



فهرست مطالب

- ۱-۱۸ ■ بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای در شهرستان سبزوار
مریم نعیمی، سمیرا زندی‌فر، محمد خسروشاهی، پروانه عشوری، حمیدرضا عباسی
- ۱۹-۳۰ ■ تأثیر رسوبگذاری سیلاب بر تغییرات ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک سطحی دشت آبدلان
اسفندیار جهانتاب، محسن فرزین، مجید خزایی
- ۳۱-۴۶ ■ بررسی تغییرات اقلیمی استان یزد در آینده دور و نزدیک به کمک مدل چندگانه خطی SDSM
الهام رفیعی ساردوتی، علی آذره، جواد رفیع شریف‌آباد، میثم جعفری گنده
- ۴۷-۶۲ ■ ردیابی و شبیه‌سازی عددی طوفان گردوغبار در شهر کرمانشاه
طوبی علیزاده، مجید رضایی‌بنفشه، غلامرضا گودرزی، سیدهدایت شیخ‌قادر
- ۶۳-۷۸ ■ تأثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبخوان در بخش شرقی دشت گرگان
نادر جندقی، مجتبی قره‌محمودلو، ابوذر نصیری
- ۷۹-۱۰۲ ■ مدل‌سازی تأثیر تغییر کاربری و پوشش اراضی بر شدت بیابان‌زایی دشت مختاران به کمک مدل سلول‌های خودکار مارکوف
زهره رفیعی مجومرد، محمد رحیمی، شیما نیکو، هادی معماریان، حسن کابلی
- ۱۰۳-۱۲۰ ■ بررسی کارایی مدل NAR در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی در مناطق خشک
زهره ارجمندی هرات، محمد امین اسدی زارچ

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 ۱۴۰۰

شماره ۲

دوره ۹

- 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: علی اکبر 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: ۷۴۱-۸۹۱۹۵
تلفن و فکس: ۰۳۵-۳۸۲۱۰۶۹۸
پست الکترونیک: jdm.isadmc@yahoo.com

□ تیراژ: ۱۰۰ نسخه

داوران مقالات این شماره:

دکتر محمدرضا اختصاصی، دکتر علی آذره، دکتر فاطمه برزگری، دکتر مهدی تازه، دکتر رضا جعفری، دکتر جواد چزگی، دکتر بهرام چوبین، دکتر اسماعیل حیدری علمدارلو، دکتر علیرضا راشکی، دکتر صدیقه زارع کیا، دکتر علی طالبی، دکتر حمیدرضا غفاریان مالمیری، دکتر حمید غلامی، دکتر حسن فتحی‌زاد، دکتر خلیل قربانی، دکتر عباس مبری.



فهرست مطالب

- ۱-۱۸ ■ بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای در شهرستان سبزوار
مریم نعیمی، سمیرا زندی‌فر، محمد خسروشاهی، پروانه عشوری، حمیدرضا عباسی
- ۱۹-۳۰ ■ تأثیر رسوبگذاری سیلاب بر تغییرات ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک سطحی دشت آبدالان
اسفندیار جهانتاب، محسن فرزین، مجید خزایی
- ۳۱-۴۶ ■ بررسی تغییرات اقلیمی استان یزد در آینده دور و نزدیک به کمک مدل چندگانه خطی SDSM
الهام رفیعی ساردوئی، علی آذره، جواد رفیع شریف‌آباد، میثم جعفری گدنه
- ۴۷-۶۲ ■ ردیابی و شبیه‌سازی عددی طوفان گردوغبار در شهر کرمانشاه
طوبی علیزاده، مجید رضایی‌بنفشه، غلامرضا گودرزی، سیدهدایت شیخ‌قادری
- ۶۳-۷۸ ■ تأثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبخوان در بخش شرقی دشت گرگان
نادر جندقی، مجتبی قره‌محمودلو، ابوذر نصیری
- ۷۹-۱۰۲ ■ مدل‌سازی تأثیر تغییر کاربری و پوشش اراضی بر شدت بیابان‌زایی دشت مختاران به کمک مدل سلول‌های خودکار مارکوف
زهره رفیعی مجومرد، محمد رحیمی، شیما نیکو، هادی معماریان، حسن کابلی
- ۱۰۳-۱۲۰ ■ بررسی کارایی مدل NAR در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی در مناطق خشک
زهره ارجمندی هرات، محمد امین اسدی زارچ

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 تلفن‌های 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 کلی‌گویی 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:

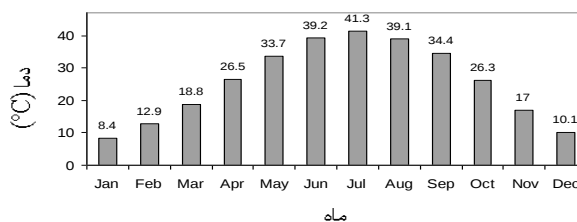
مقاله روی صفحه A4 با حاشیه‌های بالا و پایین ۲۰ میلیمتر و راست و چپ ۲۰ میلیمتر با قلم نازنین بولد (B Nazanin) فونت ۱۱، در قالب نرم افزار Word 2003 تایپ گردد. فاصله بین خطوط به صورت یک فاصله‌ای (Single space) انتخاب گردد. تعداد صفحه‌های مقاله با در نظر گرفتن جدول‌ها، شکل‌ها، نتایج، فهرست منابع نباید از 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 با فرمت Word 2003
 - (۲) یک صفحه شامل عنوان فارسی و انگلیسی مقاله به همراه اسامی، سمت و آدرس نویسندگان و نویسنده مسئول
 - (۳) 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.

Investigating the Effects of Climate Change on the Mobility of Sand Dunes (Case study: Sabzevar City)

M. Naeimi^{1*}, S. Zandifar¹, M. Khosroshahi¹, P. Ashouri², H. R. Abbasi¹

1. Faculty member of Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran.
2. Faculty member of Range Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran.

* Corresponding Author: naeimi@rifr-ac.ir

Received date: 07/10/2020

Accepted date: 31/12/2020

 [10.22034/JDMAL.2021.246296](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246296)

Abstract

Sand dunes are one of the most dynamic geomorphic features of the earth's surface. Accordingly, identifying the factors affecting the mobility of sands and predicting their future status is essential to control dust. The study area was selected due to the location of Sabzevar city in the busiest railway line of the country, and the condition of sand dunes around this city. For this purpose, after calculating the percentage of erosive winds and drought index, the Lancaster index based on the average annual rainfall ratio and annual potential evapotranspiration for the period of 1990-2016 was calculated for analysis of sand dunes' mobility status. To predict the effect of climate change on the mobility of sand dunes, a sensitivity analysis test was carried out. The results show that the values of the Lancaster index in this station did not show the inactive status in this span time period. The results of the analysis of the relationship between drought index and mobility of sand dunes show a significant effect of drought on the mobility and activity of sand dunes. Finally, the results of sensitivity analysis showed that if the frequency of erosive winds and evapotranspiration potential increases by 30%, the activity of sand dunes in the Sabzevar station will increase by 38%. Also, due to the potential of solid particles in creating dust, the location of sand dunes, and the study of local dust at Sabzevar station, the priority is to stabilize the hills located in the east of the study area.

Keywords: Lancaster index; Climatic factors; Sensitivity Analysis; Wind erosion





بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای در شهرستان سبزوار

مریم نعیمی^{۱*}، سمیرا زندی‌فر^۱، محمد خسروشاهی^۱، پروانه عشوری^۲، حمیدرضا عباسی^۱

۱. عضو هیأت علمی بخش بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲. عضو هیأت علمی بخش مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: naeimi@rifra-ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱

doi [10.22034/JDMAL.2021.246296](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246296)

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای از پویاترین عارضه‌های ژئومورفیک سطح زمین به شمار می‌روند. براین اساس، شناسایی عوامل مؤثر بر تحرک پذیری و پیش‌بینی وضعیت آن‌ها در آینده، به‌منظور کنترل فرسایش بادی ضروری است. با توجه به قرارگیری شهرستان سبزوار در مسیر پرتددترین خط‌آهن کشور و وجود تپه‌های ماسه‌ای در اطراف این شهرستان، این محدوده برای پژوهش حاضر انتخاب شد. بدین منظور، پس از محاسبه درصد فراوانی بادهای فرسایش‌زا و شاخص خشکی، با بهره‌گیری از شاخص لنکستر برپایه نسبت میانگین بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه، وضعیت تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ تحلیل شد. در ادامه، به‌منظور پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای از آزمون تحلیل حساسیت استفاده شد. مقادیر شاخص لنکستر در این ایستگاه وضعیت غیرفعال را در دوره آماری مورد بررسی نشان نداده است. بررسی ارتباط میان شاخص خشکی و تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای نشان گر تأثیر معنی دار خشکی بر میزان تحرک و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای است. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که در صورت افزایش فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر تعرق پتانسیل به مقدار ۳۰٪، فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ایستگاه سبزوار ۳۸٪ افزایش خواهد یافت. همچنین، با توجه به ظرفیت ذرات جامد در ایجاد گردوغبار، مکان قرارگیری تپه‌های ماسه‌ای و بررسی گل‌غبارهای محلی در ایستگاه سبزوار، اولویت تثبیت با تپه‌های واقع در شرق منطقه مطالعاتی است.

واژگان کلیدی: شاخص لنکستر، عوامل اقلیمی، تحلیل حساسیت، فرسایش بادی

■ مقدمه

تپه‌های ماسه‌ای نهشته‌ای از ماسه‌های متفاوت، به لحاظ شکل و اندازه، هستند که توسط باد ساخته می‌شوند (۴۲). آغاز فعالیت مجدد تپه‌های ماسه‌ای تثبیت‌شده یا نیمه‌تثبیت‌شده یکی از فرآیندهای اصلی بیابان‌زایی است که به تغییرات اقلیم حساس است (۵۳). جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در طول زمان بر اثر ویژگی‌های سرعت، جهت و فراوانی باد و ویژگی‌های سطح زمین و مواد رسوب (۲، ۱۹ و ۲۶) است.

جابجایی این عارضه‌های ژئومورفیک خطرات بسیاری برای اکوسیستم‌های شکننده مناطق خشک و بیابانی و همچنین سکونتگاه‌ها، تأسیسات و به تبع آن اقتصاد و جوامع مقیم این مناطق به همراه دارند (۳۳). هر ساله بر اثر تحرک تپه‌های ماسه‌ای در اقلیم خشک و نیمه‌خشک میلیون‌ها تن گردوغبار در هوا پراکنده می‌شود (۳۷ و ۵۰). براین‌اساس، ذرات تپه‌های ماسه‌ای بخشی از دانه‌بندی ذره‌ای گردوغبار را تشکیل می‌دهد. مطالعات نشان می‌دهد که پس از یک توفان ذرات، بسته به اندازه قطرشان در هوا معلق و ماندگار می‌مانند (۴۳). این در حالی است که بسته به هدف مطالعات، که ممکن است تثبیت خاک یا بررسی اثرات آن بر سلامت باشد، دانه‌بندی ذرات با استفاده از تونل باد (۳۵) یا نمونه‌بردارها (۴۳) مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت.

فراوانی رخداد‌های گردوغبار در بیشتر مناطق ایران (۲۰ و ۳۲)، به ویژه در جنوب‌شرقی استان سمنان، شمال‌غرب استان یزد و شمال‌شرق اصفهان (۴۰)، نواحی جنوبی و جنوب‌شرقی ایران (۸) و همچنین در شهرهای اهواز و کرمانشاه (۳۹) در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی داشته است. روند صعودی پدیده گردوغبار موجب شده تا پیامدهای آن بر محیط‌زیست (۱۲)، سلامت (۴۰) و تأسیسات زیربنایی همچون ریل‌های راه‌آهن (۲۱) گزارش شود. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که حرکت ماسه‌های روان بیش از ۷۵ عارضه نامطلوب در صنعت راه‌آهن ایجاد می‌کند؛ از جمله آن‌ها می‌توان بخش‌های نگهداری خطوط، مسدودشدن خطوط، کاهش سرعت سیر

و خسارت سردشدن لوکوموتیوها را برشمرد (۲۱). از دیگر خسارات ناشی از توفان‌های ماسه‌ای بر خطوط آهن می‌توان به طولانی‌شدن سیر قطار، خارج‌شدن احتمالی قطار از خط، آلوده‌شدن فضای داخل واگن‌ها، عدم آرامش مسافران، عدم جذب مسافر و کالا، به‌خطرافتادن سلامت مسافران و مأمورین، هزینه ماسه‌روبی، افزایش مانور به‌لحاظ شکستگی در آلات ناقله و واگن‌ها، کاهش سرعت سیر قطارها، بازشدن باربندی و کج‌شدن و از گاباریت خارج‌شدن بارها اشاره کرد (۲۱).

در این میان، شرایط هواشناسی از مهم‌ترین فاکتورها برای تعدیل توفان‌های گردوغبار است (۴۷ و ۵۱). بنابراین لازم است اثر اقلیم در فعالیت تپه‌های ماسه‌ای پایش شود و به‌منظور پیش‌بینی احتمال تحرک تپه‌های ماسه‌ای و تشدید گردوغبار در دهه‌های آینده مطالعات لازم صورت گیرد (۹).

تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای اخیراً با استفاده از مطالعات میدانی (۱ و ۴۸)، شاخص‌های گوناگون شامل لنکستر (۳۰)، توسوآر (۴۵) و توسعه‌یافته توسط یژاک (۵۲) و آزمایش‌های تونل بادی (۲۵) بررسی شده است. بررسی شاخص لنکستر و آنالیز داده‌های GCM¹ در منطقه کالاهاری در جنوب آفریقا، نشان داد که به احتمال زیاد، تپه‌های موجود در این منطقه در پایان قرن حاضر دوباره فعال خواهند شد (۴۱). بررسی تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای بند ریگ بلند کاشان با استفاده از شاخص لنکستر نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق، تپه‌های ماسه‌ای از نوع فعال‌اند و تنها بخش کوچکی در شمال و بخشی در جنوب آن، دارای تپه‌های ماسه‌ای بسیار فعال است (۵ و ۴۴). نتایج تحقیقات بر روی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای واقع در صحرای تیکله مکان، در شمال چین^۲، با استفاده از شاخص لنکستر، نشان می‌دهد که فعالیت این تپه‌ها در طول دوره ۱۹۶۰ زیاد بوده، ولی از اواسط ۱۹۸۰ تا اواخر ۱۹۹۰ کاهش یافته است (۴۹). بررسی تغییرات زمانی - مکانی تپه‌های ساحلی ماسه‌ای در منطقه غرب کنارک در جنوب استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد که این

شناخته می‌شود (۵۳). براین اساس، هدف پژوهش حاضر تحلیل شرایط فعلی و پیش‌بینی تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای با بررسی تغییرات اقلیمی در غرب استان خراسان رضوی است. ضرورت پیش‌بینی تحرک تپه‌های ماسه‌ای در این استان به دلیل قرارگیری پرتددترین جاده دسترسی منتهی به مشهد و اهمیت سلامت افراد در افزایش کیفیت هواست. براین اساس، درک نحوه تغییر و تحول آن‌ها در آینده نقش حیاتی در درک محیط و تغییرات محیطی این مناطق دارد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر شامل تپه‌های ماسه‌ای نزدیک به خط ریل آهن سبزوار-مشهد، واقع در غرب استان خراسان رضوی است (شکل ۱). ایستگاه‌های راه آهن سبزوار و نیشابور در امتداد تپه‌های ماسه‌ای با نام‌های خارتوران و عشق‌آباد قرار گرفته است. بررسی نتایج شمارش تعداد روزهای گردوغبار در دو ایستگاه سینوپتیک نیشابور و سبزوار نشان داد که به ترتیب تعداد ۱۷۶ و ۴۷۲ روز در کل دوره آماری ۲۷ ساله ثبت شده است. نظر به تعداد بیشتر روزهای همراه با رخداد گردوغبار در ایستگاه سبزوار، در ادامه بررسی عوامل اقلیمی مؤثر و پیش‌بینی شرایط در آینده صورت خواهد گرفت. گفتنی است فاصله ایستگاه سینوپتیک سبزوار تا تپه‌های ماسه‌ای خارتوران و عشق‌آباد به ترتیب ۴۷ km و ۷۰ km است. این در حالی است که ایستگاه سینوپتیک سبزوار در فاصله ۴۰ km از ریل آهن سبزوار-مشهد قرار گرفته است. ارتفاع، بارش و دمای میانگین روزانه (ایستگاه سبزوار) به ترتیب ۹۷۲ mm، ۱۷۴ و ۱۸/۲۹°C است و براساس روش اقلیمی دومارتن در منطقه خشک و بیابانی قرار می‌گیرد.

تپه‌های ماسه‌ای خارتوران با وسعت ۷۴۹۳۹ ha در جنوب غربی سبزوار در مختصات جغرافیایی ۵۹° ۵۶' طول شرقی و ۵۳° ۳۵' عرض شمالی واقع شده است. تپه‌های ماسه‌ای نیشابور-عشق‌آباد با وسعت ۱۴۴۰۴ ha در جنوب غربی نیشابور و جنوب شرقی سبزوار در مختصات جغرافیایی ۴۳° ۵۸' طول شرقی و ۵۸° ۳۵' عرض شمالی

تپه‌ها در طول سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۱ تغییرات و جابجایی معادل ۱۷/۲٪ داشته‌اند (۲۸).

محققین با مطالعه روند طوفان‌های گردوغبار فلات تبت به این نتیجه رسیدند که طوفان‌های گردوغبار از دهه ۱۹۷۰ روند کاهشی داشته و کاهش سرعت بادهای سطح زمین، عامل مهمی در کاهش وقوع گردوغبار در منطقه بوده است (۲۷). بررسی علل روند تغییرات طوفان‌های گردوغبار ایران در دوره زمانی ۱۳۸۴-۱۳۶۴ در ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی نشان می‌دهد که تعداد روزهای کل غبارناکی به ترتیب با تبخیر و تعرق، دما و بارش همبستگی دارد، ولی با ژئومورفولوژی و ارتفاع همبستگی ندارند (۳۴). بررسی آماری متغیرهای هواشناسی بر تحرک و ثبات تپه‌های ماسه‌ای ساحلی در شرق ایالت آیداهو آمریکا نشان داد که ۲۴٪ از مهاجرت تپه‌های شنی به دما، بارندگی و سرعت باد ارتباط دارد (۲۳). با مطالعه اثر رطوبت نسبی بر غلظت گردوغبار اتمسفری در نواحی نیمه خشک نتیجه گرفته شد که غلظت گردوغبار با افزایش رطوبت نسبی حداکثر تا ۲۵٪ افزایش و سپس کاهش می‌یابد (۱۵). مطالعات پیشین نشان می‌دهند که تغییر شرایط اقلیمی در عناصر بارندگی و سرعت باد منجر به تغییرات معنی‌داری در شاخص توفان گردوغبار در مناطق خشک ایران مرکزی شده است (۱).

در این میان، استان خراسان رضوی دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است که در برخی سال‌ها بیش از ۷۰ رخداد گردوغبار در آن ثبت می‌شود. بررسی روند تغییرات نزدیک به سه دهه شاخص‌های اقلیمی در شهرستان‌های غرب استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که با مساعد شدن شرایط اقلیمی برای افزایش گردوغبار، روند تغییرات DSI و روزهای با دید افقی کمتر از ۲۰۰ m در طول دوره مطالعاتی افزایشی بوده است (۳۶). تعداد زیاد گردوغبار در این منطقه نشان از برداشت زیاد در سطح استان دارد (۱۱) و اهمیت پژوهش در این زمینه را نشان می‌دهد. از دیدگاه مهندسی محیط زیست هر نوع تغییر ناشی از دخالت انسان بر شاخص‌های اقلیمی در سطح جهانی، منطقه‌ای و محلی، مانند افزایش دما یا کاهش بارندگی در بازه زمانی مشخص که منجر به تغییرات محیط زیستی، از جمله گسترش بیابان‌ها و افزایش گردوغبار، شود به عنوان تغییر اقلیم

دانه‌بندی با سه تکرار در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع انجام شد.

واقع شده است. خصوصیات کلی این مجموعه شامل انواع تپه‌های ماسه‌ای است.

روش پژوهش

داده‌های پژوهش

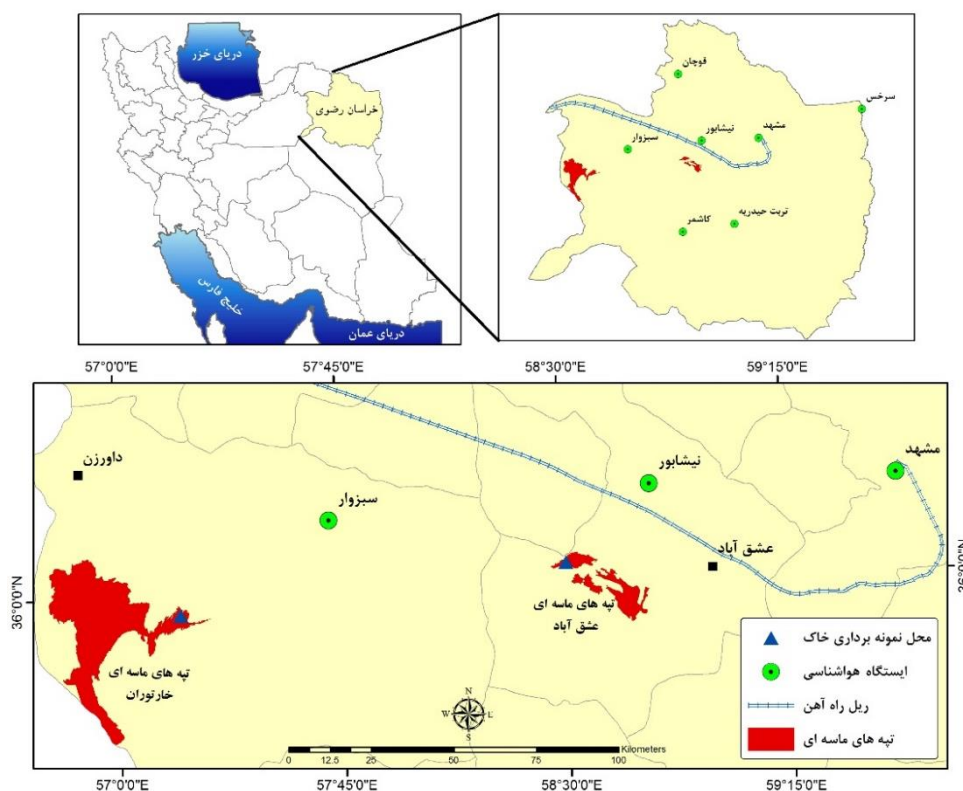
در پژوهش حاضر از داده‌های هواشناسی موجود مربوط به ایستگاه سینوپتیک سبزوار در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. این داده‌ها شامل مقادیر متوسط ماهیانه بارندگی، دما، سرعت بادهای سطحی، حداکثر سرعت باد، رطوبت نسبی و داده‌های ساعتی مربوط به میدان دید افقی و کد مربوط به پدیده‌های مختلف گردوغبارند.

فرض پژوهش حاضر اثرات تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای تحت تأثیر تغییر اقلیم در افزایش رخداد‌های گردوغبار بوده که براین اساس دانه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای منطقه مطالعاتی به‌منظور تعیین پتانسیل ایجاد گردوغبار مورد مطالعه در ابتدا بررسی شد. براین اساس، نمونه‌های خاک (شکل ۱) از تپه‌های ماسه‌ای برداشت شده و آزمایش

تحلیل شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی

به‌منظور درک تأثیر تغییر اقلیم بر ایجاد و تشدید پدیده گردوغبار به بررسی ارتباط میان تغییر شاخص‌های اقلیمی مورد مطالعه پرداخته شد (شکل ۲). براین اساس، در مرحله نخست براساس کدهای هواشناسی ثبت شده برای رخداد‌های گردوغبار داخلی شامل ۷ تا ۹ و ۳۰ تا ۳۵ (۴۷)، روزهای توأم با گردوغبار از سایر پدیده‌های هواشناسی تفکیک و مقدار متوسط این متغیر در مقیاس‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه محاسبه شد.

در مرحله دوم، ارتباط تعداد روزهای غبارآلود در ایستگاه سبزوار با شاخص‌های اقلیمی شامل دمای متوسط، دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی، رطوبت نسبی، تبخیر و تعرق پتانسیل، متوسط سرعت باد، فراوانی بادهای فرساینده در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در کل دوره آماری و همچنین به دلیل اهمیت بیشتر در دهه آخر معادل سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تپه‌های ماسه‌ای اطراف شهرستان سبزوار

در نهایت، با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل رژیم بادی گلباد، سمت سرعت، فراوانی بادهای بیش از 0.5 m/s در جهات مختلف نشان داده شد. علاوه بر این، جهت وزش بادهای غالب منطقه نیز ارائه شد. تعیین جهت بادهای غبارآلود محلی، با استفاده از داده‌های ساعتی مربوط به سرعت و جهت باد در ساعات غبارآلود محلی صورت گرفت. درحالی‌که برای تعیین جهت بادهای فرامحلی از داده‌های مربوط به کد 0.6 استفاده شد که بیانگر گردوغبارهای نشأت گرفته از خارج ایستگاه است. پس از آماده‌سازی داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار WRPLOT نقشه گل‌غبارهای منطقه مطالعاتی تهیه شد (۳۸).

بررسی تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای و ارتباط آن با شاخص خشکی^۱

به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر تحرک‌پذیری ماسه‌ها از روش لنکستر (۳۰) استفاده شد. اساس این شاخص دو فاکتور: (۱) درجه بادخیزی و (۲) رشد پوشش گیاهی بودند که به صورت نسبت بین متوسط بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه بیان شد که به آن بارندگی مؤثر اطلاق شد.

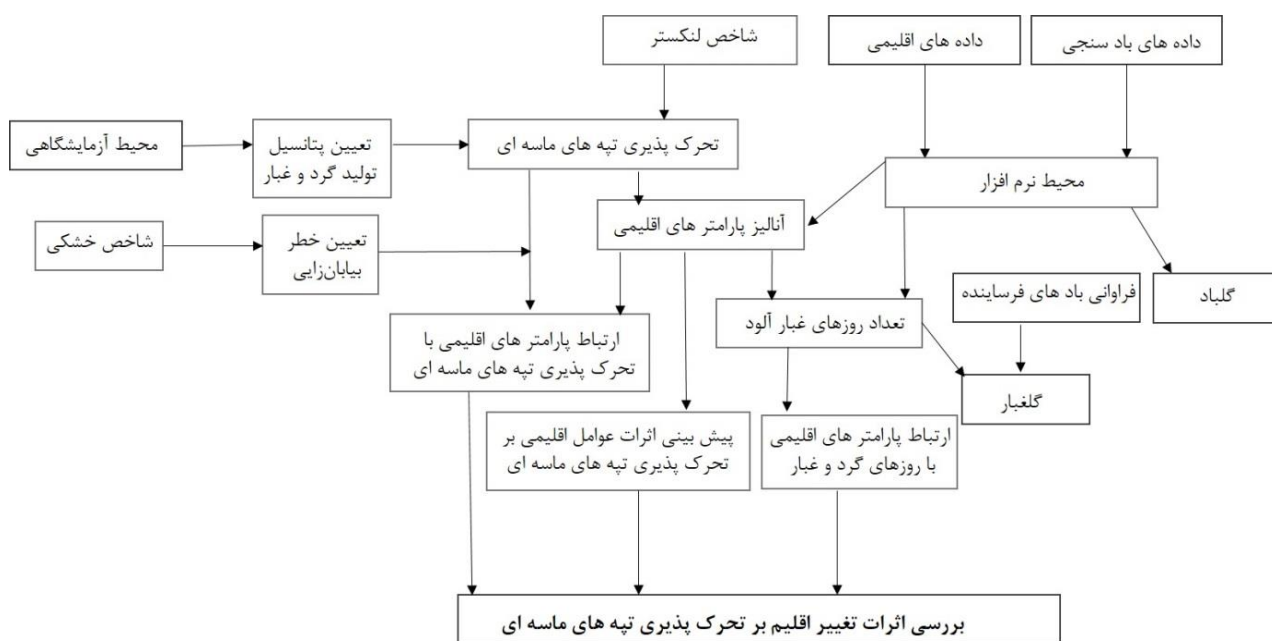
در ادامه، به منظور بررسی فراوانی بادهای فرساینده، با در نظر گرفتن سرعت آستانه فرسایش بادی ارائه شده برای تپه‌های ماسه‌ای معادل 6 m/s ، که بادهای فرساینده نامیده شده است، تعداد بادهای با سرعت کمتر از 6 m/s ، ۷ تا ۱۱، ۱۱ تا ۱۵، ۱۵ تا ۲۰، بیشتر از 20 m/s و همچنین تعداد کل بادهای با سرعت بیشتر از 6 m/s با توجه به رابطه ۱ محاسبه شد.

$$FWS_i = f_i / n \times 100 \quad (1)$$

در رابطه مذکور، FWS_i درصد فراوانی بادهای f_i فراوانی بادهای در طبقه مورد نظر و n نیز تعداد کل بادهای را نشان می‌دهد. در ادامه، درصد فراوانی طبقات گوناگون سرعت باد برای آن مقیاس زمانی ماهیانه و سالیانه طبق رابطه ۲ محاسبه شد.

$$FW = FWS_i / n \quad (2)$$

در رابطه ۲، FW درصد فراوانی طبقات گوناگون سرعت باد، FWS_i درصد فراوانی بادهای برای هر طبقه و n تعداد کل بادهای در مقیاس زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲. روندنمای مراحل انجام پژوهش

در این مدل، میزان تحرک ماسه از رابطه ۳ تعیین شد.

$$M = W / (P/PET) \quad (3)$$

در این رابطه: M ، شاخص میزان تحرک پذیری رسوبات بادی، W ، درصد فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از سرعت آستانه فرسایش معادل 6 m/s ، در ارتفاع 10 m از سطح زمین، P ، میانگین بارندگی سالیانه برحسب mm ، PET ، تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه برحسب mm با استفاده از روش تورنت وایت محاسبه شد. شاخص M با روش لنکستر (رابطه ۲) محاسبه می‌شود (۱۸). در این روش با توجه به مقادیر محاسبه شده در رابطه ۳، شاخص حرکت تپه‌های ماسه‌ای M محاسبه و میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای تعیین می‌شود (جدول ۱).

در ادامه، از شاخص خشکی یونپ^۲ کنوانسیون سازمان ملل متحد (۱۵) برای تعیین نوع اقلیم حاکم بر منطقه مطالعاتی و خطر بیابان‌زایی، با استفاده از رابطه ۳ استفاده شد.

$$Alu = P / PET \quad (4)$$

جدول ۱. مقادیر شاخص حرکت ماسه‌ای لنکستر

میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای	مقدار عددی شاخص
غیرفعال	$M < 50$
فعال فقط در نوک تپه	$50 < M < 100$
فعال	$100 < M < 200$
کاملاً فعال	$200 < M$

جدول ۲. طبقه‌بندی اقلیمی براساس شاخص خشکی یونپ (۷)

نوع اقلیم	شاخص خشکی	خطر بیابان‌زایی
فراخشک	< 0.05	بیابان واقعی
خشک	$0.05 - 0.2$	بسیار شدید
نیمه‌خشک	$0.2 - 0.5$	شدید
خشک نیمه‌مرطوب	$0.5 - 0.65$	متوسط
نیمه‌مرطوب	$0.65 - 0.75$	کم
مرطوب و بسیار مرطوب	> 0.75	ندارد

در این رابطه: Alu ، شاخص خشکی، P ، بارندگی و PET ، تبخیر و تعرق پتانسیل است. شاخص خشکی به‌عنوان روشی مؤثر برای تعیین وضعیت اقلیمی و خطر بیابان‌زایی کاربرد دارد. با توجه به اینکه تغییرات آب و هوایی بر تحرک‌پذیری ماسه‌ها تأثیرگذار بوده و این عوامل در روند بیابان‌زایی یک منطقه منعکس می‌شوند، لذا در این بخش به بررسی رابطه شاخص خشکی و پتانسیل تحرک‌پذیری ماسه‌ها پرداخته شد. همچنین خطر بیابان‌زایی منطقه طبق طبقه‌بندی شاخص خشکی که در (جدول ۲) ارائه شده، در بازه‌های زمانی مورد نظر بررسی شد.

درنهایت، به‌منظور بررسی ارتباط بین عناصر اقلیمی با تعداد روزهای غبارآلود و همچنین شاخص لنکستر از روش‌های آماری استفاده شد. روش‌های تعیین روند به دو دسته تقسیم می‌شوند: روش پارامتری و ناپارامتری. در این پژوهش از روش‌های پارامتری پیرسون استفاده شد. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که بیشترین میزان به‌معنای همبستگی مثبت کامل، صفر به‌معنی نبود همبستگی، و کم‌ترین میزان به‌معنی همبستگی منفی کامل است.

و رخدادهای با منشأ فرامحلی از فراوانی ۷ برابر کمتر نسبت به وقایع محلی برخوردارند (شکل ۳). با توجه به شکل، بیشترین روزهای گردوغبار محلی و فرامحلی به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۳ گزارش شده است. به منظور درک بهتر ارتباط داده‌های گردوغبار با مقادیر متوسط عوامل اقلیمی، نتایج تحلیل ضریب همبستگی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب در کل دوره آماری و بازه زمانی دوم تفسیر شد (جدول‌های ۲ و ۳). نتایج تحلیل ضریب همبستگی داده‌های گردوغبار ماهانه، فصلی و سالانه در ایستگاه سبزواری نشان داد (جدول ۲) که تعداد روزهای غبارآلود در این ایستگاه طی کل دوره آماری رابطه معنی‌دار با تغییر پارامترهای اقلیمی دارد.

در مقیاس ماهانه، در بیش از نیمی از سال، بهمن تا مهر به استثنای تیر و شهریور، دو پارامتر سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده بیشترین تأثیر مستقیم بر وقایع گردوغبار را، در این زمان از سال، طی دوره آماری مورد بررسی نشان دادند. بررسی جزئی‌تر در مقیاس ماهانه در بازه زمانی دوم معادل ۲۰۱۶-۲۰۰۷ نشان داد که در ماه‌های اردیبهشت تا مرداد، دو پارامتر سرعت باد و بادهای فرساینده، از عوامل مؤثر در ایجاد وقایع گردوغبارند (جدول ۳). همچنین بررسی داده‌های فصلی طی کل دوره آماری نشان داد که وقوع گردوغبار در فصل زمستان و بهار ارتباط معناداری با پارامترهای سرعت باد، فراوانی بادهای فرساینده، رطوبت نسبی، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق دارد (جدول ۳).

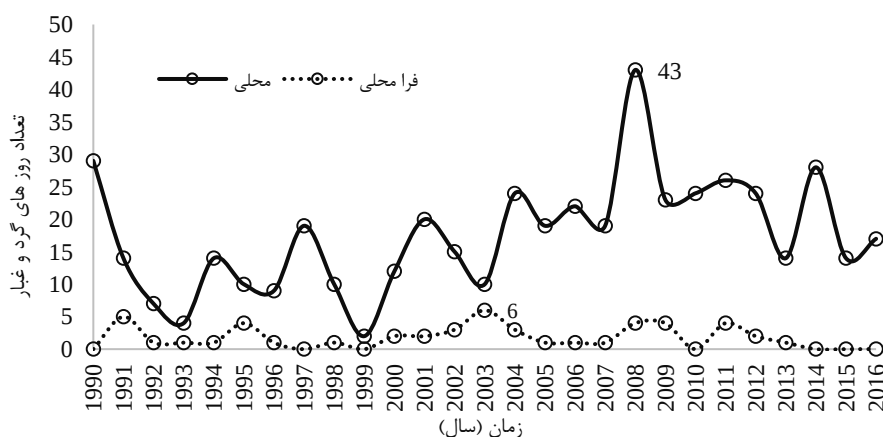
پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای

با توجه به اثر عناصر اقلیمی در فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و به منظور پیش‌بینی احتمال تحرک تپه‌های ماسه‌ای و تشدید گردوغبار در آینده، مطالعات اثر احتمالی تغییر عناصر اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌ها به عنوان راهکار مدیریتی ارائه شد. بدین منظور، پس از محاسبه میزان فعالیت رسوبات بادی (رابطه ۱)، با استفاده از روش تحلیل حساسیت^۱، مقدار تأثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی مدل تعیین شد. در این روش متغیرهای بارندگی، تبخیر و تعرق و فراوانی بادهای فرساینده در دامنه ۳۰+ و ۳۰- درصد تغییر داده شد و تأثیر تغییرها بر مقدار شاخص حرکت ماسه محاسبه شد. براین اساس تأثیر کاهش یا افزایش متغیرهای یادشده بر وضعیت احتمالی تحرک ماسه در آینده مشخص شد. در روش تحلیل حساسیت با تغییر یک متغیر در دامنه مورد نظر، دیگر پارامترها باید بدون تغییر باشند، ولی با توجه به اینکه برخی از پارامترها، از جمله فراوانی بادهای فرساینده به طور قطع بر پارامتر تبخیر و تعرق اثرگذار خواهد بود بنابراین، تأثیر تغییر توأم این دو پارامتر نیز بر تحرک ماسه بررسی شد.

■ نتایج و بحث

تحلیل شرایط اقلیمی منطقه مورد بررسی

نتایج شمارش کدهای گردوغبار نشان دادند که وقایع گردوغبار ثبت‌شده در ایستگاه مطالعاتی منشأ محلی دارد



شکل ۳. نتایج شمارش کدهای گردوغبار در ایستگاه سبزواری طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶

در فصل پائیز نیز پارامتر متوسط سرعت باد به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی مثبت معنی دار تأثیر مستقیمی بر رخداد های گردوغبار در این فصل دارد. در حالی که در فصل تابستان هیچ ارتباط قابل قبولی مابین داده های گردوغبار و پارامترهای اقلیمی وجود ندارد. همچنین، مقادیر ضریب همبستگی بین تعداد روزهای گردوغبار و پارامترهای متوسط سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده در فصل زمستان طی بازه زمانی دوم (جدول ۳) نشان دهنده رابطه مثبت قوی است. بررسی داده ها در مقیاس سالانه نیز بیانگر ارتباط قابل قبول مابین تعداد روزهای غبارآلود و پارامترهای سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده در کل دوره آماری است (جدول ۳)، در حالی که طی بازه زمانی دوم معادل ۲۰۰۷-۲۰۱۶ هیچ ارتباط معناداری بین رویدادهای گردوغبار و عوامل اقلیمی وجود ندارد (جدول ۴). بررسی جزئی تر در مقیاس ماهانه و فصلی در بازه زمانی دوم نشان داد در ماه های اردیبهشت تا مرداد و فصل زمستان (جدول ۴)، از عوامل مؤثر در ایجاد وقایع گردوغبار، دو متغیر سرعت باد و بادهای فرساینده بود. براین اساس، در ادامه به طور مجزا به تحلیل این نوع بادهای در سطح منطقه پرداخته شد. گفتنی است که بادهایی با سرعت بیش از آستانه فرسایش، بادهای فرساینده در نظر گرفته شده است. لازم به یادآوری است، انتخاب بازه زمانی دوم تنها به دلیل تمرکز بیشتر بر سال های انتهایی دوره و حذف موارد مؤثر در کل دوره آماری است. براین اساس، با مقایسه جدول ۳ و ۴ در بازه زمانی دوم، تنها اثرات بادهای فرساینده و سرعت باد به صورت فصلی و ماهیانه مشاهده می شود. نتایج حاصل از طبقه بندی سرعت باد نشان داد بادهای با سرعت کمتر از حد آستانه معادل 6 m/s و بالاترین درصد فراوانی و بادهای بیشتر از 20 m/s کمترین فراوانی را دارند (جدول ۵)، این در حالی است که در ایستگاه سبزوار در طول دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ بادهای با سرعت بالای 20 m/s به دلیل عدم وقوع ثبت نشده است. توزیع ماهانه سرعت بادهای با سرعت کمتر از حد آستانه حاکی از آن است که بیشترین وقایع باد در ماه های تیر و خرداد و سپس اردیبهشت در محدوده مطالعاتی وقوع یافته است.

در حالی که بادهای فرساینده در ماه های آبان و آذر کمترین فراوانی را در سال دارند. نتایج این بخش پژوهش با نتایج بررسی پیشین (۳۸) مطابقت دارد. بررسی جهت بادهای غبارآلود محلی در ایستگاه سبزوار (شکل ۴) نشان داد که جهت این بادهای در طول سال و همچنین فصل بهار، تابستان و پاییز از سمت شرق است. در فصل زمستان بادهای غبارآلود از دو جهت شرق و غرب به سمت منطقه می وزند. با توجه به مطالعات پیشین (۳۸)، این دیگرام، طبقه بندی و توزیع سمت و سرعت بادهای همراه با گردوغبار (بدون توجه به سرعت آنها) را در ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه در دوره آماری مورد نظر مشخص می کند. نتایج بررسی پدیده گردوغبار در ایستگاه سبزوار حاکی از روند افزایشی آن دارد. ارتباط معنی دار پارامترهای سرعت باد و فراوانی بادهای فرساینده با وقایع گردوغبار در ایستگاه مطالعاتی نیز مطرح شد. به طور کلی باد به عنوان نیروی دینامیک ایجادکننده گردوغبار است و نقش اساسی در شدت و فراوانی این پدیده دارد. مطالعات پیشین نیز (۴، ۷، ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۲۲) حاکی از وجود رابطه مثبت بین سرعت باد و گردوغبار است که مؤید تأثیر مستقیم سرعت باد بر فراوانی گردوغبار است. براساس مقادیر ضریب همبستگی، فراوانی بادهای فرساینده در ایستگاه سبزوار بیشترین تأثیر را بر رخداد های گردوغبار دارد. به طوری که در این منطقه ۶۶٪ تغییرات در تعداد روزهای گردوغبار توسط بادهای با سرعت بالاتر از 6 m/s کنترل می شود که در تطابق با مطالعات پیشین (۴۴) است.

در ادامه، با توجه به فرض پژوهش حاضر، مبنی بر پتانسیل تپه های ماسه ای در تولید گردوغبار دانه بندی تپه های ماسه ای در منطقه مورد مطالعه بررسی شد. نتایج دانه بندی نشان دادند که با احتساب ذرات ریز ماسه حدود ۲۷٪ از تپه های ماسه ای خارتوران و عشق آباد پتانسیل گردوغبار و قطر کمتر از 0.125 mm دارند (شکل ۵). نتایج مطالعات پیشین نیز نشان می دهد که تپه های ماسه ای از جمله مناطق برداشت ذرات گردوغبار در مناطق بیابانی اند (۴۳).

