد گرد و غبار همراه است. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن شهرستان زابل و منطقه جزینک با بارندگی متوسط $59/6 \text{ mm}$ و متوسط سالانه دما معادل 22°C ، دارای شاخص خشکی $1/9$ بوده و جزء مناطق فرا خشک طبقه‌بندی می‌شود. این منطقه به روش گوسن منطقه بیابانی، روش کوپن منطقه خشک بسیار گرم با تابستان خشک محسوب می‌شود. از عمده‌ترین خصوصیات خاکهای منطقه می‌توان به بافت آنها اشاره کرد، بطوری‌که بسیاری از خاکهای منطقه بویژه در افق‌های سطحی خود دارای بافت شنی، شنی - سیلتی می‌باشند که موجبات فرسایش بادی در آنها به سهولت فراهم می‌شود (۶۲).

در این منطقه کاربری‌های جنگل خالص از گونه پده *Populus euphratica* Olivier، مرتع با گیاه غالب کرته *Desmostachya bipinnata* (L.) Stapf، نی‌زار از گونه *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud در مجاورت یکدیگر مشاهده می‌شوند که در اقلیم بیابانی واقع هستند.

روش جمع آوری داده‌ها

در آغاز موقعیت کاربری‌های مورد مطالعه از منابع طبیعی شهرستان زهک به صورت نقشه تهیه گردید و پس از بازدید میدانی موقعیت چهار منطقه جنگلی، مرتعی، نی‌زار و بایر مشخص گردید. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بیشترین تأثیر مواد آلی و کربن در عمق 30 cm - صفر و 30 cm - 60 cm و فرسایش در لایه 30 cm - صفر اتفاق می‌افتد (۳۴) که در پژوهش حاضر نیز نمونه‌برداری‌ها از این دو عمق خاک صورت گرفت. به طوری که در اواخر اردیبهشت ماه در هر کاربری تعداد ۴۰ نمونه خاک در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی از هر دو عمق برداشت شد. نمونه‌های خاک بعد از خشک کردن در هوای آزاد و عبور دادن از الک به مقدار یک کیلوگرم به آزمایشگاه منتقل داده شد. درصد OC به روش والکی و بلک مشخص شد (۵۶). جرم مخصوص ظاهری نیز با استفاده از روش پارافین محاسبه شد (۶). ترسیب کربن از رابطه ۱ به دست آمد (۵۶):

بیولوژیکی برای مهار بیابان‌زایی، ایجاد پارک جنگلی، تقویت پناهگاه حیات وحش، و بادشکن و اهداف حفاظتی و زیست‌محیطی مطرح می‌باشد. این منطقه که در شهرستان زهک واقع شده است، در طی سالیان گذشته با افزایش نیازهای غذایی، مساحت زیادی از اراضی آن بدون توجه به قابلیت آنها، تحت مدیریت‌های متفاوتی قرار گرفته است (۶).

انجام پژوهش حاضر از دو جنبه حائز اهمیت بوده است، یکی مکان مورد بررسی و دیگری نوع مطالعه. بستر مورد مطالعه منطقه‌ای کم‌نظیر در مناطق خشک ایران است که در آن تنوعی از بوم‌نظام‌های طبیعی شامل جنگل، مرتع، بیابان و نی‌زار به جای مانده از تالاب خشکیده، در مجاورت یکدیگر و تحت شرایط اقلیمی و احیاناً زمین‌شناسی یکسان وجود دارد. مطالعات زیادی در سراسر دنیا صورت گرفته است که در آنها ترسیب کربن و میزان ذخیره کربن آلی خاک و همچنین فرسایش‌پذیری و پایداری خاکدانه‌ها به طور جداگانه در کاربری‌های مختلف طبیعی و انسان‌ساخت مورد مقایسه قرار گرفته است. اما شواهد اندکی در مورد بررسی توأم این دو پدیده در کاربری‌های مختلف و بیان ارتباط بین این دو موجود است. پژوهش حاضر سعی دارد با هدف پیدا کردن مناسب‌ترین نوع کاربری طبیعی موجود از نظر افزایش مقدار ترسیب کربن خاک و کاهش فرسایش‌پذیری، بهترین و مؤثرترین نوع کاربری را از نظر پایداری بوم‌نظام‌ها و افزایش توان اکولوژیک آنها معرفی نماید. یافته‌های بدست آمده می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیران به خصوص در زمینه کنترل و مدیریت بیابان سودمند باشد.

■ مواد و روش

ویژگی‌های منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی با مساحت $49/2 \text{ ha}$ در قسمت جنوب و جنوب غربی شهرستان زهک در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد و دارای مختصات جغرافیایی بین $31^\circ 21'$ تا $31^\circ 42'$ و $61^\circ 12'$ طول شرقی و $30^\circ 22'$ تا $31^\circ 21'$ عرض شمالی بوده (شکل ۱) که از مرز بین کشور افغانستان با ایران در جنوب شرقی تا مرز سیاسی بین شهرستان زابل و نهبندان در استان خراسان جنوبی به صورت یک قطاع

$$Cs = 1000 \times OC \% \times Bd \times e \quad (1)$$

که در آن Bd : جرم مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3), Cs : مقدار ترسیب کربن آلی (kg/ha), OC : کربن آلی و e : عمق نمونه برداری (cm) می باشد.

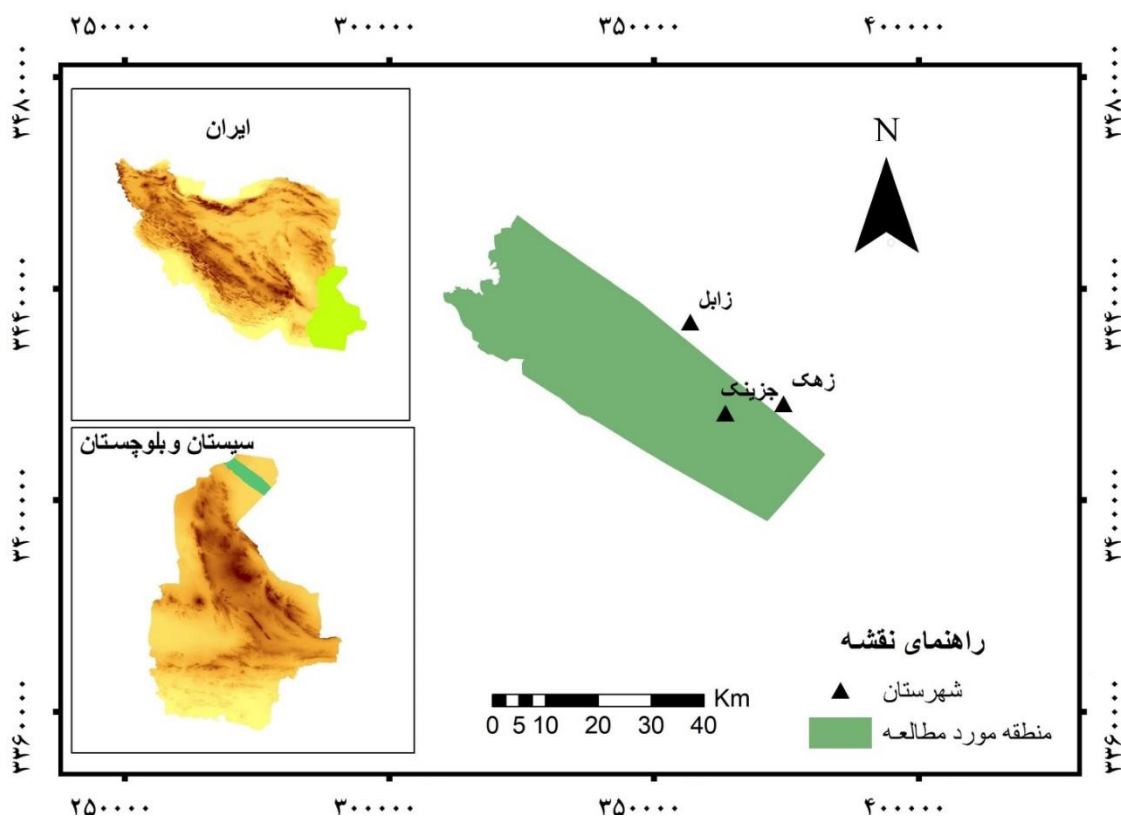
مقدار فرسایش پذیری خاک در چهار کاربری با استفاده از ویژگی های بافت خاک، دانه بندی و پایداری خاکدانه ها با استفاده از شاخص میانگین وزن - قطر بررسی و محاسبه شد. پایداری و ثبات خاکدانه که از مهمترین خواص فیزیکی خاک است، مقدار مقاومت خاک یا حساسیت آن را نسبت به فرسایش آبی و بادی را نشان می دهد (۲۸). برای تعیین میانگین وزن - قطر خاکدانه ها، در ابتدا ۲۵۰ g از خاکدانه ها به صورت دست نخورده توزین شدند. به روش الک خشک و توسط شیکر با سرعت ۲۰ دور در دقیقه از

سری الک های به اندازه های مختلف حرکت داده شد. سپس مقدار ذرات باقی مانده روی هر الک را وزن کرده و دوباره این کار برای هر الک جداگانه تکرار گردید. میانگین وزن - قطر از رابطه ۲ به دست آمد (۲۱).

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X} W_i \quad (2)$$

که در آن

MWD : میانگین وزن - قطر خاکدانه، $\bar{X}$: میانگین قطر خاکدانه های باقی مانده بر روی هر الک
 W_i : نسبت وزن خاکدانه ها در هر الک به وزن کل، n : تعداد الک ها
 سطوح بحرانی پایداری خاک بر اساس میانگین وزن - قطر به این صورت تقسیم بندی می شود.



شکل ۱. نقشه مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. سطوح بحرانی پایداری خاک بر اساس میانگین وزن - قطر (۲۸)

محدودیت	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	ناچیز
MWD(mm)	> ۰/۵	۰/۵ - ۱	۱ - ۲	۲ - ۲/۵	< ۲/۵

که بدون پوشش گیاهی هستند، معمولاً ماده آلی خاک کم است و پایداری طبیعی خاکدانه‌ها به واسطه مستعد بودن‌شان به خسارات ناشی از آب و باد ضعیف می‌باشد (۱۱). زمانی که ذرات خاک فرسایش یافته، خلل و فرج خاک را پر می‌کنند، تخلخل کاهش یافته و جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد. بالا بودن جرم مخصوص خاک کاربری بایر می‌تواند باعث محدودیت‌هایی در رشد ریشه گیاهان و رشد ضعیف آنها گردیده و بر روی راندمان محصولات تأثیر گذاشته و پوشش گیاهی موجود جهت محافظت خاک از فرسایش را کاهش دهد (۳۶). فروپاشی خاکدانه‌ها و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک نشانگر اتلاف فزاینده مواد چسبنده خاک، کاهش فعالیت بیولوژیک خاک، به خصوص کرم‌های خاکی و ریشه گیاهان می‌باشد (۲۲).

جدول تحلیل واریانس تغییرات کربن آلی را در عمق سطحی ۳۰ cm - صفر و ۶۰ cm - ۳۰ کاربری‌های مورد بررسی نشان داد که تغییرات کربن آلی در کاربری‌ها، تفاوت آماری معنی‌داری با استفاده از آزمون توکی در سطح اعتماد ۹۵٪ داشتند، به طوری که بیشترین مقدار آن در کاربری نی‌زار و کمترین آن در کاربری‌های بایر و مرتع برای هر دو عمق خاک بدست آمد (جدول ۲). نتایج به دست آمده با یافته‌های برخی مطالعات دیگر مطابقت دارد (۳۶).

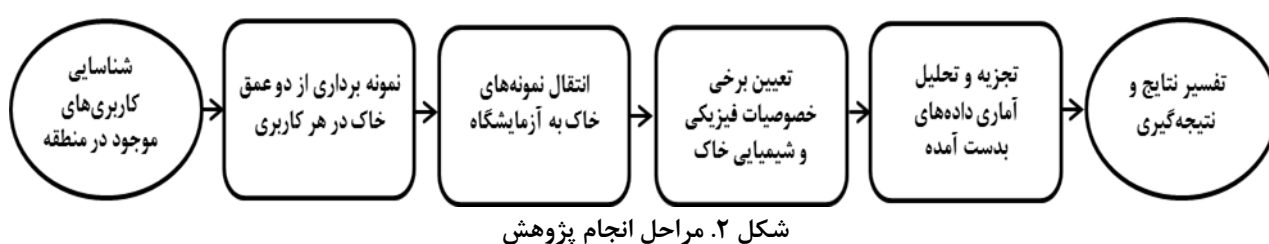
در کاربری‌های مورد مطالعه مقدار کربن آلی با افزایش عمق خاک، کاهش می‌یابد. در تبدیل اراضی نی‌زار و جنگلی به علفی و بایر به درستی ثابت شده است که در این تغییر کاربری‌ها خصوصیات خاک تخریب و به‌ویژه باعث کاهش کربن آلی خاک گردیده و هم‌چنین موجب تغییر در توزیع و پایداری بافت خاک شده است، که در پایان موجب مستعد شدن خاک به فرسایش می‌شود (۱۷، ۴۷). تحقیقات متعددی (۱۲، ۶۰) افزایش قابل توجه ترسیب کربن خاک در اثر جنگل کاری را ثابت کرده‌اند.

پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها، برای آنالیز آماری از نرم‌افزار SPSS 21 استفاده گردید. نرمال بودن داده‌ها با بهره‌گیری از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل واریانس، با استفاده از ANOVA و مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی با احتمال ۹۵٪ استفاده گردید (۴۴). کلیه مراحل انجام پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

■ نتایج و بحث

نتایج نشان داد به لحاظ جرم مخصوص بین کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به طوری که در هر دو عمق خاک کاربری‌های جنگل و نی‌زار جرم مخصوص ظاهری کمتری نسبت به کاربری‌های مرتع و بایر دارند (جدول ۲). نتایج به دست آمده با نتایج تعدادی از محققان (۲۳) مطابقت دارد که مؤید کاهش جرم مخصوص ظاهری به دلیل وجود مواد آلی است. در پژوهش حاضر بیشتر بودن جرم مخصوص ظاهری در بایر با سایر کاربری‌ها با نتایج برخی از مطالعات دیگر مطابقت دارد (۱۵، ۳۶، ۴۹). در عین حال در نتایج برخی مطالعات اظهار شده که میانگین جرم مخصوص خاک در کاربری جنگل‌ها نسبت به کاربری‌های دیگر مثل زمین زراعی مشابه بوده است (۵). تحقیقات نشان داده است که بافت و عمق خاک حساسیت کمی نسبت به تغییر کاربری دارند و در مقابل جرم مخصوص ظاهری شاخص خوبی به منظور برآورد وضعیت فیزیکی خاک است (۲۶).

مشاهده می‌شود جرم مخصوص ظاهری با افزایش عمق افزایش یافته است. معمولاً با کاهش درصد ماده آلی، سبک شدن بافت و تخریب ساختمان، مقدار این ویژگی افزایش می‌یابد. جرم مخصوص ظاهری در اثر عملیات مدیریت اراضی که بر نوع پوشش گیاهی و ماده آلی، ساختمان و تخلخل خاک اثر می‌گذارد، تغییر می‌نماید. در کاربری‌هایی



پوشش گیاهی هم در جذب CO₂ اتمسفری تأثیر دارد و هم با فراهم کردن نهاده‌های کربن به شکل بقایای گیاهی، بر مقدار ذخیره کربن خاک تأثیر می‌گذارد (۱۴). کربن آلی در کاربری نی‌زار و جنگلی در هر دو عمق، بیشتر از کاربری بایر و مرتعی است که با نتایج تحقیقات متعددی (۳۱، ۳۳، ۳۹) مطابقت دارد. مقدار کربن نیز در عمق سطحی بیشتر از عمق زیرین می‌باشد. مقدار کربن با افزایش عمق کاهش می‌یابد این دو رابطه عکس و معنی‌داری با هم دارند (۱۳، ۵۵).

تغییر کاربری اراضی باعث تغییر پوشش گیاهی شده، بر کمیت و کیفیت ماده آلی خاک مؤثر است و تنوع حداکثری گونه‌های گیاهی، ضامن خودپایداری چرخه عناصر می‌باشد. جایگزینی پوشش گیاهی جنگلی و نی‌زار با پوشش علفی و بایر، این خود تنظیمی را افزایش می‌دهد. یک منبع عمده طولانی مدت برای افزایش ترسیب کربن در خاک، ذخیره کربن در مواد آلی است که نقش اصلی را در چرخه کربن ایفا می‌کند (۳۰). همچنین مقدار مواد آلی خاک و به تبع آن مقدار کربن ترسیب شده در خاک، در واحد سطح به عوامل چندی از جمله جرم مخصوص

ظاهری بستگی دارد (۴۶). معمولاً در نی‌زار و جنگل به دلیل وجود لاشبرگ فراوان، بین تجزیه سریع ماده آلی خاک و تجمع سریع لاشبرگ توازن وجود دارد، اما در اراضی بایر این توازن به چشم نمی‌خورد. حساسیت بیشتر اراضی بایر و کشاورزی در برابر فرسایش، عاملی برای کاهش ماده آلی کل خاک به شمار می‌آید، به طوری که بخش عمده ای از کربن آلی از طریق فرآیند فرسایش و به صورت محلول همراه با رواناب از دسترس خارج خواهد شد (۵۳). کاهش مقدار مواد آلی در خاک مرتع نسبت به نی‌زار و جنگل می‌تواند ناشی از پوشش گیاهی ضعیف و برداشت گیاهان توسط دام‌ها و در نتیجه کاهش میزان لاشبرگ اضافه شونده به خاک و در اراضی بایر به دلیل تسریع تجزیه مواد آلی و نیز تشدید فرسایش باشد (۲، ۲۷). در پژوهشی اندک بودن مقدار کربن ذخیره شده در خاک در کاربری مرتع نسبت به کاربری‌های زراعی و باغی در منطقه علا سمنان به دلایلی چون اقلیم خشک، فقر پوشش گیاهی و شرایط خاکی نامناسب نسبت داده شد (۳۴).

جدول ۲. مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری و کربن آلی خاک در کاربری‌های مورد مطالعه در دو عمق مورد مطالعه. خطای استاندارد در داخل پرانتز آمده است.

خصوصیات خاک	کاربری	عمق ۲۰ cm - صفر	عمق ۳۰-۶۰ cm	ANOVA
جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	نی‌زار	۰/۹۹۲ ^b (۰/۱۷)	۰/۹۵۶ ^b (۰/۱۲)	*
	جنگل	۱/۰۴ ^b (۰/۲۱)	۱/۲۰ ^b (۰/۲۴)	*
	مرتع	۱/۴۶ ^a (۰/۲۳)	۱/۴۷ ^a (۰/۲۴)	*
کربن آلی (درصد)	بایر	۱/۵۹ ^a (۰/۲۷)	۱/۶۱ ^a (۰/۳۲)	*
	نی‌زار	۲/۰۳ ^a (۰/۲۷)	۱/۳۳ ^a (۰/۰۸)	*
	جنگل	۱/۶۲ ^b (۰/۱۹)	۱/۰۵ ^b (۰/۰۴)	*
	مرتع	۱/۳۷ ^c (۰/۱۲)	۰/۷۸ ^c (۰/۰۵)	*
	بایر	۱/۲۴ ^c (۰/۱)	۰/۶۸ ^c (۰/۰۳)	*

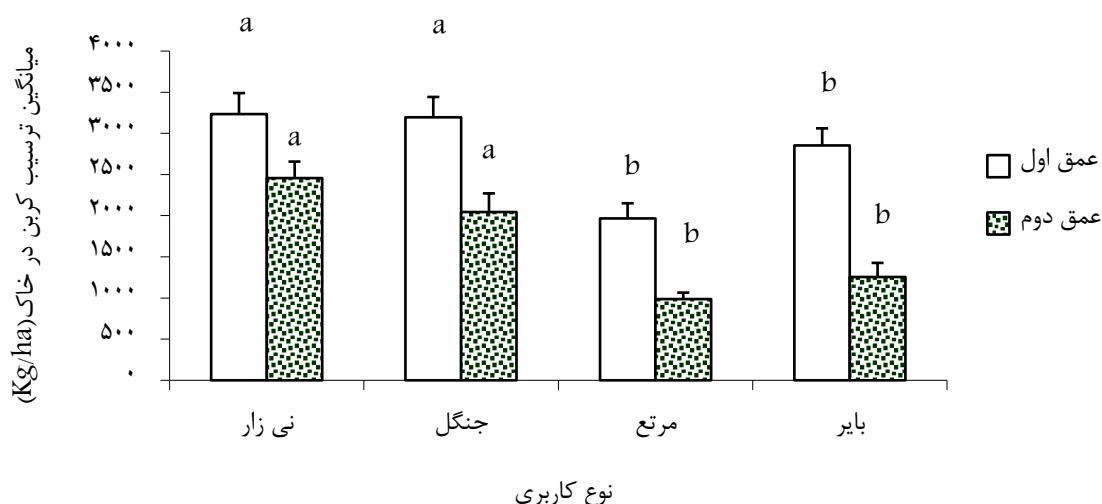
*, **، ۰/۰۵ < p توکی؛ معنی دار بودن میانگین‌ها در کاربری‌های مختلف. حروف لاتین مشابه مبین عدم وجود تفاوت آماری معنی دار در میان تیمارها می‌باشد.