جدول ۳. مقادیر ضریب همبستگی روزهای غبار آلود محلی و پارامترهای اقلیمی ماهانه و فصلی و سالانه طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۰ در ایستگاه سبزوار

بازه زمانی	دما متوسط	دما حداقل	دما حداکثر	فراوانی بادهای متوسط سرعت بیشتر از ۶ m/s باد	رطوبت نسبی	بارندگی	تبخیر و تعرق
دی ^۱	-	-	-	-	-	-	-
بهمن	-۰/۱۱	-۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۵۷*	۰/۵۱*	-۰/۴۴*	۰/۰۲
اسفند	۰/۳۹*	۰/۲۷	۰/۴۱*	۰/۴۶*	۰/۵*	-۰/۳۵	۰/۴۲*
فروردین	۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۴*	۰/۴۱*	-۰/۰۵	۰/۱۱
اردیبهشت	۰/۳۵	*۰/۱۸	۰/۴۵*	۰/۵۴*	۰/۵۵*	-۰/۴۴*	۰/۳۵
خرداد	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۴۱*	۰/۶۷*	۰/۶۹*	۰/۰۱	-۰/۲۲
تیر	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۳۳	-۰/۱۵	۰/۲۵
مرداد	۰/۱۴	-۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۵۶*	۰/۵۷*	۰/۱۲	۰/۱۵
شهریور	۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۸	-۰/۱۴	۰/۰۲
مهر	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۴۳*	۰/۴۰*	۰/۱۶	۰/۱۹
آبان	-	-	-	-	-	-	-
آذر	-	-	-	-	-	-	-
زمستان	۰/۰۸	-۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۶۸*	۰/۶۸*	-۰/۳۳	۰/۴۲*
بهار	۰/۴۲	۰/۱۴	۰/۵۰*	۰/۶۰*	۰/۶۲*	-۰/۳۰	۰/۴۴*
تابستان	۰/۱۷	-۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۵	-۰/۱۲	۰/۱۸
پاییز	-۰/۰۲	-۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۴۱*	۰/۱۴	۰/۰۵
سالانه	۰/۰۴	-۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۶۳*	۰/۶۷*	-۰/۳۶	۰/۳۵

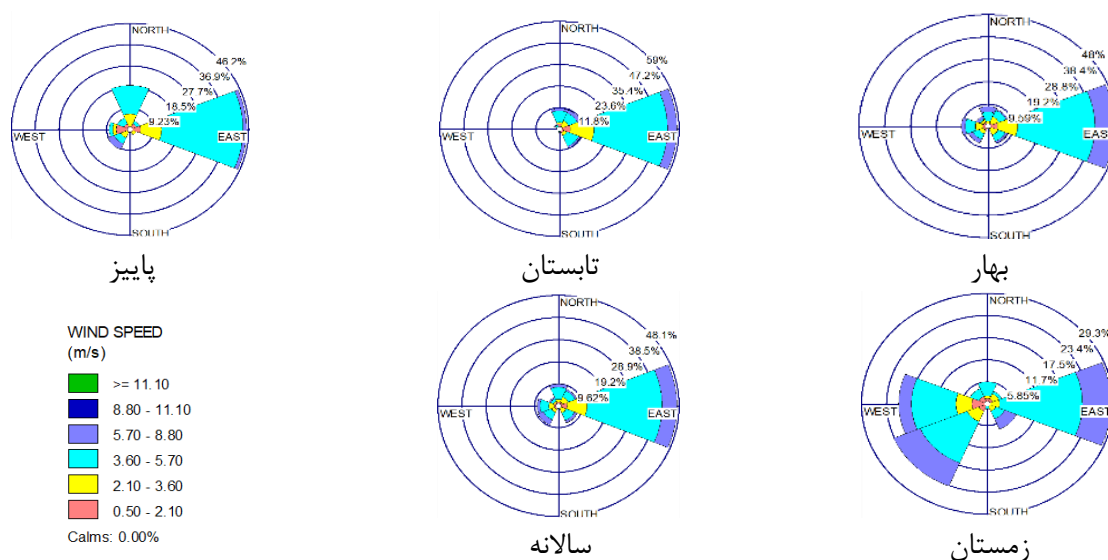
۱: تعداد دوازده روز اختلاف در تبدیل ماه‌های شمسی و میلادی می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

جدول ۴. مقادیر ضریب همبستگی روزهای غبار آلود محلی و پارامترهای اقلیمی ماهانه و فصلی و سالانه در بازه زمانی دوم ۲۰۰۷-۲۰۱۶ در ایستگاه سبزوار

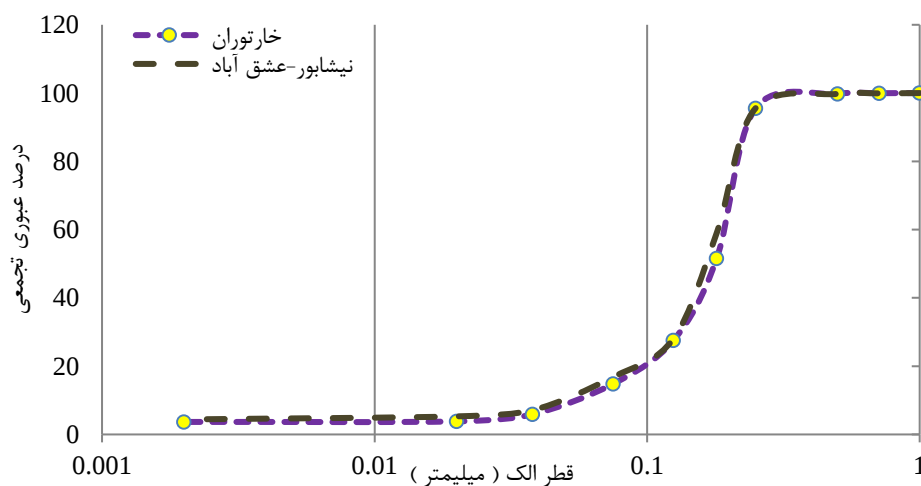
بازه زمانی	دما متوسط	دما حداقل	دما حداکثر	فراوانی بادهای متوسط سرعت بیشتر از ۶ m/s باد	رطوبت نسبی	بارندگی	تبخیر و تعرق
دی	-	-	-	-	-	-	-
بهمن	-	-	-	-	-	-	-
اسفند	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۵۶	-۰/۳۰	۰/۳۶
فروردین	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۲۵	-۰/۲۱	۰/۳۴
اردیبهشت	۰/۲۱	-۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۷۱*	۰/۷۲*	۰/۵۸	۰/۲۵
خرداد	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۷۱*	۰/۷۰*	-۰/۰۹	۰/۲۷
تیر	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۷۱*	۰/۶۸*	-۰/۲۱	۰/۰۱
مرداد	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۶۷*	۰/۵۴	-۰/۱۸	۰/۵۴
شهریور	۰/۲۴	۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۱۶	۰/۲۱	-۰/۱۹	۰/۲۵
مهر	۰/۱۲	۰/۲۴	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۰۵	۰/۴۱	۰/۰۷
آبان	۰/۴۷	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۲۹	۰/۲۲	-۰/۳۹	۰/۵۲
آذر	-	-	-	-	-	-	-
زمستان	-۰/۴۳	-۰/۴۵	-۰/۳۸	۰/۷۵*	۰/۷۳*	-۰/۰۶	۰/۲۴
بهار	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۶۰	-۰/۱۹	۰/۵۰
تابستان	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۳	-۰/۱۶	۰/۰۸
پاییز	۰/۳۳	۰/۳	۰/۲۲	-۰/۴۸	-۰/۴۵	۰/۰۹	۰/۱۸
سالانه	-۰/۵۰	-۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۳۱	-۰/۰۴

جدول ۵. درصد فراوانی ماهیانه طبقات سرعت باد در ایستگاه هم‌دید (سینوپتیک) سبزوار طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶

سرعت ماه	باد	سرعت					
		کم‌تر از ۶	۶-۱۰	۱۱-۱۵	۱۶-۲۰	بیشتر از ۲۰	بیشتر از ۶
دی		۹۰/۷۲	۸/۹۵	۰/۳۱	۰	۰	۹/۴۱
بهمن		۸۲/۲۴	۱۶/۷۰	۰/۹۷	۰/۴۳	۰	۱۷/۹۸
اسفند		۷۷/۵۴	۲۱/۰۵	۱/۳۲	۰/۷۱	۰	۲۲/۳۳
فروردین		۷۴/۶۵	۲۴/۰۱	۱/۳۱	۰/۱۷	۰	۲۵/۴۷
اردیبهشت		۶۹/۱۲	۲۹	۱/۸۳	۰/۳۲	۰	۳۰/۴۷
خرداد		۶۴/۴۵	۳۳/۴۷	۲	۰/۵۲	۰	۳۵/۵۸
تیر		۶۰/۷۱	۳۷/۸۴	۱/۴۳	۰	۰	۳۹/۴۱
مرداد		۶۹/۳۱	۳۰/۰۳	۰/۶۳	۰/۴۰	۰	۳۰/۴۳
شهریور		۷۴/۲۴	۲۵/۲۷	۰/۴۸	۰	۰	۲۶/۰۶
مهر		۸۱/۵۸	۱۷/۹۸	۰/۴۳	۰	۰	۱۸/۳۸
آبان		۸۶/۷۰	۱۲/۷۹	۰/۴۷	۰/۳۴	۰	۱۳/۶۳
آذر		۹۱/۹۱	۷/۹۹	۰/۹۱	۰	۰	۸/۲۳
میانگین		۷۶/۹۳	۲۲/۰۹	۰/۹۴	۰/۲۴	۰	۲۳/۱۱



شکل ۴. گل غبار محلی فصلی و سالانه در ایستگاه هم‌دید سبزوار طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶



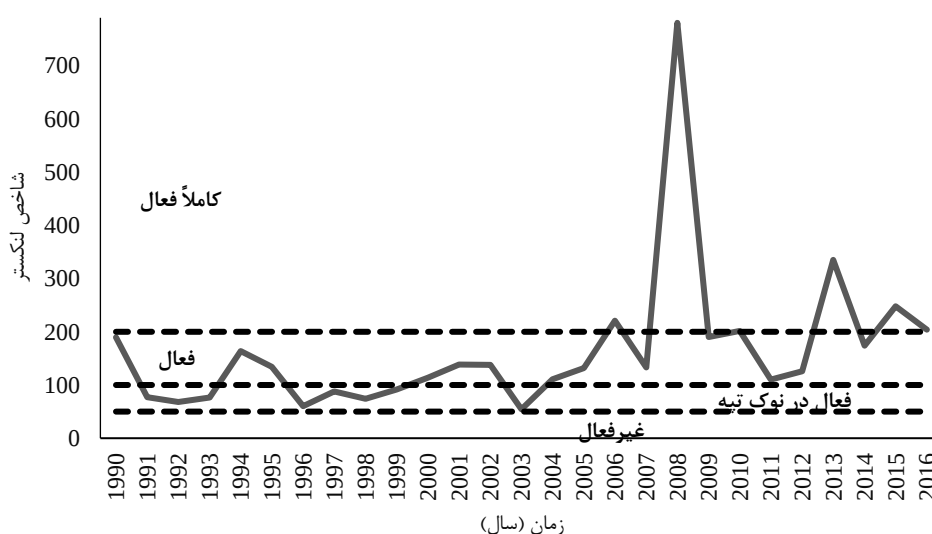
شکل ۵. دانه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای خارتوران و نیشابور عشق‌آباد

میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و تغییرات زمانی شاخص خشکی

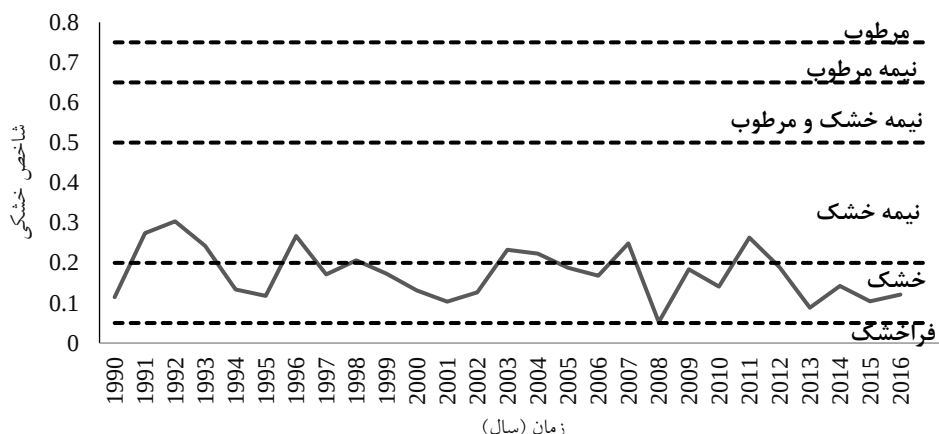
بررسی شاخص لنکستر در ایستگاه سبزوار نشان داد ۲۲٪ از فعالیت تپه‌ها به صورت کاملاً فعال، ۴۸٪ فعال و ۲۹٪ فعال در نوک تپه‌اند (شکل ۶)؛ همچنین، مقادیر شاخص لنکستر در این ایستگاه وضعیت غیرفعال را در دوره آماری مورد بررسی نشان نداد. تغییرات سالانه میزان شاخص لنکستر نشان داد که در سال ۲۰۰۸ بالاترین میزان تحرک تپه‌های ماسه‌ای در ایستگاه مطالعاتی وجود دارد، درحالی‌که در دهه اول دوره آماری معادل سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۹۰ میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ایستگاه، نسبت به دوره بعد، یعنی ۲۰۱۶-۲۰۰۷، کمتر است. بررسی ارتباط فراوانی تعداد روزهای گردوغبار (شکل ۳) با شاخص لنکستر در ایستگاه هم‌دیدگی سبزوار نشان می‌دهد که بیشترین تعداد روز گردوغبار و شاخص لنکستر در سال ۲۰۰۸ در منطقه قابل مشاهده است. پیش‌تر نیز فعالیت تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از شاخص لنکستر در ریگ بلند کاشان (۴) در وضعیت فعال گزارش شده است.

بررسی تغییرات سالانه شاخص خشکی یونپ در ایستگاه مطالعاتی نشان داد در ۶۷٪ کل دوره آماری با میانگین ۰/۰۵۲ ایستگاه مطالعاتی وضعیت آب و هوایی خشکی دارد (شکل ۷). از سال ۲۰۰۰ شدت خشکی در

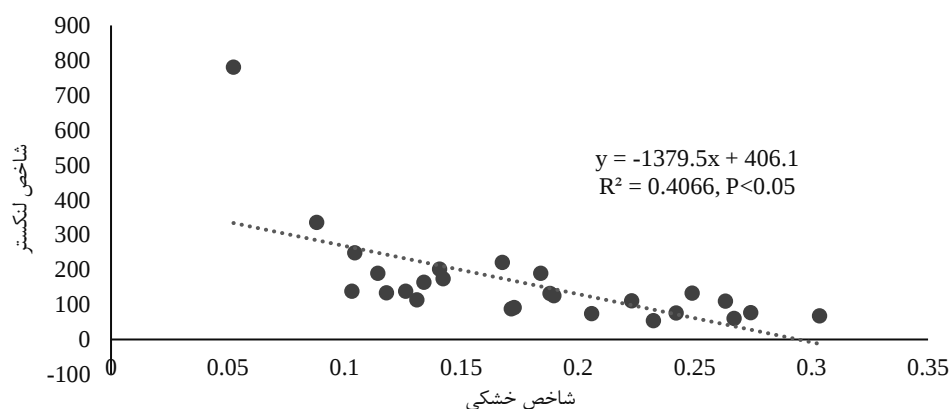
منطقه مطالعاتی بیشتر شده و از سال ۲۰۱۰ تا آخر دوره آماری منطقه مورد مطالعه شدت خشکی بالاتری را تجربه کرده است. براین اساس، با کاهش مقدار شاخص خشکی یونپ و افزایش خشکی محیط بر میزان تحرک پذیری ماسه در کل منطقه مطالعاتی افزوده شده و خطر بیابان‌زایی در منطقه تشدید می‌شود. این موضوع در تطابق با شاخص لنکستر و پتانسیل تحرک پذیری ماسه در این منطقه است. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون دو متغیر بین شاخص لنکستر و شاخص خشکی نشان داد که ارتباط معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ آماری بین این متغیرها وجود داشت (شکل ۸). به عبارت دیگر، ۴۲٪ از افزایش فعالیت رسوبات بادی به دلیل تغییر در شرایط اقلیمی ناشی از تغییرات بارندگی و فراوانی سرعت باد این منطقه بوده است. بررسی نتایج حاصل از تحلیل همبستگی میان متغیرهای اقلیمی شاخص تحرک ماسه در ایستگاه سبزوار (شکل ۹) در بازه زمانی اول، دوم و کل دوره آماری نشان داد رابطه منفی معنی‌داری میان بارندگی و فعالیت تپه وجود دارد. به عنوان نمونه در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ ارتباط قوی میان شاخص لنکستر و بارندگی کاملاً مشهود است. به طوری‌که در این سال‌ها کاهش بارندگی موجب افزایش مقدار شاخص تحرک تپه شده است.



شکل ۶. مقادیر شاخص لنکستر و وضعیت فعالیت تپه در ایستگاه سبزوار طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶



شکل ۷. تغییرات سالیانه شاخص خشکی در ایستگاه هم‌دید سبزوار طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶



شکل ۸. رابطه شاخص خشکی و تحرک پذیری ماسه‌ها در ایستگاه هم‌دید سبزوار طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶

تأثیر معنی‌دار بر تحرک ماسه دارد. نتایج تحلیل ارتباط میان تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص لنکستر نشان داد تبخیر و تعرق بعد از بارندگی دارای تأثیر قابل توجهی بر تحرک ماسه است که با نتایج مطالعات پیشین (۳۴) مطابقت دارد.

به‌طور کلی نتایج بررسی ارتباط میان شاخص تحرک ماسه و پارامترهای اقلیمی حاکی از آن است که پارامترهای بارندگی، بادهای فرساینده، سرعت باد و تبخیر و تعرق پتانسیل بیشترین تأثیر را بر تحرک ماسه در منطقه مطالعاتی دارند. همچنان که محققان دیگر نیز در مطالعه خود بر بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر تحرک تپه‌های ماسه‌ای نشان دادند که سرعت باد مؤثرترین پارامتر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای است (۱، ۶، ۱۰، ۲۳، ۲۷ و ۳۱). با توجه به افزایش تعداد روزهای گردوغبار در منطقه مورد مطالعه که مشکلی برای محیط‌زیست منطقه محسوب

بررسی ارتباط میان فراوانی بادهای فرساینده و شاخص لنکستر نشان داد که فراوانی بادهای فرساینده در ایستگاه سبزوار دارای تأثیر مستقیم و معنی‌دار بر تحرک‌پذیری تپه در بازه زمانی اول، دوم و کل دوره آماری است. همبستگی میان متوسط سرعت باد و شاخص تحرک تپه نشان داد که تأثیر فراوانی بادهای فرساینده نسبت به تمامی بادهای بیشتر است.

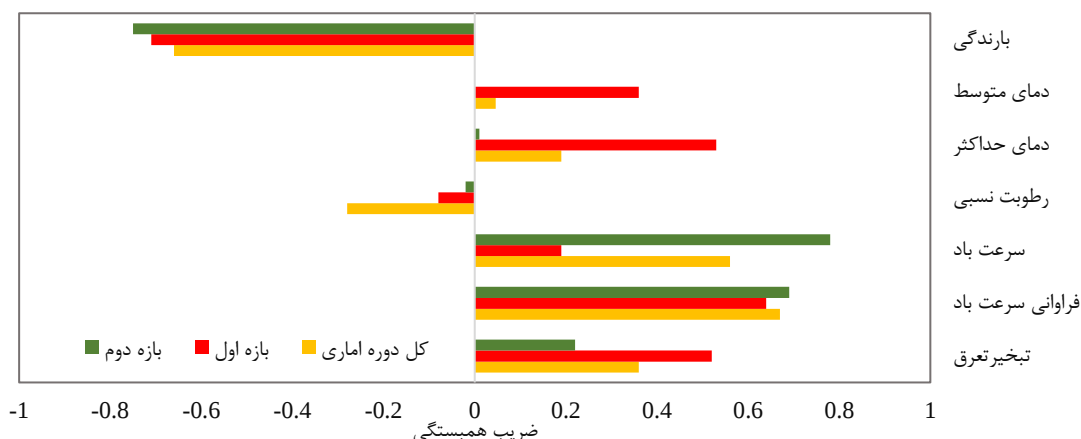
نتایج تحلیل رابطه دما و تحرک‌پذیری تپه نشان داد دما چندان تأثیر معنی‌داری بر تحرک ماسه ندارد. این در حالی است که نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تأثیر دمای حداکثر بر تحرک ماسه در ایستگاه مطالعاتی بیشتر است که با گزارش مطالعات پیشین (۲۳ و ۳۴) همخوانی دارد. ضریب همبستگی میان رطوبت نسبی و شاخص لنکستر نیز حاکی از تأثیر غیرمستقیم و معنی‌دار رطوبت نسبی جو بر تحرک‌پذیری تپه در ایستگاه در بازه زمانی اول و دوم

همچنین تغییرات ۳۰٪ توأم فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر و تفرق در آینده، وضعیت فعالیت تپه در ایستگاه سبزوار از حالت فعال برابر ۱۶۴/۱۶ به کاملاً فعال، یعنی ۲۲۷/۰۱، تغییر خواهد یافت. وضعیت فعالیت تپه ماسه‌ای در ایستگاه مطالعاتی در اثر کاهش توأم دو پارامتر یاد شده به میزان ۳۰٪ در آینده سبب تغییر حالت تحرک تپه در ایستگاه سبزوار از حالت فعال به فعال در نوک تپه می‌شود. نتایج تحلیل حساسیت فعالیت تپه ماسه‌ای نسبت به تغییر هر یک از پارامترهای فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر و تفرق پتانسیل در ایستگاه مطالعاتی نشان داد تأثیر این دو پارامتر بر فعالیت تپه یکسان خواهد بود. براین اساس در صورتی که به فراوانی بادهای فرساینده و یا تبخیر و تفرق پتانسیل در آینده ۳۰٪ افزوده یا کاسته شود، فعالیت تپه ماسه‌ای در ایستگاه سبزوار به ترتیب ۳۸/۲۸٪ و ۴۲٪ افزایش و کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت تحرک ماسه نسبت به تغییر بارندگی نشان داد که در صورت افزایش ۳۰٪ بارندگی فعالیت تپه ماسه‌ای در ایستگاه سبزوار ۳۷٪ در آینده کاهش خواهد یافت. درحالی که کاهش بارندگی به همین میزان در ایستگاه‌های مطالعاتی به ترتیب سبب افزایش ۱۶٪ فعالیت تپه خواهد شد. محققان دیگر نیز در مطالعه خود بر پیش‌بینی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر تحرک تپه‌های ماسه‌ای نشان دادند که کاهش بارندگی و سرعت باد مؤثرترین پارامتر بر تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای است (۸).

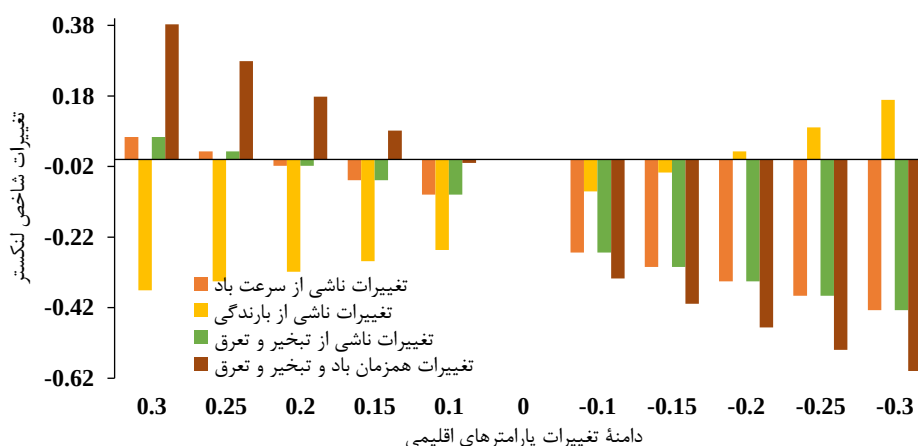
می‌شود، تغییر اقلیم (۵۱) از طریق بررسی و محاسبه تغییر متغیرهای اقلیمی (۸) بررسی شد. بررسی‌های پیشین در ارتباط با علل و پیامدهای تغییر ضرایب یا شاخص‌های اقلیمی در پهنه‌های آب و هوایی ایران (۳، ۱۷، ۱۸، ۲۴، ۲۹، ۴۶ و ۵۲)، نیز نشان می‌دهد که تغییر ویژگی‌های آب و هوایی از جمله افزایش ضریب خشکی می‌تواند از جمله دلایل تخریب سرزمین و به تبع آن افزایش رخدادهای گردوغبار به شمار آید.

پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای

میزان حساسیت شاخص لنکستر به تغییرات هر یک از پارامترهای اقلیمی باد، باران، تبخیر و تفرق پتانسیل و تغییرات همزمان باد و تبخیر و تفرق پتانسیل در ایستگاه هم‌دید سبزوار در آینده بررسی شد (شکل ۱۰). نتایج حاصل از تحلیل حساسیت تحرک تپه نسبت به تغییرات متغیرهای اقلیمی بارندگی، فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر و تفرق پتانسیل نشان داد حساسیت تپه‌های ماسه‌ای نسبت به تغییرات همزمان تبخیر و تفرق پتانسیل و فراوانی بادهای فرساینده بیشتر از دیگر متغیرها به صورت جداگانه است. براساس نتایج به دست آمده، در صورتی که در آینده فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر و تفرق پتانسیل به میزان ۳۰٪ افزوده شود، فعالیت تپه ماسه‌ای در ایستگاه سبزوار ۳۸٪ افزایش خواهد یافت. همچنین میزان کاهش فعالیت تپه در اثر کاهش ۳۰٪ فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر و تفرق پتانسیل در ایستگاه سبزوار ۵۹٪ خواهد بود.



شکل ۹. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پیرسون بین پارامترهای اقلیمی و شاخص لنکستر در ایستگاه هم‌دید سبزوار



شکل ۱۰. حساسیت شاخص لنکستر به تغییرات بارندگی، درصد بادهای فرساینده و تغییرات همزمان تبخیر و تعرق و درصد بادهای فرساینده در ایستگاه سبزواری طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶

■ نتیجه گیری

نیشابور-عشق آباد در ایجاد گردوغبار، مکان قرارگیری تپه های ماسه ای و بررسی گل غبارهای محلی در ایستگاه سبزواری می توان نتیجه گیری کرد که قرارگیری تپه های ماسه ای عشق آباد-نیشابور از جمله علل رخدادهای گردوغبار در این منطقه طی دوره آماری مورد بررسی اند. براین اساس، اولویت تثبیت با این تپه هاست. درنهایت، پایش تغییرات تپه های ماسه ای پس از تثبیت نیز به دلیل رژیم بادناکی منطقه پیشنهاد می شود.

■ سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از طرح ملی «پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر تشدید پدیده گردوغبار و ماسه های روان (فرسایش بادی)» زیر پروژه «استان خراسان رضوی» با کد مصوب-۹۶۱۰۴۷-۹۶۱۰۴۷-۱۲۷-۰۹-۰۹ است. در اینجا از همکاری و مساعدت ریاست محترم مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، جناب آقای دکتر جلیلی، و راهنمایی های ارزنده مدیران و کارشناسان اداره هواشناسی استان خراسان رضوی، در راستای اعتلای بیشتر پژوهش قدردانی می شود.

پژوهش حاضر به ارزیابی پاسخ تحرک پذیری تپه ماسه ای نزدیک به شهرستان سبزواری و پیش بینی وضعیت فعالیت آن ها در آینده، به سبب ایجاد زیرساخت مؤثر در جهت کاهش خسارات، حفظ سرمایه و بهبود کیفیت هوا در این بخش استراتژیک از کشور صورت گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین خطر ناشی از تحرک تپه های ماسه ای، در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ است. براساس شاخص خشکی یونپ، ۷۵ درصد از این تغییرات به دلیل تغییر عناصر اقلیمی و به طور ویژه تغییرات بارندگی، بادهای فرساینده، سرعت باد و تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه شناسایی شد. همچنین، نتایج پیش بینی بیانگر آن است که وضعیت تحرک رسوبات بادی ناشی از تپه ماسه ای در ایستگاه مطالعاتی نسبت به کاهش عوامل اقلیمی، در مقایسه با افزایش آن ها، حساسیت بیشتری دارد. با توجه به نتایج، به کارگیری روش های نوین تثبیت خاک در منطقه مطالعاتی به منظور حفظ سرمایه و افزایش ایمنی توصیه می شوند. همچنین، با در نظرگیری پتانسیل ذرات جامد تشکیل دهنده تپه های ماسه ای خارتوران و

■ References

- Abbasi, H. R., Opp, C., Groll, M., Rohipour, H., & Gohardoust, A. (2019). Assessment of the distribution and activity of dunes in Iran based on mobility indices and ground data. *Aeolian Research*, 41, 100539.
- Abbasnejad, A., & Zahabnouri, S. (2012). Identification of forms of wind erosion in Rafsanjan plain. *Quantitative geomorphological research*, 1(2), 127-144. (in Farsi)

3. Abtahi, M., & Khosroshahi, M. (2019) Desert domain in Esfahan province by climatological factors, *Range and Desert Research*, 12 (3), 249-262. (in Farsi)
4. Aili, A., Kim Oanh, N.T., & Abuduwaili, J. (2016). Variation Trends of Dust Storms in Relation to Meteorological Conditions and Anthropogenic Impacts in the Northeast Edge of the Taklimakan Desert, China. *Air pollution*, 5(4), 127- 143.
5. Ahmadi Birgani, H., McQueen, K. G., Moeinaddini, M., & Naseri, H. (2017). Sand dune encroachment and desertification processes of the Rigboland Sand Sea, Central Iran. *Scientific reports*, 7(1), 1-10.
6. Alipour, N., Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H., Malekian, A., & Jafari, M. (2018). Synoptic analysis of dust events and its relation with drought in Alborz and Qazvin provinces. *Geography (Regional Planning)*, 8(2), 59-68. (in Farsi)
7. Amgalan, G., Liu, G.R., Lin, T.H., & Kuo, T.H. (2017). Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 28(1), 23- 32.
8. Ashkenazy, Y., Yizhaq, H., & Tsoar, H., (2012) Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian Deserts. *Climatic Change*, 112(3), 1-23.
9. Bing, L.Z., Wenzhi, Y., & Rong, A. (2008) Characteristics and spatial heterogeneity of *Tamarix ramosissima* Nebkhas in desert-oasis ecotones. *Acta Ecologica Sinica*, 28(4), 1446-1455.
10. Bogle, R., Redsteer, M.H. & Vogel, J. (2015). Field measurement and analysis of climatic factors affecting dune mobility near Grand Falls on the Navajo Nation, southwestern United States. *Geomorphology*, 228, 41-51.
11. Boroghni, M., Moradi, H., Zanganeh Asadi, M.A., & Pourhashemi S. (2019). Evaluation of the role of drought on the frequency of dust in Khorasan Razavi province. *Environmental Science and Technology*, 21(5), 109- 121. (in Farsi)
12. Bouchani, M. H., & Fazeli, D. (2011). Environmental Challenges and Consequences - Dust and Its Consequences in Western Iran. *Political, Defense and Security Policy*, 2(3), 125 .(in Farsi)
13. Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., & Rashidi, Y. (2017). Identification of dust storm origin in South- West of Iran. *Environmental Health Science & Engineering*, 15(1), 16-24.
14. Bryant, R.G., Bigg, G.R., Mahowald, N.M., Eckardt, F.D., & Ross, S.G. (2007). Dust emission response to climate in southern Africa. *Geophysical Research D: Atmospheres*, 112, D09207.
15. 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, 82-90.
16. Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., & Naghavi, S. (2020). 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.
17. Ensafi Moghadam, T. (2004). An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran, *Range and Desert Research*, 11(4), 449- 473. (in Farsi)
18. Ghahreman, N., & Bakhtiari, B. (2009). Solar radiation estimation from rainfall and temperature data in arid and semi-arid climates of Iran. *Desert*, 14(2), 141-150.
19. Gharib Reza, M., & Motamed, A. (2004). A study of changes in coastal sand dunes of Sistan and Baluchestan province from 1967 to 1993, *Geographical Research Quarterly*, 36(50), 35-47. (in Farsi)

20. Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Lashni Zand, I. (2018). Analysis of temporal changes of dust storms in Khorramabad. *Applied Research in Geographical Sciences*, 18(51), 87-102. (in Farsi)
21. Ghazipour, M. (2005). Damage caused by wind erosion, the first national conference on wind erosion, Yazd, Yazd University. (in Farsi).
22. Hara, Y., Uno, I., & Wang, Z. (2006). Long-term variation of Asian dust and related climate factors. *Atmospheric Environment*, 40(35), 6730-6740.
23. Hoover, R. H., Gaylord, D. R., & Cooper, C. M. (2018). Dune mobility in the St. Anthony Dune Field, Idaho, USA: effects of meteorological variables and lag time. *Geomorphology*, 309, 29-37.
24. Hosseini, M., Khosroshahi, M., Atapour, A., & Karami, A. (2006). Determination of the Climatic & Geological Deserts Characteristics in Tehran Province. *Range and Desert Research*, 13(2), 102-108. (in Farsi)
25. Houghton, J. T. (2001). *Climate Change: the scientific basis*, Cambridge University Press, Cambridge.
26. Jiang, H., Dun, H., Tong, D., & Huang, N. (2017). Sand transportation and reverse patterns over leeward face of sand dune. *Geomorphology*, 283, 41-47.
27. Kang, L., Huang, J., Chen, S., & Wang, X. (2016). Long-term trends of dust events over Tibetan Plateau during 1961-2010. *Atmospheric Environment*, 125, 188-198.
28. Khosravi, M., Fotuhi, S., & Piruzadeh, S. (2015). Investigation of temporal-spatial changes of coastal sand dunes using distance measurement (RS) studied: West Zarabad region. *Spatial analysis of environmental hazards*, 2(4), 1-14. (in Farsi)
29. Khosroshahi, M., Kashki, M.T., & Ensafi Moghaddam, T. (2009). Determination of climatological deserts in Iran. *Range and Desert Research*, 16(1), 96-113. (in Farsi)
30. Lancaster, N. (1985). Variations in wind velocity and sand transport on the windward flanks of desert sand dunes. *Sedimentology*, 32(4), 581-593.
31. Matsushima, D., Reiji, K., Yasunori, K., Ulgiichimeg, G., & Masato, S. (2020). A Method for Estimating the Threshold Wind Speed for Dust Emissions as a Function of Soil Moisture. *Boundary-Layer Meteorology*, 175(2), 237-257.
32. Mehrshahi, D., & Nekounam, Z. (2009). Statistical study of dust phenomenon and analysis of dust wind patterns in Sabzevar city. *Geographical Society of Iran*, 7(22), 83-104. (in Farsi)
33. Middleton, N. (2019). Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. *Geosciences*, 9(6), 261-271.
34. Mohammadkhan, S. (2017). Status and trends of dust storms in Iran from 1985 to 2005. *Iranian Natural Resources*, 70(2), 495-514. (in Farsi)
35. Naeimi, M., & Chu, J. (2017). Comparison of conventional and bio-treated methods as dust suppressants. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(29), 23341-23350.
36. Naeimi, M., Yousefi, M. J., Khosroshahi, M., Zandifar, S., & Ebrahimi Khosafi, Z. (2019). A Study of the Effects of Climatic Factors on Dust, Case Study: West of Khorasan Razavi Province. *Geographical Exploration of Desert Areas*, 7(2), 25-45. (in Farsi)
37. Negaresh, H., & Latifi, L. (2009). Geomorphological analysis of the progress of sand dunes east of Sistan plain in recent droughts. *Geography and Development*, 6(12), 43-60. (in Farsi)

38. Omidvar, K., & Nekounam, Z. (2011). Application of rose and dust in analyzing dust phenomenon and determining the seasonal regime of winds associated with this phenomenon (Case study: Sabzevar). *Natural Geographical Research*, 76, 85-104. (in Farsi)
39. Rajaei, T., Rohani, N., Jabbari, E., & Mojaradi, B. (2020). Tracing and assessment of simultaneous dust storms in the cities of Ahvaz and Kermanshah in western Iran based on the new approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12), 1-20.
40. Shahsavani A, Yarahmadi M, Jafarzade Haghighifard N, Naimabadie A, Mahmoudian M, Saki H, Solat, M.H., Soleimani, Z., & Nadafi, K. (2011). Dust Storms: Environmental and Health impacts. *North Khorasan University of Medical Science*, 2(4), 45-56. (in Farsi)
41. Sharifikia, M., & Rabbani, F. (2020). Source routing and detection of dust storm in the Salt Lake basin of Qom in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14), 1-17.
42. Sparavigna, A. C. (2013). A study of moving sand dunes by means of satellite images. *Sciences*, 2.
43. Sweeney, M. R., Lu, H., Cui, M., Mason, J. A., Feng, H., & Xu, Z. (2016). Sand dunes as potential sources of dust in northern China. *Science China Earth Sciences*, 59(4), 760-769.
44. Tavakolifar, A. (2012). Morphology of sand dunes and their relation with wind regime (Case study: Arg Kashan), Master thesis, University of Kashan, Iran. (in Farsi)
45. Tsoar, H. (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physical Journals*, 357(1), 50-56.
46. Teymouri, M., Abdullahi Mayvan, M., Nejad Hassan, B., & Geraie, P. (2011). Study of Drought Index Trend in Iran, Research Center for Drought and Drought in Agriculture and Natural Resources, Karaj: First National Conference on Drought and Climate Change, 883-888. (in Farsi)
47. Vali, A., & Roustaei, F. (2018). Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years, *Water and Soil Science*, 21(4), 189-200. (in Farsi)
48. Wang, X., Dong, Z., Liu, L., & Qu, J. (2004). Sand sea activity and interactions with climatic parameters in the Taklimakan Sand Sea, China, *Arid Environments*, 57(2), 225-238.
49. Wiggs, G.F.S., Livingstone, I., & Warren, A. (1996). The role of streamline curvature in sand dune dynamics: evidence from field and wind tunnel measurements, *Geomorphology*, 17(1-3), 29-46.
50. WMO, (1974). Manual on Codes. WMO Publ. 306, 1.
51. Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A., & Nikbakht, H. (2015). Climatic fluctuations and dusty days in the west and southwest of Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(5), 19-28. (in Farsi)
52. Yizhaq, H., Ashkenazy, Y., & Tsoar, H. (2007). Why do active and stabilized dunes coexist under the same climatic conditions? *Physical Review Letters*, 98 (18), 98-101.
53. Yizhaq H, Ashkenazy Y, Tsoar H (2009). Sand dune dynamics and climate change: a modeling approach. *Geophysical Research: Earth Surface*, 114(F1).
54. Yousefi, Y., & Masoompour Samakosh, J. (2014). Temporal-spatial variability of the severest dry spells in the north-west of Iran. *Desert*, 19(1), 17-25.
55. Zhang, W., Qu, J., Tang, L., Jing, Z., Bian, K., & Niu, Q. (2016). Environmental dynamics of a star dune. *Geomorphology*, 273(15), 28-38.

Investigating the Effect of Flood Sedimentation on Vegetation and Topsoil Changes in Abdalan Plain

E. Jahantab¹, M. Farzin^{2*}, M. Khazaei³

1. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3. Assistant Prof., Dept. of Forests, Rangelands and Watershed Management, Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran.

* Corresponding Author: M.farzin@yu.ac.ir

Received date: 05/05/2021

Accepted date: 04/06/2021



[10.22034/JDMAL.2021.246297](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246297)

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of floodwater spreading on the vegetation of Abdalan plain after 24 years since the implementation of the project. For this purpose, the changes in vegetation density and diversity and soil characteristics of the floodwater spreading were considered as the basis for the effectiveness of various floods. To determine the characteristics of density and percentage of vegetation, percentage of rocks, gravels, litter, and bare soil as well as Physico-chemical characteristics of soil in each area of floodwater spreading and control, 3 transects with a length of 100 meters were deployed. Measuring and sampling were performed on one square meter plots. The results of field studies led to the identification of 36 plant species and 33 genera belonging to 14 plant families. The most important plant families in the region are Asteraceae, Poaceae, and Fabaceae. The results showed that there are 34 plant species in the floodwater spreading area and 25 plant species in the control area. Of these, 12 plant species were observed only in the floodwater spreading area and 2 plant species were observed only in the control area, and 23 plant species were common in both areas. According to the results, the percentage of cover and density of plants in the floodwater spreading area has increased compared to the control area by 32.8% and 4.4%, respectively. The percentage of clay, silt, and sand has increased compared to the control in the field of floodwater spreading. Sufficient moisture and suitable fine-grained sediments to maintain the required moisture for a longer time as well as the seeds in the sediments have caused the growth and increase of density and canopy cover of plants in the field of floodwater spreading. These operations on the Abdalan plain have caused the revitalization of the region by changing the physical characteristics of the surface soil and improving vegetation conditions.

Keywords: Vegetation diversity; Alluvial fan; Floodwater spreading; Sediment; Dogonbadan





تأثیر رسوبگذاری سیلاب بر تغییرات ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک سطحی دشت آبدالان

اسفندیار جهانتاب^۱، محسن فرزین^{۲*}، مجید خزایی^۳

۱. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران.

۲. استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

۳. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران.

* نویسنده مسئول: m.farzin@yu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

doi: [10.22034/JDMAL.2021.246297](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246297)

چکیده

هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر سیلاب‌های گسترش یافته و رسوبات موجود در آن بر پوشش گیاهی سطح دشت آبدالان دوگنبدان بعد از ۲۴ سال از زمان اجرای طرح پخش سیلاب بوده است. به این منظور، تغییرات تراکم و تنوع پوشش گیاهی همراه با ویژگی‌های خاک سطح عرصه گسترش سیلاب مبنای تأثیرگذاری سیل‌گیری‌های متنوع قرار گرفت. برای تعیین ویژگی‌های تراکم و درصد پوشش گیاهی، درصد سنگ و سنگریزه، لاشبرگ و خاک لخت و نیز ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در هر یک از مناطق عرصه پخش سیلاب و شاهد، ۳ نوار (ترانسکت) به طول ۱۰۰m مستقر و در قطعه‌های ۱m² اندازه‌گیری و نمونه‌برداری انجام شد. نتیجه بررسی‌های میدانی گیاهان موجب شناسایی ۳۶ گونه گیاهی و ۳۳ جنس متعلق به ۱۴ تیره شد. مهم‌ترین خانواده‌های گیاهی مشاهده شده در منطقه، Asteraceae، Poaceae و Fabaceae بودند. نتایج نشان داد که در منطقه پخش سیلاب ۳۴ گونه گیاهی و در منطقه شاهد ۲۵ گونه گیاهی وجود دارد. از این تعداد، ۱۲ گونه گیاهی فقط در منطقه پخش سیلاب و ۲ گونه گیاهی فقط در منطقه شاهد مشاهده شد و ۲۳ گونه گیاهی نیز به صورت مشترک در هر دو عرصه پخش سیلاب و شاهد وجود داشت. مطابق نتایج، درصد پوشش و تراکم گیاهان در عرصه پخش سیلاب نسبت به عرصه شاهد به ترتیب ۳۲/۸٪ و ۴/۴٪ افزایش یافته است. همچنین بررسی نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک از افزایش درصد رس، سیلت و ماسه و کاهش سنگریزه در عرصه پخش سیلاب نسبت به شاهد حکایت داشت. وجود رطوبت کافی و رسوبات، موجب رشد و افزایش تراکم و تاج پوشش گیاهان در عرصه پخش سیلاب شده است. عملیات پخش سیلاب بر دشت آبدالان با تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک سطحی و بهبود وضعیت پوشش گیاهی، احیای پوشش سطحی منطقه را موجب شده است.

واژگان کلیدی: تنوع و تراکم گیاهان؛ مخروط افکنه؛ پخش سیلاب؛ رسوب؛ دوگنبدان



■ مقدمه

یکی از روش‌های مبتنی بر استفاده از سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک که امروزه در نقاط فراوانی از کشور به صورت طرح‌های عملیاتی به مرحله اجرا درآمده است، پخش یا گسترش سیلاب است. سیستم پخش سیلاب علاوه بر این که تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و احیای چشمه‌ها و قنات‌های پایین دست را به همراه دارد بر ویژگی‌های خاک منطقه و پوشش گیاهی نیز تأثیر به سزایی دارد. در واقع، با پخش و گسترش سیلاب در پهنه مراتع فقیر می‌توان ضمن تغذیه آبخوان‌ها، کشاورزی منطقه را نیز رونق داد و شرایط لازم برای احیاء طبیعی پوشش گیاهی و افزایش تولید علوفه مراتع را فراهم کرد (۴). در مقیاس سیمای سرزمین، مخروط‌های افکنه و پادگانه‌های آبرفتی به دلیل شیب و نفوذپذیری مناسب در اولویت اجرای عملیات پخش و گسترش سیلاب هستند (۸). به طور کلی، چنانچه انجام عملیات گسترش سیلاب از دید فنی قابل اجرا و از جنبه اقتصادی توجیه‌پذیر باشد، به عنوان یکی از روش‌های موثر برای استفاده از سیلاب در اصلاح و احیای مراتع مناطق خشک و نیمه خشک پیشنهاد می‌شود (۱۹).

در همین راستا، بررسی‌های مختلفی وجود دارد که تأثیر مثبت پخش سیلاب را بر ویژگی‌های پوشش گیاهی شامل تراکم، درصد پوشش، ترکیب و تنوع جوامع گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک نشان می‌دهد؛ البته باید توجه داشت که جدیدترین پژوهش‌ها در رابطه با پخش سیلاب در ایران منتشر می‌شود و منابع خارجی در این رابطه اندک و قدیمی بوده و به کشورهای استرالیا و امریکا اختصاص دارند (۴). از نخستین بررسی‌های منتشر شده در این رابطه می‌توان به بررسی تأثیر گسترش سیلاب بر روی اراضی مرتعی نیومکزیکو اشاره کرد به طوری که با وجود پوشانده شدن برخی از گیاهان به وسیله رسوب و کاهش تراکم آنها، تولید علوفه از ۴۰٪ تا ۹۰٪ بیشتر از منطقه شاهد بوده است (۱۴). نتایج بررسی اثر پخش سیلاب بر بهبود شاخص‌های کمی و کیفی پوشش گیاهی در مراتع ایستگاه پخش سیلاب تنگستان در استان بوشهر نشان داد که صرف نظر از رشد موفقیت‌آمیز گونه‌های درختی و درختچه‌های کاشته شده و موجود در شبکه‌های پخش سیلاب، مقدار

تولید علوفه خشک به میزان ۱۳۵kg/ha افزایش یافته است و تغییر جهت گرایش مرتع به سمت مثبت و تغییر ترکیب گونه‌های گیاهی نسبت به عرصه شاهد نیز مشاهده گردید؛ همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که بین میانگین تولید و درصد پوشش گیاهی عرصه پخش سیلاب و شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (۱۶). طی هشت سال مطالعه پوشش گیاهی سامانه پخش سیلاب قسمتی از دشت زنجان نشان داده شد که برخی گونه‌ها تحت تأثیر پخش سیلاب حذف گردیده است، برخی افزایش یا کاهش یافته و تعدادی گونه جدید نیز برای اولین بار مشاهده شده است؛ افزایش پوشش گیاهی و ظهور گونه‌های خوشخواراک در سال آخر نشان می‌دهد که پخش سیلاب می‌تواند تولید علوفه را بهبود ببخشد؛ همچنین با توجه به شکل زندگی گونه‌های مشاهده‌شده، اگرچه علفی‌های دائمی افزایش یافته‌اند، ولی پخش سیلاب در مورد استقرار گندمیان دائمی موفق عمل نکرده است (۷). با انجام تحقیقی در ایستگاه پخش سیلاب کوثر استان فارس مشخص شد که اثر پخش سیلاب بر انواع فرم‌های رویشی مرتع معنی‌دار بوده و موجب افزایش پایداری و بهبود چرخه مواد مغذی خاک و در نتیجه احیای مراتع شده است (۱۱). محققان با بررسی تأثیر پخش سیلاب بر موفقیت بونه‌کاری و بیابان‌زدایی ایستگاه برآباد سبزواری به این نتیجه رسیدند که بعد از ۲۰ سال از اجرای عملیات پخش سیلاب، درصد تراکم پوشش گیاهی کشت شده ۱۵/۷۵٪ افزایش یافته است به طوری که افزایش سطح پوشش گونه تاغ نسبت به آتریپلکس حدود ۴۷۰٪ بوده است (۳). در پژوهشی با بررسی تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات خاک و درصد پوشش گیاهی ایستگاه پخش سیلاب میانکوه یزد مشخص شد که مقدار پوشش گیاهی بین منطقه پخش سیلاب و شاهد اختلاف معنی‌داری (۰/۱٪) وجود دارد و افزایش پوشش گیاهی مراتع مناطق خشک و نیمه خشک را در کوتاه‌مدت نشان می‌دهد (۲۰). مطالعه‌ای با بررسی تأثیر پخش سیلاب بر تغییرات پوشش گیاهی و خاک سطحی کوه خواجه سیستان به این نتیجه رسید که پخش سیلاب افزایش درصد ازت و کربن آلی خاک، پوشش تاجی و مقدار تولید را به طور معنی‌داری افزایش داده است ولی از نظر آماری بر تراکم پوشش گیاهی تفاوتی بین منطقه

گیاهی سطح دشت آبدالان دوگنبدان بعد از ۲۴ سال از زمان اجرای پروژه پخش سیلاب بوده است.

■ مواد و روش‌ها

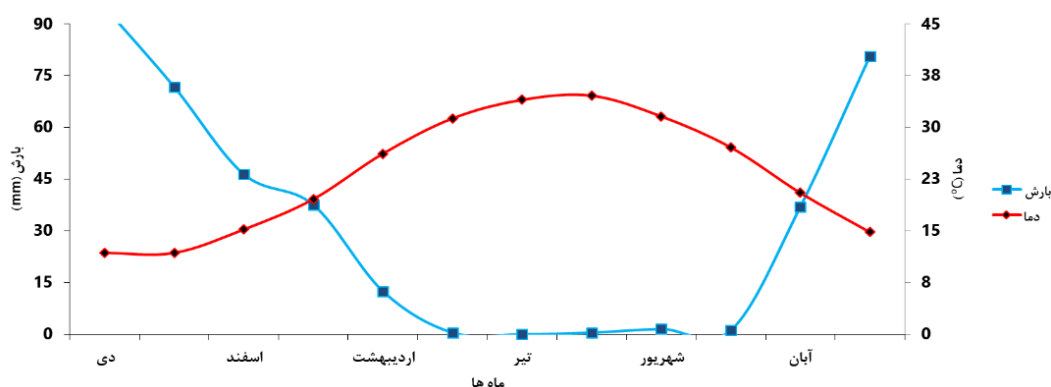
منطقه مورد بررسی

عرصه گسترش سیلاب با وسعت ۵۷۰ ha بر آبخوان آبدالان در ۵ کیلومتری شهر دوگنبدان مرکز شهرستان گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است و در سال ۱۳۷۶ اجرا شده است. بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی اطراف عرصه گسترش، اقلیم منطقه، نیمه‌خشک با تابستان‌های خیلی گرم و زمستان‌های معتدل است (جدول ۱ و شکل ۱). تیپ غالب منطقه، مخروط افکنه‌های سنگریزه‌دار بوده که نیمرخ خاک تکامل نیافته آن سنگ و سنگریزه زیادی دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز تغذیه‌کننده سیستم گسترش سیلاب از سطح دریا به ترتیب ۷۰۰ m و ۲۳۰۰ m است. سازندهای زمین‌شناسی مشرف به محدوده مورد مطالعه شامل فلهیان، گدون، داریان، کژدمی، سروک، گوری، پابده و آسماری است (۲۲) عرصه پخش سیلاب نیز بر روی آبرفت‌های دوره کواترنر قرار گرفته است. شکل ۲ سامانه گسترش سیلاب دشت آبدالان و موقعیت آن در پهنه ایران زمین و استان کهگیلویه و بویراحمد را نشان می‌دهد.

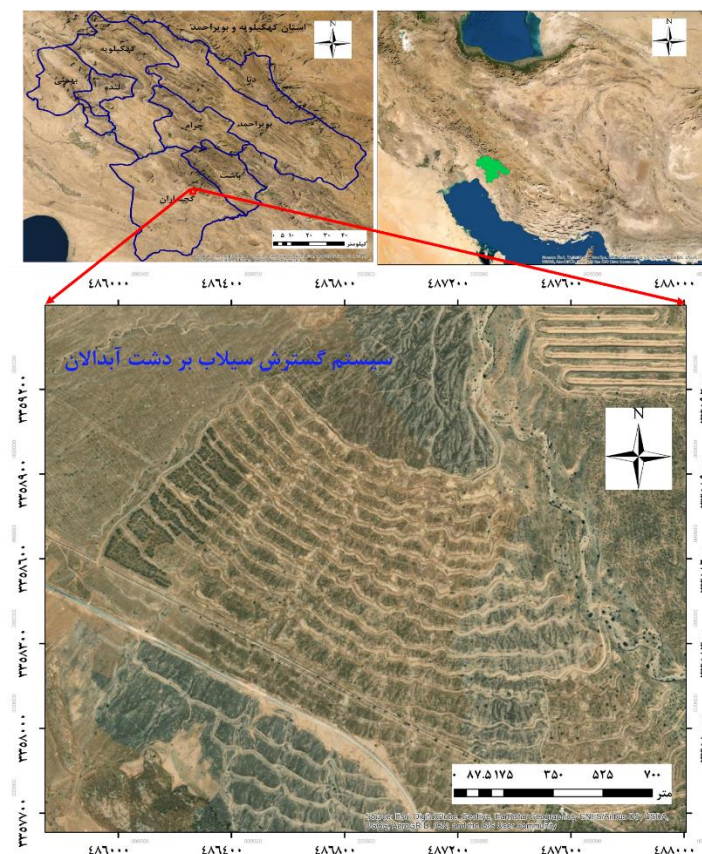
شاهد و عرصه پخش سیلاب به وجود نیامده است (۹). افزایش تولید علوفه خشک حاصل از گسترش سیلاب در برخی از مطالعات بسیار قابل توجه بیان شده است؛ برای نمونه می‌توان به سیستم پخش سیلاب نورآباد ممسنی با تولید ۳/۷ ton/ha تا ۴/۸ ton/ha علوفه خشک یا تولید ۱۷۰۰٪ علوفه در اراضی تحت سیلاب اراضی لار اشاره کرد (۴). برخی از محققان بر این باورند که تأثیرهای پخش سیلاب بر روی پوشش گیاهی مرتع در رویش سال‌های بعد از سیلگیری عرصه‌ها مشخص خواهد شد؛ به طوری که در سال اول سیلگیری عرصه پخش به علت کنده شدن قسمتهای خشکیده گیاهان چندساله بوسیله عملیات پخش سیلاب و یا تنش ناگهانی در آنها، ابتدا درصد پوشش گونه‌های چندساله خوشخواراک عرصه کم و درصد پوشش گیاهان یک‌ساله که غالباً مهاجم و غیرخوشخواراک هستند افزایش می‌یابد. لذا با کاهش گونه‌های خوشخواراک مقدار تولید علوفه مرتع نیز کاهش می‌یابد، ولی در سال‌های بعد با تداوم سیلگیری و بهبود سایر عوامل محیطی از جمله تغییر ویژگی‌های خاک شامل بافت، قابلیت نگهداری رطوبت، افزایش مواد آلی خاک و غیره درصد پوشش گونه‌های خوشخواراک و در نتیجه تولید علوفه مرتع افزایش می‌یابد (۴). هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر سیلاب‌های گسترش یافته و رسوبات موجود در سیلاب بر پوشش

جدول ۱. مشخصات کلی ایستگاه پخش سیلاب دشت آبدالان

متوسط بارندگی سالانه (mm)	متوسط دمای سالانه (°C)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین حداکثر دما (°C)	متوسط تبخیر سالانه (mm)
۳۸۷	۲۳	۱۷	۳۰	۳۷۱۶



شکل ۱. منحنی آمبروترمیک محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه و موقعیت آن در پهنه ایران زمین و استان کهگیلویه و بویراحمد

روش پژوهش

پژوهش حاضر بر مبنای بررسی میدانی و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی انجام شد. ابتدا، پس از مرور منابع علمی مختلف و بررسی اطلاعات پایه منطقه مورد مطالعه شامل هواشناسی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و هیدرولوژی، چندین بازدید از منطقه به عمل آمد و عرصه پخش سیلاب به عنوان منطقه متاثر از سیلگیری و ناحیه همجوار عرصه پخش سیلاب به عنوان عرصه شاهد که تغییری در آن ایجاد نشده است، مشخص گردید. سپس، با پیمایش صحرایی و استفاده از روش ترانسکت-کوادرات، عملیات ثبت داده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی و برداشت نمونه خاک سطحی انجام شد. بدین منظور در هر یک از مناطق عرصه پخش سیلاب و شاهد، ۳ ترانسکت به طول ۱۰۰m مستقر شد (شکل ۳). از آنجایی که سیلگیری بر پشته‌های آغازین و نزدیک‌تر به کانال آبرسان تأثیر بیشتر دارد (۲۵) فاصله بین سه پشته ابتدایی کانال پخش برای استقرار نوارها (ترانسکت) مدنظر قرار گرفت. در راستای هر

نوار ۱۰ قطعه 1m^2 به فاصله ۱۰m از یکدیگر مستقر شد. بنابراین، در هر کدام از عرصه‌های پخش سیلاب و شاهد ۳۰ پلات و در مجموع ۶۰ قطعه استقرار یافت. در هر قطعه ویژگی‌های پوشش گیاهی شامل: نمونه از هر گونه، درصد پوشش و تراکم همه گونه‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری شد و درصد سنگ و سنگریزه، لاشبرگ و خاک لخت در هر قطعه نیز مورد سنجش قرار گرفت (۱۹). برای اطلاع از تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در هر ترانسکت تا عمق ۲۰cm خاک هر کدام از قطعه‌های شماره ۱، ۵ و ۱۰ نمونه‌برداری انجام شد؛ در مجموع ۹ نمونه برای عرصه پخش سیلاب و ۹ نمونه برای عرصه شاهد برداشت شد. سپس، نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد و برای سنجش ویژگی‌های مدنظر به آزمایشگاه منتقل شد. بدین منظور، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل درصد رس، سیلت، ماسه، سنگریزه به روش هیدرومتری، pH با pH متر، EC با EC سنج، Ca با تیتراسیون Na و K با شعله‌سنجی اندازه‌گیری شد (۱۷).

سیلاب ۳۴ گونه گیاهی و در منطقه شاهد ۲۵ گونه گیاهی وجود داشت. از این تعداد، ۱۲ گونه گیاهی فقط در منطقه پخش سیلاب و ۲ گونه گیاهی گونه‌های *Cousinia sp* و *Peganum harmala* L. فقط در منطقه شاهد مشاهده شد و ۲۳ گونه گیاهی نیز به صورت مشترک در دو عرصه پخش سیلاب و شاهد وجود داشت. گونه‌های گیاهی موجود که به طور انحصاری در منطقه پخش سیلاب دیده شدند بر اساس تراکم به ترتیب شامل: *Medicago*, *Vicia variabilis* Freyn & Sint., *Phalaris minor*, *Medicago radiata* L., *minima* L., *Avena fatua* L., *Erodium cicutarium* L., Retz., *Teucrium polium* L. و *Sinapis arvensis* L. بودند.

بر اساس نتایج، در منطقه پخش سیلاب، گونه‌های *Medicago minima* L., *Medicago radiata* L. به ترتیب *Sinapis arvensis* L. و *Teucrium polium* L. بیشترین درصد تاج پوشش را به خود اختصاص دادند، از طرفی در منطقه شاهد گونه‌های *Peganum harmala* L., *Capparis spinosa* L. و *Citrullus colocynthis* L. بیشترین درصد تاج پوشش را داشتند (جدول ۲).

گونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه گیاهشناسی گروه منابع طبیعی دانشگاه یاسوج منتقل شد. نمونه‌های گیاهی با استفاده از بکارگیری فلورها و منابع موجود نظیر فلور ایرانیکا (۲۶)، فلور رنگی ایران (۱۲)، فلور ایران (۱) و رده‌بندی گیاهان (۲۱) مورد شناسایی قرار گرفتند. فرم زیستی گونه‌های گیاهی بر اساس روش رده‌بندی رانکایه تعیین شد (۲۷).

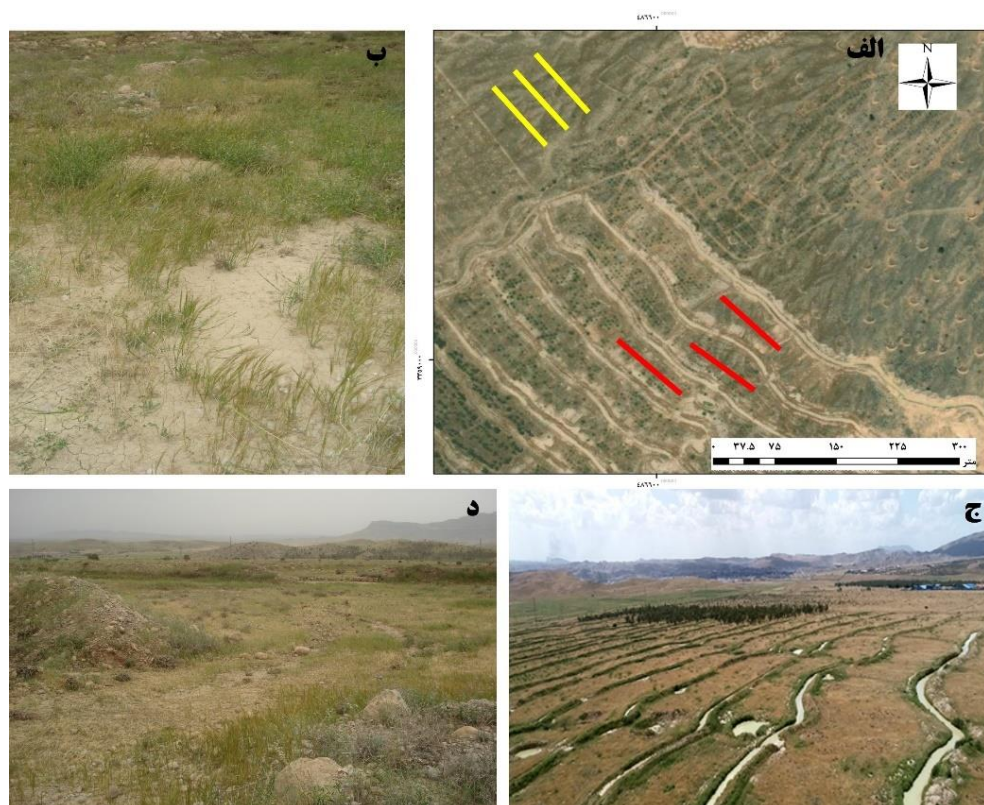
تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای مقایسه میانگین ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک در دو عرصه پخش سیلاب و شاهد از آزمون t-test استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری انجام گرفت.

■ نتایج

تأثیر پخش سیلاب بر پوشش گیاهی

نتایج بررسی‌های میدانی به شناسایی ۳۶ گونه گیاهی و ۳۳ جنس متعلق به ۱۴ تیره گیاهی منجر گردید. مهم‌ترین خانواده‌های گیاهی منطقه، Asteraceae، Poaceae و Fabaceae بودند. نتایج نشان داد که در منطقه پخش



شکل ۳. الف) موقعیت استقرار ترانسکت‌های نمونه‌برداری قرمز در عرصه پخش و زرد در منطقه شاهد، ب) حضور پوشش گیاهی بر روی رسوبات جدید، ج) نمای هوایی از کانال‌های آبرسان گسترشی، د) نمایی از پوشش گیاهی عرصه پخش سیلاب

جدول ۲. میانگین درصد تاج پوشش گونه‌های گیاهی در دو منطقه پخش سیلاب و شاهد

ردیف	فرم زیستی*	تیره	گونه گیاهی	پخش سیلاب	شاهد	تفاضل
۱	Th	Poaceae	<i>Aegilops sp</i>	۰/۷۳	۰/۸۰	- ۰/۰۷
۲	He	Malvaceae	<i>Alcea aucheri</i> (Boiss.) Alef.	۰/۹۵	-	۰/۹۵
۳	He	Fabaceae	<i>Alhagi camelorum</i> DC.	۰/۵۲	۱/۱۷	- ۰/۶۵
۴	He	Fabaceae	<i>Astragalus sp</i>	۱/۸۳	۱/۱۷	۰/۶۶
۵	Th	Poaceae	<i>Avena fatua</i> L.	۳/۰۵	-	۳/۰۵
۶	Th	Poaceae	<i>Bromus tectorum</i> L.	۰/۸۶	۰/۹۳	- ۰/۰۷
۷	He	Capparidaceae	<i>Capparis spinosa</i> L.	۱/۵۰	۱/۸۷	- ۰/۳۷
۸	He	Asteraceae	<i>Carthamus oxyacantha</i> M.Bieb.	۲/۴۸	۱/۳۸	۱/۱
۹	Th	Asteraceae	<i>Centaurea iberica</i> Trevir. ex Spreng.	۱/۲۱	۱/۴۳	- ۰/۲۲
۱۰	Th	Asteraceae	<i>Centaurea virgata</i> Lam.	۱/۳۸	۱/۱۷	۰/۲۱
۱۱	He	Cucurbitaceae	<i>Citrullus colocynthis</i> (L.) Schrad.	۲/۳۳	۱/۴۳	۰/۹۰
۱۲	He	Asteraceae	<i>Cousinia sp</i>	-	۱	- ۱
۱۳	Th	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	۰/۸۳	۰/۹۵	- ۰/۱۲
۱۴	He	Asteraceae	<i>Echinops robustus</i> Bunge	۱/۷۲	۰/۸۳	۰/۸۹
۱۵	Th	Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i> L.	۲/۸۵	-	۲/۸۵
۱۶	He	Apiaceae	<i>Eryngium billardieri</i> Delile	۱/۷۲	۰/۷۵	۰/۹۷
۱۷	He	Boraginaceae	<i>Heliotropium europaeum</i> L.	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۱
۱۸	He	Asteraceae	<i>Lactuca sp</i>	۱/۲۱	۱/۳۳	- ۰/۱۲
۱۹	Th	Poaceae	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	۱/۵۵	-	۱/۵۵
۲۰	Th	Malvaceae	<i>Malva parviflora</i> L.	۰/۶۵	۰/۶۷	- ۰/۰۲
۲۱	He	Asteraceae	<i>Matricaria recutita</i> L.	۱/۰۳	۰/۳۷	۰/۶۶
۲۲	Th	Fabaceae	<i>Medicago coronata</i> (L.) Bartal.	۲/۰۸	-	۲/۰۸
۲۳	Th	Fabaceae	<i>Medicago minima</i> (L.) Bartal.	۴/۲۳	-	۴/۲۳
۲۴	Th	Fabaceae	<i>Medicago radiata</i> L.	۴/۵۰	-	۴/۵۰
۲۵	He	Apiaceae	<i>Oliveria decumbens</i> Vent.	۱/۷۶	-	۱/۷۶
۲۶	He	Boraginaceae	<i>Onosma sp</i>	۱/۵۰	۰/۸۰	۰/۷۰
۲۷	He	Papaveraceae	<i>papaver sp</i>	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۰۱
۲۸	He	Zygophyllaceae	<i>Peganum harmala</i> L.	-	۲/۱۷	- ۲/۱۷
۲۹	Th	Poaceae	<i>Phalaris minor</i> Retz.	۳/۱۲	-	۳/۱۲
۳۰	He	Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i> L.	۱/۱۱	۰/۹۲	۰/۱۹
۳۱	He	Asteraceae	<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	۰/۶۷	۱/۱۰	- ۰/۴۳
۳۲	Th	Brassicaceae	<i>Sinapis arvensis</i> L.	۳/۴۵	-	۳/۴۵
۳۳	Th	Poaceae	<i>Stipa capensis</i> Thunb.	۰/۵۷	۱/۲۵	- ۰/۶۸
۳۴	He	Lamiaceae	<i>Teucrium polium</i> L.	۳/۸۷	-	۳/۸۷
۳۵	Th	Zygophyllaceae	<i>Tribulus terrestris</i> L.	۰/۲۵	۱/۰۸	- ۰/۸۳
۳۶	Th	Fabaceae	<i>Vicia variabilis</i> Freyn & Sint.	۲/۶۳	-	۲/۶۳

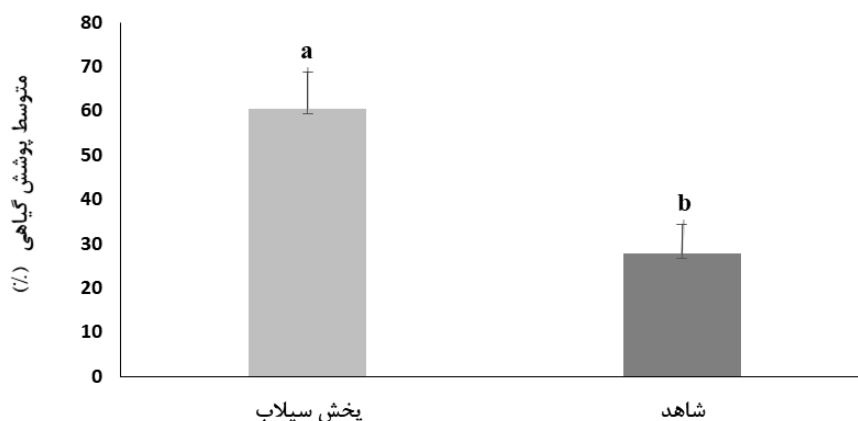
* Th: تروفیت، He: همی کریپتوفیت

مطابق نتایج حاصل از آزمون t، بین ویژگی‌های درصد تاج پوشش (شکل ۴)، تراکم (شکل ۵)، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه و خاک لخت در عرصه پخش سیلاب و شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود داشت (جدول ۳). پوشش تاجی، تراکم گونه‌ها و میزان لاشبرگ در عرصه

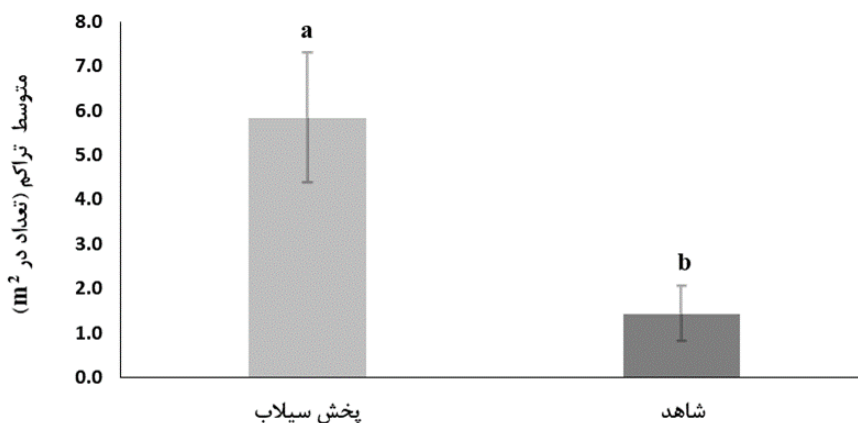
پخش سیلاب نسبت به شاهد به ترتیب ۳۲/۸٪، ۴/۴٪ و ۳٪/۵ افزایش یافته بود. مقدار سنگ و سنگریزه در منطقه پخش سیلاب و منطقه شاهد به ترتیب ۱۸/۸۶٪ و ۳۰/۳۶٪ بود. همچنین، سطح خاک لخت عرصه پخش سیلاب ۱۵/۳۵٪ و در منطقه شاهد ۴۰/۱۵٪ اندازه‌گیری شد.

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون t برای مقایسه ویژگی‌های پوشش گیاهی

پارامترهای مورد بررسی	میانگین $\pm$ انحراف معیار		مقدار t و سطح معنی‌داری
	پخش سیلاب	شاهد	
پوشش	60.46 ± 8.20	27.66 ± 6.78	۱۶/۸۷**
تراکم	5.83 ± 1.46	1.43 ± 0.62	۱۵/۱۳**
لاشبرگ	5.33 ± 1.34	1.83 ± 0.74	۱۲/۴۴**
سنگ و سنگریزه	18.86 ± 4.21	30.36 ± 4.28	- ۱۰/۴۷**
خاک لخت	15.35 ± 4.70	40.15 ± 4.32	- ۲۱/۲۶**



شکل ۴. مقایسه درصد پوشش گیاهی در دو عرصه پخش سیلاب و شاهد (حروف مختلف و بار به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین و انحراف معیار است)



شکل ۵. مقایسه تراکم در دو عرصه پخش سیلاب و شاهد (حروف مختلف و بار به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین و انحراف معیار است)

تأثیر پخش سیلاب بر ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک
 نتایج حاصل از بررسی اثر پخش سیلاب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه پخش سیلاب و شاهد نشان داد که بین مقدار رس، سیلت، ماسه و سنگریزه تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد (جدول ۴). در مقدار رس، سیلت و ماسه خاک عرصه پخش سیلاب نسبت به خاک عرصه شاهد افزایش معنی‌داری مشاهده شد. این در حالی است که مقدار سنگریزه در عرصه پخش سیلاب نسبت به شاهد کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که مقدار ویژگی‌های pH، EC، Ca، Na و K در دو عرصه پخش سیلاب و شاهد تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۴). با این وجود، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده pH، EC و Ca در عرصه شاهد نسبت به پخش سیلاب بیشتر بود، اما میانگین مقدار Na و K در عرصه پخش سیلاب بیشتر از عرصه شاهد بود.

■ بحث و نتیجه‌گیری

شیوه‌های بهره‌برداری از سیلاب در ایران کهن به عنوان یک سرزمین خشک و نیمه خشک، سابقه چند هزار ساله دارد. در بسیاری از مناطق ایران، از گذشته‌های دور، جریان‌های سیلابی همراه با رسوبات فراوان موجود در آنها به عنوان یک منبع آب غنی از حاصلخیز کننده‌های طبیعی مورد توجه قرار گرفته است؛ در حال حاضر نیز بومیان نواحی مختلفی از استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان

جنوبی، کرمان و هرمزگان، روش‌های سنتی را در بهره‌برداری حداکثری از سیلاب‌های ناگهانی به کار می‌گیرند. جمع‌آوری، ذخیره و استفاده بهینه از سیلاب‌ها مانند پخش سیلاب، می‌تواند در حفظ منابع طبیعی و احیای مجدد آنها تأثیر بسزایی داشته باشد (۶). در واقع، پخش سیلاب به منظور اصلاح خاک و ایجاد تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی در مراتع خشک و نیمه خشک انجام می‌شود که می‌تواند در جلوگیری از فرسایش خاک و مهار هرزآب-های مخرب و زیانبار در پایین دست و تغذیه آبخوان‌ها نیز موثر باشد. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر پخش سیلاب بر پوشش گیاهی و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در بخشی از دشت آبدلان است که از سال ۱۳۷۶ عملیات گسترش و پخش سیلاب در آن انجام می‌شود.

نتایج نشان داد که درصد پوشش گیاهی و تراکم گیاهان در عرصه پخش سیلاب نسبت به عرصه شاهد افزایش یافته است. همچنین بررسی نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک از افزایش درصد رس، سیلت و ماسه در عرصه پخش سیلاب و در نتیجه، کاهش گراول در عرصه پخش سیلاب نسبت به شاهد حکایت دارد. از آنجایی که پخش سیلاب در این منطقه تأثیر معنی‌داری بر حاصلخیزی نداشته است (۲۳) بنابراین علت افزایش درصد پوشش گیاهی می‌تواند ناشی از افزایش رطوبت و نگهداشت بهتر آن در رسوبات ریزدانه باشد.

جدول ۴. تأثیر پخش سیلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی مورد بررسی	میانگین	درجه آزادی	سطح معنی‌داری		
				شاهد	پخش سیلاب
pH	۷/۶۶	۱۶	۰/۳۸۱ ^{ns}	۷/۸۴	
(ds/m) EC	۰/۲۹	۱۶	۰/۰۷۳ ^{ns}	۰/۳۰	
(meq/lit) Ca	۲/۱۳	۱۶	۰/۲۱۷ ^{ns}	۲/۲۰	
(ppm) Na	۵/۵۶	۱۶	۰/۳۵۱ ^{ns}	۵/۱۴	
(ppm) K	۲/۵۲	۱۶	۰/۰۶۸ ^{ns}	۲/۱۵	
رس (%)	۵/۶۴	۱۶	۰/۰۰۱ ^{**}	۱/۴۵	
سیلت (%)	۲۵/۶۱	۱۶	۰/۰۰۳ ^{**}	۱۰/۸۶	
ماسه (%)	۴۴/۳۱	۱۶	۰/۰۰۸ ^{**}	۲۱/۹۸	
سنگریزه (%)	۲۴/۴۳	۱۶	۰/۰۰۴ ^{**}	۶۵/۶۸	

ns: عدم معنی‌داری؛ **: معنی‌داری در سطح یک درصد

با تراکم و تاج پوشش قابل توجه فقط در منطقه شاهد مشاهده شد که می‌تواند نشان دهنده عدم پویایی جامعه گیاهی و نیز تخریب پوشش مرتعی آن باشد.

نتایج حاصل از بررسی اثر پخش سیلاب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه پخش سیلاب و شاهد نشان داد درصد رس، سیلت و ماسه خاک عرصه پخش سیلاب نسبت به خاک عرصه شاهد افزایش داشته است. این درحالی است که مقدار سنگریزه در عرصه پخش سیلاب نسبت به شاهد کاهش یافته است؛ البته کاهش نسبی سنگریزه به دلیل افزایش ذرات ریزدانه‌تر در سطح عرصه پخش سیلاب بوده است. دیگر ویژگی‌ها شامل pH، EC، Ca، Na و K در دو عرصه پخش سیلاب و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. گرچه تأثیر پخش سیلاب بر هدایت الکتریکی معنی‌دار نبود اما مقدار هدایت الکتریکی در عرصه پخش سیلاب کمتر از شاهد بود (۹، ۲۰) علت این حالت را می‌توان افزایش مقدار آبشویی خاک و انتقال و خروج یون‌ها در پروفیل خاک دانست. بنابراین، پخش سیلاب فقط ویژگی‌های فیزیکی خاک عرصه را تحت تأثیر قرار داده است؛ به طوری که با افزایش قابل توجه ذرات ریزدانه شامل رس، سیلت و ماسه موجب کاهش مقدار سنگریزه در واحد حجم رسوبات عرصه پخش سیلاب شده است؛ این نتایج با یافته‌های بسیاری از محققان (۱۳، ۲۴) هم‌خوانی دارد.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، پخش سیلاب شرایط مناسبی را برای بهبود وضعیت محیطی منطقه ایجاد کرده است. این شرایط محیطی مناسب، موجب افزایش قابل توجه پوشش گیاهی منطقه شده است. عملیات پخش سیلاب دشت آبدالان با تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک سطحی، احیای منطقه را سبب شده است. برخی از محققان (۲۰) بر این باورند که اثر پخش سیلاب بر افزایش پوشش گیاهی مراتع و کاهش شوری خاک مناطق خشک و نیمه‌خشک یک اثر کوتاه‌مدت است و برخی دیگر (۲) معتقدند که پخش سیلاب در درازمدت ممکن است سبب ایجاد تغییرات مشهود در ترکیب گیاهی شود. آنچه مسلم است موفقیت طرح‌های پخش سیلاب برای احیا مراتع منوط به پخش یکنواخت سیلاب بر روی سطح مراتع و تعداد کافی دفعات سیلگیری در طول سال است همچنین

با توجه به این‌که مهم‌ترین عامل محدود کننده خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، مقدار رطوبت در دسترس گیاه است، تامین و بهبود شرایط رطوبتی خاک را می‌توان عامل اصلی افزایش پوشش تاجی حاصل از اجرای عملیات پخش سیلاب به حساب آورد که با نتایج بسیاری از محققان (۵، ۶، ۹، ۱۵) هم‌خوانی دارد؛ پوشش گیاهی برای عرصه پخش سیلاب زنجان نیز از ۲۲/۲۲٪ به ۵۶/۱۸٪ افزایش یافته است (۶). همچنین مقدار پوشش گیاهی در داخل عرصه پخش سیلاب دشت گربایگان فارس بیش از ۱۰۰٪ آن در خارج از پخش سیلاب است (۱۰).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد گونه‌های گیاهی ارزشمند علوفه‌ای مانند *Medicago radiata* L.، *Vicia variabilis*، *Medicago minima* (L.) Bartal.، *Avena* و *Phalaris minor* Retz.، Freyn & Sint.، *fatua* L. در عرصه پخش سیلاب تاج پوشش قابل توجهی دارند؛ در همین راستا، برخی از محققان افزایش معنی‌داری تراکم گونه *Helianthemum lippii* را در عرصه پخش سیلاب گربایگان فسا نیز گزارش داده‌اند (۱۰). به نظر می‌رسد افزایش حضور چنین گونه‌های ارزشمند و خوشخوراک در اثر عملیات پخش سیلاب حاصل شده است؛ به طوری که احتمالاً بذر این گیاهان همراه با رسوبات حوزه آبخیز بالادست وارد عرصه پخش شده است. از طرف دیگر، وجود رطوبت کافی و مواد ریزدانه مناسب برای نگهداشت رطوبت مورد نیاز در مدت زمان طولانی‌تر، باعث رشد و افزایش تراکم و تاج پوشش این گیاهان در عرصه پخش سیلاب شده است. بنابراین، تأثیر سیستم گسترش سیلاب بر افزایش تراکم و تنوع پوشش گیاهی را می‌توان نتیجه چند عامل اساسی دانست: شادابی و طراوت بهتر گیاهان عرصه گسترش با تامین آب مورد نیاز پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه خشک از سیلاب، افزایش توان نگهداشت رطوبت با ورود رسوبات ریزدانه، تقویت بنیه و بهبود قدرت تکثیر گیاهان با ریزمغذی‌های موجود در جریان سیلابی و در پایان وجود بذور مختلف در سیلاب و بانک غنی بذر رسوب که موجب تنوع پوشش گیاهی عرصه گسترش سیلاب می‌شود؛ حصول یکی از این عوامل هم می‌تواند پوشش گیاهی را متاثر سازد. مطابق نتایج، گونه‌های مهاجم *Cousinia sp* و *Peganum harmala* L.

برای قضاوت منطقی‌تر در مورد عکس‌العمل گونه‌های گیاهی مختلف در اثر پخش سیلاب و روند تغییرات پوشش گیاهی لازم است دوره آماربرداری تا مرحله تحول بوم‌شناختی و تثبیت جامعه گیاهی ادامه یابد (۴). پیشنهاد می‌شود ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک عرصه‌های پخش سیلاب در سال‌های متمادی پایش و ارزیابی شود تا روند تغییر طی زمان نیز به طور دقیق‌تر تعیین شود و در صورت نیاز تدابیر و تصمیم‌های مدیریتی لازم اتخاذ گردد.

■ References

1. Assadi, M. (1986-2018). Flora of Iran. Iranian Research Institute of Forests and Rangelands Publication, Vols 1-149. (in Farsi)
2. Atarod E, M., Baghestani Maybody, N., Barkhordari, J., & Mirjalili, A. (2018). Effects of flood water spreading on vegetation cover characteristics (Case Study: Serizi- Bafgh Plain in Yazd province). *Range and Desert Research*, 25(2), 289-297. (in Farsi)
3. Barabadi, H., Zehtabian, Gh.R., Tavili, A., Dadrasi Sabzevar, A., & Khosravi, H. (2013). The Effects of Floodwater Spreading on Success Rate of Cultivated Species Planting and Combating Desertification (Case Study: Flood Spreading Station of Barabad, Sabzevar). *Desert Management*, 1(1), 1-12. (in Farsi)
4. Barkhordari, J., Tireh Shabankareh, K., Zare Mehrjerdi, M., & Khalkhali, M. (2009). Study of water spreading effects on quantitative and qualitative changes of pastoral cover: A case study in station of Sarchahan water spreading (Hormozgan province). *Watershed Researches in Pajouhesh & Sazandegi*, 22(1), 65-72. (in Farsi)
5. Barkhordari, J., Zare Mehrjardi, M., & Yousefi, M. (2014). Impact of Flood water spreading on Soil and vegetation parameters in Sarchahan station - Hormozgan. *Watershed Researches*, 27(2), 33-42. (in Farsi)
6. Bayat Movahhed, F. (2005). Water spreading impacts on vegetation cover and standing crop production in the part of Zanjan plain. *Pajouhesh & Sazandegi*, 18(2), 34-41. (in Farsi)
7. Bayat Movahhed, F., & Moosavi, A. (2007). Study of water spreading impact on plant species changes in Zanjan. *Range and Desert Research*, 14(2), 222-231. (in Farsi)
8. Chezgi, J., & Soheili, E. (2021). Application of TOPSIS and VIKOR Decision Making Models in Site Selection of Flood Spreading Projects in Arid and Semi-Arid Region. *Desert Management*, 8(16), 169-182. (in Farsi)
9. Dahmardeh Ghaleno, M., Nohtani, M., & Askari Dehno, S. (2019). Studying impact of flood water spreading on changes of vegetation and topsoil in koh khajeh flood spreading station, Sistan. *Watershed Engineering and Management* 11(1), 211-219.
10. Forouzeh, M., Heshmati, Gh. (2008). Investigation the effect of floodwater spreading on some of the characteristics of vegetation and soil surface parameters (Case study: Gareh Bygone plain). *Pajouhesh & Sazandegi*, 21(2), 11-20 (in Farsi).
11. Forouzeh MR., & Sharafatmandrad, M. (2012). The effect of water spreading system on the functionality of rangeland ecosystems. *Arid Land*, 4(3), 292-299.
12. Ghahreman, A. (1975-2013). Flora's color of Iran. Research Institute of Forests and Rangeland Publications, volumes 1-27. (in Farsi)
13. Ghasemi, A., Hydari Heshmat Elah, H., Fakhri, F., Azadfar, D., & Sadeghi, S.M. (2009). Evaluation of the effect of flood spreading on some arid zone plants species with respect to the physico - chemical properties of desert soils (A case study, Bushehr province *Range and Desert Research*, 16(3), 362-374. (in Farsi)

14. Hubbell, D.S., & Gardner, J.L. (1944). Some Edaphic and Ecological Effects of Water Spreading on Range Lands. *Ecology*, 25(1), 27-44.
15. Kenneth, J.B., Stromberg, J.C., & Lite, Sh.J. (2005). Response of Herbaceous Riparian Plants to Rain and Flooding on the San Pedro River, Arizona, USA. *Wetlands*, 25(1), 210-223.
16. Jafari, A., Khosravanian, H., & Avazzadeh Tavakoli, F. (2011). Investigation of the effects of flood water spreading on improving quantity and quality of rangelands vegetation cover (Case Study: Flood water spreading station of Tangestan, Busher province). *Range and Watershed Management*, 64(3), 257-266. (in Farsi)
17. Jafari Haghighi, M. (2003). Methods of sampling and analysis of soil physical and chemical analysis with emphasis on theory and practical importance. Neda Zoha Press. 236 p. (in Farsi)
18. Mahdavi, Kh., Azarian, A., Javadi, M., & Mahmoodi, J. (2016). Effects of flood spreading on some physicochemical properties and soil fertility (Case study: Band-E Alikhan area, Varamin). *Rangeland*, 10(1), 68-81. (in Farsi)
19. Mesdaghi, M. (2003). Rangeland management in Iran. Imam Reza University press. 4th press, 333p. (in Farsi)
20. Mirjalili, A., Tabatabaeizadeh, M., Hakimzadeh, M.A., & Mashhadi, N. (2016). Investigation effect of floodwater spreading on vegetation and soil (Case study: Floodwater spreading of Miankooh, Yazd). *Desert Management*, 4(7), 26-34 (in Farsi).
21. Mozafarian, V., (2005). Plant Taxonomy. Amir Kabir Publishing, 1100p. (in Farsi)
22. Padyab, M., & Feiznia, S. (2013a). Sediment yield determination of different geological formations in Gachsaran floodwater spreading field. *Range and Watershed Management*, 65(4), 473-482. (in Farsi)
23. Padyab, M., Feiznia, S., & Shafei, A. (2013b). Assessment of the effects of floodwater spreading on soil fertility (Case study: Gachsaran floodwater spreading station). *Range and Desert Research*, 20(1), 161-171. (in Farsi)
24. Padyab, M., Feiznia, S., Hassan Ahmadi., & Shafei, A. (2014). An investigation on the effect of floodwater spreading on physicochemical soil attributes (Case study: Gachsaran Floodwater spreading station). *Range and Watershed Management*, 67(2), 177-187. (in Farsi)
25. Padyab, M., & Feiznia, S. (2016). Determination of the lower permeability systems floodwater spreading using shallow sediment granulometry Case study: Gachsaran Floodwater spreading station. *Range and Desert Research*, 23(1), 108-117. (in Farsi)
26. Rechinger, K.H. (1963-2015). Flora Iranica. Vols. 1-181. Austria: Akademische Druck U, Verlagsantalt, Graz.
27. Raunkiaer, C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, Oxford.

Projection of Climate Changes in Yazd Province in both the Near and Distant Future using SDSM Linear Multiple Model

E. Rafiei Sardooi^{1*}, A. Azareh², J. Rafi Sharifabad³, M. Jafary Godeneh⁴

1. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Department of Ecological Engineering, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2. Assistant Professor, Faculty of Literature and Humanities, Department of Geography, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
3. Ph.D., Faculty of Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
4. Ph.D. student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

* Corresponding Author: ellrafiei@ujiroft.ac.ir

Received date: 10/05/2021

Accepted date: 30/06/2021

 [10.22034/JDMAL.2021.246298](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246298)

Abstract

In recent decades, the increase in temperature has caused widespread climate change all over the world, especially in arid and semi-arid regions of Iran and Yazd province. The purpose of this study is to project climate change in Yazd province using the CanESM2 model and new emission scenarios (RCP) during 2021-2050 (near future) and 2051-2080 (distant future) and to study the trend of changes in the baseline period using the Mann-Kendall test. The statistical indices of R^2 , RMSE, and NSE were used to evaluate the performance of the CanESM2 model. According to the results, the model had an appropriate performance for projecting precipitation and temperature in the future period and was classified into good and very good classes in terms of capability. Investigating the trend of the annual change of temperature and precipitation in the baseline period showed that the temperature had an increasing trend under most scenarios and stations, while the trend of the change of precipitation was no significant. The results of temperature changes in Yazd province indicated an increase of 2.2, 1.2, and 2.5 °C during 2021-2050 and 2.28, 3.19, and 4.77°C during 2051-2080 under RCP2, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios, respectively. Changes in precipitation in Yazad province during the winter season showed a decrease in precipitation by 32, 26, and 34% during 2021-2050 and by 32, 32, and 5% during 2051-2080 under RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios, respectively.

Keywords: Temperature; Precipitation; Mann-Kendall; Downscaling; Emission scenarios





بررسی تغییرات اقلیمی استان یزد در آینده دور و نزدیک به کمک مدل چندگانه خطی SDSM

الهام رفیعی ساردوئی^{۱*}، علی آذره^۲، جواد رفیع شریف‌آباد^۳، میثم جعفری گدنه^۴

۱. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران.

۲. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران.

۳. دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۴. دانشجوی دکتری آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول: ellrafiei@ujiroft.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹

doi [10.22034/JDMAL.2021.246298](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246298)

چکیده

در چند دهه گذشته افزایش دمای زمین موجب تغییرات اقلیمی گسترده‌ای در بیشتر سطح کره زمین به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و استان یزد ایجاد شده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات اقلیمی استان یزد با استفاده از مدل CanESM2 و سناریوهای جدید انتشار (RCP) در دو بازه آینده نزدیک ۱۴۲۹-۱۴۰۰ و آینده دور ۱۴۵۹-۱۴۳۰ و بررسی روند تغییرات در دوره پایه با استفاده از آزمون من-کندال است. همچنین به‌منظور بررسی کارایی مدل CanESM2 از شاخص‌های آماری R^2 ، RMSE و NSE استفاده شد. برطبق نتایج مدل کارایی لازم را در پیش‌بینی بارش و دما در دوره آتی داشت و از نظر قابلیت در کلاس خوب و خیلی خوب طبقه‌بندی شد. بررسی روند تغییرات سالانه متغیرهای دما و بارش در دوره پایه نشان داد که روند دما در بیشتر ایستگاه‌ها و سناریوها افزایشی است، درحالی‌که روند تغییرات بارش معنی‌دار نبود. نتایج تغییرات دمایی در استان یزد در دوره آتی نسبت به دوره پایه حاکی از افزایش دمای میانگین سالانه به میزان $2/2^{\circ}\text{C}$ ، $2/1^{\circ}\text{C}$ و $2/5^{\circ}\text{C}$ در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ و به‌میزان $3/19^{\circ}\text{C}$ ، $4/77^{\circ}\text{C}$ و $2/28^{\circ}\text{C}$ در دوره ۱۴۵۹-۱۴۳۰، به‌ترتیب، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بود. همچنین بررسی تغییرات میانگین بارندگی در فصل زمستان در استان یزد نشان داد که کاهش بارندگی در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ به‌میزان ۳۲، ۳۶ و ۳۴٪ و در دوره ۱۴۵۹-۱۴۳۰ به‌میزان ۳۲، ۳۲ و ۵٪، به‌ترتیب، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 رخ خواهد داد.

واژگان کلیدی: دما؛ بارش، من-کندال؛ ریزمقیاس‌نمایی؛ سناریوهای انتشار

■ مقدمه

خطرات و پیامدهای تغییر اقلیم بیش از پیش در حال آشکار شدن هستند. تجزیه و تحلیل‌ها حاکی از آن است که از ابتدای قرن بیستم درجه حرارت متوسط جهانی تقریباً 1°C افزایش یافته است (۱۰). یکی از چهار سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCP8.5^1) بیانگر آن است که تا سال ۲۱۰۰ دمای زمین بین 2.6°C تا 4.8°C افزایش می‌یابد و اثرات مخربی بر اکوسیستم‌های جهانی و زندگی بشر روی زمین خواهد داشت (۱۱، ۱۷ و ۳۰). در این زمینه، کنفرانس تغییرات آب و هوایی سازمان ملل در سال ۲۰۱۵ متعهد شد تا افزایش دما را تا پایان قرن به کمتر از 2°C ، ترجیحاً به 1.5°C ، محدود نمایند (۱). از طرفی اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به شدت شکننده‌اند و می‌توانند به راحتی خدشه‌دار گردند. توسعه آن‌ها تحت شرایط بسیار حاد اگزوترمال^۲ صورت می‌گیرد و بهبود آن‌ها با رفع شرایط نامطلوب نیز به‌کندی انجام می‌پذیرد و در موارد شدیداً حاد عدم تعادل بیولوژیکی باعث تخریب غیرقابل برگشت و افت توان بیولوژیکی می‌شود. بنابراین آسیب‌پذیری این مناطق نسبت به تغییرات آب‌وهوایی با توجه به کمبود رطوبت خاک، شدت تأثیر خورشید، دمای بالا بیش از سایر مناطق است (۳، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳ و ۲۴). از طرفی خشکی یا محدودیت آب یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی در ایران است. عناصر اقلیمی به‌ویژه میزان بارش به‌صورت معنی‌داری در مناطق مختلف تفاوت دارد. توزیع پراکنش میزان بارندگی در طی سال در اغلب مناطق از شرایط مناسبی، که برای رشد گیاه مفید باشد، برخوردار نیست. بنابراین تغییر اقلیم یکی از مسائل مهم حال حاضر جهان به شمار می‌رود که مطالعات بسیاری را در زمینه‌های متعدد به خود اختصاص داده است.

نتایج روابط میان بیابان‌زایی و شاخص‌های تغییرات آب‌وهوایی در سراسر شمال چین نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی یکی از عوامل محرک برگشت بیابان‌زایی، در مناطق

شمال‌شرقی و شمال‌غربی این کشور، بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۹۰ بوده است. این تغییرات در مناطق شهری بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است و با فاصله گرفتن از این مناطق تغییرات اقلیمی مشهود است (۳۰). خشک‌سالی ناشی از افزایش دما تحت سناریوهای RCP8.5 در حوزه آبخیز رودخانه پُرل^۳ چین شدیدتر از دو سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۱۶ رخ داده است. در برخی مناطق حوزه سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 نیز افزایش شدت خشک‌سالی مثبت بوده است، بنابراین می‌بایست سیاست‌های لازم را در این حوزه در راستای کاهش مصرف آب اتخاذ کرد (۱۹). همچنین بررسی تغییرات اقلیمی شهرستان سنجند طی ۳۰ سال آینده تحت سناریوهای RCP و مدل CanESM2 حاکی از آن است که تغییرات افزایشی دما به‌میزان حدود یک درصد نسبت به میانگین دوره پایه است. می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل افزایش دما طی دوره مشاهداتی در این شهرستان پدیده تغییر اقلیم بوده است (۲). ارزیابی تغییرات اقلیمی شهرستان کرمان با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نشان داد که همه مدل‌ها در زمینه پیش‌بینی دمای این شهرستان پاسخ یکسانی در زمینه افزایش حداکثری دمای مینیم و ماکزیم نشان داده‌اند؛ به‌گونه‌ای که بیشینه افزایش دمای مینیم در مدل‌های GFDL-CM^4 ، HadGEM2-ES^5 ، MIROC5^6 و MPI-ESM-MR^7 به‌ترتیب به‌میزان 3.56°C ، 2.73°C ، 2.33°C و 2.30°C در ماه سپتامبر صورت گرفته است (۱۴). از طرفی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، با استفاده از مدل LARS-WG^8 حاکی از آن بود که بارش سالانه به‌میزان 4.03% کاهش و دمای حداقل به‌میزان 0.64°C تا 1.35°C افزایش خواهد یافت. همچنین بیشترین افزایش دمای بیشینه در ماه نوامبر به‌میزان 1.27°C و کم‌ترین افزایش آن در ماه ژانویه به‌میزان 0.33°C خواهد بود.

6 Model for Interdisciplinary Research On Climate

7Max-Planck-Institute Earth System Model running on mixed resolution grid

8 Long Ashton research station weather generator

1 Representative Concentration Pathway

2 Exothermal

3 Pearl

4 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Coupled Model

5 Hadley Centre Global Environmental Model, version 2-Earth System

■ مواد و روش‌ها

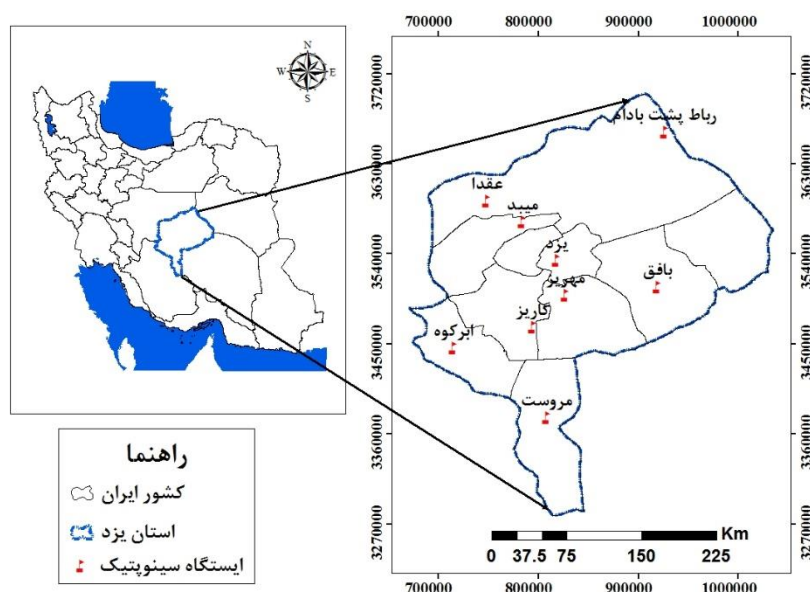
منطقه مورد بررسی

استان یزد در مرکز ایران و در حاشیه دشت کویر و بیابان لوت از یکسو و از سوی دیگر کوه‌های نائین و پیش‌کوه‌های زاگرس قرار دارد. مساحت این استان حدود 128766 km^2 ، میانگین بارندگی متوسط آن در حدود 70 mm و مقدار تبخیر و تعرق آن حدود 2000 mm است (۲۷) و در محدوده $29^\circ 35' 45''$ تا $52^\circ 48' 10''$ و $58^\circ 21' 01''$ تا $58^\circ 21' 01''$ طول شرقی و $29^\circ 35' 45''$ تا $52^\circ 48' 10''$ عرض شمالی واقع شده است (۲۶ و ۲۷). موقعیت این استان در کشور ایران در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

روش پژوهش

در پژوهش حاضر داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه‌های همدیدی استان یزد، شامل ابرکوه، بافق، گاریز، مروست، مهریز، میبد، عقدا، رباط پشت بادام و یزد برای بررسی پدیده تغییر اقلیم طی دوره زمانی ۱۳۶۹-۱۳۹۷ از سازمان هواشناسی استان یزد تهیه شد. دوره آماری موجود در منطقه مورد مطالعه، ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷ بوده و به عنوان دوره پایه برای مقایسه با تغییر اقلیم در دوره آینده نزدیک (۱۴۲۹-۱۴۰۰) و آینده دور (۱۴۵۹-۱۴۳۰) در نظر گرفته شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، به منظور بررسی تغییرات اقلیمی از نرم‌افزار SDSM5.2 استفاده شد. مراحل انجام پژوهش به شرح زیر است:

با توجه به مطالعات صورت گرفته، در دوره آتی، افزایش دما و گرمایش جهانی رخ خواهد داد و از این رو نمی‌توان نقش تغییرات اقلیمی را در در مناطق خشک و نیمه‌خشک نادیده گرفت. ارزیابی تأثیرات زیست محیطی از تغییر اقلیم بر منابع آب و اجزای بیولوژیکی، بخش جدایی‌ناپذیر تحقیقات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی در قرن بیست و یک است، بنابراین بررسی اثرات تغییر اقلیم برای اتخاذ سیاست‌های مناسب به منظور کاهش اثرات تغییر اقلیم اهمیت بسزایی دارد (۱۵). استان یزد، از جمله استان‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در سال‌های اخیر به دلیل افزایش کارخانجات صنعتی و آلودگی هوا، افزایش جمعیت و... ناهنجاری‌های اقلیمی قابل توجهی را تجربه کرده است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد در دوره آتی با مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM است. از آنجاکه منابع آب سطحی و زیرزمینی در این استان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بررسی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن‌ها امری ضروری است. از آنجا که در مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم بیشتر از گزارش چهارم بهره گرفته شده است، در پژوهش حاضر سعی شده تا این تأثیرات تحت تأثیر گزارش پنجم بررسی شوند. در راستای هدف پژوهش حاضر به منظور پیش‌بینی داده‌های دما و بارش در دو دوره آینده نزدیک (۱۴۲۹-۱۴۰۰) و آینده دور (۱۴۵۹-۱۴۳۰) از سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد و نتایج به دست آمده با هم مقایسه شدند.



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

بررسی وضعیت تغییر اقلیم

در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم تحت عنوان «پروژه درون‌مقیاسه‌ای مدل‌های جفت‌شده» (CMIP5^۱)، نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. این مدل‌ها مجموعه‌ای از آزمایش‌ها، از قبیل شبیه‌سازی‌های قرن بیستم و پروژه‌های اقلیمی قرن ۲۱ با سناریوهای جدیدالانتشار را به عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) را تشکیل داده‌اند (۲۳). در پژوهش حاضر از مدل CanESM2^۲ قابل استفاده در نرم‌افزار SDSM5.2 برای پیش‌بینی اقلیم استان یزد بهره‌گیری شد (جدول ۱).