تغییر کم درصد سیلت خاک غالباً با تغییر قابل توجهی در مقدار فرسایش‌پذیری خاک همراه است و خاک‌هایی که دارای ۴۰٪ تا ۶۰٪ سیلت می‌باشند، فرسایش‌پذیرترین نوع خاک‌ها به شمار می‌آیند. پژوهش دیگری نیز نشان می‌دهد که مقدار هدررفت خاک به طور زیاد با مقدار شن خیلی ریز و همچنین مقدار شن خیلی ریز به علاوه سیلت همبستگی دارد (۱۶). همچنین برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بین میزان رس در خاک‌های لوسی و میزان هدر رفت خاک، همبستگی منفی و معنی‌دار وجود دارد. خاکدانه‌های که دارای شن و سیلت کمتری هستند (۶۱)، معمولاً ساختمان نسبتاً ناپایداری دارد و به سهولت در اثر ضربه باران خرد می‌شود (۴۲). در نتایج ویژگی بافت، در این مطالعه مشخص شد تغییر بافت در بین جنگلی و نی‌زار با مرتعی و بایر بیشترین اختلاف را دارند که این امر به دلیل داشتن فاصله منطقه نی‌زار و جنگلی با مرتعی و بایر در منطقه مورد مطالعه و همچنین وجود رطوبت بیشتر این نواحی با مرتعی و بایر که در طول زمان باعث تجمع رس در این نواحی گردیده است.

زیاد بودن میزان رس در کاربری نی‌زار نسبت به جنگلی و نیز اختلاف معنی‌دار آن با کاربری مرتعی و بایر، باعث گردید پایداری بیشتری را در نی‌زار ایجاد نماید، و می‌توان به این نتیجه رسید که سطح بالای درصد کربن و رس در کاربری نی‌زار و جنگلی، سطح پایداری خاکدانه‌ها را در این کاربری افزایش داده است.

تحلیل واریانس تغییر ترسیب کربن در خاک نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین کاربری‌های مورد بررسی وجود دارد، به‌طوری‌که طبق آزمون توکی کاربری‌های نی‌زار و جنگل ترسیب کربن بیشتری در هر دو عمق خاک نسبت به کاربری‌های مرتع و بایر داشته‌اند ($p < 0.05$) (شکل ۳).

در منطقه مورد بررسی مقدار ترسیب کربن با افزایش عمق خاک کاهش داشته است که با پژوهش‌های متعدد دیگر مطابقت دارد (۱۳، ۵۶) و نیز زیاد بودن ترسیب کربن در عمق اول نسبت به عمق دوم، به دلیل وجود لاشبرگ یا مقدار بیشتر مواد آلی در این عمق است. بین مقدار ترسیب کربن در نواحی خشک، نیمه خشک و عمق خاک رابطه غیر مستقیمی وجود دارد (۴۵) و دلیل آن را می‌توان روند تدریجی تجزیه لاشبرگ و تبدیل آن به هوموس که از لایه‌های سطحی خاک آغاز می‌شود، دانست. در پژوهش حاضر، بیشتر بودن ترسیب کربن در نی‌زار نسبت به سایر کاربری‌ها با برخی مطالعات (۴۹) مطابقت دارد و همچنین بیشتر بودن ترسیب کربن در کاربری جنگلی نسبت به مرتعی و بایر با برخی یافته‌ها (۴۰، ۵۵، ۶۰) همخوانی دارد. بافت خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد. خاک‌های با بافت ریز دارای چسبندگی زیادتر و جدا شدن آنها مشکل است، اما رسوبات آنها به راحتی انتقال می‌یابد، در مقابل خاک‌های درشت بافت سریع‌تر و راحت‌تر جدا می‌شوند، اما رسوبات درشت در انتقال مشکل داشته و رسوبات کمتری نسبت به خاک‌های ریز بافت ایجاد می‌کنند (۴۲). برخی بررسی‌ها (۵۹) نشان داده‌است که



شکل ۳. مقایسه میانگین تغییرات ترسیب کربن (kg/ha) در عمق ۰-۳۰ cm - ۳۰-۶۰ cm سانتی‌متر در کاربری‌های مورد مطالعه

زراعی، خاکدانه‌های درشت را شکسته و ماده آلی خاک را در معرض اتلاف قرار می‌دهد (۳). پراکندگی خاکدانه‌ها منجر به سله در سطح خاک گشته و این امر موجب کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب می‌شود (۲۴)، که در پایان موجب بیشتر شدن قابلیت فرسایش خاک می‌شود. با افزایش درصد خاکدانه‌های پایدار فرسایش‌پذیری خاک کاهش می‌یابد و در عوض مقاومت خاک نسبت به فرسایش افزایش پیدا می‌کند (۴۳).

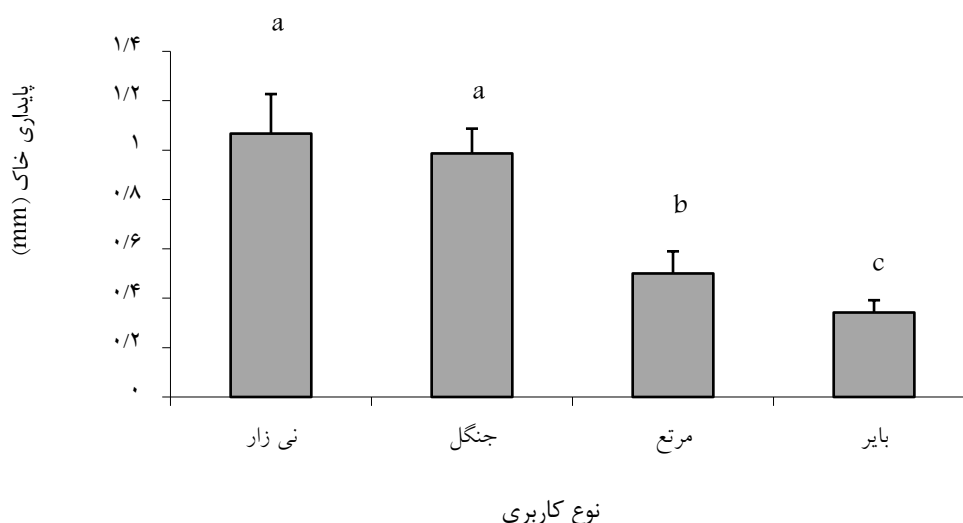
مقایسه شدت فرسایش‌پذیری در چهار کاربری در این منطقه نشان داد که کاربری‌های نی‌زار و جنگل دارای سطح فرسایش متوسط می‌باشند (جدول ۳)، اما شدت فرسایش در کاربری‌های بایر و مرتعی نسبت به دو کاربری نی‌زار و جنگل زیاد شده است که در این دو کاربری هم با توجه به مقدار میانگین وزن-قطر مشاهده می‌شود که میزان فرسایش در کاربری بایر از شدت بیشتری نسبت به مرتعی برخوردار است که لزوم اجرای برنامه‌های مدیریتی را می‌طلبد. در واقع تبدیل اراضی بایر به مرتعی به سرعت موجب افزایش قدرت نگهداری آب، کاهش میزان رسوب مواد غذایی که توسط فرایند آبشویی و فرسایش حمل می‌شوند، خواهد شد (۵۸). در برخی بررسی‌های دیگر نیز گزارش شده است که مناطق با بیشترین خطر فرسایش در کاربری‌های اراضی مرتعی و زراعت دیم نسبت به سایر کاربری‌ها نظیر زراعت آبی و باغات قرار گرفته‌اند (۱).