مدل SDSM5.2 به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس‌نمایی آماری بر روی خروجی مدل‌های بزرگ‌مقیاس جوی، استفاده شده است. فرآیند ریزمقیاس‌نمایی، عامل ایجادکننده ارتباط میان متغیرهای اقلیمی در مقیاس ایستگاه مشاهداتی و متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی است (۲۹). داده‌های بزرگ‌مقیاس جوی شامل پیش‌بینی‌کننده‌های مرکز NCEP^۳ در دوره مشابه دیده‌بانی ۱۳۶۹-۱۳۸۴ و برون‌داد مدل بزرگ‌مقیاس CanESM2 تحت سناریوهای موجود در دوره مشابه دیده‌بانی و در دوره آینده از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا به صورت خام استخراج، سپس پیش‌بینی‌کننده‌های این مدل نسبت به میانگین و انحراف معیار دوره مشاهداتی نرمالیزه شدند. داده‌های بازتحلیل NCEP برای استفاده در مدل SDSM از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۴ شمسی (۲۰۰۵-۱۹۶۱ میلادی) موجود می‌باشند. با توجه به اینکه در منطقه مورد بررسی داده‌ها از سال ۱۳۶۹

شمسی (۱۹۹۰ میلادی) در دسترس‌اند، این دوره از ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۴ شمسی (۲۰۰۵-۱۹۹۰ میلادی) در نظر گرفته شد. برای شناسایی و انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب و با بیشترین ارتباط معنی‌دار با بارش و دمای مشاهداتی هر ایستگاه در سطح ۰.۹۵٪، از تحلیل همبستگی جزئی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی‌شونده‌ها استفاده شد (۵). بدین ترتیب در پژوهش حاضر براساس نتایج حاصل از تحلیل‌های همبستگی، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌ها برای طراحی و چیدمان مدل رگرسیون چندمتغیره در هر ماه از سال و برای ایستگاه‌های مشاهداتی موجود در استان یزد انتخاب شدند که در این میان هرچه میزان این همبستگی به ± 1 نزدیک‌تر شد، شدت همبستگی بیشتر بود. همچنین به منظور قابلیت این مدل از معیارهای آماری ضریب تبیین (R^2)، نش‌ساختگی (NSE)، مجذور مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. جایی که در آن بهترین عملکرد مربوط به R^2 و NSE یک و RMSE صفر است (روابط ۱ تا ۳) (۴ و ۲۲).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \cdot (E_i - \bar{E})]^2}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]^{0.5} \cdot [\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2]^{0.5}} \quad (3)$$

که در آن O_i داده مشاهداتی، E_i داده شبیه‌سازی شده در دوره پایه، $\bar{O}$ میانگین داده مشاهداتی و $\bar{E}$ میانگین داده شبیه‌سازی شده در دوره پایه است.

جدول ۱. مشخصات مدل گردش عمومی جو CanESM2 در دسترس به عنوان ورودی نرم‌افزار SDSM5.2 (۲۱)

مدل جهانی	IPCC	مرجع	قدرت تفکیک مکانی به درجه	سناریوها	واداشت تابشی (w/m^2)	غلظت دی‌اکسیدکربن
				RCP2.6	حداکثر مقدار آن $3 w/m^2$ و سپس کاهش می‌یابد.	۴۹۰ Ppm قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد.
CanESM2	IPCC-AR5	مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا	$2/8125 \times 2/7906$	RCP4.5	$4/5 w/m^2$ و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند.	۶۹۰ Ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند.
				RCP8.5	بیشتر از $8/5 w/m^2$ در سال ۲۱۰۰	۱۳۷۰ Ppm تا سال ۲۱۰۰

■ نتایج و بحث

نتایج حاصل از عملکرد مدل CanESM2 به منظور قابلیت آن در ریزمقیاس‌نمایی دو پارامتر بارش و دمای متوسط طی دوره پایه حاکی از آن بود که این مدل قابلیت بالایی در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استان یزد برای دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ و ۱۴۵۹-۱۴۳۰ داشت. طبق یافته‌های پژوهش، ریزمقیاس‌نمایی دمای متوسط بهترین عملکرد را نسبت به بارش روزانه داشت (جدول ۲). از دلایل آن می‌تواند این باشد که تغییرات دمایی نسبت به تغییرات بارش طی دوره‌ای زمانی از توزیع نرمال پیروی می‌کند، درحالی‌که پارامتر بارش نوسانات بسیاری دارد. با توجه به سه معیار ارزیابی NSE، RMSE و R^2 ، عملکرد مدل CanESM2 در کلاس خیلی خوب و خوب قرار گرفت. جداول ۳ تا ۶ بیانگر نسبت تغییرات بارش ($\%$) و میزان تغییرات دما ($^{\circ}\text{C}$) نسبت به دوره پایه است. بررسی تغییرات دمایی در سه سناریو نشان دادند که بیشینه تغییرات دمایی در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ مربوط به ایستگاه همدیدی عقدا به میزان $^{\circ}\text{C}$ ۴/۲، ۳/۷ و ۴/۷ بوده و کمینه افزایش دما در ایستگاه همدیدی ابرکوه به میزان $^{\circ}\text{C}$ ۰/۵، ۰/۷ و ۱ به ترتیب در سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 رخ داده بود.

پس از صحت‌سنجی مدل SDSM، با توجه به معادلات آماری و رگرسیون کالبره‌شده بین پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس مرکز NCEP با پارامترهای بارش و دمای مشاهداتی، فرآیند ریزمقیاس‌نمایی روی داده‌های آینده مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 طی دو دوره آینده نزدیک ۱۴۲۹-۱۴۰۰ و آینده دور ۱۴۵۹-۱۴۳۰ انجام شد.

بررسی روند تغییرات اقلیمی

آزمون من-کندال ابتدا توسط من^۱ (۲۰) ارائه شد و سپس توسط کندال^۲ (۱۶) بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. با معلوم‌بودن اصول آماره آزمون من-کندال، این آماره به سه صورت مثبت، صفر و منفی است که این مقادیر به ترتیب نشان‌دهنده روند صعودی، عدم وجود روند و روند نزولی است (۲۵). در پژوهش حاضر از آزمون من-کندال برای بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره پایه استفاده شد.

جدول ۲. نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی مدل CanESM2 در پیش‌بینی بارش و دمای روزانه

ایستگاه	پارامتر	دوره	R^2	RMSE	NSE
ابرکوه	بارش	۱۳۹۷-۱۳۸۰	۰/۸۵۷	۱/۵۸۲	۰/۸۶۱
	دما		۰/۹۹۸	۰/۷۵۲	۰/۹۹۱
بافق	بارش	۱۳۹۷-۱۳۷۰	۰/۷۸۵	۱/۷۱۵	۰/۸۰۷
	دما		۰/۹۹۸	۱/۰۰۸	۰/۹۸۲
گاریز	بارش	۱۳۹۷-۱۳۸۰	۰/۹	۱/۱۹۲	۰/۸۳۶
	دما		۰/۹۹۸	۰/۹۰۸	۰/۹۸۵
مروست	بارش	۱۳۹۷-۱۳۷۳	۰/۹۵۸	۱/۴۳۵	۰/۹۱۹
	دما		۰/۹۹۶	۰/۹۷۶	۰/۹۸۳
مهریز	بارش	۱۳۹۷-۱۳۸۰	۰/۸۴۹	۱/۷۹۶	۰/۸۳۲
	دما		۰/۹۹۸	۰/۸۰۳	۰/۹۹
میبد	بارش	۱۳۹۷-۱۳۷۹	۰/۹۴۹	۱/۳۴۴	۰/۹۱۸
	دما		۰/۹۹۹	۰/۸۱۶	۰/۹۹۱
عقدا	بارش	۱۳۹۷-۱۳۸۰	۰/۹۱۶	۱/۱۶۸	۰/۹۲۲
	دما		۰/۹۹۷	۰/۹۱۷	۰/۹۸۸
رباط پشت بادام	بارش	۱۳۹۷-۱۳۶۹	۰/۹	۱/۴۴۴	۰/۸۴۱
	دما		۰/۹۹۶	۰/۹۷۷	۰/۹۸۵
یزد	بارش	۱۳۹۷-۱۳۶۹	۰/۹۵۵	۱/۰۲۶	۰/۸۹۲
	دما		۰/۹۹۹	۰/۷۶۶	۰/۹۹۲

دمایی در آینده دور ۱۴۵۹-۱۴۳۰ نشان از افزایش این مؤلفه بود. به گونه‌ای که بیشترین افزایش دما در $4/68^{\circ}\text{C}$ ، $5/37$ و $7/84$ به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بود. همچنین حداقل افزایش دما در ایستگاه ابرکوه به میزان $0/59^{\circ}\text{C}$ ، $1/45$ و $2/49$ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 رخ داده بود. این تغییرات اقلیمی مؤلفه دما در سطح استان یزد در سناریوهای فوق به ترتیب به مقدار $2/28^{\circ}\text{C}$ ، $3/19$ و $4/77$ بود (جدول ۵). از طرفی در این دوره در تمامی ایستگاه‌ها در فصل زمستان کاهش بارندگی صورت گرفته و این کاهش در سطح استان یزد به مقدار $3/32$ ، 32 و 5 به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بوده است (جدول ۶).

همچنین تغییرات دمایی در سطح استان یزد حاکی از افزایش $2/2^{\circ}\text{C}$ ، $2/1$ و $2/5$ در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ بوده و به ترتیب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 اتفاق افتاده بود. به عبارتی نتایج نشان دهنده افزایش دما از سناریوی RCP2.6 به سمت RCP8.5 بود (جدول ۳). همچنین بررسی تغییرات بارندگی در استان یزد در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ در فصل زمستان بیانگر آن بود که در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به میزان $3/32$ ، 26 و 34 ٪ کاهش بارندگی را نسبت به دوره پایه شاهد بودیم. همچنین در این دوره تنها در ایستگاه عقدا افزایش بارندگی به میزان 9 ، 43 و 21 ٪ به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 رخ داده بود (جدول ۴). همچنین بررسی تغییرات

جدول ۳. تغییر دما ($^{\circ}\text{C}$) در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد

ایستگاه	سناریو	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
ابرکوه	RCP2.6	۱/۷	۱/۲	۰/۵	۱/۲	۱/۵	۳/۱	۳/۲	۳/۵	۲/۵	۰/۷	۱/۷	۱/۴
	RCP4.5	۱/۶	۱/۳	۰/۷	۱/۱	۱/۵	۲/۹	۲/۸	۳/۴	۱/۸	۰/۷	۱/۵	۱/۳
	RCP8.5	۲	۱/۷	۱/۹	۱/۳	۱/۳	۲/۶	۳/۵	۴	۲/۵	۱	۱/۴	۱/۳
بافق	RCP2.6	۳/۱	۱/۳	۰/۷	۰/۷	۱/۴	۲/۵	۲/۶	۳/۳	۲/۶	۲/۵	۳/۱	۳/۵
	RCP4.5	۲/۶	۱/۶	۱	۰/۸	۱/۵	۲/۸	۱/۸	۳/۱	۲/۷	۲/۸	۳/۴	۳/۳
	RCP8.5	۳/۲	۲/۶	۲	۰/۷	۱/۳	۲/۶	۲/۸	۴/۱	۳/۲	۳/۳	۳/۴	۳/۸
گاریز	RCP2.6	۲/۱	۱/۷	۱/۹	۱/۷	۲/۱	۲/۸	۲/۲	۲/۸	۲/۴	۱/۷	۲/۴	۱/۹
	RCP4.5	۱/۷	۱/۹	۱/۷	۱/۹	۲/۱	۲/۹	۱/۶	۲/۳	۲/۱	۱/۷	۲/۵	۱/۶
	RCP8.5	۲/۳	۲/۵	۲/۹	۲/۳	۱/۹	۲/۷	۲/۱	۲/۹	۲/۲	۱/۹	۲/۵	۲/۱
مروست	RCP2.6	۱/۸	۰/۹	۱/۳	۱/۳	۱/۸	۲/۶	۱/۹	۳/۱	۲/۴	۱/۵	۲/۱	۱/۶
	RCP4.5	۱/۵	۰/۸	۱/۲	۱/۲	۲	۳/۱	۱/۶	۲/۷	۱/۹	۱/۸	۲/۴	۱/۲
	RCP8.5	۲	۱/۷	۲/۲	۱/۸	۱/۶	۲/۶	۲/۶	۳	۲/۵	۲	۲/۳	۱/۴
مهریز	RCP2.6	۱/۸	۱/۲	۰/۸	۱/۷	۲/۲	۳/۴	۳/۳	۳/۸	۲/۵	۱/۴	۲	۱/۷
	RCP4.5	۱/۷	۱/۲	۰/۷	۱/۵	۲/۱	۳/۳	۳	۳/۶	۲/۵	۱/۴	۲/۵	۱/۷
	RCP8.5	۲/۱	۱/۹	۱/۸	۱/۹	۱/۸	۳/۱	۳/۴	۴/۱	۲/۸	۱/۶	۲/۳	۱/۷
میبد	RCP2.6	۱/۹	۱/۱	۰/۷	۱/۱	۱/۷	۳/۱	۳	۳/۶	۲/۵	۱/۱	۱/۹	۱/۷
	RCP4.5	۱/۵	۰/۸	۱	۱/۴	۱/۶	۲/۹	۲/۴	۳/۴	۲/۱	۱/۱	۱/۹	۱/۶
	RCP8.5	۱/۸	۱/۶	۱/۸	۱/۹	۱/۲	۲/۸	۳/۵	۴	۲/۵	۱/۳	۱/۸	۲/۲
عقدا	RCP2.6	۲	۱/۲	۰/۷	۱/۴	۲/۱	۳/۷	۴	۴/۲	۲/۹	۱/۱	۲/۵	۲/۴
	RCP4.5	۲/۱	۱/۴	۰/۴	۱/۱	۱/۹	۳/۷	۳/۲	۳/۶	۲/۴	۱/۴	۲/۸	۲/۳
	RCP8.5	۲/۵	۱/۹	۱/۸	۱/۹	۱/۹	۳/۹	۴/۲	۴/۷	۲/۸	۱/۹	۲/۴	۲/۳
رباط پشت بادام	RCP2.6	۳/۲	۱/۹	۱/۱	۰/۵	۱/۶	۳/۱	۲/۶	۳/۳	۲/۸	۲/۴	۳	۳/۲
	RCP4.5	۲/۸	۱/۵	۱/۱	۱	۲	۳/۲	۱/۹	۲/۸	۲/۴	۲/۹	۳/۳	۳/۱
	RCP8.5	۳/۴	۳/۱	۲/۵	۱	۱/۴	۳	۲/۹	۳/۷	۳/۱	۲/۹	۳/۵	۳/۶
یزد	RCP2.6	۲/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱/۴	۳/۲	۲/۳	۳/۲	۲/۴	۱/۸	۲/۱	۲/۳
	RCP4.5	۲/۵	۱/۳	۱/۱	۰/۹	۲	۲/۹	۱/۹	۲/۷	۲/۳	۱/۸	۲/۴	۲
	RCP8.5	۲/۹	۲/۳	۲/۴	۱/۴	۱/۳	۲/۷	۲/۸	۳/۴	۲/۶	۲/۳	۲/۲	۲/۴

جدول ۴. نسبت تغییرات بارش در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد

ایستگاه	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	سناریو
ابركوه	-۰/۳	-۰/۳	۱۰/۲	۱/۳	۰	-۰/۶	۵/۱	-۰/۶	-۰/۷	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۵	RCP2.6
	-۰/۳	-۰/۵	۱۲/۸	-۰/۱	۰	۳	۳/۸	-۰/۶	-۰/۴	-۰/۶	۰	-۰/۳	RCP4.5
	-۰/۴	-۰/۲	۱۳/۵	۰/۳	۰	-۰/۶	۳/۷	-۰/۸	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۴	RCP8.5
بافق	-۰/۵	-۰/۲	۳/۴	۷۰/۶	۲۶۰۴	۱/۹	۷	۰/۴	-۰/۷	-۰/۶	-۰/۵	-۰/۷	RCP2.6
	-۰/۳	۰/۱	۳/۲	۵۹/۷	۲۳۰۶/۷	۴/۷	۶/۲	-۰/۲	-۰/۷	-۰/۵	-۰/۶	-۰/۷	RCP4.5
	-۰/۳	-۰/۲	۳/۵	۵۲/۷	۳۳۲۹/۲	۳/۸	۱۱/۷	-۰/۲	-۰/۸	-۰/۷	-۰/۷	-۰/۷	RCP8.5
گاریز	-۰/۲	-۰/۳	۳/۵	۱/۶	۶/۲	-۰/۳	۵/۹	۰/۱	-۰/۵	-۰/۶	-۰/۲	۰	RCP2.6
	-۰/۳	۰/۲	۵/۱	۳/۸	۱۳/۷	۰/۲	۶/۸	۰/۷	-۰/۴	-۰/۵	۰/۱	-۰/۲	RCP4.5
	-۰/۲	۰/۲	۵/۱	۴/۹	۱/۴	-۰/۹	۴/۱	۰/۵	-۰/۳	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۴	RCP8.5
مروست	۰/۲	۰/۶	۱۰/۹	۵/۶	۴/۳	۹/۸	۱۲/۶	۲	۰/۳	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۶	RCP2.6
	-۰/۴	۰/۸	۱۲/۷	۷/۴	۳/۳	۸/۲	۱۹/۳	۱/۳	۰/۱	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۵	RCP4.5
	۰/۱	۱/۴	۱۷/۶	۱/۵	۲/۴	۴	۲۷/۷	۳/۳	۰/۷	-۰/۴	-۰/۵	-۰/۵	RCP8.5
مهریز	-۰/۶	-۰/۳	۵/۲	۰	۰	۱/۱	۰	۰/۳	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۲	RCP2.6
	-۰/۴	-۰/۲	۶/۸	۰	۰	۵/۳	۰	-۰/۵	-۰/۲	-۰/۶	-۰/۲	-۰/۲	RCP4.5
	-۰/۳	-۰/۳	۳/۶	۰	۰	۵/۳	۰	-۰/۳	۰/۱	-۰/۴	-۰/۱	-۰/۳	RCP8.5
میبد	-۰/۶	-۰/۴	۶/۷	۲۳۱/۷	۱۰۰/۱	۳/۲	۷۷/۴	۰/۲	-۰/۷	-۰/۴	-۰/۵	-۰/۶	RCP2.6
	-۰/۶	-۰/۴	۷/۴	۱۹۴/۳	۱۲۴/۲	۷/۵	۶۱/۹	۰/۹	-۰/۷	-۰/۲	-۰/۱	-۰/۵	RCP4.5
	-۰/۷	-۰/۵	۶/۵	۱۴۵/۵	۹۳/۲	۴/۴	۱۱۷/۱	-۰/۴	-۰/۶	۰/۲	-۰/۲	-۰/۷	RCP8.5
عقدا	-۰/۲	۲	۳۰/۳	۰	۰	۷/۸	۱۲/۸	۱/۴	۰/۹	۰/۱	۱	-۰/۵	RCP2.6
	-۰/۳	۱/۲	۱۶/۲	۰	۰	۸/۵	۱۱/۶	۲	۰/۵	۰/۵	۲	-۰/۵	RCP4.5
	۰/۳	۲/۵	۲۶/۹	۰	۰	۵/۹	۱۳/۳	۱/۷	۱/۱	-۰/۵	۰/۵	-۰/۲	RCP8.5
رباط پشت بادام	-۰/۱	۱/۷	۲/۲	۰	۰	۴۸/۸	۹/۷	۱/۱	-۰/۱	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۲	RCP2.6
	-۰/۲	۱/۴	۱/۶	۰	۰	۳۳/۱	۴/۷	۱/۴	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۵	RCP4.5
	-۰/۲	۰/۹	۴	۰	۰	۴۴/۶	۷/۲	۱/۶	۰	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۶	RCP8.5
یزد	-۰/۵	۰/۵	۲/۸	۰	۰	۰	۲	۰/۹	۰/۲	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۶	RCP2.6
	-۰/۴	۰/۳	۳/۶	۰	۰	۰	۰/۹	۰/۴	۰/۳	-۰/۶	-۰/۴	-۰/۷	RCP4.5
	-۰/۵	۱	۳/۲	۰	۰	۰	۲/۵	۱/۶	۰/۴	-۰/۸	-۰/۷	-۰/۶	RCP8.5

جدول ۵. تغییرات دما (°C) در دوره ۱۴۵۹-۱۴۳۰ نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد

ایستگاه	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	سناریو
ابركوه	۱/۱	۱/۳	۰/۶	۲/۴	۴/۱	۳/۵	۲/۹	۱/۶	۱/۳	۱/۴	۱/۶	۱/۸	RCP2.6
	۲/۳	۲/۱	۱/۵	۳/۲	۴/۵	۴/۶	۳/۸	۲/۴	۲/۴	۱/۵	۲/۴	۲/۶	RCP4.5
	۳/۵	۴	۳/۳	۵/۴	۶/۴	۵/۷	۵/۳	۳/۵	۳/۱	۲/۵	۳	۳/۶	RCP8.5
بافق	۳/۲	۳	۲/۷	۳/۲	۳/۶	۲/۶	۲/۸	۱/۳	۰/۸	۱/۳	۲/۳	۳/۲	RCP2.6
	۴/۶	۴/۷	۳/۶	۳/۷	۴/۵	۳/۹	۳/۴	۱/۹	۱/۵	۱/۸	۳/۱	۴/۳	RCP4.5
	۶/۲	۶/۱	۵/۹	۶/۳	۷	۵/۷	۵	۴	۳	۳/۴	۴/۱	۵/۶	RCP8.5
گاریز	۱/۷	۱/۹	۱/۵	۲/۸	۳	۲/۳	۲/۹	۲/۴	۱/۹	۲/۱	۲/۳	۲/۲	RCP2.6
	۲/۵	۳/۳	۲/۸	۳/۱	۳/۶	۳/۴	۳/۷	۲/۸	۳	۲/۵	۳/۱	۳/۴	RCP4.5
	۴/۲	۵	۴/۵	۵/۴	۵/۶	۴/۷	۵	۴/۱	۴	۳/۷	۳/۹	۴/۲	RCP8.5
مروست	۱/۲	۱/۷	۱/۷	۲/۷	۳/۴	۲/۵	۲/۶	۲/۳	۱/۸	۱/۵	۱/۶	۱/۶	RCP2.6
	۲/۳	۳/۳	۲/۸	۳/۳	۳/۶	۳/۶	۴	۲/۶	۲/۷	۲/۱	۲/۳	۳	RCP4.5
	۳/۸	۵/۱	۴/۸	۵/۶	۶/۱	۵/۱	۵/۴	۴	۳/۵	۳/۲	۳/۳	۳/۷	RCP8.5
مهریز	۱/۷	۱/۷	۱/۲	۲/۶	۴/۲	۳/۳	۳/۱	۲/۵	۱/۸	۱/۳	۱/۶	۱/۷	RCP2.6
	۲/۸	۳/۵	۲/۴	۳/۸	۴/۷	۵/۱	۴/۴	۲/۷	۳	۱/۹	۲/۶	۳	RCP4.5

ادامه جدول ۵. تغییرات دما (°C) در دوره ۱۴۵۹-۱۴۳۰ نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد

ایستگاه	سناریو	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
میبد	RCP8.5	۳/۹	۳/۵	۳	۳/۵	۴/۴	۶	۶/۴	۷/۱	۶/۱	۴/۴	۵/۳	۴/۴
	RCP2.6	۲	۱/۷	۱/۱	۱/۴	۱/۸	۲/۹	۳/۵	۴/۲	۲/۸	۰/۹	۱/۳	۱/۴
	RCP4.5	۲/۸	۲/۱	۱/۵	۲/۶	۲/۲	۴/۱	۴/۳	۴/۵	۳/۴	۲/۲	۳	۲/۶
	RCP8.5	۳/۸	۳/۱	۳	۳/۵	۳/۳	۵/۵	۶	۶/۸	۵/۸	۴/۲	۴/۶	۴/۲
عقدا	RCP2.6	۲/۴	۱/۶	۱	۱/۷	۲/۲	۳/۵	۴/۵	۴/۷	۲/۹	۱/۱	۲	۲/۱
	RCP4.5	۳/۷	۲/۸	۱/۴	۲/۷	۲/۷	۴/۸	۵/۴	۵/۴	۳/۸	۲/۲	۳/۷	۳/۳
	RCP8.5	۴/۶	۳/۵	۳	۳/۸	۴/۴	۶/۳	۷/۲	۷/۸	۶/۱	۴/۶	۵/۵	۴/۹
	RCP2.6	۳/۵	۲/۵	۱/۶	۱/۱	۲	۲/۹	۲/۶	۳/۶	۳/۲	۲/۹	۲/۹	۳/۱
رباط پشت بادام	RCP4.5	۴/۵	۳/۳	۲/۲	۲/۲	۲/۷	۴	۴/۱	۴/۲	۴/۱	۳/۹	۴/۵	۴
	RCP8.5	۵/۴	۴/۲	۳/۶	۳/۳	۴/۲	۶	۵/۵	۶/۸	۶/۴	۶/۱	۶/۵	۶/۴
	RCP2.6	۲/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۲	۲/۱	۳	۲/۷	۳/۴	۳	۱/۸	۱/۹	۲
	RCP4.5	۳/۷	۲/۷	۱/۹	۲/۱	۲/۵	۴/۱	۳/۹	۳/۸	۳/۵	۳	۲/۹	۳/۳
یزد	RCP8.5	۴/۹	۳/۷	۳/۵	۳/۲	۴/۲	۵/۶	۵/۴	۶/۵	۶	۵/۴	۵	۴/۵

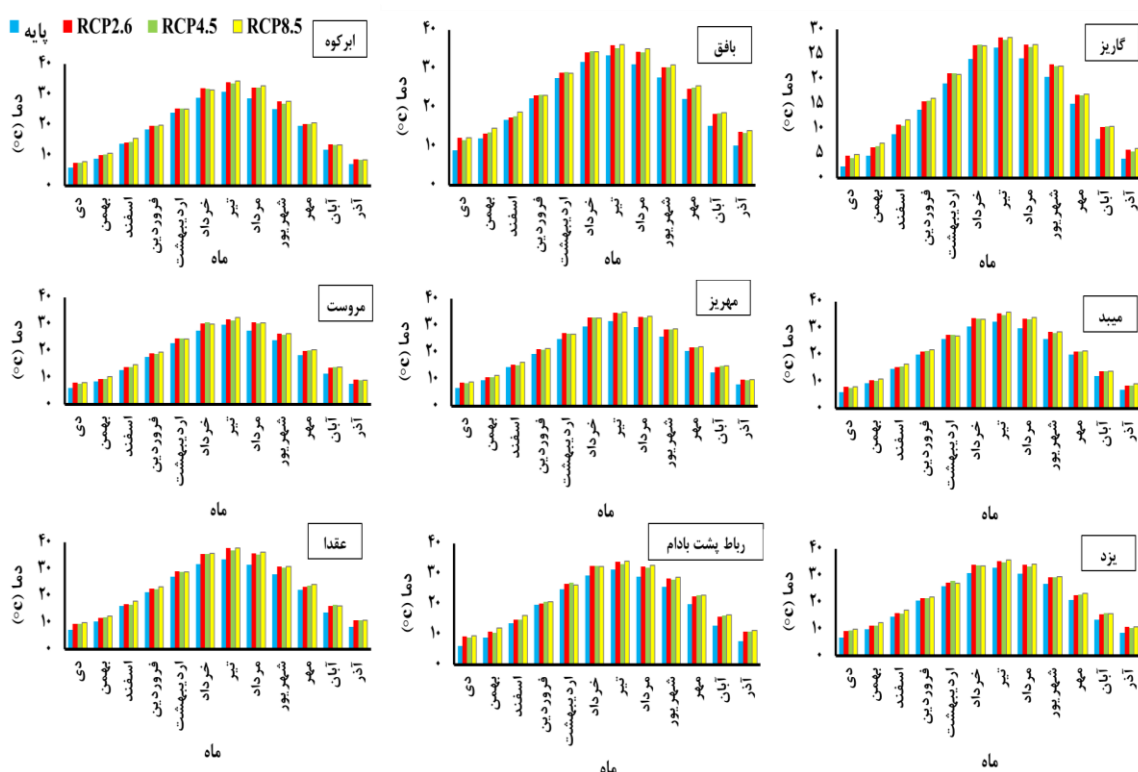
جدول ۶. نسبت تغییرات بارش در دوره ۱۴۵۹-۱۴۳۰ نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های همدیدی استان یزد

ایستگاه	سناریو	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
ابرکوه	RCP2.6	-۰/۱	-۰/۴	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۳	۱	۰	۱/۶	۱۰/۷	-۰/۴	-۰/۶
	RCP4.5	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۷	۲/۳	-۰/۴	۰	۱/۱	۹	۰	-۰/۳
	RCP8.5	-۰/۱	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۸	۳/۲	-۰/۵	۰	۰	۹/۴	-۰/۵	-۰/۵
	RCP2.6	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۸	-۰/۶	-۰/۶	۱۱/۵	۴/۷	۱۴۷۰/۳	۳۵/۵	۲/۵	۰/۱	-۰/۴
بافقی	RCP4.5	-۰/۷	-۰/۳	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۴	۶/۵	۰/۵	۲۲۱۵/۹	۷۴/۶	۳	-۰/۳	-۰/۴
	RCP8.5	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۷	-۰/۶	-۰/۲	۱۶/۶	۱/۳	۴۰۲۴/۸	۶۰/۷	۲/۵	-۰/۳	-۰/۵
	RCP2.6	۰	-۰/۱	-۰/۶	-۰/۴	۰/۶	۵/۷	-۰/۷	۷/۳	۲	۴/۶	۰/۱	-۰/۲
	RCP4.5	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۴	-۰/۵	۰/۶	۵/۴	۰	۴/۷	۳	۶/۷	-۰/۱	-۰/۱
گاریز	RCP8.5	-۰/۲	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۳	۰/۵	۵/۱	۰	۳/۶	۲/۸	۴/۱	۰/۲	-۰/۱
	RCP2.6	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۵	۱	۳	۹/۵	۷/۱	۱/۹	۸/۹	۲۱/۵	-۰/۲	-۰/۳
	RCP4.5	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	۰/۱	۴/۱	۶/۲	۸/۷	۴	۶	۱۰/۱	۰/۲	۰
	RCP8.5	-۰/۵	۰/۷	-۰/۵	۰/۲	۴/۵	۱۹/۱	۷/۶	۱/۴	۱۱/۸	۲۷/۴	۱/۲	۱/۱
مروست	RCP2.6	-۰/۴	-۰/۱	-۰/۵	-۰/۴	۰/۴	۰	۲/۲	۰	۰	۶/۵	-۰/۱	-۰/۳
	RCP4.5	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۶	-۰/۳	۰/۳	۰	۲/۶	۰	۰	۶/۴	-۰/۴	-۰/۲
	RCP8.5	-۰/۱	-۰/۲	-۰/۵	-۰/۵	۱	۰	۰/۵	۰	۰	۵/۸	-۰/۵	۰
	RCP2.6	-۰/۶	۰	-۰/۱	-۰/۴	۰/۱	۹۵	۷/۴	۸۱	۱۴۵/۳	۱۱/۸	-۰/۵	-۰/۶
میبد	RCP4.5	-۰/۷	۰/۲	-۰/۳	-۰/۶	-۰/۱	۸۳/۶	۳/۴	۷۹/۸	۱۰۵/۳	۸/۵	-۰/۵	-۰/۵
	RCP8.5	-۰/۸	۰	-۰/۳	-۰/۶	۰	۱۰۱/۹	۴/۹	۹۸/۶	۱۲۰/۲	۵/۷	-۰/۴	-۰/۵
	RCP2.6	-۰/۵	۰/۲	-۰/۱	۱/۱	۲	۱۸/۲	۴/۶	۰	۰	۴۲/۱	۰/۱	۰/۱
	RCP4.5	-۰/۴	۰/۱	-۰/۲	۰/۳	۲/۶	۸/۱	۷/۳	۰	۰	۱۱/۵	۰/۲	۰/۲
عقدا	RCP8.5	-۰/۳	۲/۶	-۰/۲	۱	۲/۴	۱۳/۱	۶/۴	۰	۰	۱۹/۱	۲	۱/۵
	RCP2.6	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۴	۰	۱/۶	۷/۴	۶۳/۶	۰	۰	۲/۹	۰/۸	-۰/۲
	RCP4.5	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۲	۰/۲	۱/۵	۷/۶	۳۲/۳	۰	۰	۱/۹	۰/۸	-۰/۳
	RCP8.5	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۱	۱	۷/۳	۳۴/۳	۰	۰	۱/۷	۱/۴	۰
رباط پشت بادام	RCP2.6	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۷	۰/۵	۱/۳	۱/۶	۰	۰	۰	۴/۸	۰/۳	-۰/۵
	RCP4.5	-۰/۸	-۰/۶	-۰/۶	۰/۲	۱/۴	۲/۳	۰	۰	۰	۳/۵	۰/۱	-۰/۴
	RCP8.5	-۰/۷	۰	-۰/۵	۰/۴	۱/۲	۵/۲	۰	۰	۰	۴/۹	۰/۱	-۰/۲
	RCP2.6	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۷	۰/۵	۱/۳	۱/۶	۰	۰	۰	۴/۸	۰/۳	-۰/۵
یزد	RCP4.5	-۰/۸	-۰/۶	-۰/۶	۰/۲	۱/۴	۲/۳	۰	۰	۰	۳/۵	۰/۱	-۰/۴
	RCP8.5	-۰/۷	۰	-۰/۵	۰/۴	۱/۲	۵/۲	۰	۰	۰	۴/۹	۰/۱	-۰/۲

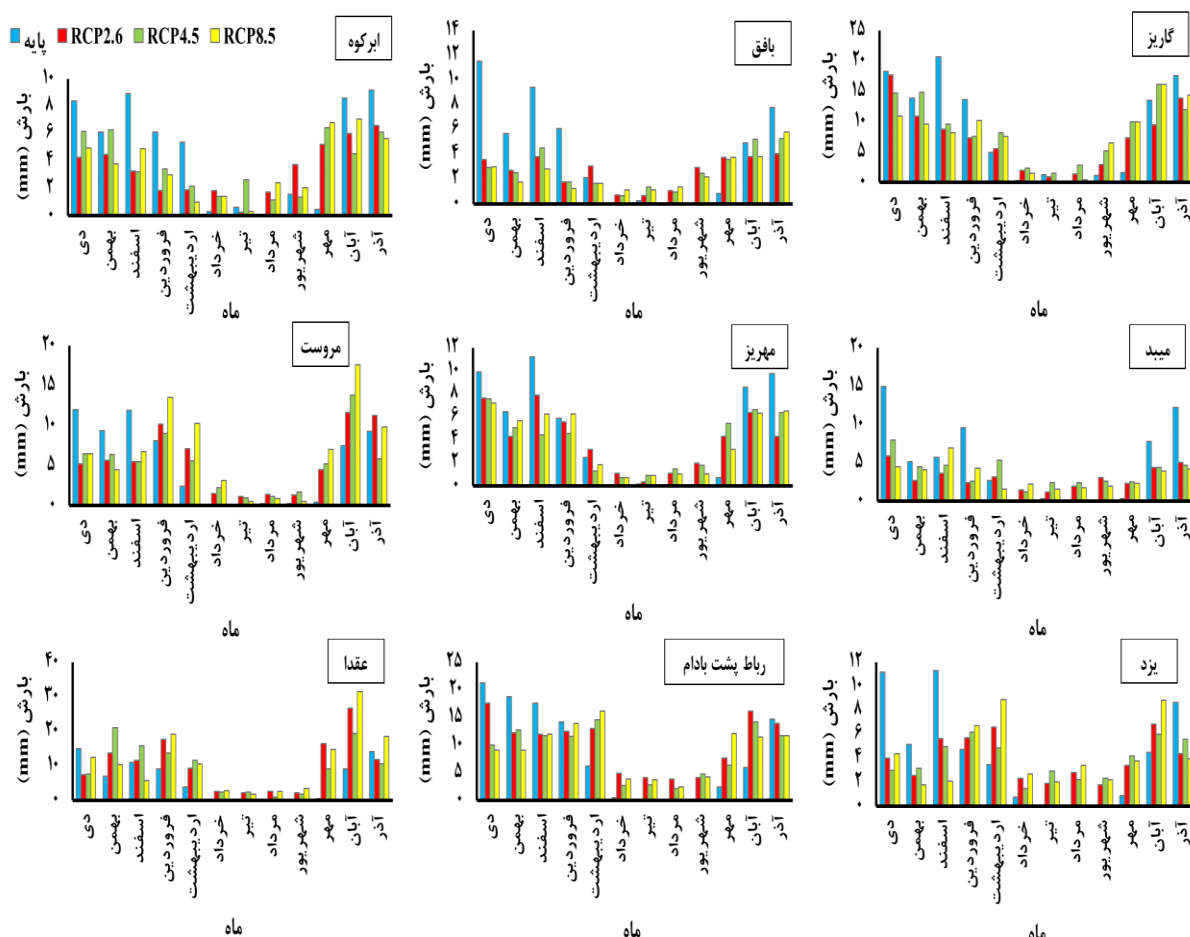
از طرفی مؤلفه بارش در این استان برای تمامی ایستگاه‌ها بدون روند بود. از طرفی جهت روند نشان‌دهنده کاهش این پارامتر بود (جدول ۷). گفتنی است که علامت مثبت و منفی به ترتیب نشان از روند صعودی و نزولی و علامت ۱ و -۱ به ترتیب نشان از معنی‌دار و عدم معنی‌دار بودن پارامتر است (جدول ۷). در زمینه پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی دوره آتی با مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، نمی‌توان قطعاً بیان داشت که بارش یا دمای پیش‌بینی شده مربوط به یک ماه یا روز خاص است، از این رو ترتیب داده‌ها در دوره آتی درست نیست و عدم قطعیت دارد، همچنین نمی‌توان روند پارامترهای اقلیمی در دوره آتی را بررسی کرد. برای بررسی تغییرات در دوره آتی فقط می‌توان متوسط پارامترهای دوره آتی را با دوره پایه مقایسه کرد و بررسی روند در دوره آتی صحیح نیست. بررسی میانگین متغیرهای دما و بارش در دو دوره آتی در مقایسه با دوره پایه، حاکی از افزایش دما و کاهش بارش تحت همه سناریوها و در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در هر دو دوره آتی بود. شکل ۶ و ۷، تغییرات بارش و دمای سالانه در دوره پایه، آینده نزدیک (۱۴۲۹-۱۴۰۰) و آینده دور (۱۴۵۹-۱۴۳۰) را تحت سناریوهای مختلف RCP نشان می‌دهد.

همچنین اشکال ۲ تا ۵ نشان‌دهنده مقادیر پارامترهای دما و بارش در دوره پایه و دو دوره آتی تحت سناریوهای مختلف است و برای نمایش و درک بهتر این تغییرات نشان داده شده‌اند. طبق اشکال ۲ تا ۵، در دوره‌های ۱۴۲۹-۱۴۰۰ و ۱۴۵۹-۱۴۳۰، بارش در بیشتر ایستگاه‌ها و ماه‌ها نسبت به دوره پایه کاهش یافته است، در حالی که دما در بیشتر ایستگاه‌ها و ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. به‌طور کلی نتایج تغییرات دما و بارش در دو دوره آتی در استان یزد حاکی از افزایش دما همسو با گرمایش جهانی و کاهش بارندگی بود.

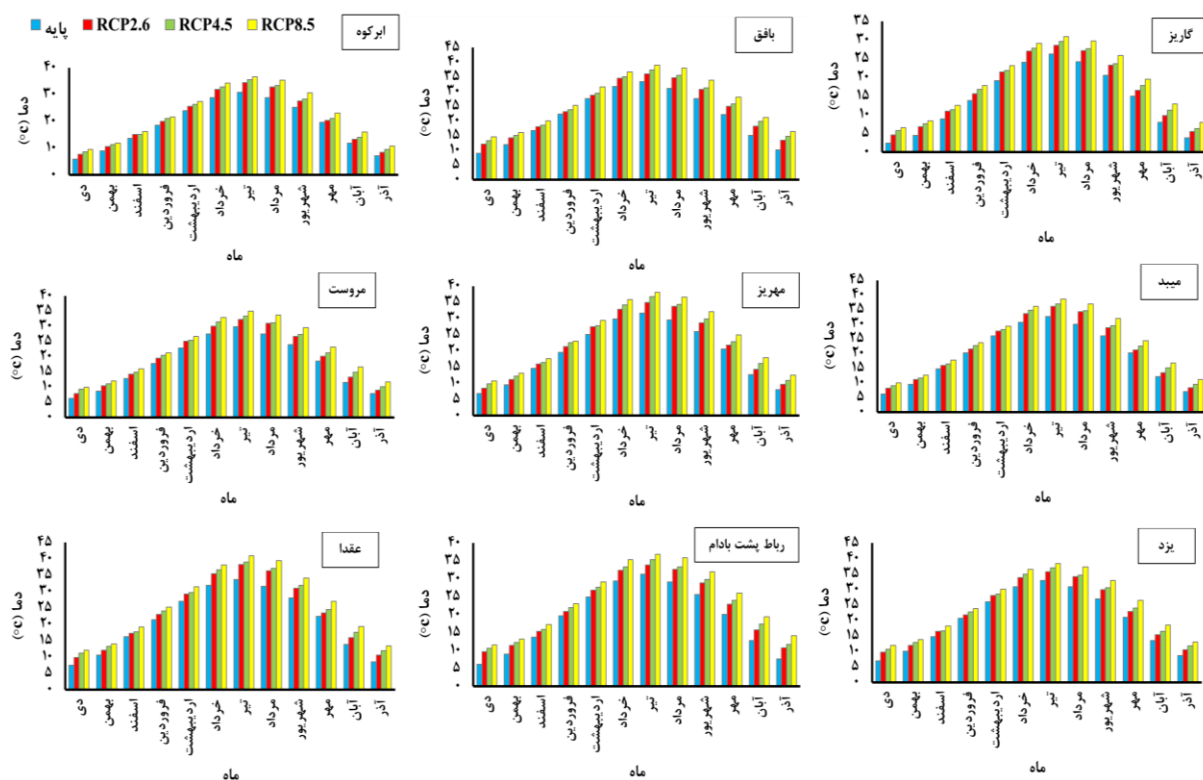
نوسان‌ها در روند متغیرهای هواشناسی از جمله بارندگی و دما، از ویژگی‌های چرخه اتمسفری است. نتایج بررسی روند متغیری دما در دوره پایه برای ایستگاه‌های همدیدی ابرکوه، گاریز، مهریز، میبد و عقدا نشان داد که مقدار Pvalue یا روند، بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده و روند آن معنی‌دار نبوده است، ولی Kendall's tau یا جهت روند، مثبت بود که نشان‌دهنده روند صعودی این پارامتر و بیانگر افزایش دما در دوره پایه است (جدول ۷). همچنین برای پارامتر دما در دوره پایه در سایر ایستگاه‌ها، مقدار Pvalue کوچک‌تر از ۰/۰۵ و روند آن معنی‌دار نبود. همچنین Kendall's tau مثبت بود، که این امر نشان‌دهنده روند صعودی این پارامتر برای آینده است.



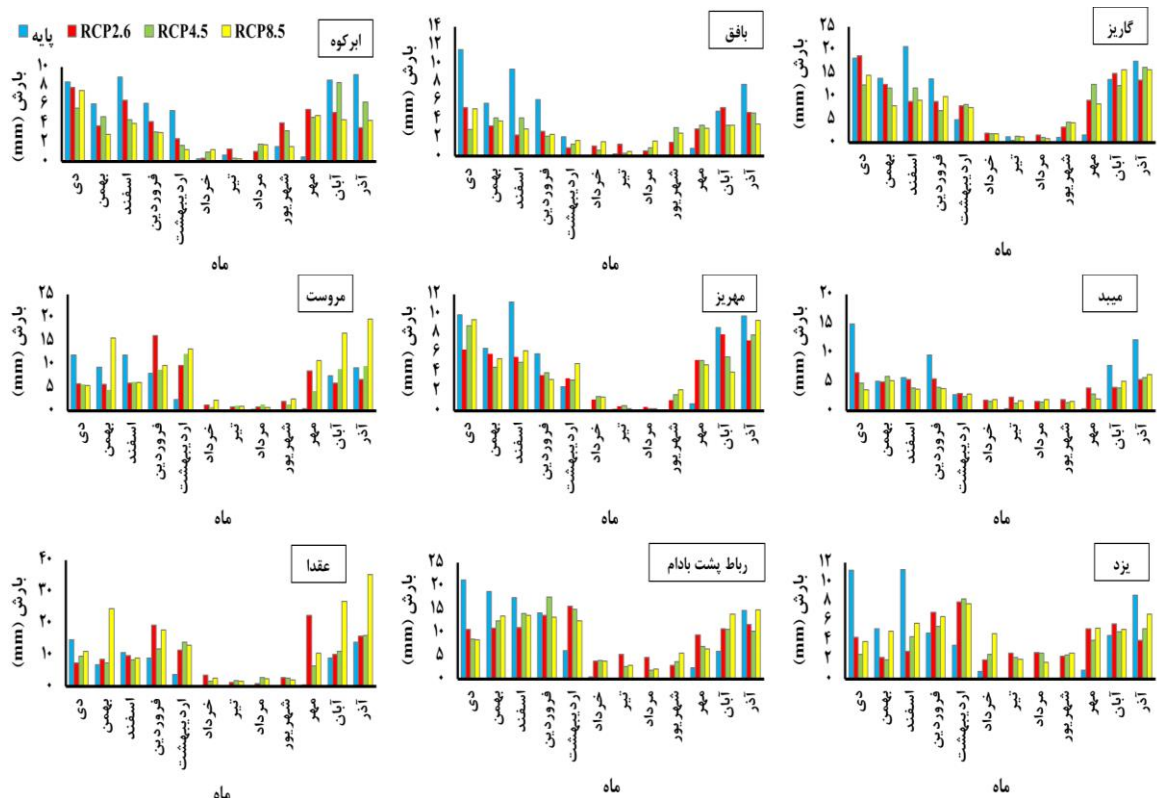
شکل ۲. میانگین دمای ماهانه دوره پایه و آینده نزدیک (۱۴۲۹-۱۴۰۰) تحت سناریوهای RCP



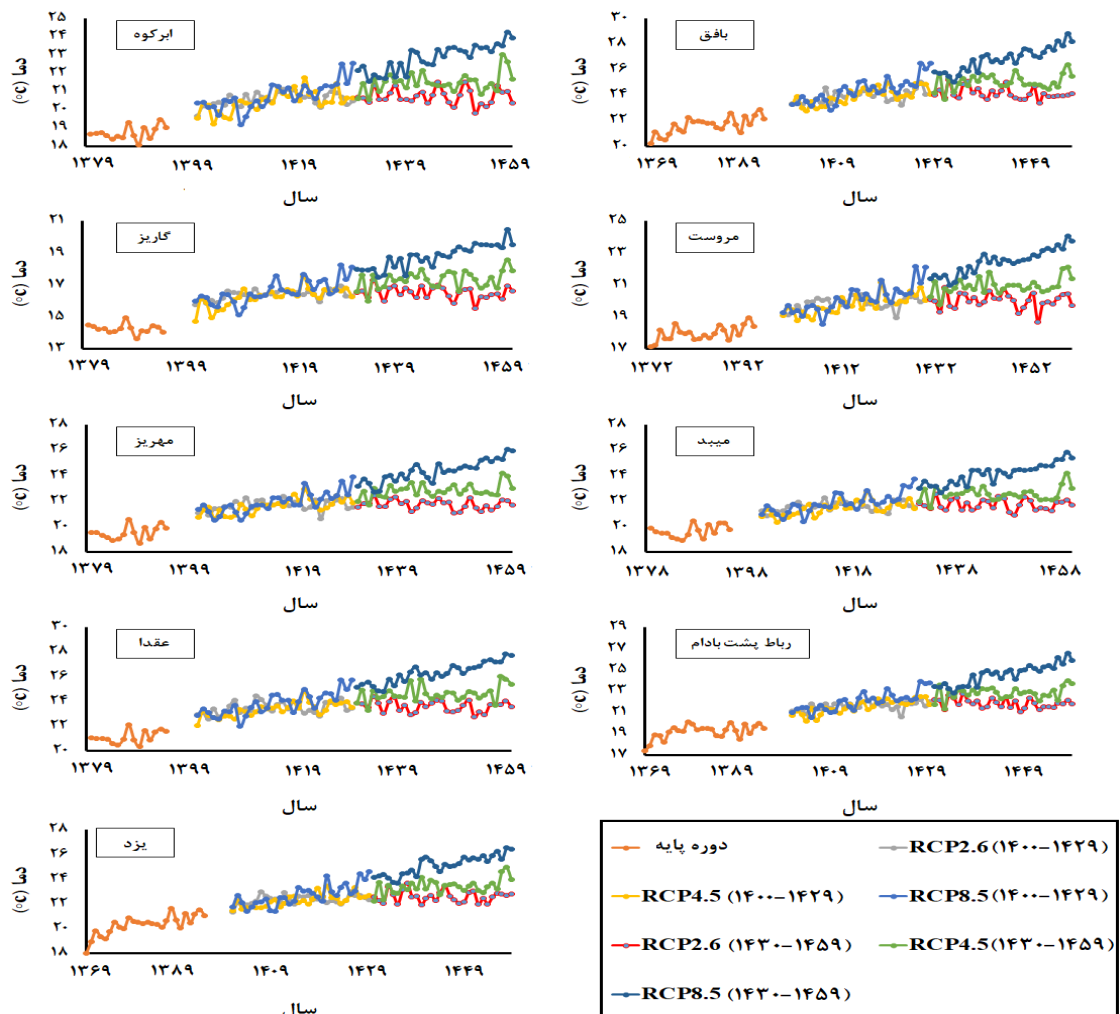
شکل ۳. میانگین بارش ماهانه دوره پایه و آینده نزدیک (۱۴۲۹-۱۴۰۰) تحت سناریوهای RCP



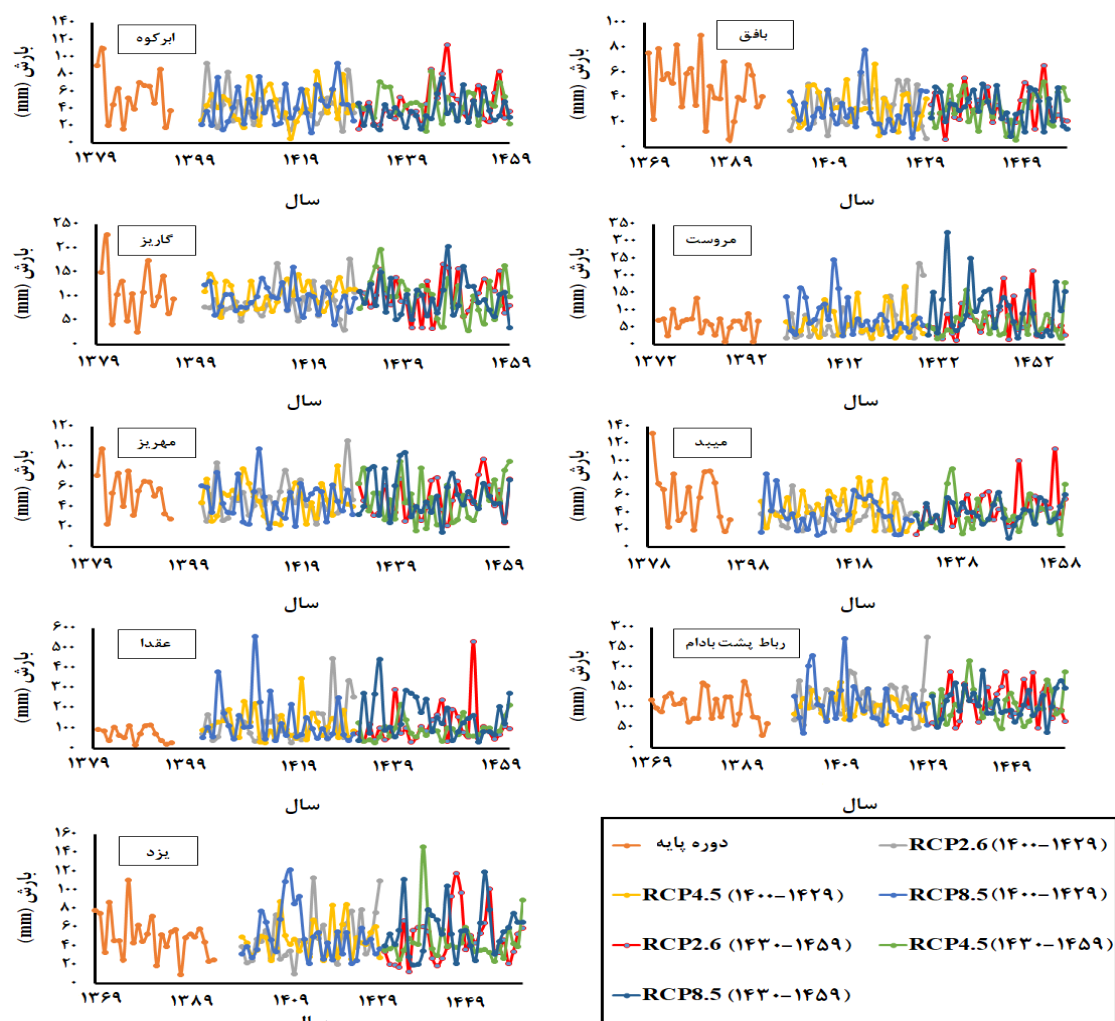
شکل ۴. میانگین دمای ماهانه دوره پایه و آینده دور (۱۴۵۹-۱۴۳۰) تحت سناریوهای RCP



شکل ۵. میانگین بارش ماهانه دوره پایه و آینده دور (۱۴۵۹-۱۴۳۰) تحت سناریوهای RCP



شکل ۶. دمای سالانه دوره پایه، آینده نزدیک (۱۴۲۹-۱۴۰۰) و دور (۱۴۵۹-۱۴۳۰) تحت سناریوهای RCP



شکل ۷. بارش سالانه دوره پایه، آینده نزدیک (۱۴۰۰-۱۴۲۹) و دور (۱۴۳۰-۱۴۵۹) تحت سناریوهای RCP

جدول ۷. روند اقلیمی مؤلفه‌های بارش و دمای ایستگاه‌های همدیدی استان یزد در دوره پایه

ایستگاه	روند		جهت روند	
	دما	بارش	دما	بارش
ابرکوه	-۱	-۱	+	-
بافق	۱	-۱	+	-
گاریز	-۱	-۱	+	-
مروست	۱	-۱	+	-
مهریز	-۱	-۱	+	-
میبود	-۱	-۱	+	-
عقددا	-۱	-۱	+	-
رباط پشت بادام	۱	-۱	+	-
یزد	۱	-۱	+	-

تولیدات کشاورزی و تنوع پوشش گیاهی در مناطق مختلف می‌شود. بنابراین، تغییرات مکانی و زمانی سری زمانی بارندگی و دما از نظر علمی و عملی مهم است. در پژوهش

مهم‌ترین تأثیر تغییرهای آب‌وهوایی مربوط به درجه حرارت و بارش است. زیرا افزایش دما و تغییرات در الگوهای بارش ممکن است منجر به سیل و خشک‌سالی، تأثیر بر

افزایش و کاهش بارندگی متأثر از الگوی بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک بوده است (۱۲).

■ نتیجه گیری

پیش بینی میزان بلندمدت بارش و دما در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که مدل SDSM می تواند با دقت بالایی داده های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو CanESM2 را ریزمقیاس نمایی کند و می توان در مطالعات بعدی نتایج این مدل را با دیگر مدل های ریزمقیاس نمایی از جمله مدل Lars-wg، که دربرگیرنده پنج مدل گردش عمومی جو است مقایسه کرد تا ضمن کاهش خطاها و کارایی مدل ها، به مدیران و تصمیم گیران در سطح این استان، در به کارگیری سناریوهایی برای مقابله با بحران هایی طبیعی، کمک شایانی کند. در پژوهش حاضر، تجزیه روند تغییرات دما و بارش نشان داد که اقلیم منطقه در حال تغییر است و روند کاهش بارش و افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری می کند. تغییرات در میزان بارش، موجب ایجاد تغییرات مهمی در کیفیت و کمیت منابع آب خواهد شد، که دقت در برنامه ریزی برای بهره برداری از منابع آب را می طلبد. با توجه به خشک و نیمه خشک بودن استان یزد و از آن جاکه کاهش بارش و افزایش دما از عوامل اصلی بیابان زایی اند، پیش بینی تغییرات پارامترهای دما و بارش می تواند آگاه کننده از وقوع خشکسالی، گردوغبار و میزان تغییرات پوشش گیاهی باشد. همچنین مطلع بودن از میزان تغییرات دمایی، می تواند برنامه ریزان و کشاورزان را به کشت گونه های با نیاز آبی کم و استفاده از سامانه آبیاری مناسب و متناسب با گونه مورد نظر سوق دهد.

■ References

1. Agreement, P. (2015). UNFCCC, Adoption of the Paris agreement. COP. 25th session Paris, 30.
2. Alavinia, S. H. & Zarei, M. (2020). Analysis of Extreme Temperature Change Trend under Future Scenarios in order to Assess Climate Fluctuations (Case Study: Sanandaj and Saghez Synoptic Stations). *Arid Regions Geographics Studies*, 11(41), 1-16.

حاضر به منظور بررسی تغییرات اقلیمی استان یزد از مدل گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییر اقلیم CanESM2 و سناریوهای جدیدالانتشار در دو بازه آینده نزدیک ۱۴۲۹-۱۴۰۰ و دور ۱۴۵۹-۱۴۳۰ بهره گرفته شد. همچنین برای قابلیت ارزیابی مدل CanESM2 از شاخص های آماری R^2 ، RMSE و NSE استفاده شد. نتایج ارزیابی این مدل نشان داد که مدل کارایی لازم را در پیش بینی بارش و دما در دوره آتی را دارد و از نظر قابلیت در کلاس خوب و خیلی خوب طبقه بندی شد، که با نتایج جعفری و همکاران (۱۴) و سدید و همکاران (۲۵) در بررسی تغییرات اقلیمی استان کرمان مطابقت دارد. نتایج تغییرات دمایی در سطح این دو دوره حاکی از آن است که این استان متأثر از گرمایش جهانی است، به گونه ای که تغییرات دمایی حاکی از افزایش $^{\circ}\text{C}$ ۲/۲، ۲/۱ و ۲/۵ در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ و به میزان $^{\circ}\text{C}$ ۲/۲۸، ۳/۱۹ و ۴/۷۷ در دوره ۱۴۵۹-۱۴۳۰ به ترتیب با سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 اتفاق افتاده است، به طوری که بیشترین افزایش دما تحت سناریوی RCP8.5 رخ داده است که با نتایج گیتون^۱ و همکاران (۶) مطابقت دارد. تغییرات بارندگی در فصل زمستان نشان می دهد که کاهش بارندگی در دوره ۱۴۲۹-۱۴۰۰ به مقدار ۳۲، ۲۶ و ۳۴٪ و در دوره ۱۴۵۹-۱۴۳۰ به میزان ۳۲، ۳۲ و ۵٪ به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 است. همچنین به منظور روشن کردن روند تغییرات سالانه مؤلفه درجه حرارت و بارش به عنوان ورودی های مدل های هیدرولوژیکی از آزمون غیرپارمتری من-کندال استفاده شد. نتایج نشان داد که مؤلفه دما در بیشتر سناریوها و ایستگاه ها روند افزایشی است، در حالی که روند معنی داری در افزایش و کاهش پارامتر بارش وجود نداشته است و تنها تغییرات ناگهانی یا تغییرات در نوع الگوی بارش مشاهده می شود که با نتایج حق شناس گتایی و همکاران (۹) و ورشویان و همکاران (۲۸) مطابقت دارد. به عبارتی این

3. Dash, S. S., Sahoo, B. & Raghuwanshi, N. S. (2019). A SWAT-Copula based approach for monitoring and assessment of drought propagation in an irrigation command. *Ecological Engineering*, 127, 417-430.
4. Asadi Zarch, M. A. (2017). Analyzing climate change effects on drought occurrence in Yazd province, Iran. *Desert Management*, 5(9), 74-90. (in Farsi)
5. Feyissa, G., Zeleke, G., Bewket, W. & Gebremariam, E. (2018). Downscaling of future temperature and precipitation extremes in Addis Ababa under climate change. *Climate*, 6(3), 58.
6. Gaitán, E., Monjo, R., Pórtolés, J. & Pino-Otín, M. R. (2019). Projection of temperatures and heat and cold waves for Aragón (Spain) using a two-step statistical downscaling of CMIP5 model outputs. *Science of the Total Environment*, 650(2), 2778-2795.
7. Givati, A., Thirel, G., Rosenfeld, D. & Paz, D. (2019). Climate change impacts on streamflow at the upper Jordan River based on an ensemble of regional climate models. *Hydrology: Regional Studies*, 21, 92-109.
8. Gong, Z., Kawamura, K., Ishikawa, N., Goto, M., Wulan, T., Alateng, D., ... & Ito, Y. (2015). MODIS normalized difference vegetation index (NDVI) and vegetation phenology dynamics in the Inner Mongolia grassland. *Solid Earth*, 6(4), 1185.
9. Haghshenas Getabi, R., Mohseni, B., Hosseini, A. & Dadashi, N. (2014). Investigation of climate change trend in Tehran province using temperature and precipitation extreme Indices. In: 5th International Conference on Integrated Natural Disaster Management. Permanent Secretariat of the Comprehensive Crisis Management Conference. Tehran, Iran. 23-24 February 2014. pp. 1-8. (in Farsi)
10. Hawkins, E., Ortega, P., Suckling, E., Schurer, A., Hegerl, G., Jones, P., ... & Thorne, P. (2017). Estimating changes in global temperature since the preindustrial period. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(9), 1841-1856.
11. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). In: Solomon, S., et al. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
12. IPCC, (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151(10.1017).
13. Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). (2013). Working Group, I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report *Climate Change 2013: The physical science basis-summary for policymakers*. Intergovernmental Panel of Climate Change, Stockholm.
14. Jafari, M. (2008). Investigation and analysis of climate change factors in Caspian Zone forests for last fifty years. *Forest and Poplar Research*, 16(32), 314-326. (in Farsi)
15. Jafari Godeneh, M., Salajeghe, A., Haghighi, P. (2020). Forecast Comparative of Rainfall and Temperature in Kerman County Using LARS-WG6 Models. *Ecophysiology*, 7(2), 529-538. (in Farsi)
16. Karimi, M. & Nabizadeh, A. (2018). Assessment of climate change impacts on climate parameters of Urmia Lake basin during 2011-2040 years by using LARS-WG. *Geography and Planning*, 22(65), 267-285. (in Farsi)
17. Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London, UK, 202, 15.
18. Kharin, N. (2002). *Vegetation degradation in Central Asia under the impact of human activities*. Springer Science & Business Media. Germany: Springer Nature.

19. Klaus, G., Ernst, A. & Oswald, L. (2020). Psychological factors influencing laypersons' acceptance of climate engineering, climate change mitigation and business as usual scenarios. *Technology in Society*, 60, 101222.
20. Li, J., Wang, Z., Wu, X., Guo, S. & Chen, X. (2020). Flash droughts in the Pearl River Basin, China: Observed characteristics and future changes. *Science of The Total Environment*, 707, 136074.
21. Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13, MathSci Net, pp. 245-259.
22. Miao, C., Duan, Q., Sun, Q., Huang, Y., Kong, D., Yang, T. & Gong, W. (2014). Assessment of CMIP5 climate models and projected temperature changes over Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*, 9(5), 055007.
23. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
24. Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... & Meehl, G. A. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.
25. Phillips, J. D. (2019). State factor network analysis of ecosystem response to climate change. *Ecological Complexity*, 40, 100789.
26. Sadidi, J., Jafary Godeneh, M., Sajedi, H. & Hamzehzadeh, G. (2019). Investigation of trend and prediction of temperature changes in arid and semi-arid regions (Case study: Kerman province). In: 14th Congress of the Iranian Geographic Society. Tehran, Iran. 14 May 2019. pp. 1-17. (in Farsi)
27. Saremi Naeini, M. (2017). Estimation of the Frequency of Speed and Direction of the Erosive Winds and Dust storms in the Yazd Province, by Using Windrose, Stormrose and Sandrose. *Desert Management*, 4(8), 96-106. (in Farsi)
28. Soltani Gerd faramarzy, M., Mozafari, Gh. & Shafie, Sh. (2018). Analysis of the effects of recent climatic droughts on the salinity of subterranean waters using geostatistical and GIS methods in Yazd- Ardakan Plain. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 179-199. (in Farsi)
29. Varshavian, V., Khalili, A., Ghahreman, N. & Hajjam, S. (2011). Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. *Earth and Space Physics*, 37(1), 169-179. (in Farsi)
30. Wilby, R. L. & Dawson, C. W. (2013). The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *Climatology*, 33(7), 1707-1719.
31. Yin, L., Dai, E., Zheng, D., Wang, Y., Ma, L. & Tong, M. (2020). What drives the vegetation dynamics in the Hengduan Mountain region, southwest China: Climate change or human activity? *Ecological Indicators*, 112, 1-12.
32. Zhang, C., Wang, X., Li, J. & Hua, T. (2020). Identifying the effect of climate change on desertification in northern China via trend analysis of potential evapotranspiration and precipitation. *Ecological Indicators*, 112, 1-9.

Detection and Numerical Simulation of Dust Storm in Kermanshah

T. Alizadeh^{1*}, M. Rezaei Banafsheh², Gh.R. Goodarzi³, S.H. Sheikhghaderi⁴

1. PhD Student of Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Professor of Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Associate Professor of Health and Environmental Engineering, Air Pollution and Respiratory Diseases Research Center, Department of Health and Environmental Engineering, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
4. MSc student of Remote sensing and Geographic Information System, Department Remote sensing and Geographic Information System, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University of Tehran, Iran.

* Corresponding Author: mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir

Received date: 14/04/2021

Accepted date: 08/08/2021



[10.22034/JDMAL.2021.246299](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246299)

Abstract

This study aimed to identify the epicenter and co-occurrence factors of dust storm waves in Kermanshah from 16 to 18 June 2016. To investigate the synoptic conditions of the causes of this phenomenon, data set with a resolution of 0.125° arcs from the European Center for Medium-Term Atmospheric Prediction (ESMWF), including geopotential height at 500 hPa, omega at 700 hPa, sea level pressure, orbital components and meridian at 300 hPa level, specific moisture at 700 hPa level, soil moisture up to 10 cm depth and dust optical depth were used. To route, the origin of dust particles, the Lagrangian method of the HYSPLIT model was used 48 hours before the occurrence of dust phenomenon in Kermanshah at three altitude levels of 200, 1000, and 1500 m. The dust storm was also simulated using WRF-chem numerical weather forecasting model. Finally, through the processing of MODIS satellite images, its scope was determined. Examination of HYSPLIT tracking maps showed that the central and western deserts of Iraq and the Syrian are the main sources of dust for the study area. In synoptic conditions, simultaneously with the occurrence of rising dust, cyclonic systems play a significant role in the transmission of this phenomenon. Significant strengthening of the Iraqi low-pressure system along with the formation of traffic in the Zagros mountains has caused the creation and transfer of dust in the warm period of the year to the study area. The spatial distribution of the dust interpreted by the MODIS images is consistent with the spatial distribution of the dust concentration simulated by the WRF-chem model.

Keywords: Dust particles; synoptic system; Routing; Satellite Images; Forecast





ردیابی و شبیه‌سازی عددی طوفان گردوغبار در شهر کرمانشاه

طوبی علیزاده^{۱*}، مجید رضایی‌بنفشه^۲، غلامرضا گودرزی^۳، سیدهدایت شیخ‌قادری^۴

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
 ۲. استاد آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
 ۳. دانشیار مهندسی بهداشت و محیط، مرکز تحقیقات آلودگی هوا و بیماری‌های تنفسی، گروه مهندسی بهداشت و محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
 ۴. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
- * نویسنده مسئول: mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

doi: [10.22034/JDMAL.2021.246299](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246299)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناسایی کانون و عوامل همدید موج طوفان گردوغبار ۲۷ تا ۲۹ خرداد ۱۳۹۵ در شهر کرمانشاه انجام گرفت. برای بررسی شرایط همدیدی علل وقوع این پدیده، از مجموعه داده‌های پیش‌بینی میان مدت جوی مرکز اروپایی (ESMWF) با قدرت تفکیک 0.125° قوسی شامل، ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ hpa، امگا در تراز ۷۰۰ hpa، فشار تراز دریا، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهار در تراز ۳۰۰ hpa، رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ hpa، رطوبت خاک تا عمق ۱۰ cm و عمق آپتیکی گردوغبار استفاده شد. برای مسیریابی منشأ ذرات گردوغبار از روش لاگرانژی مدل HYSPLIT در ۴۸ ساعت قبل از وقوع پدیده گردوغبار در کرمانشاه در سه سطح ارتفاعی ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ m استفاده شد. همچنین با بهره‌گیری از مدل شبیه‌سازی عددی وضع هوا WRF-chem طوفان گردوغبار شبیه‌سازی شد. در پایان با پردازش تصاویر ماهواره‌ای مودیس قلمرو گسترش آن مشخص شد. بررسی نقشه‌های ردیابی HYSPLIT نشان داد که بیابان‌های مرکزی و غربی عراق و صحرای سوریه کانون‌های اصلی گردوغبار برای منطقه مورد مطالعه هستند. در شرایط همدیدی همزمان با رخداد گردوغبارهای برخاسته، سامانه چرخندی (سیکلونی) نقش بارزی در انتقال این پدیده داشته است. تقویت قابل توجه سامانه کم‌فشار عراق به همراه شکل‌گیری تراف در زاگرس موجب ایجاد و انتقال گردوغبار در دوره گرم سال به منطقه مورد بررسی شده است. همچنین توزیع مکانی گردوغبار تفسیر شده توسط تصاویر سنجنده مودیس با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-chem انطباق دارد.

واژگان کلیدی: گردوغبار؛ سامانه همدید؛ مسیریابی؛ تصاویر ماهواره‌ای؛ پیش‌بینی



■ مقدمه

یکی از مهم‌ترین پیامدهای محیط زیستی رخداد گردوغبار در جو، اثر عمده آن بر اقلیم است. گردوغبار می‌تواند بر روی درجه حرارت، جذب و پخش تابش خورشید با تغییر در تابش موج کوتاه ارسالی به سطح زمین و تابش موج بلند از زمین اثر بگذارد. با این حال توازن بین این دو گرایش که گردوغبار باعث گرم شدن و یا سرد شدن می‌شود به متغیرهای زیادی از جمله اندازه ذرات گردوغبار و ترکیبات شیمیایی آنها وابسته است (۱۰). مقادیر زیادی گردوغبار همه ساله از بیابان‌های شمال افریقا، شبه‌جزیره عربستان، عراق و سوریه به مناطق مختلف ایران منتقل می‌شوند. این گردوغبارها بسته به میزان گرم شدن سطح زمین و سرعت بادهایی مثل هارماتان و بادهای شدید محلی دیگر تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری و بالاتر کشیده شده و با ورود به سامانه‌های بادی مدیترانه و شمال افریقا به مناطق واقع در پیش روی این سامانه‌ها منتقل می‌شوند (۱۴). گردوغبارها یکی از پدیده‌های متداول جوی و در ردیف بزرگترین مشکلات محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که این امر هر ساله آثار مخربی را برای ساکنان این مناطق دارد. در سال‌های اخیر آلودگی ناشی از ذرات گردوغبار به یکی از معضلات زیست محیطی به خصوص در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. با توجه به اینکه ایران نیز در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است و مساحت زیادی از کشور جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود مطالعه این پدیده ضرورت دارد (۷). پدیده طوفان‌های 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 طوفان‌های 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 (۱۰). در سال‌های اخیر علاوه بر دانش سنجش از دور، بسیاری از روش‌ها به منظور شبیه‌سازی،

مسیریابی و پراکنش ریزگردها توسعه یافته‌اند، در میان مدل‌ها و روش‌های شبیه‌سازی گردوغبار، مدل HYSPLIT به عنوان یک سامانه مبنای کامل در رابطه با شناسایی منبع و نحوه پراکنش ذرات گردوغبار است (۲). مدل HYSPLIT، مدلی دوگانه برای محاسبه‌ی خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی است که به دلیل بهبود رویکردهای (الگوریتم) فرارفتی، به روز شدن معادله‌های پایداری و پراکندگی، بهبود رابطه کاربرگرافیکی نسبت به سایر مدل‌های ردیابی قابلیت بهتری دارد (۲). یکی دیگر از مدل‌های شبیه‌سازی گردوغبار مدل WRF می‌باشد. مدل تحقیقاتی و پیش‌بینی وضع هوا WRF سامانه عددی شبیه‌سازی جوی است. مدل WRF¹ علاوه بر توسعه نسل بعدی مدل‌های میان‌مقیاس^۲ پیش‌بینی وضع هوا و سامانه‌های گوارد داده‌ها، عامل پیشرفت و افزایش کارایی در سامانه‌های پیش‌بینی میان‌مقیاس و همچنین درک چگونگی عملکرد این مدل‌ها می‌باشد. وجود تعداد قابل توجهی از زیر برنامه‌ها در WRF، بستر مناسبی را برای پژوهش‌ها و شبیه‌سازی‌های جوی و اقیانوسی توسط این مدل ایجاد کرده است. استفاده از این مدل، بخش وسیعی از پژوهش‌های علمی از شبیه‌سازی حالت‌های ایده‌آل تا پیش‌بینی‌های کاربردی را در بر می‌گیرد. فواصل بین نقاط شبکه در مدل WRF قابلیت تغییر از یک تا چند ده کیلومتر دارد (۸). تصاویر مودیس برای نشان دادن وقوع یک رخداد مثل حرکت سیلاب، فوران آتشفشان، طوفان گردوغبار و غیره همواره استفاده گردیده‌اند. در این پژوهش، برای شناخت هر چه بیشتر وقوع گردوغبار و همچنین درک بیشتری از ابعاد و ویژگی‌های این طوفان‌ها از تصاویر سنجنده مودیس نیز استفاده شده است. در مورد هر موضوعی و در بررسی‌های مختلف وجود پیشینه‌ای از موضوع و یا اطلاع از بررسی‌های انجام شده می‌تواند تا حد زیادی به پیشرفت مطالعه و دستیابی به نتایج منطقی جدید کمک کند. در ادامه تعدادی از منابع داخلی و خارجی موجود درباره موضوع تحقیق، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در تحقیقی که برای مسیریابی طوفان‌های

سال‌های اخیر در ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه ثبت شده است، سعی بر آن شد شرایط اقلیمی و سامانه‌های جوی منجر به پدیده گردوغبار بررسی و در پایان منشأ و مسیر طوفان گردوغبار با استفاده از مدل‌های HYSPLIT و WRF-Chem، پایش شود.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه کرمانشاه در غرب ایران به دلیل نزدیکی به بیابان‌های کشورهای مجاور در معرض رخدادهای گردوغباری متعدد است. با توجه به مسیر حرکت سامانه‌ها و نحوه‌ی قرارگیری ناو‌ها و کم‌فشارها در روزهای متفاوت، مهمترین چشمه‌های گردوغبار وارد به این منطقه، بیابان‌های سوریه، کویت، بیابان‌های مرکزی و غربی عراق و بیابان نفود در عربستان است. از نظر موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در بین $25^{\circ} 46'$ تا $47^{\circ} 47'$ طول شرقی و $45^{\circ} 33'$ تا $4^{\circ} 34'$ 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. متوسط میزان بارندگی آن بین 400 تا 500 mm می‌باشد و میانگین دمای سالیانه 16°C است. جهت وزش بادهای غالب در این منطقه در طول سال غربی است، که همراه با نوسان‌هایی در جهت شمال غرب و جنوب غربی است (شکل ۱).

روش پژوهش

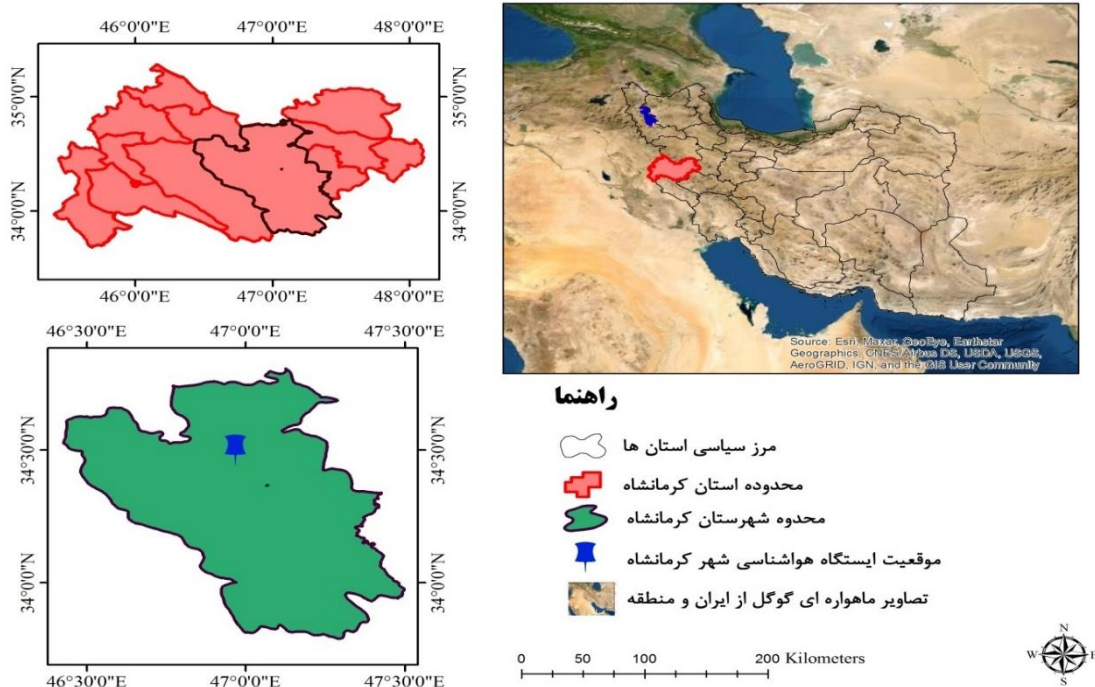
فرآیند انجام پژوهش در (شکل ۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، هدف اصلی این بررسی، تبیین علل وقوع و مسیریابی چشمه‌های طوفان گردوغبار شهر کرمانشاه در بازه زمانی سه روزه ۲۷ تا ۲۹ خرداد ۱۳۹۵ است. در مرحله اول ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی روزهای همراه با طوفان گردوغبار مشخص شد. در مرحله دوم برای واکاوی همدیدی علل وقوع این طوفان از مجموعه داده‌های پیش‌بینی میان مدت جوی مرکز اروپایی با قدرت تفکیک 0.125° قوسی شامل،

گردوغبار در عراق، عربستان و کویت با استفاده از مدل عددی HYSPLIT مورد بررسی قرار گرفت، به این نتیجه دست یافتند مدل در شبیه‌سازی مسیرها و تعداد رویدادهای گردوغبار برای کویت از صحت بالایی برخوردار است (۳). در مطالعه‌ای دیگر، طوفان‌های گردوغبار در چین با استفاده از مدل عددی WRF مورد بررسی قرار گرفت، از مقایسه تصاویر سنجنده مودیس با خروجی مدل WRF نشان داده شد که سهم عمده تولید غبار در چین ناشی از بادهای شدید سطحی در بیابان گبی است و کم‌ترین سهم مربوط به بیابان تاکلامکان می‌باشد (۴). در مقاله‌ای به بررسی روند فصلی روزهای همراه با گردوغبار در غرب ایران پرداخته شد، به این نتیجه دست یافتند که فراوانی روزهای گردوغبار از شمال به جنوب و از شرق به غرب ایران افزایش می‌یابد. حداکثر فراوانی روزهای گردوغبار در ماه‌های مه، ژوئن و ژوئیه اتفاق افتاده است و دوره‌های افزایش و کاهش فزاینده وجود داشته است که این تغییرات به طور منطقی با تغییرات فصلی مرتبط است، بیشترین گسترش و تشدید الگوی فراوانی روزهای گردوغبار در فصل بهار در غرب ایران مشاهده شده است (۱۸). در مطالعه‌ای به بررسی تشکیل و انتشار طوفان گردوغبار با استفاده از نرم‌افزار 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 باعث انتقال حجم انبوهی گردوغبار از بیابان‌های کویت، عراق، سوریه و عربستان به سمت جنوب غرب ایران و شهر اهواز شده است (۱۲). در بررسی منشأ گردوغبار فراگیر اردیبهشت ۱۳۹۷ وارده به قسمت‌های شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب و مرکز ایران و ردیابی مسیر حرکت آن با مدل HYSPLIT، نواحی شبه‌جزیره عربستان منشأ اصلی تعیین گردید (۱۹). منطقه خاورمیانه به عنوان یکی از بزرگترین چشمه‌های انتشار گردوغبار در جهان است (۲۰). با توجه به اینکه ۹۱٪ از مساحت کشور ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است، تأثیر گردوغبار می‌تواند خسارت فاجعه بار محیط زیستی فراوانی به بار آورد، بنابراین مطالعه عوامل به وجود آورنده این پدیده و شناسایی کانون‌های آن ضروری است. در این پژوهش که با هدف بررسی جامع ویژگی‌های شدیدترین مورد وقوع طوفان گردوغبار که طی

مدل مسیریابی HYSPLIT

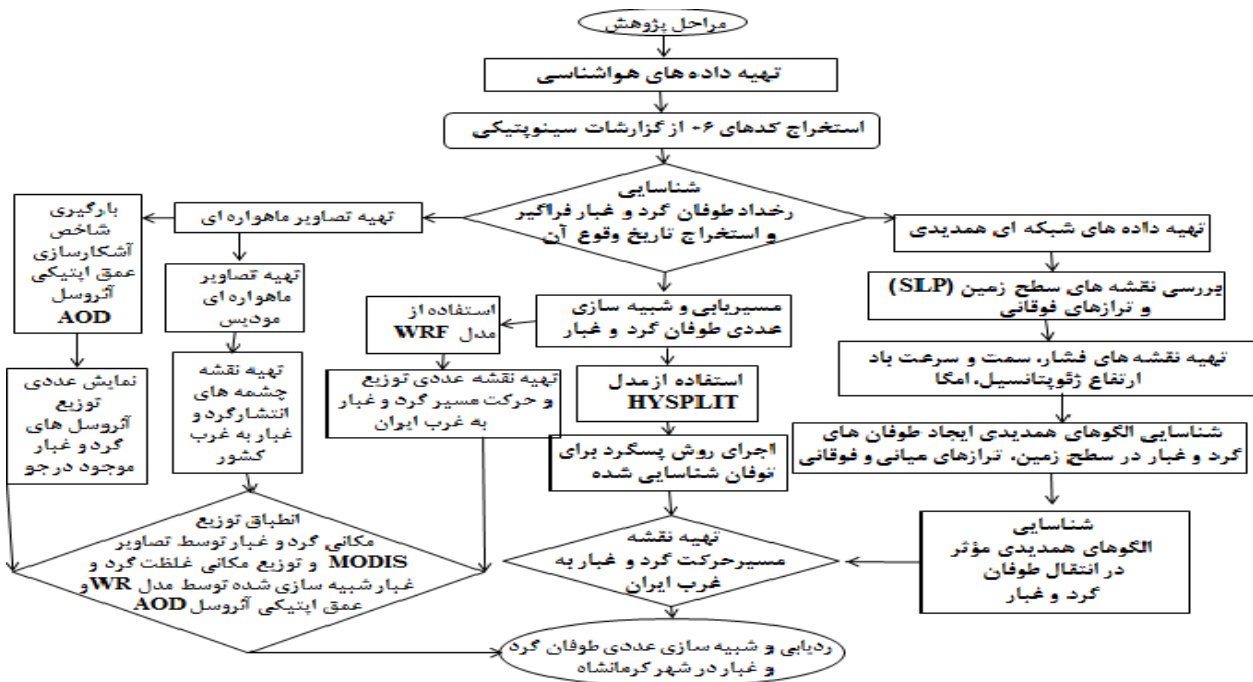
برای تعیین مسیر گردوغبار از مدل ترکیبی لاگرانژی با امکان ردیابی پسرگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به مدل HYSPLIT^۱ استفاده شد. در این مدل موقعیت اولیه ذرات گردوغبار شامل مؤلفه‌های مکانی آلودگی، اطلاعات هواشناسی مانند سرعت و جهت باد از جمله پارامترهای مورد نیاز است. ذرات با توجه به سرعت و جهت باد در هوا حرکت می‌کنند و نرم افزار به ثبت مسیر آنها می‌پردازد. این مدل، مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است که در آن محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام گرفت. روش محاسبه‌ی مدل، ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری و لاگرانژی است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند (۳). دو دیدگاه اساسی بر این مدل حاکم است:

ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ hpa، امگای تراز ۷۰۰ hpa، فشار تراز دریا (SLP)، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد در تراز ۳۰۰ hpa، رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ pa به دلیل قدرت تفکیک بالاتر و داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک تا عمق ۱۰ cm در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. با بکارگیری داده‌های فوق در نرم افزار GRADS؛ الگوهای بادی و سامانه‌های هم‌دیددی مؤثر در حمل و انتقال ریزگردها به شهر کرمانشاه ترسیم شد. در مرحله سوم با استفاده از مدل HYSPLIT، ذرات گردوغبار در سه سطح ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ از سطح زمین در حد فاصل زمانی ۶ تا ۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار ردیابی شدند. از مدل شبیه‌سازی عددی وضع هوا WRF-CHEM، در تهیه نقشه‌های عددی توزیع غلظت ذرات و حرکت مسیر طوفان گردوغبار به غرب ایران استفاده گردید. و در مرحله آخر از تصاویر MODIS برای تعیین چشمه‌های انتشار گردوغبار به غرب ایران استفاده شد و همچنین با به‌کارگیری شاخص آشکارسازی عمق اپتیکی آئروسول AOD، نقشه توزیع عددی آئروسول‌های گردوغبار موجود در جو به‌دست آمد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه در استان

¹ Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory



شکل ۲. نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش

۱- رویکرد لاگرانژی: در این رویکرد قضیه از دید فردی که با بسته هوا در حرکت است، بررسی می‌شود. به این ترتیب مجموع غلظت ذرات در هر شبکه در طول مسیر حرکت تعیین می‌شود.

۲- رویکرد اویلری: در این حالت قضیه از دید فردی که در مکان ثابت ایستاده است، بررسی می‌شود. غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌گردد.

از آنجایی که رهیافت لاگرانژی هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین این امکان فراهم می‌شود که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت آینده^۱ یا به سمت زمان‌های گذشته یا پس‌گرد^۲ ردیابی کنند، بنابراین در پژوهش حاضر از روش لاگرانژی استفاده شد (۳).

مدل شبیه‌سازی WRF-CHEM

مدل WRF یک مدل برای پیش‌بینی عددی وضع هوا و شبیه‌سازی جو است که برای کاربردهای پژوهشی و

پوشش می‌دهد (۸). در پژوهش حاضر با استفاده از نسخه ۳،۶،۱ از مدل جفت شده WRF-chem^۳، شبیه‌سازی برای ۳ روز از تاریخ ۲۷ تا ۲۹ خرداد ماه سال ۱۳۹۵ با استفاده از داده‌های آنالیز GFS به منظور شرایط اولیه و مرزی صورت پذیرفت. در این اجرا از طرح‌واره پیشرفته MADE-SORGAM به عنوان طرح‌واره گسیل ذرات معلق جوی استفاده شد (۱). این طرح‌واره بر پایه مدل دینامیک مودال^۴ برای ذرات گردوغبار در اروپا طراحی شده است (۵). که این رهیافت نیز به نوبه خود بر پایه مدل منطقه‌ای ذرات معلق طراحی شده است. در طراحی MADE ذرات معلق جوی در سه

3 Weather research and forecasting chemistry
4 Modal Aerosol Dynamic Model

1 Forward
2 Backward

بررسی شود. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای دریافت شده از وبگاه سازمان ناسا، ماهواره ترا سنجنده MODIS با قدرت تفکیک ۱ km مربوط به روزهای ۲۷ تا ۲۹ خرداد ۱۳۹۵ محدوده غرب ایران برای آشکارسازی گردوغبار استان کرمانشاه از سایت نوا^۱ دریافت شد.

عمق آپتیکی آئروسول AOD

در پژوهش حاضر همچنین برای مشخص شدن وضعیت شفافیت جو از داده‌های ماهواره‌ای عمق آپتیکی آئروسول^۲ AOD استفاده گردید. AOD یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گردوغبار است. عمق آپتیکی در واقع به توزیع هواویزها (آئروسول) و گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور در واحد طول بر روی مسیر مشخص تعریف می‌شود (۱۳). مسیر آپتیکی عمودی، فاصله عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جو است. مقدار عمق آپتیکی با تراکم تعداد هواویزها و ویژگی‌های ذرات متفاوت است. همچنین AOD کمیتی بی‌بعد است و عبارتند از میزان جلوگیری از گذر پرتو نور در جو به خاطر جذب و پراکنش ناشی از وجود هواویزها در مسیر عبور نور. در واقع AOD به‌عنوان ضریب میرایی تشعشع بر روی ستون قائم در واحد طول تعریف می‌شود. زیاد بودن مقدار AOD نشان دهنده بیشتر بودن هواویزها در امتداد ستون عمودی هوا است و به عبارتی دید در امتداد ستون کم می‌باشد (۱۶). ارزش‌های AOD به‌صورت تقریبی طبقه‌بندی شد که نشان دهنده شرایط جوی است (جدول ۱).

مدل با قطر کمتر از $0.1 \mu\text{m}$ ، تجمعی با قطر بین 0.1 تا $2 \mu\text{m}$ و درشت با قطر بزرگتر از $2 \mu\text{m}$ با توزیع لوگ-نرمال در فرآیند شبیه‌سازی کیفیت هوا وارد شدند. الگوی ریاضی توزیع هواویزها با رابطه ۱ محاسبه شد.

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

که در آن:

N: تعداد ذرات بر حسب m^3 ; dp: قطر ذرات، dp_g: قطر میانه، gσ: انحراف معیار می‌باشد (۱۱).

تصاویر MODIS

به‌دلیل تغییرات سریع در ماهیت و مکان گسترش طوفان‌های گردوغبار، محدودیت‌هایی در پایش و اندازه‌گیری‌های مربوط به آن وجود دارد. مدل‌های عددی هواشناسی نیز به تنهایی نمی‌تواند به ردیابی و آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار بپردازند. امروزه فناوری سنجنش از دور با فراهم کردن تصاویر متعدد جهانی و منطقه‌ای با مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، ابزاری مناسب برای پایش، اندازه‌گیری و برداشت ویژگی‌های گردوغبار است. در این پژوهش برای بررسی طوفان گردوغباری، از تصاویر MODIS نیز استفاده شد. در سنجنده‌های MODIS، ماهواره‌های Aqua-Terra در ۳۶ کانال قرار گرفته است. دامنه طیفی آنها از انرژی تابشی محدوده $0.4 \mu\text{m}$ تا $14.3 \mu\text{m}$ مرئی تا مادون قرمز را پوشش می‌دهد و در روز، حداقل ۴ تصویر MODIS از هر منطقه حاصل می‌شود. قدرت تفکیک بالای زمانی داده‌ها موجب می‌شود که طوفان‌های گردوغبار به طور مداوم

جدول ۱. ارزش‌های AOD که نشان دهنده شرایط جوی است (۱۶)

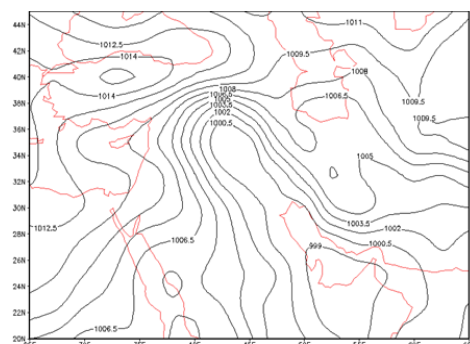
شرایط جوی	ارزش AOD
مناطق بسیار پاک	< 0.02
مناطق پاک	$0.02 - 0.08$
مناطق نسبتاً	$0.08 - 0.2$
مناطق آلوده	$0.2 - 0.6$
پدیده‌های گردوغباری سنگین	$0.6 - 1.5$
شرایطی که موقعیت خورشید مشخص نیست	$1.5 - 3$

■ نتایج و بحث

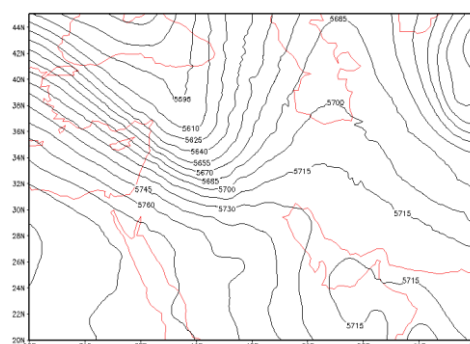
بررسی همدیدی، تعیین منابع و مسیر گردوغبار با مدل HYSPLIT

با توجه به تداوم وجود گردوغبار و غلظت زیاد آن در شهر کرمانشاه، روزهای ۲۷ تا ۲۹ خرداد ۱۳۹۵، برای بررسی همدید و تعیین کانون گردوغبار بر مبنای رویکرد لاگرانژی ذرات گردوغبار در مدل HYSPLIT بهره‌گیری شد. پدیده غالب روز ۲۷ خرداد ۱۳۹۵ برای تراز ۵۰۰ hpa (شکل ۳، الف) اتفاق افتاد. در این روز حاکمیت سامانه پرفشار جنب حاره‌ای آزور^۱ در بالای منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده بوده، به طوری که جو بالا در این روز پایدار و شرایط صعود و ناپایداری وجود نداشت، حاکمیت پرفشار آزور از ایجاد شرایط برای شکل‌گیری پدیده گردوغباری توسط سامانه‌های سطوح میانی جلوگیری می‌کند. فشار تراز دریا (شکل ۳، ب) در روز مذکور، سامانه کم‌فشاری با فشار مرکزی ۹۹۹ hpa بر روی خلیج فارس کشیده شده و خطوط هم‌فشار به صورت زبانه‌ای به منطقه غرب ایران کشیده شده بود. گردش چرخندی هوا درون این سامانه موجب انتقال ذرات گردوغبار از بیابان‌های عراق و سوریه به غرب ایران شد و شرایط برای ایجاد پدیده گردوغبار را در منطقه غرب ایران فراهم کرد. با توجه به نقشه باد در تراز ۳۰۰ hpa (شکل ۳، ج)، زبانه کم‌ارتفاع جنب قطبی که به صورت کم‌فشار بریده در شرق مدیترانه می‌باشد با زبانه پر ارتفاع جنب حاره‌ای در موقعیت عربستان و جنوب ایران استقرار یافته است جریان‌های باد با جهت‌های شمال غربی - جنوب شرقی موجب هدایت گردوغبار به منطقه مورد مطالعه شد. نقشه امگا (شکل ۳، د) و مقدار آن و همچنین جهت پیکان‌ها سمت و سرعت باد نشان دهنده وجود جریان صعودی عمیق و قوی در محدوده باد شدید است. لذا طبق این شواهد وزش باد به همراه صعود هوا توسط الگوی همدیدی مذکور کمربند بادهای شدید ترازهای فوقانی شکل گرفته است و در مناطق بیابانی سوریه و شمال عراق موجب ایجاد طوفان در سطح زمین شده است. با در نظر گرفتن بررسی‌های انجام شده و خروجی مدل HYSPLIT (شکل ۳، ه) سازوکار اصلی انتقال ذرات غبار در محدوده‌ای در حد فاصل شرق سوریه و عراق به منطقه مورد مطالعه بود. در الگوی فشاری مستقر بر روی منطقه در زمان وقوع گردوغبار،

مسیرهای انتقال ذرات در سه سطح ۲۰۰ m، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ تابعی از مسیر و جهت حرکت باد غربی است. در مسیر A ارتفاع ۲۰۰ m نزدیک‌ترین ارتفاع به زمین است لذا تأثیر بیشتری بر شهر کرمانشاه داشته است و همچنین این ارتفاع به عنوان شاخص اصلی جهت تشخیص منشأ گردوغبارهای شدید مورد بررسی قرار گرفت به طوری که از زمان شروع روند عقب‌گرد به ساعات ماقبل در ارتفاع ۲۰۰ m در هر زمانی که مسیر A با توجه به پروفیل عمودی خروجی از مدل HYSPLIT، از ارتفاع ۱۰۰۰ m عبور کرد آخرین نقطه منشأ طوفان گردوغبار در نظر گرفته می‌شود. منشأ گردوغبار (شکل ۳، ه) در مسیرهای A، B و C ارتفاع‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰۰ m منطبق بر جریانات باد غربی می‌باشد که از بیابان‌های سوریه و اردن آغاز و سپس با عبور از بیابان‌های مرکزی و غربی عراق و با انتشار عمودی ناچیزی به سمت شرق ادامه داده‌اند. همچنین بررسی نقشه رطوبت (شکل ۳، و) روز ۲۷ خرداد ۱۳۹۵ نشان داد که میزان رطوبت موجود در سطح زمین، در منطقه مورد مطالعه بسیار کم و زیر ۲۵٪ است که موجب خشک شدن خاک‌های سطحی شده که با وجود کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین و ناپایداری ایجاد شده، شرایط تشکیل گردوغبار را به دنبال داشته است. امتداد جریان‌های گردوغبار روز ۲۸ خرداد بر روی منطقه به موجب کم‌فشار بریده‌ای که در عرض‌های بین ۳۴° تا ۴۰° شمالی بوده و (شکل ۴، الف) حرکت‌های شرق سوی این بریده کم‌فشار با ارتفاع ۵۶۱۰ gpm بر روی منطقه غرب عراق و سوریه موجب انتقال گردوغبار به غرب کشور شده است. نقشه فشار تراز دریا (شکل ۴، ب) در روز طوفان گردوغبار نشان داده شد. همان‌طور که در این نقشه پیداست، در این روز سامانه کم‌فشار حرارتی با فشار ۱۰۰۰/۵ hpa همچنان در سطح منطقه فعال بوده و زبانه‌های آن به سمت شرق و روی منطقه مورد مطالعه کشیده شده است، اما در شمال غرب این کم‌فشار، پرفشاری با ۱۰۱۸/۵ hpa بر روی ترکیه مستقر بوده و کنش و واکنش این سامانه منجر به ایجاد شیب فشاری متأثر از جریانات پرفشاری عرض‌های بالاتر شده است این اختلاف فشار باعث افزایش سرعت باد و شکل‌دهی جریاناتی از شمال غرب به سمت جنوب شرق ایران شده است (شکل ۴، د).

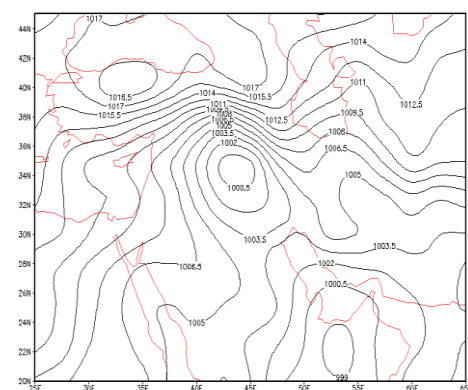


(ب)

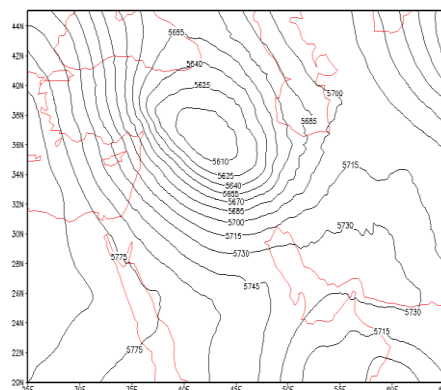


است؛ اما دو سامانه پرفشار در شمال و شمال غرب این کم‌فشار، با ۱۰۲۰ hpa و ۱۰۱۸/۵ hpa در شمال ترکیه و شرق دریای سیاه مستقر بودند که منجر به شیب فشار به سمت غرب ایران شده است. همچنین کم‌فشار ترمیک وسیعی با فشار مرکزی ۱۰۰۶/۵ hpa بر روی خلیج فارس دیده می‌شود، گردش چرخندی هوا درون این سامانه باعث کشیده شدن هوای بیابان‌های عراق به غرب ایران گردیده و شرایط را برای ایجاد پدیده گردوغبار در منطقه مورد مطالعه فراهم کرده است (شکل ۵، ب).