نتایج این مطالعه نیز با برخی از یافته‌های دیگر پژوهش‌ها (۵۶، ۶۱) مبنی بر تأثیر مثبت کربن آلی و رس خاک بر پایداری خاکدانه‌ها منطبق می‌باشد به طوری که در نهایت می‌توان گفت تیمار نی‌زار دارای بافت سیلتی رسی و تیمار جنگلی دارای بافت رسی و تیمار مرتعی دارای شنی لومی و تیمار بایر دارای بافت شنی است.

بررسی ANOVA نشان داد بین کاربری‌های متفاوت از نظر پارامتر میانگین وزن-قطر خاکدانه‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود دارد (شکل ۴).

کاربری بایر کمترین و کاربری نی‌زار و جنگل بیشترین میانگین تغییرات را به خود اختصاص داده است (شکل ۴). فرسایش خاک به میزان زیادی تحت تأثیر پایداری ساختمان و پایداری خاکدانه است (۲۵). گزارش شده است که هر چه شاخص میانگین وزن-قطر خاک بالاتر باشد، قابلیت نفوذپذیری بیشتر و قابلیت فرسایش کمتر است (۵۰). کاهش پایداری خاکدانه‌ها بیانگر کاربری ناپایدار اراضی است. فقیر بودن خاک از ماده آلی را از دلایل عدم پایداری خاکدانه‌ها دانسته‌اند (۳۲).

اگر مقادیر مربوط به شاخص پایداری خاکدانه‌ها در هر کاربری را در جدول سطوح بحرانی پایداری خاک (جدول ۱) که توسط لال در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است (۲۱) قرار دهیم، شدت فرسایش‌پذیری در هر کاربری مشخص می‌شود و می‌توان در مدیریت و برنامه‌ریزی و استفاده مناسب از اراضی در منطقه از آن استفاده کرد. عملیات



شکل ۴. مقایسه میانگین تغییرات میانگین وزن-قطر در کاربری‌های مورد مطالعه در عمق ۳۰ cm - صفر

جدول ۳. سطوح بحرانی پایداری خاکدانه‌ها در کاربری‌های مورد مطالعه

نوع کاربری	MWD (mm)	سطوح بحرانی پایداری خاک
نی‌زار	۱۰۰۶۷	متوسط
جنگل	۰/۹۸۷	متوسط
مرتع	۰/۵۰	شدید
بایر	۰/۳۴۲	شدید

(۱۸). خاک‌ها موقعی بیشتر مستعد به فرسایش می‌شوند که خاکدانه‌های درشت تخریب شوند. با مطالعه طیف وسیعی از خاک‌ها، مشخص گردید که پایداری خاکدانه‌ها در بافت‌های متفاوت به ترتیب در انواع رسی، لوم رسی، لوم و لوم شنی کاهش می‌یابد (۴۷).

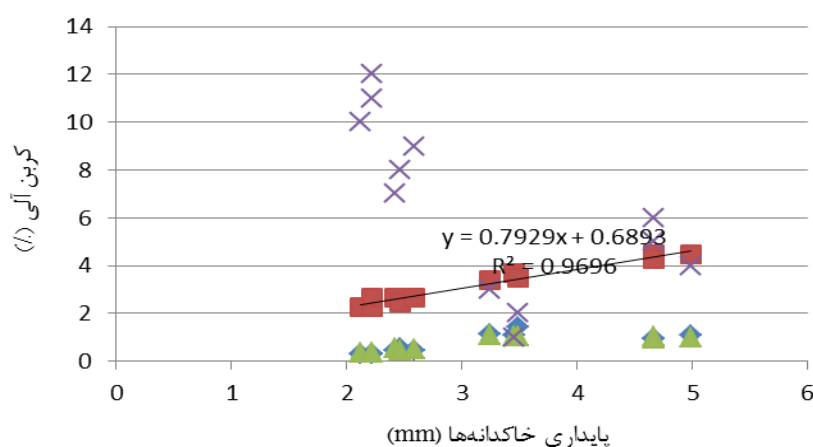
ترسیب کربن، تجزیه مواد آلی و هدر رفت کربن آلی توسط فرسایش را کاهش می‌دهد (۴۸). رابطه بین دو پارامتر کربن آلی (معرف ترسیب کربن) و پایداری خاکدانه (معرف فرسایش‌پذیری) با استفاده از رگرسیون چندمتغیره مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴ و شکل ۵).

معادله خطی به‌دست آمده نشان می‌دهد که دو ویژگی مذکور با ضریب همبستگی ۰/۹۶٪ رابطه مستقیمی با هم دارند، به طوری که به ازای افزایش هر ۱ واحد پایداری خاکدانه، مقدار کربن آلی ۰/۱۰۳ واحد افزایش می‌یابد.

مواد آلی خاک هم در تشکیل و هم در پایداری خاکدانه‌ها تأثیر مثبت دارند، به طوری که با افزایش ماده آلی خاک، پایداری مرطوب خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش درصد خاکدانه‌های پایدار فرسایش‌پذیری خاک کاهش می‌یابد (۲۴). همچنین پایداری خاکدانه‌ها با افزایش مقدار رس خاک افزایش می‌یابد. رس به عنوان عامل مهمی در پیوند دادن ذرات اولیه خاک به همدیگر و تشکیل خاکدانه‌ها عمل می‌کند (۴۱). پوشش گیاهی توأم با پوشش درختی خاک را مقاوم‌تر و مواد مغذی و آلی خاک را بیشتر از حالت تک کاشتی افزایش می‌دهد (۱۱). بسیاری از پژوهش‌ها نقش مثبت مواد آلی را در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها نشان دادند (۳۲). علاوه بر عوامل فوق، عوامل مدیریتی و الگوی کاربری زمین بر پایداری خاکدانه‌ها مؤثر می‌باشند. همچنین تغییر کاربری زمین بر میزان کربن آلی و پایداری خاکدانه‌های خاک تأثیرگذار است

جدول ۴. رگرسیون چند متغیره به روش گام به گام کربن آلی خاک با پایداری خاکدانه‌ها در کاربری‌های مورد مطالعه