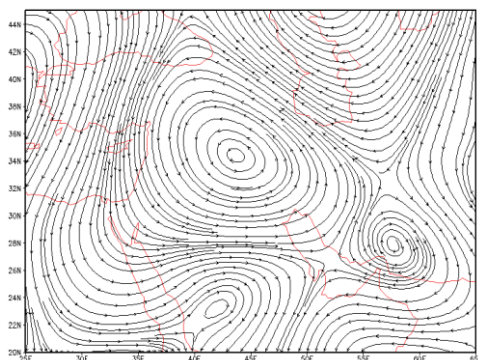
همچنان اندک و زیر ۱۵ می‌باشد که موجب خشک شدن خاک‌های سطحی و ایجاد شرایط گردوغبار گردیده است (شکل ۴، و). کم‌فشارهای بسته بر روی عراق و سوریه در روز ۲۹ خرداد ۱۳۹۵ (شکل ۵، الف) موجب ایجاد شرایط مناسب برای صعود حجم عظیمی از گردوغبار به هوا شد. حرکات شرق سوی این بریده کم‌فشار که دارای ۵۶۲۵ gpm ارتفاع بوده که موجب ناپایداری در تراز میانی جو شد. در این روز سامانه کم‌فشار حرارتی با فشار ۱۰۰۵ hpa همچنان در سطح منطقه فعال بود که زبانه‌های آن به غرب کشور نفوذ کرده



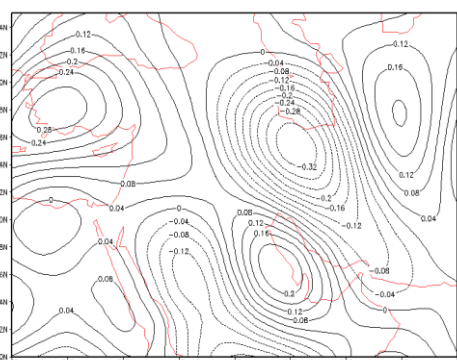
(ب)



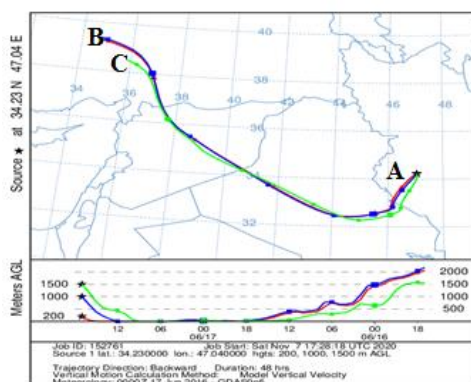
(الف)



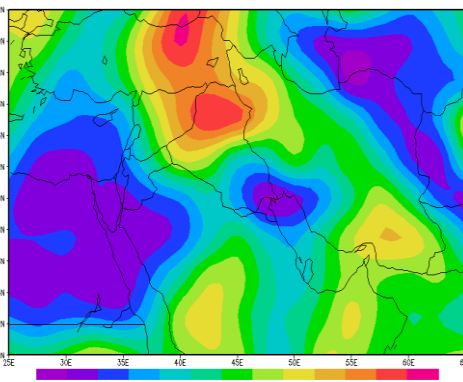
(د)



(ج)



(ه)

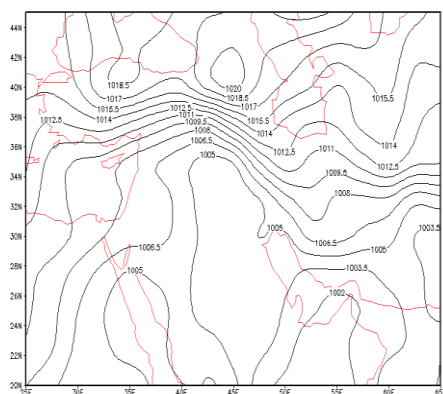


(و)

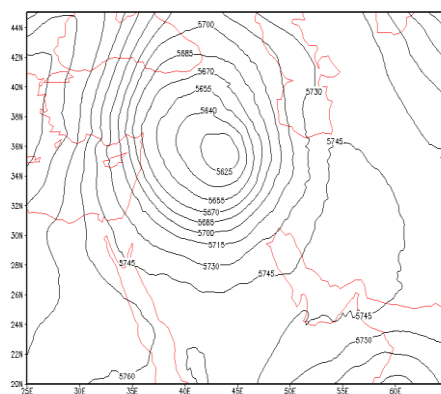
شکل ۴. الف. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ hpa؛ ب. فشار سطح دریا؛ ج. امگای تراز ۷۰۰ hpa؛ د. جریان باد تراز ۳۰۰ hpa؛ و. رطوبت ویژه تراز ۷۰۰ hpa؛ ه. نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT روز ۲۸ خرداد ۱۳۹۵

مطالعه رسیده است (شکل ۵، ه). در این روز میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان زیر ۳۰٪ است که خشک شدن خاک‌های سطحی و ایجاد شرایط گردوغبار را در پی داشته است (شکل ۵، و). نتایج بررسی‌های عمق ایتیکی آنروسل نشان داد که در روز ۲۷ خرداد ۱۳۹۵ میزان عمق ایتیکی بالاتر از ۰/۱ قرار گرفت که گسترش گردوغبار تا سطوح بالاتر از ۱۰۰۰ hpa از علل آن محسوب شد (شکل ۶، الف). اما در روز ۲۸ خرداد با شکل‌گیری جریان گردوغباری شدید در این روز به دلیل گسترش گردوغبار به سطح ۲۰۰ m جو، عمق ایتیکی به حدود ۰/۰۹ و تراکم به حد زیادی می‌رسد (شکل ۶، ب). همچنین در روز ۲۹ خرداد با غلبه بادهای غربی و شمال غربی، میزان عمق ایتیکی کاهش یافته و در حد ۰/۳ مشاهده گردد (شکل ۶، ج). که غلبه کامل جریانات شمال غربی در سطوح جوی مشهود بود و قابلیت دید را کاهش داد.

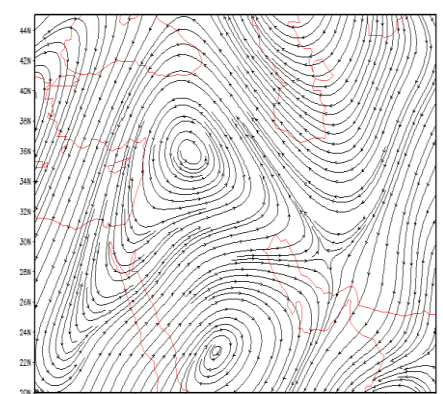
به علت وجود پرفشار عربستان و کم‌فشار موجود در شمال منطقه مورد مطالعه، جریانات باد با جهت‌های شمال‌غربی-جنوب‌شرقی باعث هدایت گردوغبار به منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۵، د). نقشه امگا همانند روز قبل در تراز ۷۰۰ hpa (شکل ۵، ج) نیز از ناپایداری بر روی منطقه مورد مطالعه حکایت داشته که در شکل‌گیری پدیده گردوغباری مؤثر بوده است. مشاهده نقشه‌های ردیابی نشان داد که طی این روز مبدأ ذرات غباری در دو مسیر A و B از لحاظ ارتفاعی به نسبت روزهای دیگر در سطوح پایین‌تری کمتر از ۲۰۰ m حرکت خود را از چشمه گردوغبار به سمت شرق آغاز نموده‌اند و مبدأ این دو مسیر در داخل خاک عراق و در بیابان‌های غرب عراق قرار دارد، اما مبدأ گردوغبار در مسیر C منطبق بر جریانات باد می‌باشد که از بیابان‌های سوریه آغاز و با عبور از بیابان‌های غربی عراق، در ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ m به منطقه مورد



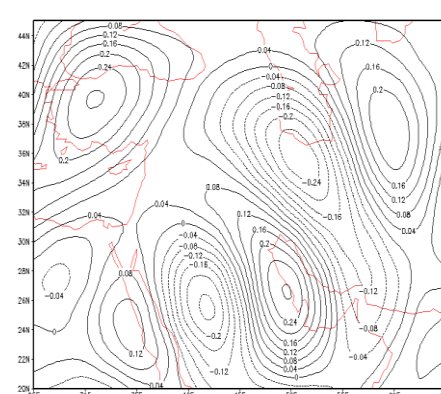
(ب)



(الف)

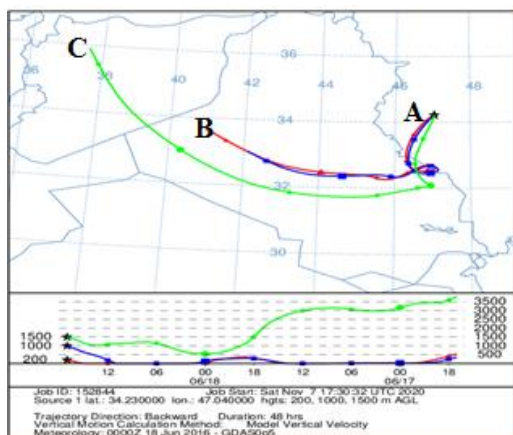


(د)

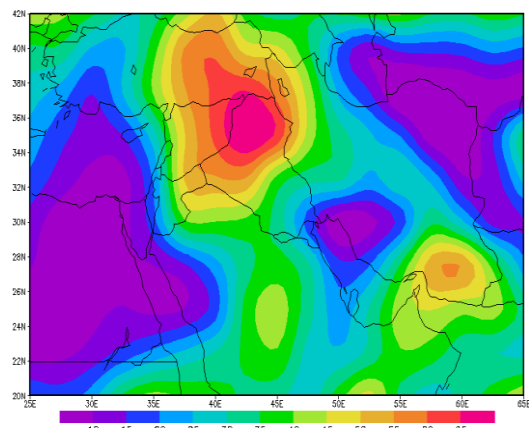


(ج)

شکل ۵. الف. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ hpa؛ ب. فشار سطح دریا؛ ج. امگای تراز ۷۰۰ hpa؛ د. جریان باد تراز ۳۰۰ hpa؛ و. رطوبت ویژه تراز ۷۰۰ hpa؛ ه. نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT روز ۲۹ خرداد ۱۳۹۵

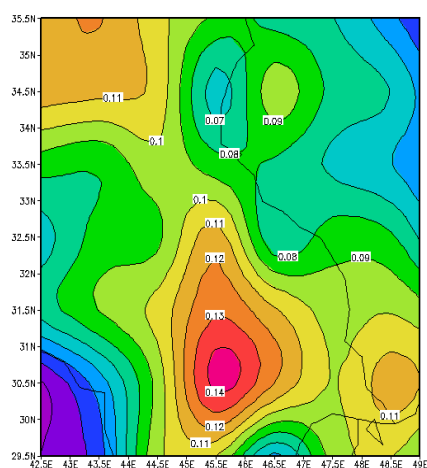


(ه)

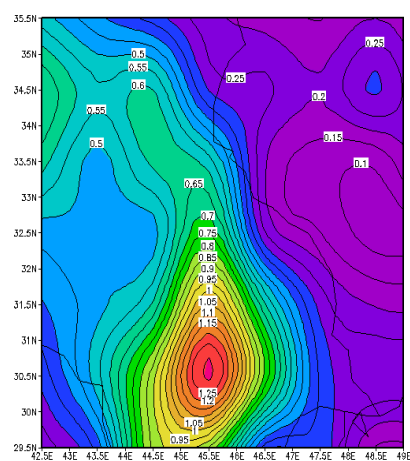


(و)

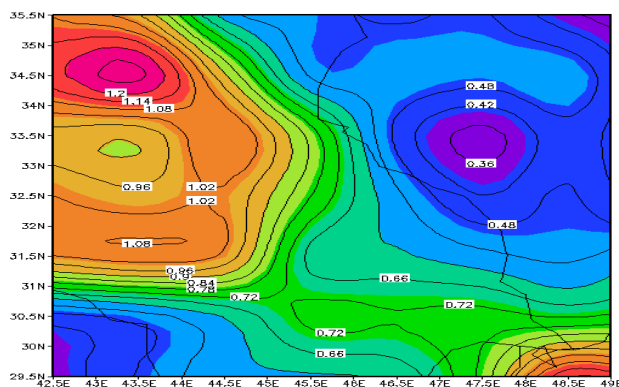
ادامه شکل ۵. الف. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ hpa؛ ب. فشار سطح دریا؛ ج. امگای تراز ۷۰۰ hpa؛ د. جریان باد تراز ۳۰۰ hpa؛ و. رطوبت ویژه تراز ۷۰۰ hpa؛ ه. نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT روز ۲۹ خرداد ۱۳۹۵



(ب)



(الف)



(ج)

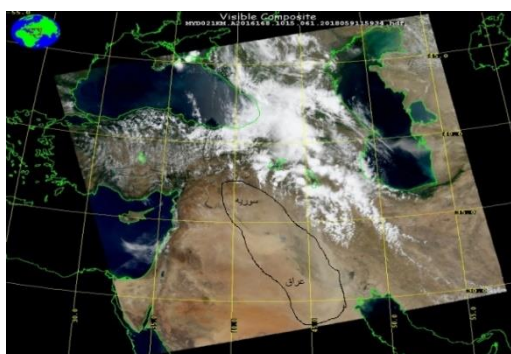
شکل ۶. عمق آبتیکی آئروسول AOD طی روزهای الف. ۲۷ خرداد ب. ۲۸ خرداد ج. ۲۹ خرداد

(شکل ۷، ب) و (شکل ۷، ج) گردوغبار به طور کامل وارد ایران شده است، توده‌ی گردوغباری که در سوریه و مرکز و غرب عراق، شکل گرفته است؛ همان گونه که در تصاویر مشاهده می‌گردد، در حال وارد شدن به غرب

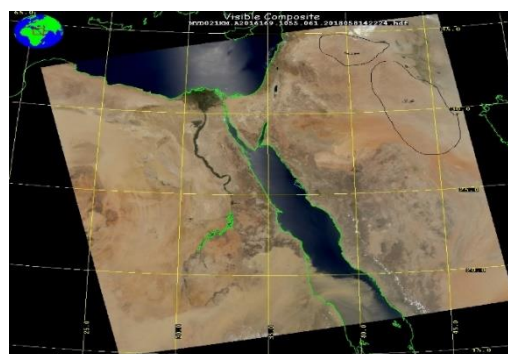
در تصاویر MODIS مربوط به روزهای گردوغباری مشاهده می‌شود که در روزهای ۲۷ خرداد ۱۳۹۵ (شکل ۷، الف) توده‌ی گردوغباری در سوریه و عراق شکل گرفته و به طرف غرب ایران در جریان است. اما در روز ۲۸ خرداد

chem نشان داد که در (شکل ۷، و) ۲۸ خرداد ۱۳۹۵ غلظت گردوغبار به بیش از $2300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ رسیده است که می‌تواند به دلیل جریان بادهای غربی باشد. اما در تاریخ ۲۹ خرداد (شکل ۷، ه) غلظت گردوغبار به کمتر از $2300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ رسیده و به تدریج از منطقه کرمانشاه خارج می‌شود. توزیع مکانی گردوغبار تفسیر شده توسط تصاویر سنجنده MODIS با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-chem انطباق دارد.

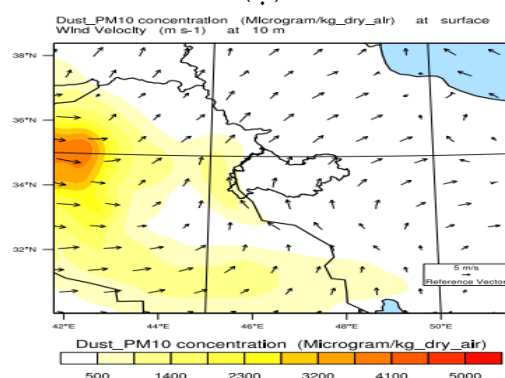
ایران می‌باشد. به‌طور مثال در پژوهشی منشأ رخداد پدیده گردوغبار مربوط به ۲۹ خرداد ۱۳۹۱ که در نواحی غرب و جنوب غرب ایران رخ داده بود، به کمک تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مودیس و با به‌کارگیری شاخص آکرمین شناسایی شد، معلوم شد منشأ اصلی آن محل رودخانه‌های دجله و فرات بوده که در محدوده شمال و شمال شرق عراق و غرب سوریه می‌باشد (۹). شبیه‌سازی توزیع غلظت گردوغبار توسط مدل WRF-



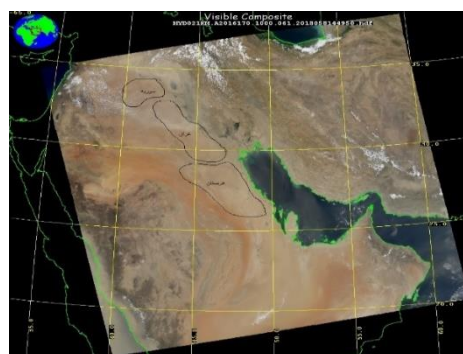
(ب)



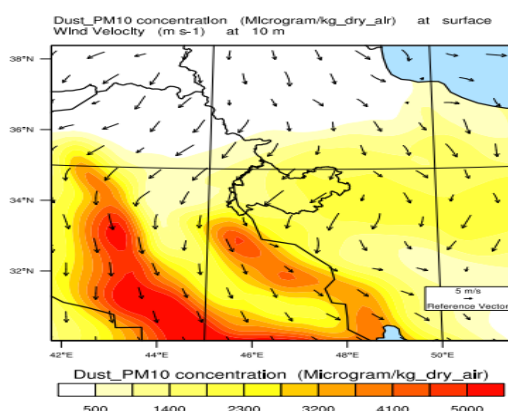
(الف)



(د)

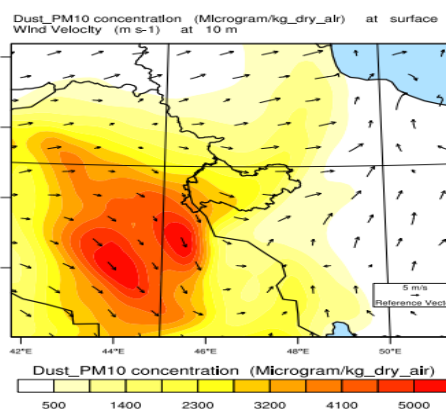


(ج)



(ه)

(و)



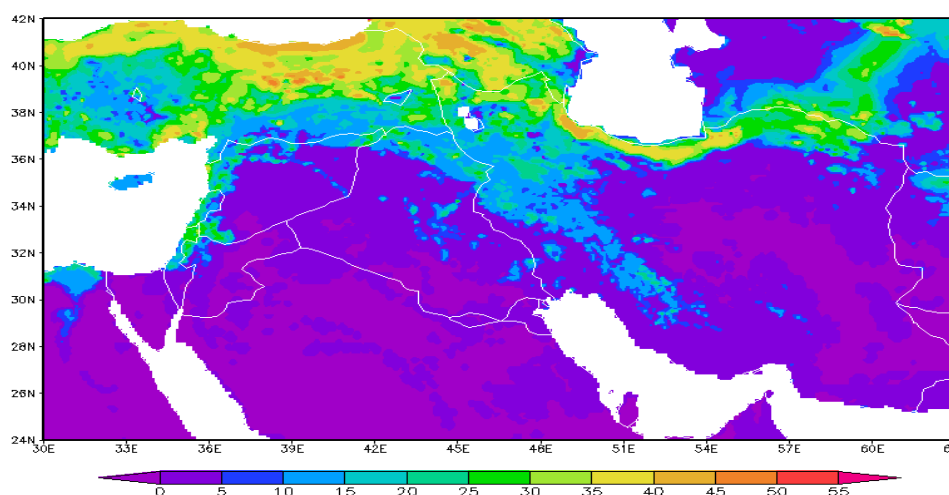
شکل ۷. الف. تصویر ماهواره ای MODIS ۱۳۹۵/۳/۲۷ ب. تصویر مادیس ۱۳۹۵/۳/۲۸ ج. تصویر مادیس ۱۳۹۵/۳/۲۹: پیش‌بینی توزیع غلظت گردوغبار توسط مدل WRF-chem د. نقشه ۱۳۹۵/۳/۲۷ و. نقشه ۱۳۹۵/۳/۲۸ ه. نقشه ۱۳۹۵/۳/۲۹

همگرایی جریان‌های به سمت غرب شده‌اند. استقرار یک بریده کم‌فشار در سطوح میانی جو در این رخداد به خوبی نمایان است به طوری که با وجود ناپایداری در تراز میانی جو، عدم وجود رطوبت کافی در سامانه‌های منتقل شده به غرب کشور، عبور جریان‌های از بیابان‌های عراق و سوریه عدم رطوبت کافی چه در سطح و چه در عمق خاک در داخل کشور و در کشورهای همسایه موجب شکل‌گیری چشمه گردوغبار و انتقال آن به منطقه مورد مطالعه شد. همچنین بررسی نقشه‌های ردیابی حاصل از HYSPLIT نشان داد که دو مسیر کلی برای انتقال گردوغبار به منطقه مورد مطالعه قابل تشخیص است. ۱- مسیر شمال‌غرب- جنوب‌شرقی که با عبور از روی هسته‌های گردوغبار شکل گرفته در بیابان‌های عراق و سوریه عمل انتقال گردوغبار به نیمه غربی ایران را انجام می‌دهد؛ این مسیر را می‌توان ورود گردوغبار به منطقه در ۳ ارتفاع ۲۰۰، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ دانست. ۲- مسیر غربی-شرقی ایران و شهر کرمانشاه که در هر سه ارتفاع ۲۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، که سرچشمه اصلی گردوغبار در روز ۲۸ و ۲۹ خرداد می‌باشد، منبع ذرات این مسیر سوریه و بیابان‌های عراق می‌باشد. بررسی مسیر ذرات نشان می‌دهد که این ذرات توسط سامانه‌های کم‌فشار مستقر در منطقه به سطوح بالاتر منتقل شده است. نقشه رطوبت خاک نیز حاکی از کمبود شدید رطوبت تا عمق ۱۰ cm خاک دارد که هم‌زمان با عبور سامانه‌های ناپایدار و جریان‌های غربی از روی مناطق، ذرات زیر خاک به راحتی از زمین جدا شده و به منطقه مورد مطالعه منتقل گردد.

فرسایش بادی یکی از جنبه‌های تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. رطوبت خاک از طریق کنترل سرعت آستانه و نیز فرسایش‌پذیری خاک، بر شدت فرسایش تأثیرگذار است. در مطالعه‌ای نشان داده شد که رطوبت خاک، مهم‌ترین و بارزترین متغیر مؤثر بر سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی در کانون‌های گردوغباری در استان البرز است. هر چه رطوبت خاک بیشتر شود، ذرات چسبندگی بیش‌تر و مقاومت بیش‌تر می‌شود (۶). در پژوهش حاضر با توجه به نقشه میانگین رطوبت خاک (شکل ۸) از سطح زمین تا عمق ۱۰ cm می‌توان گفت در روزهای همراه با گردوغبار، رطوبت موجود در خاک کانون ذرات گردوغبار کم‌تر از ۵٪ بوده است. به همین دلیل با عبور جریان‌ها از روی این مناطق فاقد رطوبت کافی، ذرات زیر خاک به راحتی از سطح زمین جدا شده و به سمت منطقه مورد بررسی حمل شدند.

■ نتیجه‌گیری

قرارگیری ایران در منطقه گرم و خشک کره زمین و مجاورت با بیابان‌های جنب حاره مانند عراق، سوریه و عربستان باعث به وجود آمدن مداوم مخاطره گردوغبار در نیمه غربی ایران می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل نقشه‌های همدیدی در واقع عامل اصلی ایجاد کننده پدیده موج گردوغبار طی روزهای ۲۷ تا ۲۹ خرداد ۱۳۹۵ در شهر کرمانشاه، علاوه بر ناپایداری ایجاد شده توسط کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین، تحرکات پرفشار عربستان که موجب



شکل ۸. میانگین رطوبت خاک (درصد) تا عمق ۱۰ cm (۲۷ تا ۲۹ خرداد ۱۳۹۵)

در پژوهش حاضر به روشنی مشخص شد که بهره‌گیری از مدل WRF-chem فن مناسبی برای شبیه‌سازی طوفان گردوغبار است و از نظر مقیاس و تغییرات زمانی، برآوردی منطقی از گردوغبار در محدوده مطالعاتی به دست می‌دهد. با شبیه‌سازی طوفان‌های گردوغبار حاصل از بادهای غربی توسط مدل WRF-chem نشان داد که منبع اصلی گردوغبار نواحی واقع در بیابان‌های غربی و مرکزی عراق، سوریه و شمال عربستان قرار دارد. طی پژوهشی با استفاده از مدل WRF-chem به برآورد غلظت ذرات PM_{10} در منطقه ایران پرداخته شد، که نتایج حاصل از شبیه‌سازی ذرات PM_{10} ، منطقه بین‌النهرین در نزدیکی جنوب غرب ایران را به عنوان چشمه اصلی معرفی کردند (۱۷). در مطالعه‌ای دیگر به ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداخته شد نتایج کار نشان داد که یکی از سامانه‌های فشار مؤثر در وقوع گردوغبار و تعیین مسیر آنها پرفشار مستقر بر روی عربستان است که در تمام روزها گردوغبار مورد مطالعه این

سامانه حرکت و جابه‌جایی اندکی داشته و تقریباً به صورت یک سامانه دائمی در منطقه بوده است (۱۵). در مقاله‌ای به بررسی تشکیل و منشأ طوفان گردوغبار در منطقه جنوب غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند که نتایج نشان داد هسته‌های گردوغبار در محدوده‌های غرب عراق، شرق سوریه و عربستان در خرداد ۱۳۹۴ بوده است (۲۰). نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های انجام شده هم‌خوانی بسیار خوبی دارد. هر چند این مطلب بارها در پژوهش‌های گوناگونی به اثبات رسیده، اما چنین وضعیتی نیازمند تلاش برای حل این مشکل به صورت فرامنطقه‌ای است، نه اینکه لزوماً تنها در سطح ایران و شهر کرمانشاه بر آن تأکید شود. گستردگی بیابان‌های وسیع خاستگاه گردوغبار، بیابان‌زایی رو به رشد، خشکسالی‌های پی‌درپی و نقش عوامل انسانی در مدیریت نابخردانه سرزمین، رویدادهای گردوغباری در غرب ایران را به چالش محیط زیستی کنترل ناپذیر تبدیل کرده 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. Ashrafi, Kh., Shafiepour-Motlagh, M., Aslemand, A., & Ghadri, S. (2014). Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Environmental Health Science & Engineering*, 12, 3-12.
3. Behyar, M.B. (2015). Zoning risk degree of climatic phenomena and dust storms in roads network of the country using satellite data. *Geographical Research Quarterly*, 30(2), 103-112.
4. 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.
5. Binkowski, F., & Shankar, U. (1995). the regional particulate matter model. 1. model description and preliminary results. *Geophysical Research Atmospheres*, 100(D12), 26191–26209.
6. Dagsson-Waldhauserova, P., Osp Magnusdottir, A., Olafsson, H., & Arnalds, O. (2016). The spatial variation of dust particulate matter concentrations during two Lcelandic dust storms in 2015. *Atmosphere*, 7(6), 77.
7. Draxler, R.R. and Hess, G, D. (1998). An overview of the HYSPLIT_4 modelling system of trajectories, dispersio, and deposition. *Australian Meteorological Magazine*, 47, 295- 308.
8. Engelstadler, S. (2001). Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions. Freidrich Schiller University Press, Jena. Germany.

9. Fallah -Zazuli, M., Vafaeinezhad, A. R., Kheirkhah- Zarkesh, M. M., & Ahmadi Dehka, F. (2014). Source routing of dust haze phenomenon in the west and southwest of Iran and its synoptic analysis by using remote sensing and GIS, *RS and GIS for Natural Resources*, 5(4), 61-77. (in Farsi)
10. Goudie, A.S., & Middleton, N.J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences, *Earth-Science Reviews*, 56(1-4), 179-204.
11. 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.
12. Heidari-Farsani, M., Shirmardi, M., Alavi, N., Maleki, H., Sorooshian, A., Babaei, A.A., Asgharnia, H., Bagherian -Marzouni, M., & Goudarzi, Gh.R. (2018). Evaluation of the relationship between PM₁₀ concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz, Iran, *Aeolin Research*, 33, 12-22.
13. Hejazizadeh, Z., Toulabi-Nejad, M., Zarei-Chaghabalaki, Z., Amraeei, B. (2019). Monitoring of dust storm in the midwest of Iran case study: dust storm June 16-19, 2015. *Spatial Analysis Environmental Hazards*. 5(4), 107-124. (in Farsi)
14. Khorshiddoust, A.M., Mohamadi, Gh.H., Hosseini-Sadr, A., Javan, Kh., & Jamali, A. (2014). Synoptic analysis of effective factors on dust frequency in west of Iran. *Geography and Planning*, 17(46), 47-66. (in Farsi)
15. Mohammadi, Gh.H. (2016). Analysis of atmospheric mechanisms in dust transport over west of Iran. Ph.D. Thesis, University of Tabriz.PP: 170. (in Farsi)
16. Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, Gh.H., & Sehatkashani, S. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East, *Atmospheric environment*, 173, 265-276.
17. 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)
18. Sari-Sarraf, B., Rasouli, A.A., Mohammadi, GH.H., & Hoseini-Sadr, A. (2016). Long- term trends of seasonal dusty day characteristic- West Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 9(10), 1-10.
19. Shao, Y., & Dong C.H. (2006). A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global and Planetary Change*, 52(1- 4), 1–22.
20. Tanaka, T.Y., Chiba. M. (2006). A numerical study of the contribution of dust source regions to the global dust budget. *Global and Planetary Change*, 52(1-4), 88-104.

Effect of Wet and Drought Periods on Physico-Chemical Properties of Groundwater Resources in the Eastern Part of Gorgan Plain

N. Jandaghi^{1*}, M. Ghare Mahoodlu¹, A. Nasiri³

1. Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran.
2. Assistant Professor, Faculty of Geography, Firouzabad Institute of Higher Education, Firouzabad, Iran.

* Corresponding Author: nader.jandaghi@gonbad.ac.ir

Received date: 20/05/2021

Accepted date: 27/07/2021



[10.22034/JDMAL.2021.246300](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246300)

Abstract

The occurrence of droughts and wet periods can affect the quantity and quality of surface and groundwater. In the present study, the 3-year drought and wet periods were determined using 23-year rainfall data of four meteorological stations and the SIAP index. To investigate the physicochemical properties of groundwater, after considering the data of observation wells in the Eastern part of Gorgan plain, 14 deep and semi-deep wells were selected. Then, three criteria of EC, SAR, and Na were used to assess the water in the agricultural sector and the Schoeller diagram was used to assess the water in the drinking sector. To estimate the significant differences between the physicochemical properties of groundwater in the three periods of the wet period, drought, and long-term, an F-test at the probability level of 0.05 was used. The results revealed that the water quality of semi-deep wells is better than for deep wells in agriculture and drinking water sections. Based on the Piper diagram, the chemical facies of semi-deep wells are less diverse than deep wells. The results of both deep and semi-deep wells showed that chemical facies in the dry season show a greater tendency to achieve seawater composition. The results of the F test showed that there is a significant difference with 95% probability between groundwater quality parameters in semi-deep aquifers in wet and dry periods. In contrast, the occurrence of wet and dry periods in the study area had little effect on the physicochemical properties of deep aquifers.

Keywords: Groundwater; Water Quality; Schoeller Diagram; Piper Diagram; Hydrogeochemical Facies





تأثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبخوان در بخش شرقی دشت گرگان

نادر جندقی^{۱*}، مجتبی قره‌محمودلو^۱، ابودر نصیری^۲

۱. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

۲. استادیار، دانشکده جغرافیا، مرکز آموزش عالی فیروزآباد، فیروزآباد، ایران.

* نویسنده مسئول: nader.jandaghi@gonbad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵

 [10.22034/JDMAL.2021.246300](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246300)

چکیده

وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها می‌تواند برویژگی‌ها کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیرگذار باشد. در پژوهش حاضر، ابتدا با استفاده از آمار ۲۳ ساله بارش مربوط به چهار ایستگاه هواشناسی و با محاسبه شاخص SIAP، دوره خشکسالی و ترسالی سه ساله تعیین شد. به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی، پس از بررسی آمار چاه‌های مشاهده‌ای در بخش شرقی دشت گرگان، تعداد ۱۴ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق انتخاب شد. به منظور ارزیابی آب در بخش کشاورزی از سه معیار EC، SAR و Na% و برای ارزیابی آب در بخش شرب از نمودار شولر استفاده شد. به منظور بررسی اختلاف معنی‌داری بین ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی آب زیرزمینی در سه دوره ترسالی، خشکسالی و طولانی‌مدت، از آزمون F در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق در هر دو بخش کشاورزی و شرب به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق است. براساس نمودار پایپر، رخساره شیمیایی چاه‌های نیمه‌عمیق، تنوع کم‌تری نسبت به چاه‌های عمیق دارد. نتایج مربوط به هر دو نوع چاه عمیق و نیمه‌عمیق نشان داد که رخساره‌های شیمیایی در دوره خشکسالی تمایل بیشتری برای رسیدن به ترکیب آب دریا نشان می‌دهند. نتایج آزمون F نشان داد که با احتمال ۹۵٪ بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در آبخوان نیمه‌عمیق در دوره ترسالی و خشکسالی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در مقابل وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در محدوده مورد مطالعه تأثیر چندانی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبخوان عمیق نداشته است.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی؛ کیفیت آب؛ دیاگرام شولر؛ دیاگرام پایپر؛ رخساره هیدروژئوشیمیایی

■ مقدمه

خشکسالی از مخرب‌ترین رویدادهای آب‌وهوایی است که موجب بروز خسارت‌های قابل‌توجهی در بخش منابع طبیعی و زندگی انسان‌ها می‌شود. پدیده خشکسالی بعد از دو چالش عمده تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین، به‌عنوان سومین چالش عمده جهانی در قرن ۲۱ از سوی کارشناسان قلمداد می‌شود و از مخاطرات اصلی مرتبط با منابع آب است. به‌طور کلی خشکسالی زمانی روی می‌دهد که کاهش چشمگیر منابع آب، هم در مکان و هم در زمان ویژه‌ای روی دهد (۹).

به‌طور مسلم یکی از اکوسیستم‌هایی که خشکسالی در آن تأثیرهای به‌سزایی دارد، بوم‌نظام‌های (اکوسیستم) آبی کشورهاست و به‌دنبال آن مناطقی که قابلیت خشکسالی دارند، محدودیت و حساسیت منابع آبی در آن‌ها بیشتر است (۱۷). علاوه بر خشکسالی، ترسالی‌ها نیز سیستم‌های هیدرولوژیک را اعم از آب‌های سطحی و زیرسطحی شامل منطقه اشباع و غیراشباع تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند باعث تغذیه و پرشدن سفره‌های آب زیرزمینی شود (۲۰، ۱۹). کشور ایران به‌علت واقع‌شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک، از نظر منابع آب در وضعیتی نامطلوب نسبت به متوسط دنیا قرار دارد (۲۷). در حال حاضر حدود ۵۵٪ نیاز آبی کشور، از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود که به‌هیچ‌وجه با تغذیه آبخوان‌ها مطابقت ندارد. در چند سال اخیر، افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در اغلب مناطق ایران مشاهده شده، به‌طوری‌که در بیشتر آبخوان‌ها، بیلان آب منفی بوده است (۱۵). داشتن منابع آب سالم پیش‌نیاز ضروری و اساسی برای حفظ محیط‌زیست و رشد و توسعه اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی است. بنابراین کنترل و پایش آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف آن امری لازم و ضروری است تا آب با کیفیت مناسب برای مصارف مختلف در دسترس قرار گیرد. درک عمیق از نقش عوامل مؤثر در تغییر کیفیت منابع آب می‌تواند در توسعه استراتژی مدیریت حوزه‌های آبخیز مؤثر باشد و به حفاظت از منابع آب کمک کند (۲۸). تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه نقش خشکسالی و ترسالی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در ایران و دیگر نقاط دنیا انجام

شده است. در این پژوهش به بررسی این پدیده بر ویژگی‌های هیدروشیمیایی و کیفی آب زیرزمینی پرداخته شده است. هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی در یک آبخوان متأثر از ترکیب آب‌های تغذیه‌کننده، وضعیت خشکسالی و ترسالی منطقه، جنس سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه، فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر منابع تغذیه‌کننده آن‌ها و همچنین کاربری اراضی است (۱، ۳، ۷، ۱۴، ۱۶، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۳۰).

بررسی‌های انجام‌شده روی تأثیرهای خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت باغ‌ملک شهرستان ایزه نشان داد که کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان تغییرات قابل‌توجهی به تبعیت از تغییرات بارش داشته است (۲۶). همچنین در بررسی اثر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر تغییرات منابع آب دشت بوئین مشخص شد که ریزش‌های جوی با تأخیر ۳ ماهه بر سطح آب زیرزمینی مؤثر بوده، اگرچه روند کلی تغییرات آن نزولی است (۶). نتایج بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز مشخص کرد که در دوره شاخص ترسالی، میزان آب‌های زیرزمینی شور و خیلی شور ۱۸/۵٪ و آب‌های زیرزمینی با قلیائیت زیاد ۴/۹۲٪ بوده درحالی‌که در سال شاخص خشکسالی، این مقادیر به‌ترتیب ۲۸/۲ و ۲۵/۳۵٪ افزایش داشته‌اند (۱۰). نتایج بررسی تغییرات آب زیرزمینی دشت فسا نیز نشان داد که در دوره خشکسالی تمامی فاکتورهای کیفی روند افزایشی داشته‌اند. این امر باعث کاهش کیفیت آب شده است (۲۹). در پژوهشی دیگر، تأثیر خشکسالی بر ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی دشت ساوه با استفاده از دیاگرام‌های پایپر و دوروف بررسی شد. نتایج این پژوهش بیانگر افزایش ناگهانی میزان کل مواد جامد محلول در طول زمان خشکسالی است (۱۸). در دشت سیستان و بلوچستان نیز در اثر وقوع خشکسالی، میانگین کل عناصر و مواد در آب‌های زیرزمینی ۲۰ تا ۲۵٪ افزایش داشته است (۲). در پژوهشی دیگر مشخص شد که وقوع دوره ترسالی در پهنه سیلاب دشت انتهایی حوزه آبریز گرگانرود باعث تغذیه طبیعی آبخوان و بهبود وضعیت کیفی آب زیرزمینی شده است (۸). نتایج مطالعه اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی در استان کرمانشاه نشان داد که با توجه به وجود

■ مواد و روش‌ها

دشت گرگان با مساحت $4726/5 \text{ km}^2$ یکی از بزرگترین دشت‌های کشور است که در حوزه‌های آبخیز گرگانرود، اترک و قره‌سو در استان گلستان واقع شده است. بررسی حاضر در بخش شرقی آبخوان دشت گرگان به مساحت تقریبی 480 km^2 و در محدوده شهرستان‌های گنبد کاووس، مینودشت، گالیکش و آزادشهر واقع در حوضه آبریز گرگانرود انجام شده است (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه از شمال به حوضه آبریز اترک، از غرب به شهرستان رامیان، از شرق به شهرستان کلالة و از جنوب به دامنه‌های شمالی کوه البرز منتهی می‌شود. حوضه آبریز گرگانرود نقش مهمی در تأمین منابع آب مورد نیاز این استان دارد (۹).

در پژوهش حاضر در ابتدا ۶ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مورد بررسی برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی شناسایی شدند. پس از بررسی آمار این ایستگاه‌ها، چهار ایستگاه هواشناسی گالیکش، مینودشت، ارازکوسه و گنبد انتخاب شدند (جدول ۱). دوره آماری مشترک برای ایستگاه‌های هواشناسی منتخب ۲۳ ساله و از سال ۱۳۷۴-۱۳۷۳ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در نظر گرفته شد. برای بررسی صحت و همگنی داده‌های آماری بارش، از روش آزمون توالی^۲ استفاده شد.

شاخص‌های مختلفی برای تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی ارائه شده که در این تحقیق از شاخص $SIAP^3$ استفاده شد. مقیاس زمانی این شاخص سالانه است و اساس محاسبه آن انحراف داده‌های بارندگی از نرمال است. برای محاسبه شاخص $SIAP$ از رابطه ۱ استفاده شد (۹).

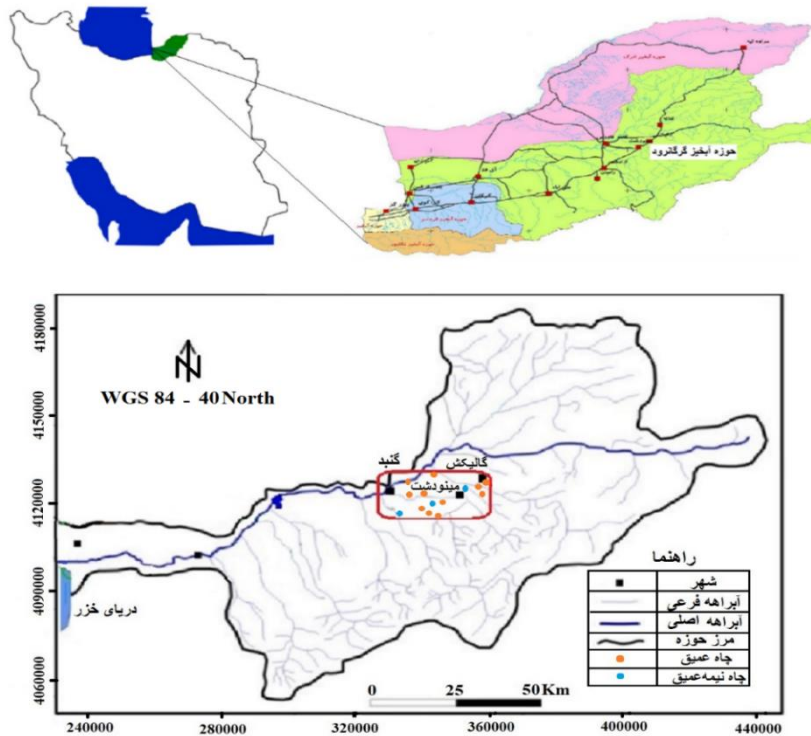
$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (1)$$

که در آن: P_i مقدار بارش سالانه به میلی‌متر، $\bar{P}$ میانگین بارش به میلی‌متر و S انحراف از معیار مقادیر بارندگی در مقیاس زمانی موردنظر است. هر چه مقدار این شاخص کوچکتر شود، خشکسالی شدیدتر می‌باشد (جدول ۲). با استفاده از روش $SIAP$ دوره خشکسالی و ترسالی شاخص ۳ ساله برای ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه تعیین شد.

ضریب همبستگی بین مقادیر SPI^1 و عمق آب زیرزمینی، شاخص SPI شاخص مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی است (۲۲). در پژوهش دیگر مشخص شد که در طی ۲۳ سال اخیر، تکرار وقوع خشکسالی ۴ برابر شده و با افت سطح آب زیرزمینی و کیفیت آب زیرزمینی همراه بوده است (۱۲). همچنین مشخص شد که در ۷۰٪ دشت قروه و چهاردولی کردستان، کیفیت آب از منظر کشاورزی در دوره خشکسالی در کلاس $C2S1$ «کمی شور و برای کشاورزی تقریباً مناسب» و $C3S1$ «شور و برای کشاورزی با تمهیدات مناسب است» و کیفیت آب در دوره ترسالی به دلیل اضافه برداشت از چاه‌ها، در برخی مناطق حتی بدتر شده است (۵). در پژوهش دیگری، بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف کشاورزی در کشور هند انجام و مشخص شد که بیشتر نمونه‌ها در گروه $C2S1$ قرار گرفته‌اند. در این پژوهش به منظور بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی از دی‌گرام‌های پایپر و دوروف استفاده شده است (۲۵). همچنین مشخص شد که وقوع خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی، بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت داراب اثر مستقیم دارد و شوری آب زیرزمینی $293 \mu\text{moh/cm}$ افزایش یافته است (۴). دشت گرگان در نیمه شمالی استان گلستان و جنوب شرق دریای خزر واقع شده است. به دلیل نوسانات بارندگی و وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در این دشت و از آنجاکه قسمت عمده مساحت آن پوشیده از اراضی کشاورزی است و از منابع آب زیرزمینی آن برای مصارف آبیاری و حتی خانگی استفاده می‌شود، پایش کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی این دشت در توسعه فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی و همچنین در حوزه سلامت، برای ساکنین منطقه و استان گلستان بسیار حائز اهمیت است. از این رو پژوهش حاضر با هدف (۱) تغییرات کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب در سه دوره خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی، (۲) تغییرات هیدروشیمی در سه دوره خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی و (۳) تغییرات آماری پارامترهای کیفی آب در سه دوره خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی انجام شد.

3 Statistical Index Annual Precipitation

1 Standard Precipitation Index
2 Run Test



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان گلستان و حوضه آبریز گرگانرود

جدول ۱. ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در حوضه آبریز گرگانرود

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	گالیکش	۵۵° ۲۷'	۳۷° ۱۵'	۲۵۰
۲	مینودشت	۵۵° ۲۲'	۳۷° ۱۴'	۱۵۵
۳	ارازکوسه	۵۵° ۰۸'	۳۷° ۱۳'	۳۴
۴	گنبد	۵۵° ۰۹'	۳۷° ۱۴'	۳۶

جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص SIAP

مفهوم اقلیمی	درجه خشکسالی
سال خیلی مرطوب	$\geq +1$
سال مرطوب	$+1$ تا $+0.5$
سال نرمال	$+0.5$ تا -0.5
سال خشک	-0.5 تا -1
سال بسیار خشک	< -1

آماري مورد استفاده ۲۳ ساله و منطبق بر داده‌هاي هواشناسي انتخاب شد. پارامترهاي کيفي مورد بررسي شامل pH ، HCO_3^- ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ ، K^+ ، TH^1 ، SAR ، TDS ، EC و $\text{Na\%}$ که از شرکت آب منطقه‌اي استان گلستان تهيه شده است.

برای بررسی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، پس از کنترل آمار بیش از ۳۰ چاه مشاهده‌ای در محدوده مورد مطالعه، تعداد ۱۴ حلقه چاه که از نظر پراکنش و کیفیت آمار مناسب بود، انتخاب شد. از این تعداد ۱۱ حلقه چاه عمیق و ۳ حلقه چاه نیمه‌عمیق بودند (جدول ۳). دوره

جدول ۳. چاه‌های مشاهده‌ای عمیق و نیمه‌عمیق مورد استفاده در محدوده مورد بررسی

شماره چاه	نام چاه	نوع چاه	مختصات جغرافیایی UTM	
			طول	عرض
۱	ایگدرسفلی	نیمه‌عمیق	۳۴۹۱۰۷	۴۱۲۵۴۶۰
۲	پشمک‌پنده	نیمه‌عمیق	۳۴۳۵۵۸	۴۱۲۲۵۸۹
۳	جنوب آقچی‌بالا	نیمه‌عمیق	۳۳۶۵۴۹	۴۱۱۶۵۲۳
۴	امان خواجه	عمیق	۳۵۷۷۴۷	۴۱۳۴۰۷۷
۵	میرزا یانگ	عمیق	۳۵۹۲۳۷	۴۱۲۸۷۲۲
۶	گالیکش	عمیق	۳۵۹۷۵۳	۴۱۲۵۸۸۳
۷	آرتق مخدوم	عمیق	۳۳۹۶۴۷	۴۱۱۸۶۶۵
۸	قزلیجه آق‌امام	عمیق	۳۴۰۴۸۰	۴۱۱۰۵۰۵
۹	ایمر محمدقلی	عمیق	۳۴۵۰۹۲	۴۱۲۷۷۳۶
۱۰	قوبنلی	عمیق	۳۴۸۲۷۳	۴۱۲۱۶۶۴
۱۱	سارجه‌کر	عمیق	۳۵۰۳۲۴	۴۱۳۲۳۴۲
۱۲	قلمی	عمیق	۳۵۰۵۷۴	۴۱۱۸۱۲۰
۱۳	ده حسن‌خان	عمیق	۳۵۲۹۲۸	۴۱۲۱۴۰۴
۱۴	سیلو گنبد	عمیق	۳۳۷۲۶۶	۴۱۲۰۰۴۸

کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شود با احتمال ۹۵٪ فرض H_0 رد و فرض H_1 یعنی وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تیمارهای مورد بررسی پذیرفته می‌شود. در این صورت برای تعیین اختلاف آماری بین میانگین تیمارهای مورد بررسی از آزمون توکی^۵ و گیمز-هاول^۶ استفاده شد (۲۴).