معادله	ضریب تبیین (R^2)
$Y = 0.7929X + 0.6893$	۰/۹۶
معنی‌داری در سطح ۵٪: Y: کربن آلی X: پایداری خاکدانه‌ها	



شکل ۵. رابطه بین کربن آلی و پایداری خاکدانه

■ نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مقدار ترسیب کربن، مواد آلی و کربن آلی به ترتیب در کاربری‌های نی‌زار و جنگل دارای بیشترین مقدار و در کاربری مرتع و بایر، کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند و مقدار ویژگی‌های مورد بررسی در هر کاربری با افزایش عمق، کاهش یافت. نی‌زار به دلیل مرطوب بودن خاک و پوشش گیاهی متراکم و انتقال مواد از طریق ریزش برگ‌ها به صورت لاشبرگ باعث غنی شدن خاک سطحی از مواد آلی و کربن می‌شود. در منطقه جنگلی به دلیل وجود درختان پده و پوشش‌های بوته‌ای، حجم لاشبرگ در سطح خاک افزایش یافته و مقدار کربن در سیستم گیاه‌خاک افزایش می‌یابد. علت کمتر بودن میزان ترسیب کربن در منطقه جنگلی نسبت به نی‌زار، این است که درختان جنگلی در منطقه مذکور از تراکم قابل توجهی برخوردار نبوده و بالا بودن آب زیر زمینی با املاح زیاد ممکن است از محدودیت‌های این منطقه جنگلی به شمار رود. وجود شرایط چرای در منطقه مرتعی باعث شده سطح خاک لخت به دلیل کاهش ورودی‌های کربن و مواد آلی افزایش یابد. تنزل شدید ترسیب کربن و ویژگی‌های مربوطه در کاربری بایر در اثر برهم‌خوردن خاک سطحی و تسریع تجزیه مواد آلی و به دنبال آن شدت یافتن فرسایش و هدر رفت مواد آلی بوده است. کاهش جرم مخصوص ظاهری در کاربری‌های مذکور احتمالاً به دلیل افزایش مواد آلی است که با افزایش میزان مواد آلی، و به دنبال آن افزایش پایداری خاکدانه‌ها، خلل و فرج خاک در واحد سطح کاهش یافته و جرم مخصوص نیز کاهش می‌یابد. بنابراین نی‌زار با بیشترین مواد آلی، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری کمتر و بایر با کمترین میزان مواد آلی، بیشترین جرم مخصوص را به خود اختصاص دادند. بیشتر بودن میزان پایداری خاکدانه‌ها در نی‌زار، به احتمال مربوط

به کم بودن مواد آلی و کربن آن است و از طرف دیگر پوشش گیاهی متراکم و رطوبت بالا خاک را مقاوم‌تر و مواد مغذی و مواد آلی خاک را بیشتر از حالت جنگلی افزایش می‌دهد، به طوری که با افزایش ماده آلی، پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. کاربری بایر به علت برهم خوردن خاکدانه‌های آن به علت عدم پوشش گیاهی، سرعت تجزیه مواد آلی بیشتر و هدر رفت آن، از شدت فرسایش بیشتری برخوردار بوده است. سطح بالای درصد کربن و رس در کاربری نی‌زار، سطح پایداری خاکدانه‌ها را در این کاربری افزایش داده است. نتایج رگرسیون نشان داد که بین میزان ترسیب کربن و شدت فرسایش‌پذیری خاک رابطه منفی وجود دارد.

امید است نتایج این پژوهش به‌تواند با آگاهی از عوامل مؤثر بر کاهش حاصلخیزی، پیشرفت فرسایش و تخریب خاک در نواحی خشک اطلاعات لازم را برای برنامه‌ریزی، اقدامات پیش‌گیرانه و یا برنامه بیابان‌زدایی در قالب طرح‌های اجرایی در منطقه برای اتخاذ شیوه‌های صحیح مدیریتی و تغییر کاربری فراهم نماید. در واقع یافته‌های پژوهش حاضر بار دیگر اهمیت وجود تعامل میان بوم‌شناسان، سیاستمداران، مدیران اجرایی و جوامع محلی را در تدوین و اجرای سند آمایش سرزمین در راستای نیل به توسعه پایدار نشان می‌دهد. پیگیری حقایق هیرمند برای احیای تالاب هامون و نی‌زارها که زیستگاه آبزیان و محل تأمین غذای گاوهای سیستانی در گذشته‌ای نه چندان دور بوده است و نیز حفظ، احیاء و توسعه جنگل‌ها با گونه‌های بومی از جمله پده که سالیان سال با ویژگی‌های اداپتیکی و اقلیمی منطقه خو گرفته‌اند، گام مهمی در جهت تعدیل و تلطیف طبیعت خشن، اصلاح و پایداری این زیست‌بوم آسیب‌پذیر و شکننده و در نهایت توسعه اقتصادی-اجتماعی سیستان محسوب می‌شود.

■ References

1. Abiyat, M., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2021). Investigation of land-use changes and their impacts on soil erosion in Baghmalek basin using artificial neural network and RUSLE model. *Environmental Studies*, 47(1), 89-110. (in Farsi)
2. Ahmadi Iikhchi, A., Hajabbassi, M. A., & Jalalian, A. (2003). Effects of converting range to dry-farming land on runoff and soil loss and quality in Dorahan, Chaharmahal & Bakhtiari province. *Water and Soil Science*, 6(4), 103-115. (in Farsi)