■ نتایج و بحث

نتایج بررسی تغییر سالانه شاخص SIAP در ایستگاه‌های هواشناسی ارازکوسه و گالیکش نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، دوره خشکسالی سه‌ساله از سال ۷۳-۷۴ تا ۷۵-۷۶ و دوره ترسالی از سال ۸۹-۹۰ تا ۹۱-۹۲ به وقوع پیوسته است (شکل ۲).

برای ارزیابی آب در بخش کشاورزی باتوجه به پارامترهای شیمیایی موجود از ۳ معیار مختلف EC، SAR و %Na استفاده شده است (جدول ۴). بطور کلی براساس میزان EC، چاه‌های عمیق را می‌توان در دوره خشکسالی در دو گروه خوب با حدود ۲۷٪ تا قابل‌قبول حدود ۷۳٪ طبقه‌بندی کرد.

پس از تعیین دوره‌های خشکسالی، طولانی‌مدت و ترسالی، برای تعیین کیفیت آب از دیدگاه کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس که یکی از مهمترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه می‌باشد، استفاده شد. همچنین برای تعیین کیفیت آب در بخش شرب از دیاگرام شولر^۱ استفاده شد (۱۳). به منظور بررسی تغییرات هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، از نمودار پایپر^۲ و استیف^۳ استفاده شد (۷). در نمودار استیف Ca در مقابل HCO_3^{+} ، CO_3^{2-} ، Mg^{2+} در مقابل SO_4^{2-} ، Na^{+} و K^{+} در برابر Cl⁻ قرار می‌گیرند. هرچه مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها از نظر مقدار به هم نزدیک‌تر باشند شکل حاصل منظم‌تر خواهد بود.

برای مقایسه و تعیین اختلاف معنی‌داری پارامترهای کیفی آب بین ۳ دوره طولانی‌مدت، خشکسالی و ترسالی از آزمون F در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده و تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شده است. قبل از تجزیه واریانس فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ^۴ و یکسان بودن واریانس‌ها با استفاده از آزمون بارتلت^۵ و لون^۶ مورد بررسی قرار گرفت (۲۴). در آزمون F چنانچه p-value محاسباتی

5 Bartlett's Test

6 Levene's Test

7 Tukey

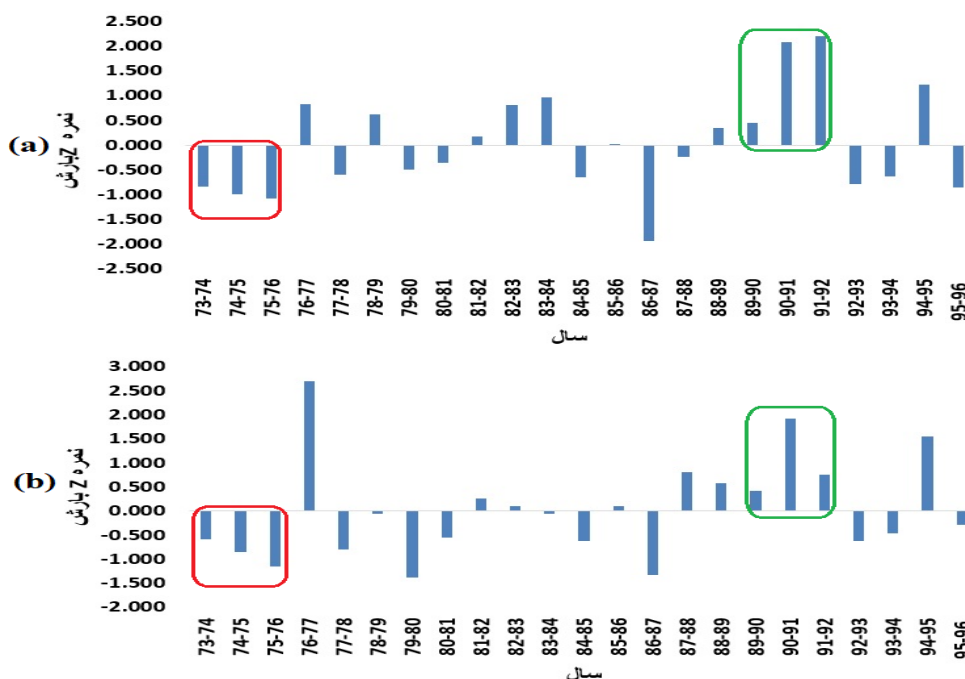
8 Games-Howell

1 Schoeller Diagram

2 Piper Diagram

3 Stiff Diagram

4 Anderson-Darling Normality Test



شکل ۲. هیستوگرام تغییرات سالانه شاخص SIAP در ایستگاه هواشناسی (a) ارازکوسه و (b) گالیکش

جدول ۴. میزان تغییرات معیارهای کشاورزی در سه دوره مورد بررسی برای چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق

شماره چاه	نوع چاه	EC($\mu\text{moh/cm}$)			SAR			Na%		
		خشکسالی	ترسالی	طولانی مدت	خشکسالی	ترسالی	طولانی مدت	خشکسالی	ترسالی	طولانی مدت
۱	عمیق	۹۶۴/۷	۱۱۵۶/۸	۱۰۸۲/۵	۱/۹۶	۱/۳۳	۱/۸۳	۳۴/۸۹	۲۳/۹۶	۳۱/۸۳
۲	عمیق	۹۱۵/۲	۱۶۰۶/۸	۱۲۲۰/۹	۱/۷۶	۲/۶۱	۲/۲۹	۳۲/۸۳	۳۶/۴۸	۳۵/۹۳
۳	عمیق	۲۹۷۶/۷	۴۶۲۰/۰	۳۸۶۵/۴	۶/۵۰	۶/۴۰	۶/۴۳	۵۴/۹۰	۴۷/۱۶	۵۰/۵۱
۴	عمیق	۱۱۵۰/۸	۱۱۴۹/۵	۱۱۳۱/۰	۵/۱۴	۴/۱۹	۴/۳۶	۶۱/۷۶	۵۶/۰۸	۵۷/۴۲
۵	عمیق	۶۷۵/۵	۷۶۹/۰	۷۴۰/۰	۱/۵۳	۱/۱۳	۱/۴۴	۳۲/۸۵	۲۴/۸۱	۳۰/۵۲
۶	عمیق	۷۲۸/۸	۹۰۵/۵	۸۳۵/۳	۱/۳۵	۱/۳۰	۱/۴۶	۲۸/۸۳	۲۵/۹۷	۲۹/۶۲
۷	عمیق	۶۳۱/۰	۷۶۱/۵	۶۹۷/۸۷	۱/۸۷	۱/۴۷	۱/۸۲	۳۸/۹۵	۳۰/۸۹	۳۷/۳۲
۸	عمیق	۹۱۰/۷	۷۵۴/۸	۷۵۸/۴	۱/۴۱	۱/۳۷	۱/۸۲	۲۷/۵۶	۲۹/۳۵	۳۶/۳۰
۹	عمیق	۸۲۲/۷	۹۷۸/۷	۹۰۳/۱۵	۳/۷۶	۳/۳۷	۳/۷۶	۵۷/۰۷	۵۱/۴۹	۵۶/۳۱
۱۰	عمیق	۱۲۴۶/۵	۱۴۲۱/۲	۱۳۵۸/۰	۴/۳۹	۳/۳۳	۴/۰۰	۵۶/۰۰	۴۶/۳۱	۵۲/۱۷
۱۱	عمیق	۱۰۷۳/۸	۱۰۸۳/۸	۱۰۴۸/۷	۴/۸۸	۳/۸۷	۴/۲۰	۶۱/۳۹	۵۴/۶۵	۵۷/۶۶
۱۲	نیمه عمیق	۵۵۸/۷	۷۱۹/۸	۵۹۱/۰	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۷۱	۱۹/۳۳	۱۳/۲۹	۱۸/۵۱
۱۳	نیمه عمیق	۶۱۰/۳	۶۸۶/۰	۷۳۳/۳	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۹۴	۲۱/۲۲	۱۷/۰۶	۲۱/۶۹
۱۴	نیمه عمیق	۷۰۷/۲	۶۴۷/۵	۷۵۰/۶	۱/۶۶	۱/۰۳	۱/۴۳	۳۳/۸۶	۲۱/۸۶	۳۰/۱۰

میزان هدایت الکتریکی نسبت به دوره ترسالی کاهش داشته اگرچه هنوز نسبت به دوره خشکسالی افزایش داشته است. بنظر می‌رسد در دوره ترسالی میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ فعال‌تر بوده است. براساس پارامتر نسبت جذب سدیم کیفیت آب تمامی چاه‌ها در رده عالی

در مقابل برای تمامی چاه‌های نیمه عمیق کیفیت خوب $۷۵۰-۲۵۰ \mu\text{S/cm}$ مشاهده شد. در تمامی چاه‌های عمیق و همچنین دو چاه نیمه عمیق در دوره ترسالی، افزایش میزان پارامتر مذکور دیده می‌شود به طوریکه کیفیت آب آن‌ها در بخش کشاورزی در گروه قابل قبول قرار قبول $۷۵۰-۲۰۰ \mu\text{S/cm}$ قرار می‌گیرد. در دوره طولانی مدت،

همچنین در دو چاه نیمه‌عمیق ۱۲ و ۱۳ میزان معیار درصد سدیم محلول خصوصا در دوره‌های ترسالی و طولانی‌مدت کمتر از ۲۰ می‌باشد که بیانگر کیفیت عالی آب چاه‌های مذکور برای استفاده در بخش کشاورزی می‌باشد.

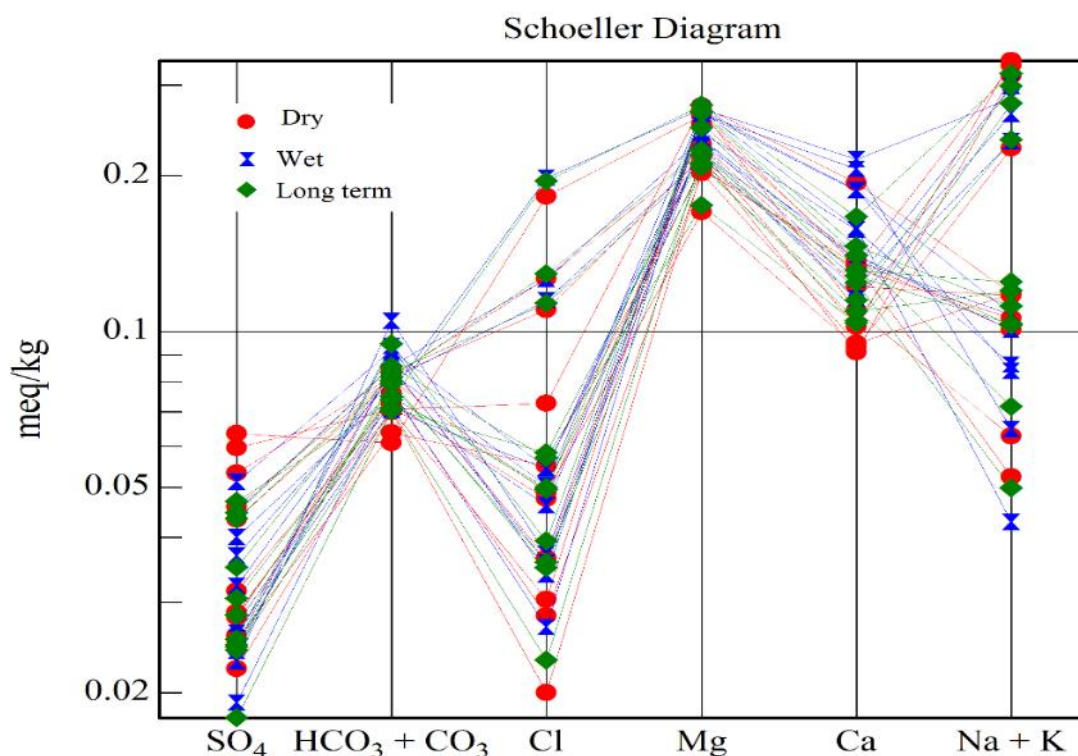
به‌طور کلی براساس دیاگرام شولر کیفیت آب چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق از قابل قبول تا نامناسب متغیر می‌باشد (شکل ۳). در این بررسی همچنین مشخص شد که کیفیت چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق می‌باشد. براساس دیاگرام‌های استیف مربوط به چاه‌های عمیق، تیپ غالب آب زیرزمینی دشت در آبخوان عمیق در محدوده مورد مطالعه از $Mg-HCO_3$ تا $Na-Cl$ شورمرزه متغیر می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵). این تغییرات را می‌توان در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی مشاهده نمود.

در چاه‌های نیمه‌عمیق $Mg-Cl$ تیپ غالب آب زیرزمینی در آبخوان نیمه‌عمیق دشت می‌باشد (شکل ۶). با توجه به نمودارهای استیف مربوط به این چاه‌ها، میزان املاح چاه‌ها در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر بوده است.

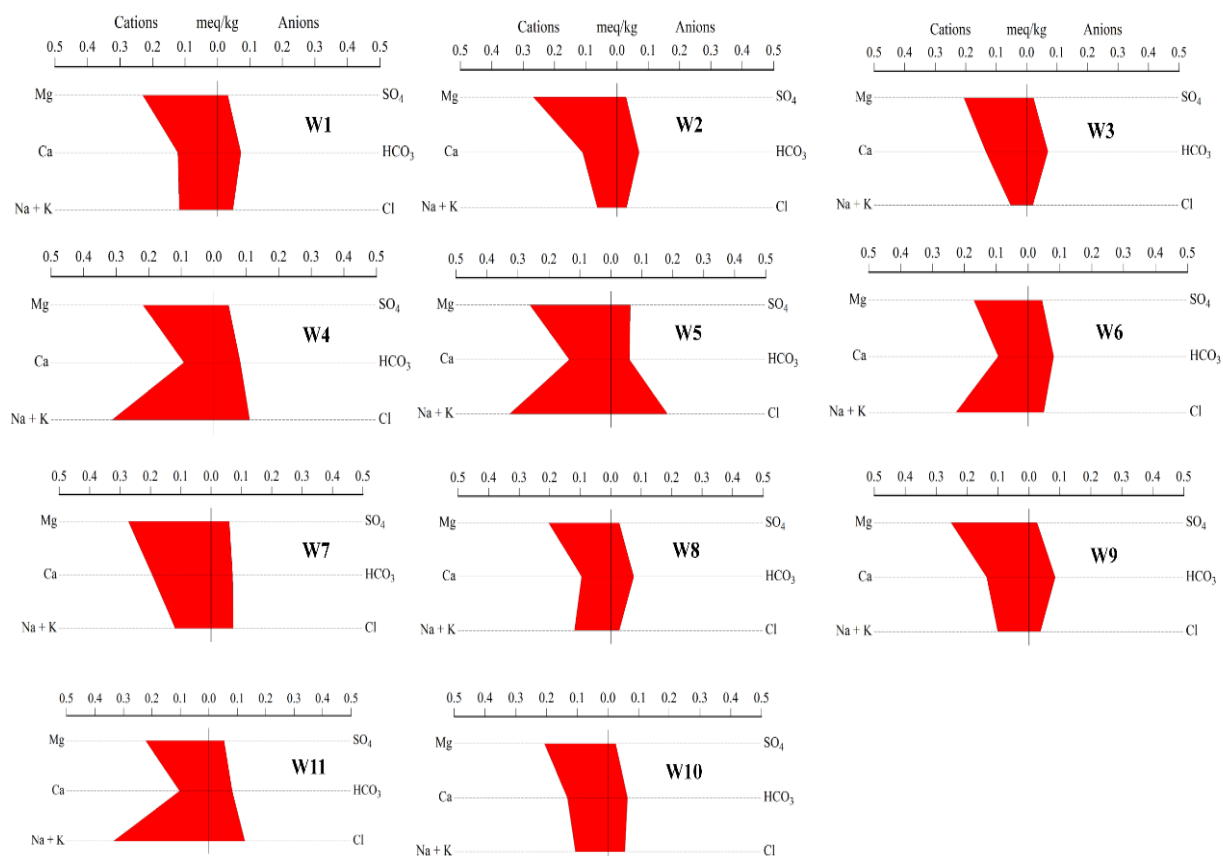
قرار می‌گیرد. اگرچه کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق در بخش کشاورزی به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق است.

در این پژوهش نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک مورد بررسی قرار گرفت (۱۱). براساس جدول ۴، میزان SAR در تمام چاه‌ها در هر سه دوره کمتر از ۱۰ بدست آمد. از این‌رو کیفیت آب براساس معیار SAR در رده عالی (<10)، قرار می‌گیرد. اگرچه در این مورد وضعیت چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب از چاه‌های عمیق بهتر است.

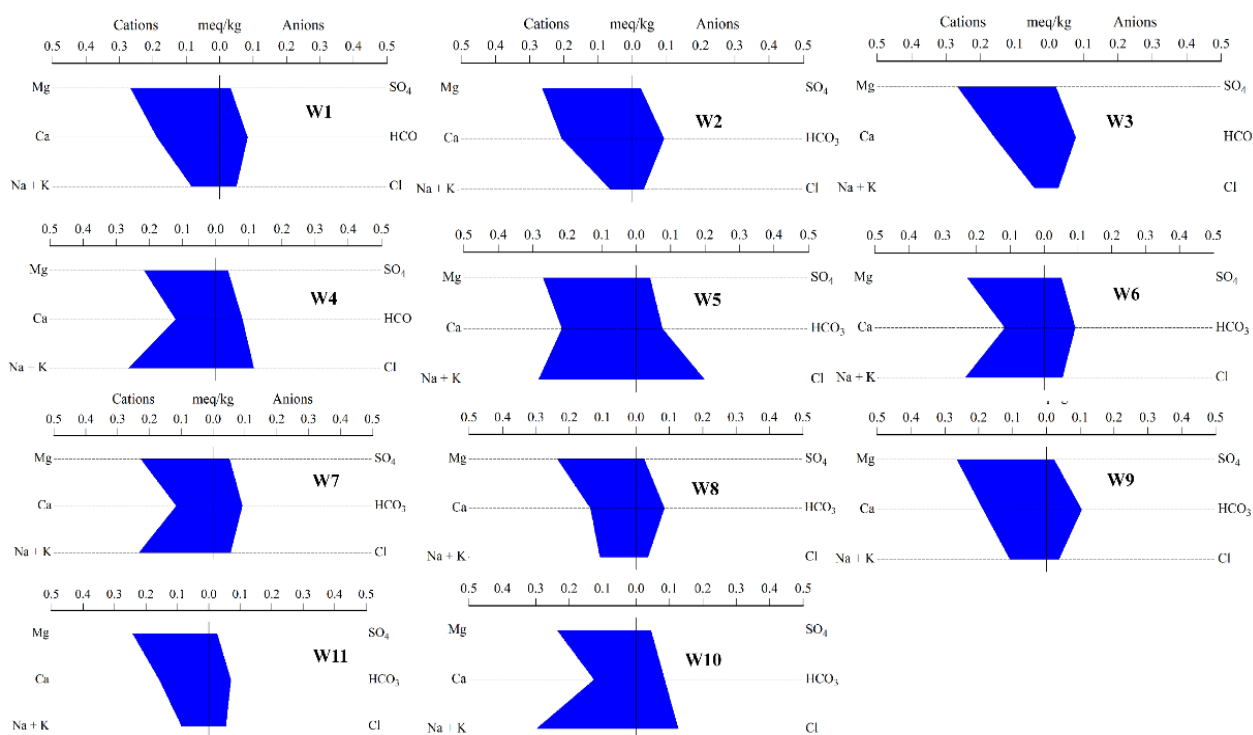
همانند SAR، درصد سدیم محلول ($Na\%$) به‌عنوان یک معیار مهم در طبقه‌بندی کیفی آب برای آبیاری در چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب کمتر از چاه‌های عمیق است. براساس این معیار اکثر نمونه‌ها دارای کیفیت خوب " $20-40$ " تا قابل قبول " $40-60$ " برای کشاورزی می‌باشند. تنها در یک مورد در چاه عمیق شماره ۴ در دوره خشکسالی میزان $Na\%$ بیشتر از ۶۰ می‌باشد که این امر بیانگر آن است که آب چاه مذکور می‌بایست با احتیاط در این بخش استفاده شود.



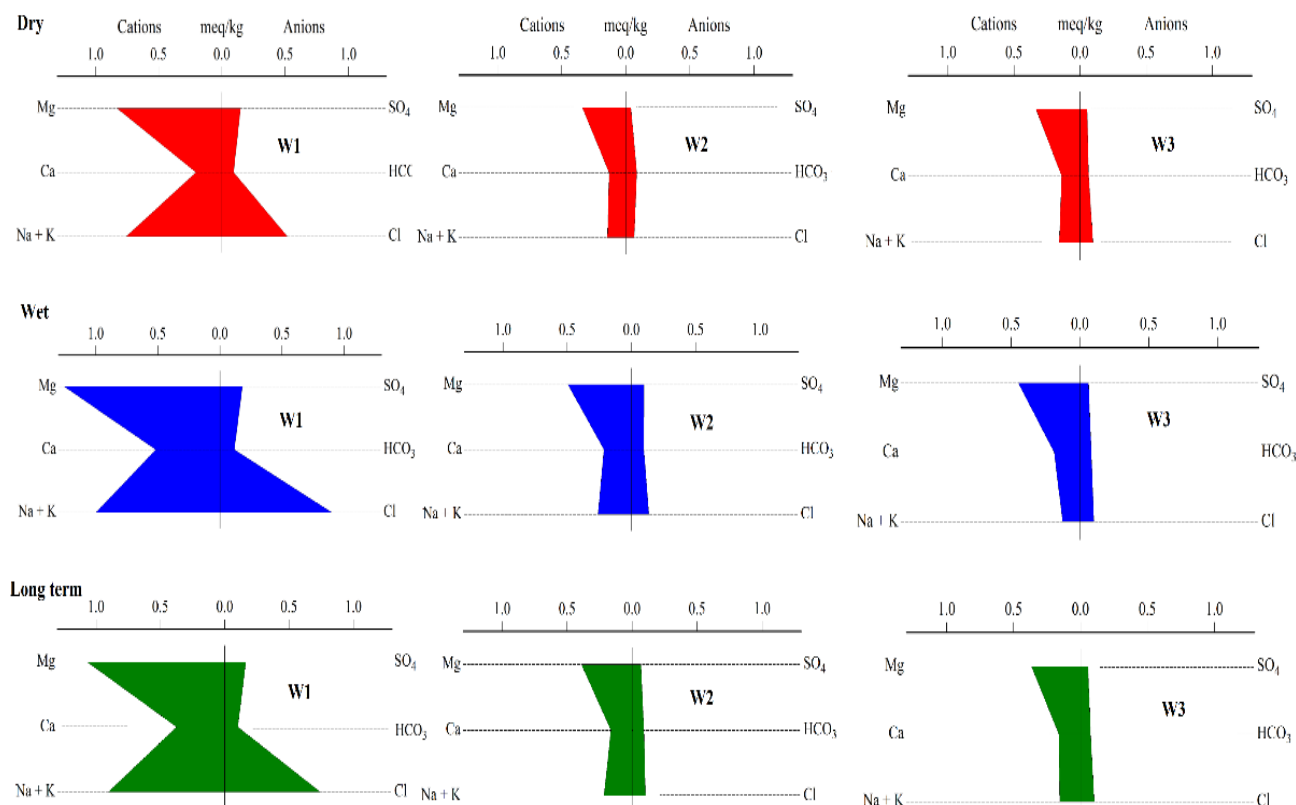
شکل ۳. دیاگرام شولر نمونه‌های آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه در سه دوره مورد بررسی



شکل ۴. دیاگرام استیف چاه‌های عمیق منتخب در دوره خشکسالی



شکل ۵. دیاگرام استیف چاه‌های عمیق منتخب در دوره ترسالی

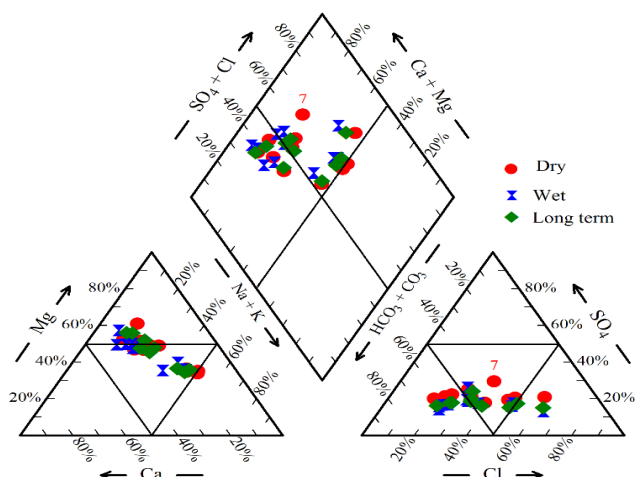


شکل ۶. دیاگرام استیف چاه‌های نیمه‌عمیق در دوره‌های خشکسالی، ترسالی و طولانی‌مدت

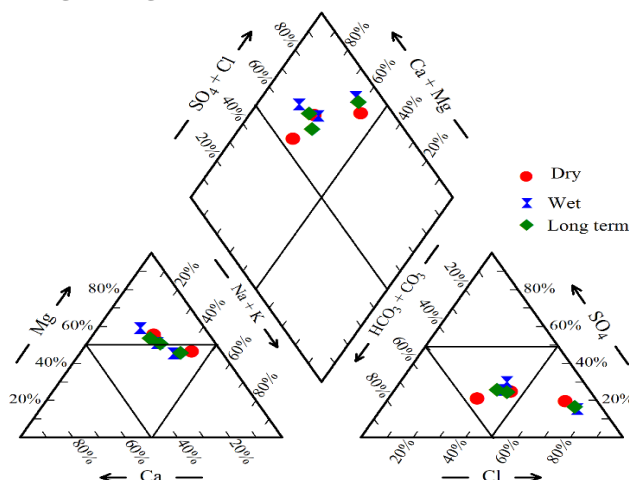
بر اساس نتایج آماری مشخص شد مقادیر p-value آزمون F برای ۹ پارامتر کیفی مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، K^+ ، Mg^{2+} ، SO_4^{2-} ، Cl^- ، TH، TDS و EC کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شده است (جدول ۵). این شرایط در دو چاه نیمه‌عمیق ایگدرسفلی و جنوب آقچی بالا تقریباً مشابه با چاه پشمک‌پناده به وقوع پیوسته به گونه‌ای که برای چاه ایگدرسفلی ۷ و چاه جنوب آقچی بالا ۸ پارامتر کیفی مقادیر p-value آزمون F کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شده است. نتایج آزمون توکی و گیمزهاول نشان داد که در چاه نیمه‌عمیق پشمک‌پناده بین دوره ترسالی و خشکسالی بیشترین اختلاف معنی‌دار بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مشاهده شده است به طوری که ۹ پارامتر مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، K^+ ، Mg^{2+} ، SO_4^{2-} ، Cl^- ، TH، TDS و EC اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. این شرایط در دو چاه نیمه‌عمیق ایگدرسفلی و جنوب آقچی بالا تقریباً مشابه با چاه پشمک‌پناده به وقوع پیوسته است.

براساس دیاگرام پایپر تنوعی از رخساره شیمیایی مربوط به آب‌های شیرین^۱، آب‌های ترکیبی^۲ و آب‌های شورمرزه^۳ نظیر $Na-Mg-HCO_3$ ، $Ca-Mg-HCO_3$ ، $Na-Cl-HCO_3$ ، $Ca-Cl-HCO_3$ ، $Na-Cl$ و $Mg-Cl$ را می‌توان در آبخوان عمیق مشاهده نمود (شکل‌های ۷ و ۸).

همچنین نتایج نشان داد که نمونه‌ها در دوره خشکسالی به سمت رخساره شورمرزه تمایل بیشتری از خود نشان می‌دهند. همچنین رخساره‌های مربوط به دوره طولانی‌مدت در بین دو دوره خشک و مرطوب قرار می‌گیرند. براساس دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های نیمه‌عمیق، رخساره شیمیایی مربوط به این چاه‌ها، از تنوع کمتری برخوردار می‌باشند اگرچه همانند دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های عمیق، رخساره‌های شیمیایی در دوره خشکسالی تمایل بیشتری برای رسیدن به ترکیب آب دریا یا رخساره شورمرزه از خود نشان می‌دهند.



شکل ۷. دیگرام پایپر چاه‌های عمیق در دوره‌های خشکسالی، ترسالی و طولانی‌مدت



شکل ۸. دیگرام پایپر چاه‌های نیمه‌عمیق در دوره‌های خشکسالی، ترسالی و طولانی‌مدت

جدول ۵. نتایج آزمون F، توکی و گیمز-هاول پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در سه دوره مورد بررسی در چاه نیمه‌عمیق پشمک‌پناده

نتایج آزمون توکی و گیمز-هاول			مقادیر p-value	
خشکسالی و طولانی‌مدت	ترسالی و طولانی‌مدت	ترسالی و خشکسالی	آزمون F	پارامترهای کیفی آب
NS	NS	*	۰/۰۲۴	TH
NS	NS	NS	۰/۱۸۱	SAR
NS	NS	NS	۰/۳۹۵	Na%
NS	NS	*	۰/۰۴۲	Sum Kation
*	NS	*	۰/۰۰۲	K ⁺
NS	NS	NS	۰/۱۰۱	Na ⁺
NS	*	*	۰/۰۰۷	Mg ²⁺
NS	NS	NS	۰/۱۳۵	Ca ²⁺
NS	NS	*	۰/۰۴۲	Sum Anion
NS	NS	*	۰/۰۳۰	SO ₄ ²⁻
*	NS	*	۰/۰۰۳	Cl ⁻
NS	NS	NS	۰/۴۳۳	HCO ₃ ⁻
NS	NS	NS	۰/۱۴۱	pH
NS	NS	*	۰/۰۲۰	TDS
NS	NS	*	۰/۰۲۳	EC

*. وجود اختلاف معنی‌دار، NS. عدم وجود اختلاف معنی‌دار

دوره ترسالی و طولانی‌مدت تنها دو پارامتر کیفی Na^+ و TH و بین دوره خشکسالی و ترسالی ۳ پارامتر کیفی Na^+ ، SAR و TH تفاوت معنی‌دار ملاحظه شد.

از ۱۱ چاه عمیق مورد بررسی تنها چاه قوینلی در دوره‌های ترسالی و خشکسالی دارای تغییرات نسبتاً زیاد بوده است که دلیل آن با نوع کاربری اراضی و همچنین نوع آبخوان آن منطقه مرتبط می‌باشد (جدول ۶). بر اساس (جدول ۵) بین دوره‌های ترسالی و طولانی‌مدت در چاه عمیق قوینلی، پارامتر کیفی مورد بررسی هیچ‌گونه تفاوت معنی‌دار ملاحظه نشد. بین دوره خشکسالی و طولانی‌مدت ۸ فاکتور و همچنین خشکسالی و ترسالی ۶ فاکتور کیفی تفاوت معنی‌دار داشته‌است.

بر اساس شاخص SIAP، محدوده مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۳ ساله، به تناوب شاهد خشکسالی‌ها و ترسالی‌های مختلفی بوده است. به‌طوری‌که دوره خشکسالی سه‌ساله از سال آبی ۷۳-۷۴ تا ۷۵-۷۶ و دوره ترسالی نیز از سال ۸۹-۹۰ تا ۹۱-۹۲ به وقوع پیوسته است. هدایت الکتریکی (EC) یکی از مهمترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای کشاورزی است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تأثیر گذار باشد.

در آبخوان نیمه‌عمیق منطقه مورد مطالعه، بین ۲ دوره ترسالی با طولانی‌مدت کمترین تفاوت معنی‌دار مشاهده شد به‌طوری‌که در چاه پشمک‌پناده تنها برای فاکتور Mg^{2+} اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است. همچنین در چاه پشمک‌پناده بین دوره خشکسالی و طولانی‌مدت تنها دو فاکتور Cl^- و K^+ اختلاف معنی‌دار داشته و این شرایط در دو چاه ایگدرسفلی و جنوب آقچی‌بالا تقریباً مشابه با چاه پشمک‌پناده اتفاق افتاده است.

نتایج مقایسه آماری پارامترهای کیفی آب در آبخوان عمیق برای پنج چاه سیلوگنبد، گالیکش، آرتق‌مخدوم، قزلجه‌امام و سارجه‌کر نشان داد که در ۳ دوره مورد بررسی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی هیچ‌گونه تفاوت معنی‌دار بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان عمیق ایجاد نکرده است. چاه عمیق ده‌حسن‌خان، قلمی، امان‌خواجه، ایمرمحمدقلی و میرزایانگ ۵ چاهی است که وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی تنها باعث تغییر معنی‌دار در حداکثر ۳ فاکتور کیفی آن‌ها شده است. در این ۵ حلقه‌چاه تحت تأثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی تغییرات کاملاً مشابهی به وقوع پیوسته به‌طوری‌که بین دوره خشکسالی و طولانی‌مدت هیچ‌گونه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بین

جدول ۶. نتایج آزمون F، توکی و گیمز-هاول پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در سه دوره مورد بررسی در چاه مشاهده‌ای عمیق قوینلی

پارامترهای کیفی آب	مقادیر p-value آزمون F	نتایج آزمون توکی و گیمز-هاول		
		ترسالی و خشکسالی	ترسالی و طولانی‌مدت	خشکسالی و طولانی‌مدت
TH	۰/۰۰۰	*	NS	*
SAR	۰/۰۶۶	NS	NS	NS
Na%	۰/۰۵	NS	NS	NS
Sum Kation	۰/۰۱۰	*	NS	*
K^+	۰/۰۲۲	*	NS	*
Na^+	۰/۱۵۸	NS	NS	NS
Mg^{2+}	۰/۰۵۶	NS	NS	NS
Ca^{2+}	۰/۰۵۸	NS	NS	NS
Sum Anion	۰/۰۰۹	*	NS	*
SO_4^{2-}	۰/۰۰۴	*	NS	*
Cl^-	۰/۰۰۷	*	NS	*
HCO_3^-	۰/۸۵۹	NS	NS	NS
pH	۰/۳۲۱	NS	NS	NS
TDS	۰/۰۱۰	*	NS	NS
EC	۰/۰۱۳	*	NS	NS

*. وجود اختلاف معنی‌دار، NS. عدم وجود اختلاف معنی‌دار

است. نتایج این بررسی با مطالعات (۲، ۵، ۱۲، ۲۵ و ۲۸) که به افزایش فاکتورهای کیفی و کاهش کیفیت آب کشاورزی در دوره خشکسالی اشاره داشته‌اند، همسویی داشته است.

نتایج بررسی طبقه‌بندی کیفی آب برای مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر نشان داد که وقوع دوره خشکسالی در دشت مورد مطالعه، هرچند که در مدت زمان کوتاهی اتفاق افتاده است اما توانسته است که کیفیت آب را در بخش شرب در هر دو آبخوان نیمه‌عمیق و عمیق کاهش دهد، با این وجود کیفیت چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق می‌باشد.

براساس دیاگرام‌های استیف مربوط به چاه‌های عمیق، تیپ غالب آب زیرزمینی در محدوده موردنظر از Mg-HCO_3 تا Na-Cl متغیر می‌باشد. این تغییرات را می‌توان در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی مشاهده نمود. اگرچه تغییراتی در تعداد تیپ‌های آب در هر دو دوره دیده نمی‌شود، اما میزان املاح کل جامدات محلول در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر می‌باشد. در چاه‌های نیمه‌عمیق Mg-Cl تیپ غالب آب زیرزمینی دشت می‌باشد. با توجه به نمودارهای استیف مربوط به این چاه‌ها، میزان املاح چاه‌ها در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر بوده است ولی تغییری در تیپ آب زیرزمینی نداشته است. نتایج این بررسی با مطالعه (۱۷) که اشاره داشت در دوره خشکسالی املاح کل جامدات محلول افزایش داشته است، همسویی نداشته است. بنظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ در دوره ترسالی فعال‌تر بوده است.

یکی از روش‌های متداول در تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمی آب، استفاده از نمودار پایپر می‌باشد. این نمودار وسیله مفیدی برای نشان دادن تفاوت‌ها و شباهت‌های بین آب‌ها است که تأثیر اختلاط بین آب‌های مختلف را نیز نشان می‌دهد. براساس نمودار پایپر هشت رخساره شیمیایی قابل تشخیص است. نمودار استیف روشی سریع برای تعیین تیپ آب می‌باشد. براساس دیاگرام پایپر تنوعی از رخساره شیمیایی مربوط به آب‌های شیرین، آب‌های ترکیبی و آب‌های شورمه را می‌توان در آبخوان عمیق مشاهده نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه‌ها در دوره خشکسالی

بطور کلی براساس میزان هدایت الکتریکی، چاه‌های عمیق را می‌توان در دوره خشکسالی در دو گروه خوب حدود ۲۷٪ تا قابل قبول حدود ۷۳٪ طبقه‌بندی کرد در حالیکه تمام چاه‌های نیمه‌عمیق کیفیت خوب داشته‌اند. در اغلب چاه‌های مورد بررسی در دوره ترسالی، هدایت الکتریکی افزایش داشته‌است و در گروه قابل قبول قرار می‌گیرد. در دوره طولانی مدت، هدایت الکتریکی نسبت به دوره ترسالی کاهش داشته ولی نسبت به دوره خشکسالی افزایش داشته است. نتایج این بررسی با مطالعات (۴) که به افزایش مقدار شوری در دوره خشکسالی اشاره داشته است، همسویی ندارد. بنظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ در دوره ترسالی فعال‌تر بوده است. یکی از محتمل‌ترین دلایل برای افزایش شوری در دوران ترسالی، نوسانات تراز آب زیرزمینی می‌باشد. این امر می‌تواند برخی از لایه‌های انحلال‌پذیر نظیر تشکیلات تبخیری را اشباع و در نتیجه باعث انحلال و آزادسازی برخی از پارامترهای شیمیایی در آب زیرزمینی شود. باتوجه به گسترش تشکیلات تبخیری و مارنی در برخی از زیرحوضه‌های گرگان‌رود که از عوامل مهم در زوال کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی در برخی از زیرحوضه‌ها می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که انحلال این سازندها در سطح و زیرزمین در دوره ترسالی می‌تواند در افزایش میزان شوری تأثیرگذار باشد.

نسبت جذب سدیم یا SAR بعنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک و همچنین یک معیار مناسب برای ارزیابی خطر قلیایی شدن خاک است. براساس پارامتر نسبت جذب سدیم کیفیت آب تمامی چاه‌ها در رده عالی قرار گرفته با این وجود کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق در بخش کشاورزی به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق بوده است. غلظت یون سدیم در آب برای طبقه‌بندی کیفی آب برای مصارف آبیاری بسیار مهم است. براساس درصد سدیم محلول، کیفیت آب چاه‌های عمیق در دوره خشکسالی بیشتر در رده خوب تا قابل قبول قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به غلظت یون سدیم در کل مشابه نسبت جذب سدیم بوده به‌طوری‌که میزان این پارامتر در دوره خشکسالی نسبت به دوره ترسالی و طولانی مدت بیشتر

تغییرات سطح پیرومتری و خصوصیات کیفی ندارد. اما برعکس در آبخوان‌های آزاد، چون قسمت اعظم تغذیه از سطح انجام می‌شود، بنابراین وقوع ترسالی و خشکسالی بر روی کمیت و کیفیت آب تأثیرگذار خواهد بود.

■ نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و هیدروشیمی آب زیرزمینی که به منابع آب زیرزمینی وابستگی زیادی دارد، در بخش شرقی دشت گرگان بررسی شد. در ارزیابی آب در بخش کشاورزی از ۳ معیار مختلف EC، SAR و Na^+Cl^- استفاده شده و مشخص شد در دوره خشکسالی، کیفیت آب چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق می‌باشد. در بخش شرب نیز کیفیت چاه‌های نیمه‌عمیق به مراتب بهتر از چاه‌های عمیق بوده و از قابل قبول تا نامناسب متغیر بوده است. براساس دیاگرام‌های استیف در هر دو دوره خشکسالی و ترسالی تیپ غالب آب زیرزمینی دشت در آبخوان عمیق از Mg-HCO_3 تا Na-Cl شورمه متغیر بوده در حالی که در چاه‌های نیمه‌عمیق Mg-Cl تیپ غالب آب زیرزمینی است. همچنین مشخص شد میزان املاح چاه‌ها در دوره ترسالی از دوره خشکسالی بیشتر بوده که به نظر می‌رسد در دوره ترسالی میزان فرآیندهای واکنش آب و سنگ فعال‌تر بوده است. براساس دیاگرام پایپر تنوعی از رخساره شیمیایی در آبخوان عمیق مشاهده شد در حالی که در آبخوان نیمه‌عمیق از تنوع کمتری برخوردار بوده است. در بررسی آماری نیز مشخص شد کیفیت آب در آبخوان عمیق در منطقه مورد مطالعه برخلاف آبخوان نیمه‌عمیق، چندان متأثر از وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی نبوده است. با توجه به وقوع خشکسالی با شدت‌های مختلف که در بیشتر سال‌ها در این منطقه محتمل است، همچنین وابستگی بسیار زیاد منابع آب زیرزمینی این منطقه به رژیم بارش، عدم توجه به شرایط خشکسالی می‌تواند تأثیرات سویی از نظر کمی و کیفی بر منابع آب زیرزمینی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی داشته باشد. با در نظر گرفتن این موضوع که ماهیت پدیده خشکسالی به‌گونه‌ای است که حذف آن امری

به سمت رخساره شورمه تمایل بیشتری از خود نشان می‌دهند. همچنین رخساره‌های مربوط به دوره طولانی‌مدت در بین دو دوره خشک و مرطوب قرار می‌گیرند. براساس دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های نیمه‌عمیق، رخساره شیمیایی مربوط به این چاه‌ها، از تنوع کمتری برخوردار می‌باشند اگرچه همانند دیاگرام پایپر مربوط به چاه‌های عمیق، رخساره‌های شیمیایی در دوره خشکسالی تمایل بیشتری برای رسیدن به ترکیب آب دریا از خود نشان می‌دهند.

بررسی آزمون آماری F نشان داد که بیشتر پارامتر کیفی مانند مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، SO_4^{2-} ، Mg^{2+} ، K^+ ، Cl^- ، TH ، TDS و EC برای چاه‌های نیمه‌عمیق اختلاف معنی‌دار در سه دوره مورد بررسی داشته است. در چاه‌های نیمه‌عمیق بیشترین اختلاف معنی‌دار بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بین دوره ترسالی با خشکسالی مشاهده شده است در حالی که تغییرات بین دوره خشکسالی با طولانی‌مدت و ترسالی با طولانی‌مدت کمتر بوده است. این موضوع بیانگر تأثیر نسبتاً زیاد وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در ایجاد تغییرات پارامترهای کیفی آب در آبخوان نیمه‌عمیق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این بررسی همچنین مشخص شد کیفیت آب در آبخوان عمیق در منطقه مورد مطالعه برخلاف آبخوان نیمه‌عمیق چندان متأثر از وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی نبوده است. در این بررسی از ۱۱ حلقه چاه عمیق مورد بررسی، ۹ حلقه چاه تقریباً فاقد هرگونه تفاوت معنی‌دار بوده و یا تغییرات بسیار ناچیزی را شاهد بوده است. نتایج این بررسی با مطالعات (۲ و ۲۸) همسویی داشته است. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی باعث ایجاد تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ویژگی‌ها فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان نیمه‌عمیق شده در حالیکه تأثیر چندان بر ویژگی‌ها کیفی آبخوان عمیق در این منطقه نداشته است. به‌طور کلی در آبخوان‌های عمیق که عمدتاً از نوع تحت فشار یا محصور هستند نفوذ از سطح زمین تأثیری بر روی سطح آب پیرومتری و در پی آن خصوصیات کیفی ندارد. تغذیه آبخوان‌های محصور از منطقه تغذیه صورت گرفته که لایه محصور در سطح زمین رخمون پیدا می‌کند. بنابراین وقوع خشکسالی یا ترسالی تأثیری زیادی بر روی

و کیفی منابع آب زیرزمینی، جلوگیری از نشست زمین و غیره شود. همچنین می‌توان با مدیریت کاربری اراضی و انجام اقدامات آبخیزداری، شرایط مناسب برای نفوذ آب و تغذیه آبخوان فراهم کرد.

غیرممکن می‌باشد، با انجام اقداماتی می‌توان ریسک این بلای طبیعی را کاهش داده و آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی وارده را به حداقل رساند. راهکار اساسی در این زمینه می‌تواند مدیریت برداشت آب باشد که با مصرف قانونمند و جلوگیری از برداشت بی‌رویه، مانع از افت کمی

■ References

1. Abbas, M., Shen, S.L., Lyu, H.M., Zhou, A. & Rashid, S. (2021). Evaluation of the hydrochemistry of groundwater at Jhelum Basin, Punjab, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 80(8), 1-7.
2. Ahrariroudi, M. (2018). Assessment the effects of drought on groundwater quantity and quality of Sistan and Baluchistan Province. *New Findings in Applied Geology*, 12(23), 104-113. (in Farsi)
3. Arpine, H. & Gayane, S. (2016). Determination of background concentrations of hydrochemical parameters and water quality assessment in the Akhuryan River Basin (Armenia). *Physics and Chemistry of the Earth*, 94, 2-9.
4. Asadi, M.A., Jamnezhad, F., Ekhtesasi, M.R. & Hosseini, S.Z. (2020). Investigating the effects of drought and land-use changes on quantity and quality of groundwater resources: a case study of Darab plain. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(28), 89-102. (in Farsi)
5. Asadzadeh, F., Kaki, M., Shakiba, S., Raei, B. (2016). Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in Qorveh-Chardoli Plain. *Iran-Water Resources Research*, 12(3), 153-165. (in Farsi)
6. Eslamian, S., Nasri, M. and Rahimi, M. (2009). Investigation of wet and drought periods and its effects on changes in water resources of Boein plain. *Geography and Environmental Planning*, 33(1), 75-90. (in Farsi)
7. Ghareh Mahmoodlu, M. Jandaghi, N. Sayadi, M. (2020). Hydrochemical evaluation and qualitative deterioration assessment of Gorganrud River. *Geology*, 14(55), 129 -145. (in Farsi)
8. Gorganly Davaji, A. (2021). *Water flood effect on the quantity and quality of groundwater in the Golestan province*. Msc in Watershed Management, Gonbad Kavous University. (in Farsi)
9. Heshmatpour, A., Jandaghi, N., Pasand, S. & Ghareh Mahmoodlu, M. (2020). Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River, *Physical Geography Quarterly*. 13(48), 75-88 (in Farsi).
10. Karami, F. & Kazemi, H. (2012). Spatial monitoring of groundwater salinity in drought and wet periods case study: Tabriz plain, *Geography and Development*, 10(28), 79-94. (in Farsi)
11. Kaur, T., Bhardwaj, R., & Arora, S. (2017). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Applied Water Science*. 7(6), 3301-3316.
12. Khajeh, M., Bazrafshan, O., Vagharfard, H. & Esmaelpoor, Y. (2015). An investigation on the quantity and quality of groundwater in the Persian Plain. *Spatial Planning*, 18(4), 71-96. (In Farsi)
13. Mahdavi, M. (2013). *Applied hydrology*. Vol. 2, 7th Edition, Iran: Tehran University Publication. (in Farsi)
14. Mahadev, S., Ahamad, A., Kushwaha, J., Singh, P. & Mishra, P.K. (2018). Geochemical assessment of ground water quality for its suitability drinking and irrigation purpose in rural areas of Sant Ravidas Nagar Bhadohi UP. *Geology, Ecology and Landscapes*, 2(2), 127–136.

15. Mirnezami, S.J. & Bagheri, A. (2017). Assessing the water governance system for groundwater conservation in Iran. *Iran-Water Resources Research*, 13(2), 32-55. (in Farsi)
16. Nepolian, M., Chidambaram, S., Thivya, P.K., Pradeep, K., Banaja, R.P., Devar,aj N. & Vasudevan, U. (2016). Assessment of hydrochemical and qualities studies in ground water of Villupuram district Tamilnadu, India. *Earth Sciences*, 4(3), 1-10.
17. Nohegar, A., Heydarzadeh, M., Eydoon, M. & Pannahi, M. (2016). Assessment of drought and its impact on surface and groundwater resources (Case study: River basin Minab). *Researches in Earth Sciences*, 27(7), 28-43 (in Farsi).
18. Pak, Z. & Mohseni Movahhed, S. (2018). The Effects of excessive withdrawal and recent droughts on Saveh plain aquifer. *Iran-Water Resources Research*, 13(4), 154-160. (in Farsi)
19. Panda, D.K., Mishra, A., Jean, S.K., James, B.K. & Kumar, A. (2007). The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Hydrology*, 343(3), 140-153.
20. Peters, E., Bier, G., Van Lanen, H.A.J. & Torfs, P.J.J.F. (2006). Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. *Hydrology*, 321(1), 257-275.
21. Ramamoorthy, P., Backiraj, S. & Ajithkumar, R. (2018). Evaluation of ground water quality for drinking and irrigation suitability: a case study iun Marakkanam block Villupuram district, Tamilnadu, India. *Industrial Pollution Control*, 34(2), 2159-2163.
22. Shakiba, W. & Mirbagheri, B. Kheiri, A. (2010). Drought and its impact on groundwater resources in East of Kermanshah province using SPI. *Geography*, 8(25), 105-124. (in Farsi)
23. Sharma, A.D., Rishi, S.M. & Keesari, T. (2017). Evaluation of ground water quality and suitability for irrigation and drinking purpose in south west Punjab, India using hydrochemical approach. *Applied Water Sciences*, 7(5), 3137-3150.
24. Shirazi, E. (2016). Statistical software training Minitab 16. Iran: Noruzi Publications. (in Farsi)
25. Singh, K.K., Tewari, G. & Kumar, S. (2020). Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. *Chemistry*, 2020, 1-15.
26. Soltani Tudashki, F. (2009). *Quantitative and qualitative changes of groundwater in Baghmalek plain due to drought and estimation of changes in aquifer volume*. Second National Conference on Drought Impact and Management Strategies. Esfahan, 129. (in Farsi)
27. Van Loon, A.F. & Laaha, G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Hydrology*, 526, 3-14.
28. Xu, H., Zheng, H., Chen, X., Ren, Y. & Ouyang, Z. (2016). Relationships between river water quality and landscape factors in Haihe River Basin, China: Implications for environmental management. *Chinese Geographical Science*, 26, 197-207.
29. Zareei, A. & Bahrami, M. (2016). Evaluation of quality and quantity changes of underground water in Fasa plain, Fars (2006 - 2013). *Irrigation and Water Engineering*, 6(4), 103-113. (in Farsi)
30. Zhao, Y., Han, J., Zhang, B. & Gong, J. (2021). Impact of transferred water on the hydrochemistry and water quality of surface water and groundwater in Baiyangdian Lake, North China. *Geoscience Frontiers*. 12(3), 1-9.