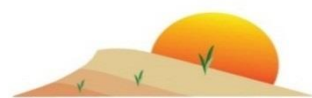
3. Ajami, M., Khormali, F., & Ayoubi, Sh. A. (2006). *The effect of land use change and different geomorphic positions on different soil quality parameters, micromorphology and clay mineralogy in loess lands east of Golestan province, Aqsoo watershed*. Master Thesis. University of Agricultural and Natural Resources Sciences, Faculty of Soil, Gorgan. (in Farsi)
4. Amiraslani, F. (2003). Carbon sequestration in desert lands. *Forest and Range*, 62, 71-76. (in Farsi)
5. Anindita, S., Sleutel, S., Vandenberghe, D., Grave, J. D., Vandenhende, V., & Finke, P. (2022). Land use impacts on weathering, soil properties, and carbon storage in wet Andosols, Indonesia. *Geoderma*, 423(10), 963-977.
6. Asgari, A. (2012). *The effect of different land uses on carbon sequestration and some soil erodibility indices in the Incheh Boron Region*. Master Thesis. University of Zabol, Faculty of Natural Resources, Zabol. (in Farsi)
7. Batjes, N. H. (2006). Soil carbon stocks of Jordan and projected changes upon improved management of croplands. *Geoderma*, 132(3-4), 361-371.
8. Black, C. A. (1986). *Methods of soil analysis*. Part 1. ASA. Madison, WI. 9, 545 – 566.
9. Bolin, B., & Sukumar, R. (2000). Global perspective. In: Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., & Dokken, D.J. (Eds), *Land use change, and forestry*. Cambridge University Press, Cambridge, UK PP, 23 – 51.
10. Brannstrom, C., Jepson, W., Filippi, A.M., Redo, D., Xu, Z., & Ganesh, S. (2008). Land change in the Brazilian Savann (Cerrado), 1986 – 2002: comparative analysis and implications for Land use policy. *Land Use Policy*, 25(4), 579 – 595.
11. Celik, I. (2005). Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of turkey. *Soil and Tillage Research*, 83(2), 270-277.
12. Cheng, C. M., Wang, R. S., & Jiang, J. S. (2007). Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. *Environmental Sciences*, 19(3), 348 – 352.
13. Chibsa, T., & Taa, A. (2009). Assessment of soil organic matter under four land use system: forestland, grassland, fallow land and cultivated land. *World Applied Sciences*, 6(9), 1231 – 1246.
14. De – Neergaard, A., Porter, J. R., & Gorissen, A. (2002). Distribution of assimilated carbon in plants and rhizosphere soil of basket willow (*Salix viminalis* L.). *Plant soil*, 245(2), 307 – 314.
15. Domzal, H., Horara, J., Slowinska-Jarkiewicz, A., & Turski, R. (1993). The effect of agricultural use on the structure and physical properties of three soil types. *Soil & Tillage Research*, 27(4), 365-382.
16. Duiker, S.W., Flangman, D. C., & Lal, R. (2001). Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of South-West Spain. *Catena*, 45(2), 103-121.
17. Elliott, E. T. (1986). Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 50(3), 627 – 633.
18. Elmholt, S., Schjonning, P., Munkholm, L. J., & Debusz, K. (2008). Soil management effects on aggregate stability and biological binding. *Geoderma*, 144(3), 455 – 467.
19. Fitzsimmons, M. J., Pennock, D. J., & Thorpe, J. (2004). Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management*, 188(3), 349- 361
20. Forouzandeh, M., Heshmati, G.A., Ghanbarian, G., & Mesbah, S.H. (2008). Comparing carbon sequestration potential of three shrub species *Heliantemum lippii*, *Dendrostellera lessertii* and *Artemisia sieberi* (case study: Gareh Bygone, Fasa). *Environmental Studies*, 34(2), 65-72. (in Farsi)
21. Haj Abbasi, M.A. (2008). *Methods and guidelines for Assessing sustainable use of soil water resources in the Treopics*. Ferdowsi University of Mashhad Publications. 103 pp. (in Farsi)
22. Jaiyeoba, I. A. (2003). Changes in soil properties due to continuous cultivation in a Nigerian semiarid savannah. *Soil and Tillage Research*, 70(1), 91 – 98.

23. Jordahl, J. L., & Karlen, D.L. (1993). Comparison of alternative farming system. III. Soil aggregate stability. *American Journal of Alternative Agriculture*, 8(1), 27 – 33.
24. Karami, P., Heshmati, G., Soltani A., & Golchin, A. (2010). Effects of different managements (grazing, exclosure, harvesting) on production and plant composition of rangeland ecosystems in the western part of Iran (Case Study: Saral of Kurdistan). *Rangeland*, 4(2), 250-261. (in Farsi)
25. Kay, B. D. 2000. Soil Structure, in: Sumner, E. M. (Ed), *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton London. New York, Washington, D. C., PP, 229-264.
26. Kiani, F., Jalalian, A., Pashaei, A., & Khademi H. (2007). Effect Of deforestation, grazing exclusion and rangeland degradation on soil quality indices in loess-derived landforms of Golestan Province. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 41(2), 453-463. (in Farsi)
27. Klik, A. (2008). Institute for hydraulic and landeskulturelle wasserwirtschaft, University for Bodenkulture, Vienna (Australia). *Soil Conservation and soil prptection*, PP, 321 – 815.
28. Ketcheson, J. (1980). Long-range effects of intensive cultivation and monoculture on the quality of southern Ontario soils. *Canadian journal of soil Science*, 60(3), 403-410.
29. Kumar, R., Pandey, Sh., & Pandey, A. (2006). Plant roots and carbon sequestration. *General Science*, 91(7), 885-890.
30. Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1), 1 – 22.
31. Lemenih, M., & Itanna, F. (2003). Soil carbon stock and turnovers in various vegetation types and arable lands along an elevation gradient in southern Ethiopia. *Geoderma*, 123(1-2), 177-188.
32. Marques, M.J., Garcia-Munoz, S., Munoz- Organero, G., & Bienes, R. (2010). Soil conservation beneath grass cover in hillside vineyards under Mediterranean climatic conditions (Madrid, Spain). *Land Degradation and Development*, 21(2), 122-131.
33. Martinez- Mena, M., Lopez, J., Almagro, M., Boix- Fayos, V., & Albaladejo, J. (2008). Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain. *Soil and Tillage Research*, 99(1), 119 – 129.
34. Moradi, A., Sadeghipour, A., Nikoo, Sh., & Parvizi, Y. (2021). Effects of land use and soil characteristics on changes in soil Organic carbon (Case Study: Ala area, Semnan). *Desert Management*, 16(2), 125-136. (in Farsi)
35. NASEM. (2019). *negative emissions technologies and reliable sequestration: a research agenda national academy of science, engineering and medicine*. Washington, DC: The National Academies Press.
36. Niknahad Gharmakher, H., & Maramaei, M. (2011). Effects Of land use changes on soil properties (case study: The Kechik Catchment). *Soil Management and Sustainable Production*, 1(2), 81-95. (in Farsi)
37. Olsson, L., & Ardo, J. (2002). Soil carbon sequestration in degraded semiarid agro – ecosystems - prils and potential. *Ambio*, 31(6), 471 – 477.
38. Petrosians, H., Nazari Samani, A. A., Daneh Kar, A., & Mashhadi, N. (2021). Predicting land use and land cover changes on sand dunes expansion using CA-Markov model (Case Study: Southeastern coastal desert of Iran). *Desert Management*, 9(1), 51-66. (in Farsi)
39. Puget, P., & Lal, R. (2005). Soil organic carbon and nitrogen in a mollisol in Central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil and Tillage Research*, 80(2), 201– 213.
40. Qin, Z., Dunn, J.B., Kwon, H., Muller, S., &Wander, M. M. (2016). Soil carbon sequestration and land use change associated with biofuel production: empirical evidence. *GCB Bioenergy*, 8(1), 66-80.
41. Rasiah, V., & Kay, B. D. (1994). Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3), 935 – 942.
42. Refahi, H.Gh. (2017). *Water erosion and its control*. University of Tehran Press, 672 pp.

43. Rouhipour, H., Farzaneh, H., & Asadi H. (2019). The Effect Of aggregate stability indices on soil erodibility factors using rainfall simulator. *Range and Desert Research*, 11(3), 235-254. (in Farsi)
44. Scheffe, H. (1959). *The analysis of variance*. Wiley, New York.
45. Schuman, G. E., Ingram, L. J., Stahl, R., D. & Vance, G. F. (2005). Dynamics of long – term carbon sequestration on rangelanda in the western USA in: XX International Grassland Congres, eds. OMara, F.P., Wilkins, R.J., t Mannetje, L., Lovett, D.K., Rogers, P.A.M., & Boland, T.M. 590. Biodiversity - global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
46. Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., & Meena, R.L. (2003). Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. *Indian Forester*, 129(7), 859- 864.
47. Six, J., Elliott, E. T., & Paustian, K. (2000). Soil structure and soil organic matter: II. A Normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America*, 64(3), 1042-1049.
48. Smith, P, (2004). Soils as carbon sinks, the global context. *Soil Use and Management*, 20 (2), 212 – 218.
49. Spohn, M., & Giani, L. (2011). Impacts of land use change on soil aggregation and aggregate stabilizing compounds as dependent on time. *Soil Biology & Biochemistry*, 43(5), 1081-1088.
50. Stavi, I., Ungar, E.D., Laveec, H., & Sarah, P. (2011). Soil aggregate fraction 1–5 mm: An indicator for soil quality in rangelands. *Arid Environments*, 75(11), 1050 – 1055.
51. Surya Prabha, A. C., Senthivelu, M., & Paramasivam, A. (2019). Carbon sequestration potential in different land uses: A review. *Environmental Research and Development*, 15(9), 727-736.
52. Tavakoli, M. (2015). Analysis the tourism situation of sample villages in the direction of sustainable development (Case study of Jazink village in Sistan region. *Proceeding of International Conference on Geography and Sustainable Development*, 74-75. (in Farsi)
53. Tejada, M., & Gonzalez, J. L. (2008). Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*, 145(3-4), 325 – 334.
54. Thomas R.J., (2008). Opportunities to reduce the vulnerability of dryland farmers in central and west Asia and north Africa to climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126(1), 36–45.
55. Toru, T., & Kibret, K. (2019). Carbon stock under major land use/land cover types of Hades sub-watershed, eastern Ethiopia. *Carbon Balance and Management*, 14(7), 1-14.
56. Varamesh S., Hosseini S.M., Abdi, N.A., & Akbarinia, M. (2010). Increment Of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Forest*, 2 (1), 25-35. (in Farsi)
57. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-370.
58. Whalen, J.K. Walter, D, Dormar, W., & Dormar, J. F. (2003) Soil carbon, nitrogen and phosphorus in modified rangeland communities. *Range Management*, 56(6), 665-672.
59. Wischmeier, W.H., & Mannering, J.V. (1965). Effect of organic matter content of the soil infiltration. *Soil and Water Conservation*, 20(4), 150-152.
60. Xun, L., Feng - Min, L., D - Qian, L., & Guo-Jun, S. (2010). Soil organic carbon, carbon fractions and nutrients as affected by land use in semi-arid region of loess plateau of China. *Pedosphere*, 20(2), 146-152.
61. Zhang, k., Li, S., Peng, W., & Yu, B. (2004). Erodibility of agricultural soils on the Loess Plateau of China. *Soil & Tillage Research*, 76(2), 157-165.
62. Zolfaghari, F., Shahriari. A., Fakhireh, A., Rashki, A., Noori, S., & Khosravi, H. (2011). Assessment of desertification potential using IMDPA model in Sistan plain. *Watershed Management Research*, 91(3), 97 – 107. (in Farsi)

Desert Management

Vol. 10, No. 2, Summer 2022



Iranian Scientific Association of Desert
Management and Control

Contents

- **Sensitivity Areas Assessment of Desertification Using ESAs Model and Prioritizing Management Strategies (Case study: Kavir-e-Namak Basin, Khorasan Razavi Province)** 1
Talebanfard A. A., M. Akbari and M. Azami Rad
- **Spatial Simulation of Land Degradation in The Qazvin Plain Using A Frequency Ratio Model** 21
Abolhasani A., Gh. R. Zehtabian, H. Khosravi, O. Rahmati, E. Heydari Alamdarloo and P. D'odorico
- **Development of A Wind Erosion Sensitivity Model Using Multi-Criteria Assessment Method (Case Study: Hamoun Wildlife Refuge)** 39
Rahdari V., S. Maleki and M. Mir
- **Numerical Simulation of Kermanshah Severe Dust Storm (Case Study: Dust Storm on November 26 - 28, 2018)** 55
Alizadeh T., A.H. Nikfal, M. Rezaei Banafsheh and R. Sharifi
- **Temporal and Spatial Variations of Dust Days in Western Azarbaijan Province, Determination of The Influencing Factors and Source of Events** 71
Choubin B., F. Sajedi Hosseini, O. Rahmati, M. Mehdizadeh Youshanloei and M. Jalali
- **The Effect of Different Types of Land Uses on Carbon Sequestration and Soil Erosion in Jazinak Region of Sistan** 87
Taherkhani F., E. Rouhi-Moghaddam and A. Salehi

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. 2

2022

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

Editorial Board:

H. Azarnivand, Professor, Tehran University

N. Baghestani Meybodi, Associate Professor, Agriculture and Natural Resources Research Center of Yazd

M.T. Dastorani, Professor, Ferdowsi University of Mashhad

M.R. Ekhtesasi, Professor, Yazd University

S. Feyz Nia, Professor, University of Tehran

S.J. Khajeddin, Emeritus Professor, Isfahan University of Technology

H. Khosravi, Associate Professor, University of Tehran

H. Malekinejad, Associate Professor, Yazd University

M. Mohseni Saravi, Professor, University of Tehran

A. Pahlavanravi, Associate Professor, Zabol University

A.H. Saffarzadeh, Associate Professor, Kyushu University, Japan

S. Soltani, Professor, Isfahan University of Technology

A. Talebi, Professor, Yazd University

Editors: *Persian:* A.A. Nazari Samani, Associate Professor, University of Tehran

English: M. Zare, Associate Professor, Yazd University

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



ISSN 2476-3721

Quarterly:

Volume 10 - No 2- Summer 2022

22

Contents

- **Sensitivity Areas Assessment of Desertification Using ESAs Model and Prioritizing Management Strategies (Case study: Kavir-e-Namak Basin, Khorasan Razavi Province)** 1
Talebanfard A. A., M. Akbari and M. Azami Rad
- **Spatial Simulation of Land Degradation in The Qazvin Plain Using A Frequency Ratio Model** 21
Abolhasani A., Gh. R. Zehtabian, H. Khosravi, O. Rahmati, E. Heydari Alamdarloo and P. D'odorico
- **Development of A Wind Erosion Sensitivity Model Using Multi-Criteria Assessment Method (Case Study: Hamoun Wildlife Refuge)** 39
Rahdari V., S. Maleki and M. Mir
- **Numerical Simulation of Kermanshah Severe Dust Storm (Case Study: Dust Storm on November 26 - 28, 2018)** 55
Alizadeh T., A.H. Nikfal, M. Rezaei Banafsheh and R. Sharifi
- **Temporal and Spatial Variations of Dust Days in Western Azarbaijan Province, Determination of The Influencing Factors and Source of Events** 71
Choubin B., F. Sajedi Hosseini, O. Rahmati, M. Mehdizadeh Youshanloei and M. Jalali
- **The Effect of Different Types of Land Uses on Carbon Sequestration and Soil Erosion in Jazinak Region of Sistan** 87
Taherkhani F., E. Rouhi-Moghaddam and A. Salehi