Modeling the Effects of Land Use and Land Cover Changes on Desertification Intensity in Mokhtaran Plain Using CA-Markov Method

Z. Rafieemajoomerd¹, M. Rahimi², Sh. Nikoo^{3*}, H. Memarian⁴, H. Kaboli⁵

1. Ph.D. student of Combating Desertification, Department of Combating Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Combating Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.
3. Assistant Professor, Desert studies faculty, Semnan University, Semnan, Iran.
4. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Combating Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

* Corresponding Author: shimanikoo@semnan.ac.ir

Received date: 28/12/2020

Accepted date: 24/05/2021



[10.22034/JDMAL.2021.246301](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246301)

Abstract

Land use and land cover (LULC) is one of the most important factors that affect the desertification risk in this study, the desertification sensitivity of the Mokhtaran basin in South Khorasan province was estimated by integrating LU/LC scenarios with the MEDALUS environmentally sensitive areas (ESAs) model to predict the desertification risk. The four main MEDALUS criteria including soil, climate, vegetation, and management were examined to assess the sensitive areas to the desertification. Land use maps were categorized using the Landsat satellite imageries of TM, ETM+, and OLI sensors for 1987, 1998, 2003 as a past scenario, and 2015 as a current scenario. Land use maps for 2025 and 2035 were produced as the future scenario based on the simulation of CA-Markov models. The validation results confirmed the model accuracy by calculating the kappa coefficient of 0.95. The land use map was predicted for the years 2025 and 2035 based on the transition rules and a transition area matrix. The results showed that the rainfed area was reduced by 68.29 km² and the agricultural land was increased by 25.35 km² during the period. In the protection area of playa-bare lands, the changes showed this area was increased by 26.86 km². The rangeland has also experienced positive changes with an increase of 18.83 km². Compared to the current scenario, the desertification trend in the future scenario was positively predicted by increasing the area of critical areas from 30.9% to 48.7% over 20 years. The most susceptible lands to desertification were known as playa-bare lands.

Keywords: Land use simulation; MEDALUS; Remote sensing; Markov





مدل سازی تأثیر تغییر کاربری و پوشش اراضی بر شدت بیابان زایی دشت مختاران به کمک مدل سلول های خودکار مارکوف

زهره رفیعی مجومرد^۱، محمد رحیمی^۲، شیما نیکو^{۳*}، هادی معماریان^۴، حسن کابلی^۵

۱. دانشجوی دکترای بیابان زدایی، گروه بیابان زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۲. دانشیار، گروه بیابان زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۳. استادیار، گروه بیابان زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۴. دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۵. استادیار، عضو هیأت علمی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

* نویسنده مسئول: shimanikoo@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳



[10.22034/JDMAL.2021.246301](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246301)

چکیده

تغییر کاربری و پوشش اراضی یکی از عوامل مهم در ارتباط با خطر بیابان زایی است. در پژوهش حاضر، با ادغام سناریوهای تغییر کاربری اراضی با مدل ارزیابی بیابان زایی مدالوس (ESAs) حساسیت به بیابان زایی در حوزه آبخیز مختاران بیرجند در استان خراسان جنوبی ارزیابی و به پیش بینی خطر بیابان زایی پرداخته شد. چهار معیار اصلی مدالوس شامل خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت برای تشخیص مناطق حساس به بیابان زایی بررسی شد. نقشه های کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست سنجنده های +ETM، TM و OLI از سال های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۳ به عنوان سناریوی گذشته و ۲۰۱۵ به عنوان سناریوی حال حاضر طبقه بندی شد. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ براساس شبیه سازی های مدل سلول خودکار مارکوف تهیه و به عنوان سناریوی آینده تعیین شد. نتایج اعتبارسنجی با محاسبه کاپای تطابق کلی ۰/۹۵ صحت مدل را تأیید کرد. کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ براساس ماتریس مساحت انتقال مارکوف و قوانین انتقال پیش بینی شد. نتایج نشان داد که در کل دوره مورد مطالعه، $68/29 \text{ km}^2$ از وسعت اراضی دیم کاسته و $25/35 \text{ km}^2$ به اراضی کشاورزی و باغی افزوده شده است. در پهنه کاربری پلایا-اراضی بدون پوشش، تغییرات به سمت افزایش وسعت این اراضی به میزان $26/86 \text{ km}^2$ است. همچنین روند تغییرات کاربری مرتع با رشد این اراضی به میزان $18/83 \text{ km}^2$ مثبت ارزیابی شد. در مقایسه با سناریوی حال حاضر، روند بیابان زایی در سناریوی آینده با افزایش مساحت مناطق بحرانی از $30/9\%$ به $48/7\%$ طی دوره ۲۰ ساله، روند بیابان زایی رو به افزایش پیش بینی شده است. حساس ترین کاربری به بیابان زایی اراضی پلایای بدون پوشش شناخته شد.

واژگان کلیدی: شبیه سازی کاربری و پوشش اراضی؛ مدالوس؛ سنجش از دور؛ مارکوف



■ مقدمه

بیابان‌زایی فرآیندهای پیچیده‌ای دارد که حاصل تعامل بسیاری از فاکتورهای محیطی و انسانی است (۱). طبق تعریف بیابان‌زایی عبارت است از کاهش استعداد اراضی در اثر یک یا ترکیبی از فرآیندها از قبیل فرسایش بادی، فرسایش آبی، تخریب پوشش گیاهی، تخریب منابع آب، ماندایی شدن، شور شدن و قلیایی شدن خاک و ... که عوامل محیطی یا انسانی آن را شدت می‌دهد. در این میان عوامل انسانی در پدیدار شدن پدیده بیابان‌زایی نقش اساسی و کلیدی دارند و موجب تسریع و افزایش سرعت بیابان‌زایی می‌شوند. زیرا علاوه بر نقش مستقیم خود در آسیب محیط، در نقش محرکی عمل می‌کنند که موجبات تحریک و تقویت عوامل محیطی از جمله اقلیم را فراهم می‌کند (۴۳). تهدید و تخریب ۷۳٪ از کل مراتع جهان به مساحت ۳/۳ ha میلیارد، کاهش توان تولید خاک در ۴۷٪ مناطق خشک جهان، غیرقابل استفاده شدن ۵۰ تا ۷۰ هزار کیلومتر مربع از اراضی حاصلخیز در سال و بالغ بر ۴۲ میلیارد دلار خسارت سالانه به محصولات کشاورزی همراه با آثار بسیار وسیع و گسترده‌ی اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌ویژه فقر گسترده و تخریب منابع پایه، فقط بخشی از آثار و پیامدهای جهانی پدیده بیابان‌زایی محسوب می‌شود (۲۶، ۴۳). با توجه به جهانی بودن مشکل بیابان‌زایی ارزیابی دقیق وضعیت، تغییر وضعیت یا گرایش بیابان‌زایی به توسعه فعالیت‌های بین‌المللی برای ممانعت و ریشه‌کنی آن کمک می‌کند (۴۲). گسترش بیابان‌زایی ممکن است با چندین روش ارزیابی شود. برای مثال با مشاهده و اندازه‌گیری مستقیم، مدل‌های ریاضی و معادلات پارامتری، تخمین‌ها، سنجش‌ازدور (RS) و سایر شاخص‌ها (۲۰، ۲۸). به‌طور معمول ارزیابی خطر بیابان‌زایی شامل در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی محل و الگوی کاربری اراضی در منطقه است (۲۰). تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم تغییر کاربری و پوشش اراضی بر محیط زیست و پیامدهای آن در تغییرات جهانی و توسعه پایدار از سالیان قبل مورد بررسی قرار گرفته است (۲۸). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک (۳۷، ۳۶)، تخریب خاک (۴۳) و کیفیت خاک (۴۱) تأثیر دارد.

علاوه بر این، کاربری اراضی به‌عنوان عامل اصلی مؤثر بر بیابان‌زایی در نظر گرفته شد (۳۷).

بسیاری از محققان به بررسی روند بیابان‌زایی و مطالعه روش‌های پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌ازدور پرداخته‌اند. نتایج یک مطالعه در مناطق بیابانی‌شده تایلند در سال ۲۰۱۶ نشان داد تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر خطر بیابان‌زایی تأثیر دارند. با افزایش وسعت مناطق جنگلی مشکلات خشکسالی و شدت بیابان‌زایی نیز کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش پوشش سطحی خاک از سرعت بیابان‌زایی کاسته می‌شود. در مقابل در مناطقی که پوشش جنگل کاهش یافته و خاک بدون پوشش زیاد شده، اثرات شدت بیابان‌زایی افزایش یافته است (۳۸). در تحقیق دیگری که بر حوضه رودخانه ویرا^۱ در برزیل انجام گرفت کارایی مدل در پیش‌بینی مناطق حساس به بیابان‌زایی مثبت ارزیابی سلول‌های خودکار مارکوف شد (۷). مطالعات در مورد بیابان‌زایی به دلیل ذاتی بودن ماهیت مکانی، از پیشرفت‌های اخیر در زمینه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS بهره برده است (۸). با به‌کارگیری این تکنیک‌ها مدل سلول‌های خودکار مارکوف از ترکیب زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA) (۱۸) استفاده می‌کند و با افزودن بعد مکانی به زنجیره مارکوف تغییرات احتمالی کاربری اراضی را پیش‌بینی می‌کند (۱۰). سال ۲۰۲۵ زمان هدف برای رسیدن اهداف توسعه پایدار در ایران می‌باشد. بنابراین شبیه‌سازی کاربری اراضی براساس سناریوی آینده می‌تواند پیش‌بینی تصمیم‌های فعلی برای برنامه‌ریزی استفاده از اراضی تا سال ۲۰۲۵ باشد. تحقیقات متعددی در حوزه بیابان‌زایی استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف در جهت پیش‌بینی روند تخریب اراضی مناسب و کارآمد نشان داده‌اند (۱۵، ۳۹). مطالعات اخیر نشان می‌دهد ارتباط بین زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار امکان پیش‌بینی روند احتمالی تکامل کاربری اراضی در پدیده‌هایی نظیر بیابان‌زایی فراهم می‌کند (۱۵، ۱۶). در حقیقت می‌توان با مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی و شبیه‌سازی آن برای آینده وضعیت بیابان‌زایی را ارزیابی و به پیش‌بینی ریسک بیابان‌زایی پرداخت. مرور

مساحتی در حدود $242701/8 \text{ ha}$ و در استان خراسان جنوبی قرار گرفته است. این حوزه با متوسط بارندگی سالانه 172 mm و متوسط درجه حرارت سالانه $14/3^\circ \text{C}$ اقلیم خشک سردی دارد. حوزه مختاران تحت تأثیر شرایط اقلیم خشک و نیمه‌خشک از نظر سیمای مورفولوژیکی و استقرار سکونتگاه‌های روستایی وضعیت قابل‌توجهی دارد. به‌طوری‌که در آن کشاورزی معیشتی و دهقانی با درآمد کم تا کشاورزی پیشرفته و مکانیزه متراکم قابل مشاهده است. از نظر ژئومورفولوژی منطقه دارای سه واحد پلایا با رخساره‌های شوره‌زار، کویر زرده، تپه ماسه‌ای قورد و رخساره اراضی ماسه‌زار هموار در دق مرکزی، دشت‌سر در محیط اطراف پلایا حدواسط کوه‌های شمال و جنوب، تپه‌ماهور و کوهستان به‌صورت رشته‌کوه‌هایی در شمال و جنوب است. کمترین ارتفاع 1258 m در دشت و بیشترین ارتفاع 2700 m از سطح دریا در ارتفاعات شمال و جنوب قرار دارد (۹، ۱۱) (شکل ۱).

داده‌های مورد استفاده

داده‌های پژوهش حاضر دربرگیرنده آمار اقلیم شامل: میزان بارندگی سالانه، تبخیر و تعرق و جهت جغرافیایی، پوشش گیاهی: شامل درصد تاج پوشش و خاک: شامل بافت و عمق خاک، درصد سنگریزه، شیب و زهکشی است. همچنین لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها با استفاده از مطالعات موجود در حوزه مورد مطالعه (۹)، تصاویر ماهواره‌ای پردازش‌شده همراه با بازدیدهای میدانی، مطالعات آزمایشگاهی و کمک‌گرفتن از تصویر گوگل ارث تهیه شد. همچنین برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی از شاخص‌ها، گزارش‌ها، اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه، نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس $1:25000$ سازمان نقشه‌برداری، تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی 20 m استفاده شد (۹). برای طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ تهیه شده از پایگاه داده آنلاین ایالات متحده آمریکا USGS، استفاده شد (جدول ۱). مدل مفهومی مراحل انجام تحقیق در شکل زیر نشان داده شده است (شکل ۲).

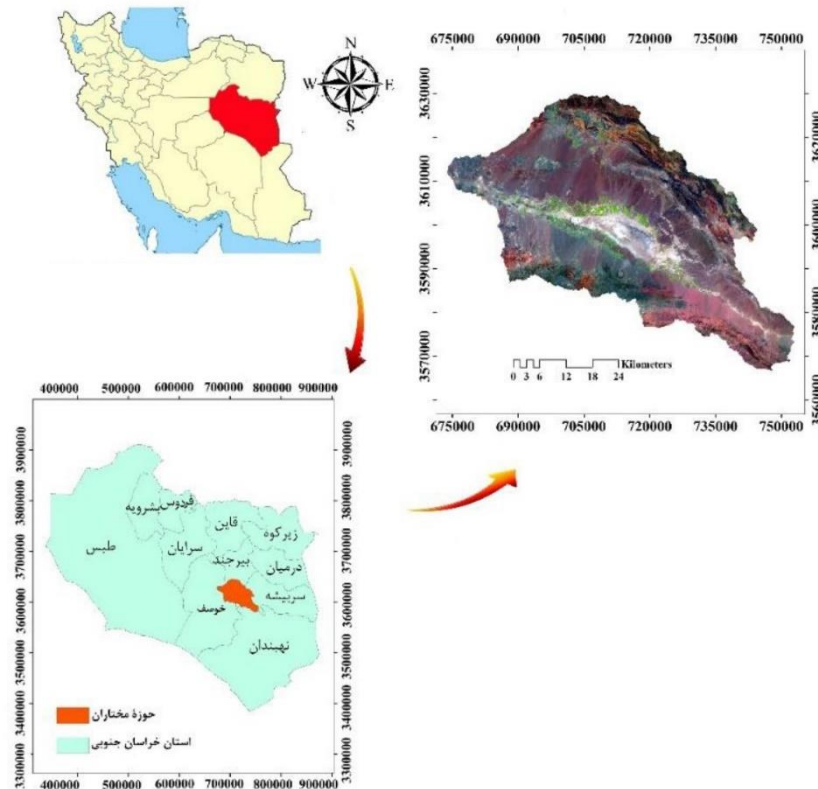
منابع نشان داد در زمینه ادغام مدل‌های پیش‌بینی کاربری و پوشش اراضی با مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی تا به‌حال مطالعه جامعی صورت نگرفته است. ادغام مدل‌های شبیه‌سازی کاربری و پوشش اراضی با مدل‌های بیابان‌زایی می‌تواند اثرات تغییر کاربری اراضی را بر بیابان‌زایی در حوزه مورد مطالعه بررسی کند؛ این روش یکپارچه‌سازی می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی اجرا شود. در تحقیقی با هدف تلفیق مدل شبیه‌سازی کاربری اراضی با مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) در حوزه آبخیز هولو لانگات مالزی، تأثیر کاربری و پوشش اراضی روی شرایط هیدرولوژیکی حوزه شامل رواناب و بار رسوب بررسی شد که می‌توان از آن به‌عنوان نمونه ادغام‌سازی دو مدل یاد کرد (۲۳). از آنجا که تغییر کاربری اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر به افزایش بیابان‌زایی می‌شود استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و شبیه‌سازی آن به‌عنوان معیاری مهم در روند بیابانی‌شدن اراضی منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت.

حوزه آبخیز دشت مختاران در خراسان جنوبی با شرایط اقلیم خشک و نیمه‌خشک از مناطق مهم و درعین‌حال شکننده و مستعد پدیده بیابان‌زایی است. این حوزه طی سالیان اخیر دست‌خوش تغییراتی متأثر از عوامل متعدد همچون توسعه بی‌رویه، خشک‌سالی، کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغییرات کاربری اراضی ناشی از استفاده‌های غیراصولی از سرزمین شده است که برنامه‌ریزی در جهت حفاظت و مدیریت اراضی این منطقه را ضروری کرده است (۹). هدف پژوهش حاضر ارزیابی اثرات کاربری اراضی بر روند آتی گسترش بیابان با فرض ثابت در نظر گرفتن معیارهای دیگر و فراهم‌شدن داده‌های لازم برای ارائه برنامه مدیریت ریسک بیابان‌زایی در حوزه آبخیز دشت مختاران بیرجند است.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

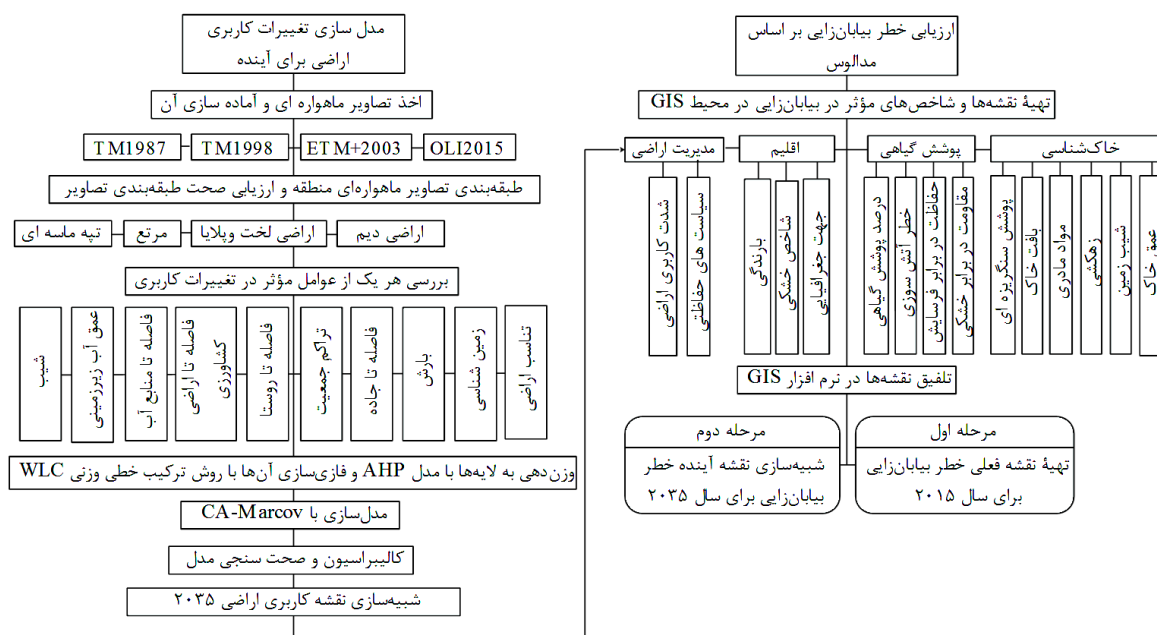
منطقه مطالعاتی حوزه آبخیز دشت مختاران بیرجند با طول و عرض جغرافیایی بین $59^\circ 8' 59''$ تا $59^\circ 2' 32''$ طول شرقی و $36^\circ 31' 43''$ تا $36^\circ 25' 18''$ عرض شمالی و



شکل ۱. حوزه آبخیز دشت مختاران و موقعیت قرارگیری آن در استان خراسان جنوبی

جدول ۱. تصاویر مورد استفاده و ویژگی‌های آن‌ها

شماره تصویر	ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ اخذ تصویر به میلادی	تاریخ اخذ تصویر به شمسی
۱	Landsat8	OLI	30-May-2015	۱۳۹۴/۳/۹
۲	Landsat7	ETM+	21-May-2003	۱۳۸۲/۲/۳۱
۳	Landsat5	TM	31-May-1998	۱۳۷۷/۳/۱۰
۴	Landsat5	TM	1-May-1987	۱۳۶۶/۲/۱۱



شکل ۲. مدل مفهومی مراحل انجام تحقیق

تعرق پتانسیل در هر زیرحوزه، داده‌های خاک، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی تهیه شد. نقشه زیرحوزه‌های دشت مختاران در زیر آمده است (شکل ۳).

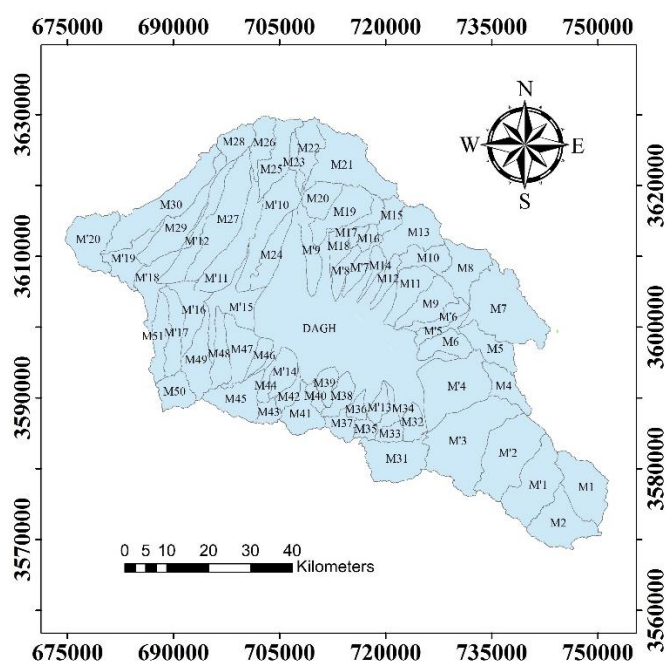
به هر یک از شاخص‌های یادشده با توجه به وضعیت منطقه و چهارچوب تعیین‌شده مدالوس امتیازی بین ۱ تا ۲ تخصیص داده شد. امتیاز هر معیار با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های مربوطه مشخص شد (رابطه ۱).

$$W_X = (w_1 \times w_2 \times \dots \times w_n)^{1/n} \quad (1)$$

W_X امتیاز مربوط به هر معیار، $w(1, 2, \dots, n)$ امتیازهای مربوط به هر شاخص و n تعداد شاخص‌هاست. کیفیت اقلیم از محاسبه سه شاخص بارش، جهت و خشکی بگنولد-گوسن به دست آمد. برای بررسی اقلیم منطقه و شاخص‌های تعیین‌شده، از اطلاعات ایستگاه‌های مجاور حوزه استفاده شد. معیار کیفیت خاک با ۶ شاخص اصلی ارائه‌شده در روش مدالوس ارزیابی شد. به این منظور از نقشه پایه خاک‌شناسی حوزه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد و در هر واحد اراضی با بررسی مشخصات پروفیل خاک، گروه‌های هیدرولوژیک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی هر یک از افق‌های خاک و در نهایت شیب زمین تحلیل شد.

ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی با مدل مدالوس

با بررسی مطالعات صورت گرفته در منطقه و دستورالعمل روش مدالوس، ۴ عامل به عنوان معیارهای ارزیابی بیابان‌زایی مورد بررسی قرار گرفت. این معیارها که همان لایه‌های اطلاعاتی از حوزه مورد مطالعه بودند عبارتند از: کیفیت اقلیم (CQI)، کیفیت خاک (SQI)، کیفیت پوشش (VQI) و کیفیت مدیریت و سیاست (MQI). انتخاب معیارها براساس بررسی جامعی از عوامل مؤثر در بیابان‌زایی با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی مثل اقلیم، خاک و پوشش گیاهی و عامل انسانی شامل فشارهای انسانی مربوط به معیار مدیریت و سیاست بوده است (۱۹). سپس ویژگی‌های معیارهای یادشده که در بیابان‌زایی منطقه مؤثرند به عنوان شاخص در نظر گرفته شد تا با ارزیابی آن‌ها میزان تأثیر هر معیار در فرآیند بیابان‌زایی مشخص شود. طبق روش مدالوس تعداد ۱۵ شاخص استاندارد شامل بارندگی، جهت، خشکی گوسن-بگنولد، مواد مادری، درصد سنگریزه، عمق، بافت خاک، شیب، زهکشی، درصد پوشش گیاهی، خطر آتش‌سوزی، حفاظت در برابر فرسایش، مقاومت در برابر خشکی، شدت کاربری اراضی و اجرای سیاست‌های حفاظتی در نظر گرفته شد (جدول ۲). هر کدام از لایه‌های شاخص‌ها در نرم‌افزار GIS با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حوزه و نقشه شیب و جهت و داده‌های اقلیم مثل بارش و تبخیر و



شکل ۳. نقشه زیرحوزه‌های دشت مختاران

جدول ۲. مشخصات لایه‌های مورد استفاده در مدل مدالوس

کیفیت	شاخص	مقیاس با اندازه پیکسل ۲۰ m × ۲۰ m	واحد اندازه‌گیری	دوره زمانی
اقلیم	بارندگی	۱/۵۰۰۰	mm/year	۱۳۸۱-۱۳۵۷
	جهت	۱/۲۵۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	شاخص خشکی (بگنولد-گوسن)	۱/۵۰۰۰	mm/mm	۱۳۸۱-۱۳۵۷
خاک	مواد مادری	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	درصد سنگریزه	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	عمق خاک	۱/۵۰۰۰	cm	۱۳۹۳
	شیب	۱/۲۵۰۰	%	۱۳۹۳
	زهکشی	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	بافت خاک	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	خطر آتش‌سوزی	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	حفاظت در برابر فرسایش	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	مقاومت در برابر خشکی	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۳
	درصد پوشش گیاهی	۱/۵۰۰۰	%	۱۳۹۳
مدیریت	شدت کاربری اراضی	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۴
	اجرای سیاست‌های حفاظتی	۱/۵۰۰۰	طبقه حساسیت	۱۳۹۴

معیار پوشش گیاهی در هر تیپ، با توجه به وضعیت پوشش گیاهی، نوع پوشش غالب و درصد پوشش گیاهی ارزیابی شد. امتیازات شدت تغییر کاربری اراضی براساس نقشه کاربری اراضی موجود، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و در نهایت بازدید از منطقه و استفاده از نظرات مردم بومی و کارشناسان محلی در کاربری‌های مختلف تعیین شد. شدت استفاده از اراضی در مراتع با تخمین نرخ مجاز چهارپایان اهلی (SSR) و نرخ چهارپایان واقعی (ASR) در قطعات گوناگون اراضی تحت چرا انجام گرفت. شاخص سیاست‌های موجود در حفاظت محیط با در نظر گرفتن ۱۴ متغیر و امتیازدهی طبق طبقه‌های مدل مدالوس در هر کاربری انجام شد. این شاخص‌ها عبارتند از: استفاده صحیح از اراضی، استفاده از کود مناسب، شخم مناسب و صحیح، تناوب زراعی، کشاورزی مکانیزه، تکنیک‌های جدید کشت و زرع، استفاده از نژاد اصلاح‌شده بذر، مبارزه با آفات، گذاشتن بقایای گیاهی در زمین، استفاده از بادشکن، آیش-گذاشتن، اقدامات مکانیکی از قبیل ترانس‌بندی، آبراهه‌های انحرافی و احداث بندها، شیوه آبیاری و کشت نواری. تمامی

این فاکتورها در واحدهای کاربری مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار گرفتند و در نهایت درصد حفاظت از محیط در آن قطعه از زمین برآورد شد. پس از ارزیابی و بررسی شاخص‌ها و محاسبه امتیاز هر معیار در نقشه به‌منظور بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی با استفاده از میانگین هندسی امتیازات معیارهای اصلی از طریق رابطه ۲ محاسبه شد. از مزایای این مدل استفاده از میانگین هندسی به‌جای جمع یا میانگین حسابی است، زیرا روش نسبتاً دقیقی است. شاخص حساسیت به بیابان‌زایی نیز (DSI) تعیین شد، این شاخص محصول ESAI در چهارچوب مدالوس است (۱۲).

$$DSI = (CQI \times SQI \times VQI \times MQI)^{1/4} \quad (2)$$

که در آن DSI: شاخص حساسیت به بیابان‌زایی، CQI: معیار کیفیت اقلیم، SQI: معیار کیفیت خاک، VQI: معیار کیفیت پوشش گیاهی، MQI: معیار کیفیت مدیریت و سیاست تعریف شده است. دامنه امتیاز ESAI از ۱ تا

پایین ترین سطح آسیب پذیری، تا ۲ که نشان دهنده بالاترین سطح آسیب پذیری است، متغیر است. با توجه به مقادیر ESAI، طبقه های حساسیت مناطق به بیابان زایی طبق روش مدالوس شامل ۴ طبقه و ۸ زیر طبقه در جدول (۳) ارائه شده است (۱۳، ۳۰). سپس با ورود امتیازات به سیستم اطلاعات جغرافیایی و تعیین طبقه وضعیت فعلی بیابان زایی، نقشه مناطق حساس به بیابان زایی تهیه شد.

مدل سازی پویای تغییرات کاربری اراضی برای آینده

داده های ورودی برای مدل شامل لایه کاربری اراضی بود که با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای چندزمانه و اطلاعات میدانی استخراج شد. ابتدا تصاویر ماهواره ای مرتبط از دهه های مختلف (جدول ۳) شامل سال های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ میلادی اخذ شد (۴۵). تکنیک حذف خطای پراکنش اتمسفری^۱ برای اصلاح پراکندگی جوی در تمام فریم مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهش حاضر به منظور ایجاد تصاویر رنگی با قدرت تفکیک مکانی بالا تصاویر چندطیفی ساخته شده از ترکیب باندهای مختلف با باند ۸ پانکروماتیک به روش تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) ادغام شد. برای به دست آوردن دقت بالاتر در طبقه بندی از روش طبقه بندی نظارت شده ترکیبی فازی حداکثر احتمال^۲ طبقه بندی تصاویر به ۵ گروه کاربری:

اراضی کشاورزی و باغی، اراضی کشاورزی دیم، اراضی مرتع، پلایا-اراضی بدون پوشش و تپه ماسه ای انجام گرفت. برای اعتبارسنجی طبقات مورد نظر با گرفتن نمونه های واقعیت زمینی و مقایسه آن با تصویر طبقه بندی شده ضرایب کاپا برای هر طبقه و کاپای کلی محاسبه شد و صحت طبقه بندی مورد تأیید قرار گرفت. با استفاده از مطالعات پایه حوزه آبخیز مختاران، گزارشات و بازدیدهای میدانی از منطقه عوامل اثرگذار روی تغییرات کاربری و پوشش منطقه شناسایی شد. پس از بررسی عوامل مؤثر بر تغییر هر یک از کاربری ها نقشه تناسب برای کاربری های مورد نظر ایجاد شد. به منظور آماده سازی لایه ها عملیات فازی کردن و وزن دهی براساس روش AHP روی آن ها صورت گرفت. سپس با ادغام لایه ها برای هر یک از کاربری ها یک نقشه نهایی تناسب ایجاد شد. در مرحله بعدی با مدل سلول های خودکار مارکوف تغییرات کاربری اراضی در بازه های زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار گرفت و به عنوان دوره واسنجی جهت کالیبراسیون مدل انتخاب شد. از نقشه واقعیت زمینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ برای صحت مدل سازی استفاده شد (۶). پیش بینی تغییرات پوشش سرزمین سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ با به کارگیری نقشه های کاربری سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ انجام شد.

جدول ۳. طبقه های ESAI و دامنه های وابسته به آن (۳۰)

طبقه	زیر طبقه	دامنه امتیاز ESAI	ویژگی
بی اثر	N	$< 1/17$	مناطق حساس یا با حساسیت کم در برابر تخریب وجود ندارد. (مناطق پایدار و در معرض تخریب قرار ندارند.)
دارای استعداد بالقوه برای تخریب	P	$1/17 - 1/22$	مناطق با حساسیت کم به تخریب اراضی. (مناطق که در صورت بروز تغییرات مهم اقلیمی یا تغییرات شدید در کاربری اراضی در آستانه تخریب قرار خواهند گرفت.)
شکننده	F1	$1/22 - 1/26$	مناطق دارای حساسیت متوسط به تخریب اراضی. (مناطق در آستانه تخریب هستند و هرگونه اختلال، موجب از بین رفتن توازن محیط و فعالیت های انسانی شده و منجر به تخریب سریع سرزمین شود.)
	F2	$1/26 - 1/32$	
	F3	$1/32 - 1/37$	
بحرانی	C1	$1/37 - 1/41$	
	C2	$1/41 - 1/53$	مناطق با حساسیت بالا و خیلی شدید به تخریب اراضی. (مناطق که قبلاً بسیار تخریب شده اند و دارای کاهش شدید در اقتصاد اراضی و بهره وری زیست محیطی هستند.)
	C3	$> 1/53$	

مدل سلول‌های خودکار مارکوف

از رویکرد مدل‌سازی سلول‌های خودکار مارکوف برای پیش‌بینی نقشه کاربری سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ استفاده شد. این روش شامل دو تکنیک است؛ اول تجزیه و تحلیل زنجیره مارکوف به منظور تولید ماتریس احتمال انتقال و دوم سلول‌های خودکار برای تولید نقشه احتمالات انتقال کاربری اراضی (۲، ۳). نخست مدل زنجیره مارکوف احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین زمان t_0 و t_1 را محاسبه کرد. خروجی مدل مارکوف که همان ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌هاست از نظر ماهیت غیرمکانی است، در نتیجه سلول‌های خودکار با اضافه کردن مؤلفه مکانی به زنجیره مارکوف نقشه آینده کاربری و پوشش اراضی را با استفاده از نقشه‌های تناسب تبدیل پوشش و فیلتر مجاورت و طی فرآیند تخصیص چند منظوره اراضی پیش‌بینی کرد (۲۱، ۱۰). دلایل استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف در پژوهش حاضر قابلیت شبیه‌سازی پویا، کالبراسیون ساده، راندمان بالا با کمبود داده و شبیه‌سازی انواع کاربری و پوشش اراضی گوناگون با الگوهای پیچیده بود (۲۲، ۲۴، ۱۴). ماژول MCE در ایدریسی با مدل سلول‌های خودکار مارکوف منطبق شده است و نقشه‌های تناسب تبدیل به طبقه‌های مختلف کاربری اراضی تولید می‌کند.

آماده‌سازی نقشه‌های تناسب تبدیل

تهیه نقشه‌های تناسب برای طبقه‌های مختلف کاربری اراضی شرطی ضروری برای مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است. طبق گزارشات به عمل آمده تهیه نقشه‌های تناسب مرحله‌ای دشوار از مدل‌سازی است که بستگی به میزان دسترسی به داده‌ها و اطلاعات دارد (۱۸، ۱۴). ابتدا لایه‌های مؤثر در کاربری اراضی منطقه براساس مطالعات میدانی و سوابق تحقیق انتخاب شدند (جدول ۳). استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از ماژول Fuzzy انجام

گرفت. در بخش نتایج لایه‌های فاکتورهای فازی شده آمده است. فاکتورها براساس توابعی خاص به محدوده‌های ویژه صفر تا ۲۵۵ مقیاس‌گذاری مجدد شدند. انتخاب توابع عضویت مورد نیاز برای استانداردسازی، به اطلاعات کاربر درباره چگونگی تغییر مطلوبیت برای هر فاکتور وابسته است. ویژگی‌های مربوط به استانداردسازی معیارها برای هر فاکتور بیان شده است (جدول ۴). پس از آنکه تمام فاکتورها استاندارد شدند باید وزن‌دهی شوند. ماژول WEIGHT از فن مقایسه جفتی برای وزن‌دهی به فاکتورها که مجموع آن یک می‌شود استفاده شد. فاکتورها به صورت دوجه دو براساس اهمیت نسبی آن‌ها برای کاربری در نظر گرفته شده مقایسه شدند. پس از آنکه تمام ترکیبات ممکن بین دو فاکتور مقایسه شد، ماژول، وزن‌ها و نسبت توافق^۱ را محاسبه می‌کنند (جدول ۵) و اگر مقدار آن کمتر از یک‌دهم باشد، دلالت بر سطح قابل قبول سازگاری مقایسه‌های دو به دو دارد. نقشه‌های تناسب با استفاده از زیرمدل MCE و از دو نوع لایه اطلاعاتی به نام‌های لایه‌های بولین^۲ و لایه‌های فازی^۳ به دست آمده در مرحله قبل تهیه شد. لایه‌های بولین دارای ارزش صفر و یک هستند و نشان‌دهنده محدودیت‌های قطعی‌اند. آن‌ها شامل لایه‌های جاده، روستا و صخره‌اند درحالی‌که لایه‌های فازی و شبه آن دارای دامنه‌ای از اعدادند و نشان‌دهنده امکان برقراری شرط‌های مختلف با درجات متفاوت هستند. درنهایت برای هر کاربری جداگانه لایه‌های محدودیت و لایه‌های فازی در ماژول MCE ادغام شدند (۲۹). نقشه‌های تناسب تبدیل هر ۵ کاربری شامل اراضی کشاورزی و باغی، اراضی کشاورزی دیم، اراضی مرتع، پلایا، اراضی بدون پوشش و تپه‌ماسه‌ای تهیه شد.

برای تهیه نقشه مناطق حساس به بیابان‌زایی آتی از نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۳۵ استفاده شد و با تخصیص امتیازات جدید در شاخص‌های مدیریت، شدت کاربری و پوشش اراضی در مدل مدالوس از ترکیب دو مدل استفاده شد. معیارهای اقلیم و خاک در طی دوره مورد بررسی ۳۰ ساله ثابت فرض شده است.

3 Fuzzy

1 Consistency
2 Boolean

جدول ۴. مشخصات مربوط به استانداردسازی فاکتورها

کاربری	عامل‌ها	نوع تابع عضویت فازی	نقاط کنترل
کشاورزی و باغات	شیب		a=0, b=8
	تراکم جمعیت		a=0, b=120
	فاصله تا منابع آبی		a=0, b=8357m
	عمق آب زیرزمینی		a=6, b=71
	فاصله از اراضی کشاورزی	سیگموئیدی-کاهشی	a=0, b=11475m
	فاصله تا جاده		a=0, b=5173m
	فاصله تا روستا		a=0, b=10080m
کشاورزی دیم	تناسب کشاورزی		a=3, b=6
	شیب	سیگموئیدی-کاهشی	a=0, b=15
	بارش		a=152, b=320
	تراکم جمعیت	سیگموئیدی-افزایشی	a=0, b=120
	فاصله از منابع آبی		a=0, b=8357m
	فاصله از اراضی کشاورزی		a=0, b=11475m
	فاصله تا روستا	سیگموئیدی-کاهشی	a=0, b=10080m
پلایا و اراضی بدون پوشش	تناسب کشاورزی		a=3, b=6
	شیب	سیگموئیدی-کاهشی	a=0, b=2
	ارتفاع	مقارن	a=1255, b=1461, c=1483, d=2000m
	خاک	سیگموئیدی-افزایشی	a=1, b=9
	هم‌عمق آب زیرزمینی	سیگموئیدی-کاهشی	a=5, b=71
	شیب		a=0, b=894
	جهت	سیگموئیدی-افزایشی	a=1, b=9
مرتع	فاصله از منابع آبی	سیگموئیدی-کاهشی	a=0, b=8357m
	فاصله از جاده		a=0, b=5173m
	فاصله از روستا	سیگموئیدی-افزایشی	a=0, b=10080m
	تناسب مرتع		a=3, b=6
	شیب		a=0, b=8
	ارتفاع	سیگموئیدی-کاهشی	a=1255, b=1600m
	هم‌عمق آب زیرزمینی		a=5, b=55
تپه ماسه‌ای	فاصله از تپه ماسه‌ای		a=0, b=48685m
	زمین‌شناسی	سیگموئیدی-افزایشی	a=1, b=9

جدول ۵. نتایج وزن دهی فاکتورها با روش AHP

نسبت توافق	کاربری‌ها	فاکتورها
۰/۰۹	کشاورزی آبی	شیب ۰/۰۶۷۹ جمعیت ۰/۰۲۸۷ فاصله تا منابع آب ۰/۲۰۷۷ عمق آب زیرزمینی ۰/۱۶۴۳ کشاورزی ۰/۲۱۱۳ فاصله تا اراضی ۰/۰۵۷۷ فاصله تا روستا ۰/۰۶۹۲ تناسب برای کشاورزی ۰/۱۹۳۱
۰/۱۰	کشاورزی دیم	شیب ۰/۰۵۴۹ فاصله تا منابع آب ۰/۰۹۰۸ فاصله تا روستا ۰/۱۷۵۰ بارش ۰/۲۴۵۰ جمعیت ۰/۰۳۸۵ کشاورزی ۰/۰۹۲۱ فاصله تا اراضی ۰/۰۳۳۷ تناسب برای کشاورزی ۰/۳۰۳۷
۰/۰۵	پلایا/اراضی بدون پوشش	شیب ۰/۲۳۳۶ خاک ۰/۵۹۴۰ ارتفاع ۰/۱۰۵۴ عمق آب زیرزمینی ۰/۰۶۷۰
۰/۰۲	مرتع	شیب ۰/۱۹۴۳ جهت ۰/۲۹۹۶ فاصله تا منابع آب ۰/۰۴۶۲ فاصله تا جاده ۰/۰۴۳۴ فاصله تا روستا ۰/۰۹۵۲ تناسب برای مرتع ۰/۳۲۱۳
۰/۰۴	تپه ماسه‌ای	شیب ۰/۱۷۲۷ ارتفاع ۰/۰۸۴۵ عمق آب ۰/۰۴۷۱ فاصله تا تپه ماسه‌ای ۰/۲۷۱۶ زمین‌شناسی ۰/۴۲۴۱

■ نتایج

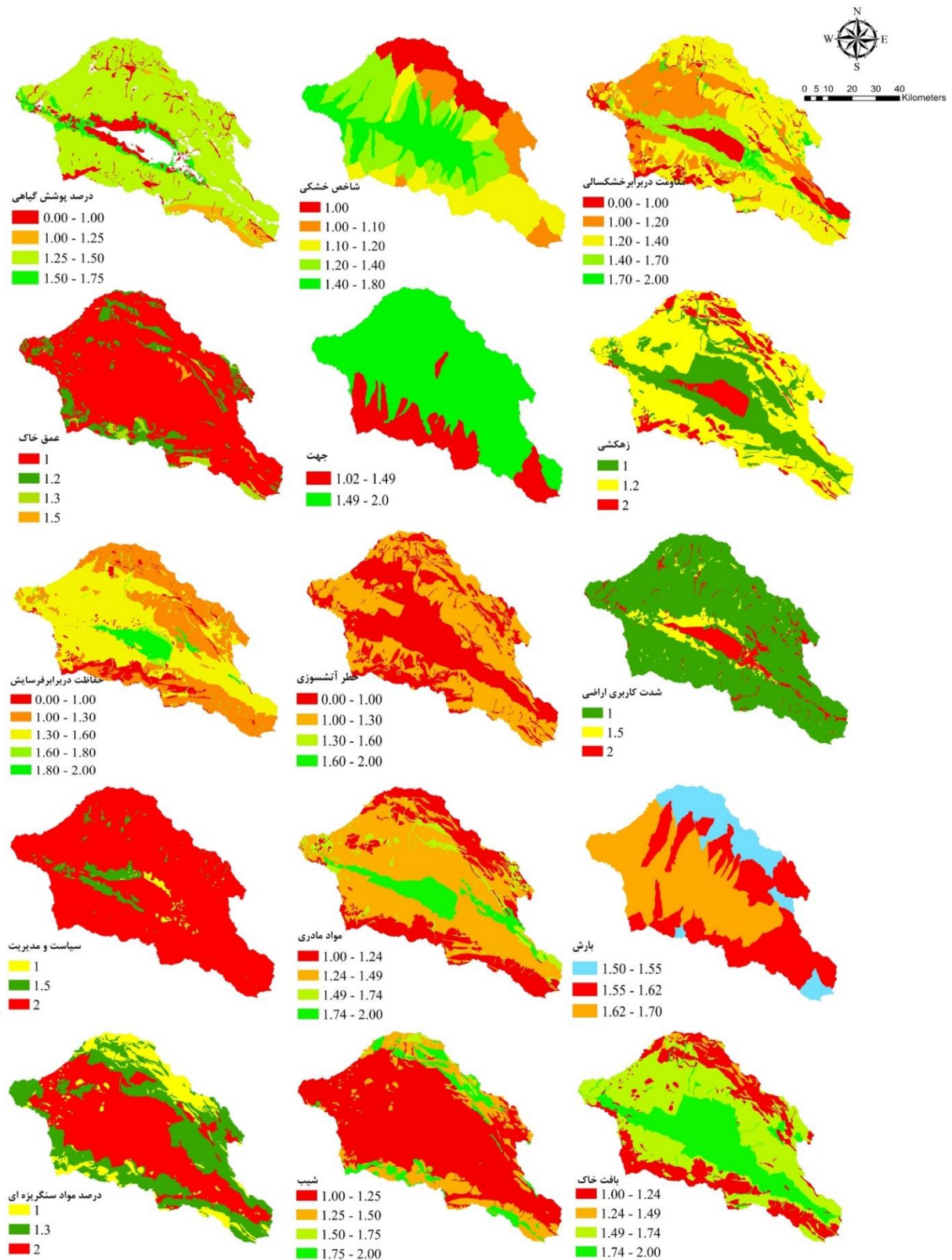
در پژوهش حاضر صرفاً چهار معیار مدل اصلی مدالوس بررسی شد ولی دامنه امتیازات شاخص‌ها براساس منطقه مورد مطالعه تغییر یافته بود. پس از بررسی شاخص‌های تعیین شده و امتیازدهی به آن‌ها، میانگین هندسی لایه‌های شاخص‌ها در هر معیار محاسبه و امتیاز هر معیار تعیین شد (شکل ۴). میزان تأثیر هر کدام از شاخص‌های هر معیار در نمودار شکل (۵) نشان داده شده است. با مقایسه میزان تأثیر هر سه شاخص در معیار اقلیم، مؤثرترین شاخص در بیابان‌زایی منطقه شاخص بارش با میانگین وزنی ۱/۶۰ به دست آمد. طبق نتایج، دو معیار اقلیم و مدیریت و سیاست به ترتیب با امتیاز ۱/۴۷ و ۱/۴۲ بیشترین تأثیر در بیابان‌زایی منطقه را داشتند. معیار کیفیت اقلیم، با ۰/۷۶/۵ از مساحت حوزه در طبقه کیفیت متوسط قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده از محاسبه معیار کیفیت خاک نیز ۹۱/۲۸٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه در طبقه متوسط قرار گرفت. درکل میانگین معیار کیفیت خاک ۱/۲۵ به دست آمد. نتایج ارزیابی معیار پوشش گیاهی نشان داد که ۸۲/۹۴٪ از سطح منطقه به طور مشابه در طبقه کیفیت متوسط قرار گرفت و میانگین امتیاز این معیار ۱/۲۶ به دست آمد (شکل ۶) و میانگین امتیازات مربوط به شدت کاربری اراضی ۱/۳۷ به دست آمد. بیشترین امتیاز مربوط به اراضی پلایا و بدون پوشش و رتبه بعدی دیم‌زارها

و در آخر اراضی زراعی و باغی با امتیاز ۱/۶۴ است و کم‌ترین امتیاز نیز متعلق به شدت استفاده از اراضی مرتعی بود. شدت استفاده از اراضی در مراتع به دلیل کمتر شدن نرخ ASR از SSR امتیاز این شاخص به جز در زیرحوزه‌های M9 و M15 خوب ارزیابی شد. متوسط امتیاز شاخص سیاست‌های موجود در حفاظت محیط در کل کاربری‌ها ۱/۵۳ به دست آمد. در اراضی زراعی و باغی مقدار امتیاز این شاخص ۱/۶۴ محاسبه شد و برای اراضی دیم ۱/۹۶ به دست آمد. در اراضی مرتعی و پلایا/اراضی بدون پوشش مقدار این شاخص در بالاترین حد، نزدیک به ۲ بود. در نهایت امتیاز کلی معیار مدیریت ۱/۴۲ به دست آمد. براساس نقشه به دست آمده ۸۹/۷۴٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه، تحت کلاس متوسط کیفیت سیاست و مدیریت قرار گرفت (شکل ۶).

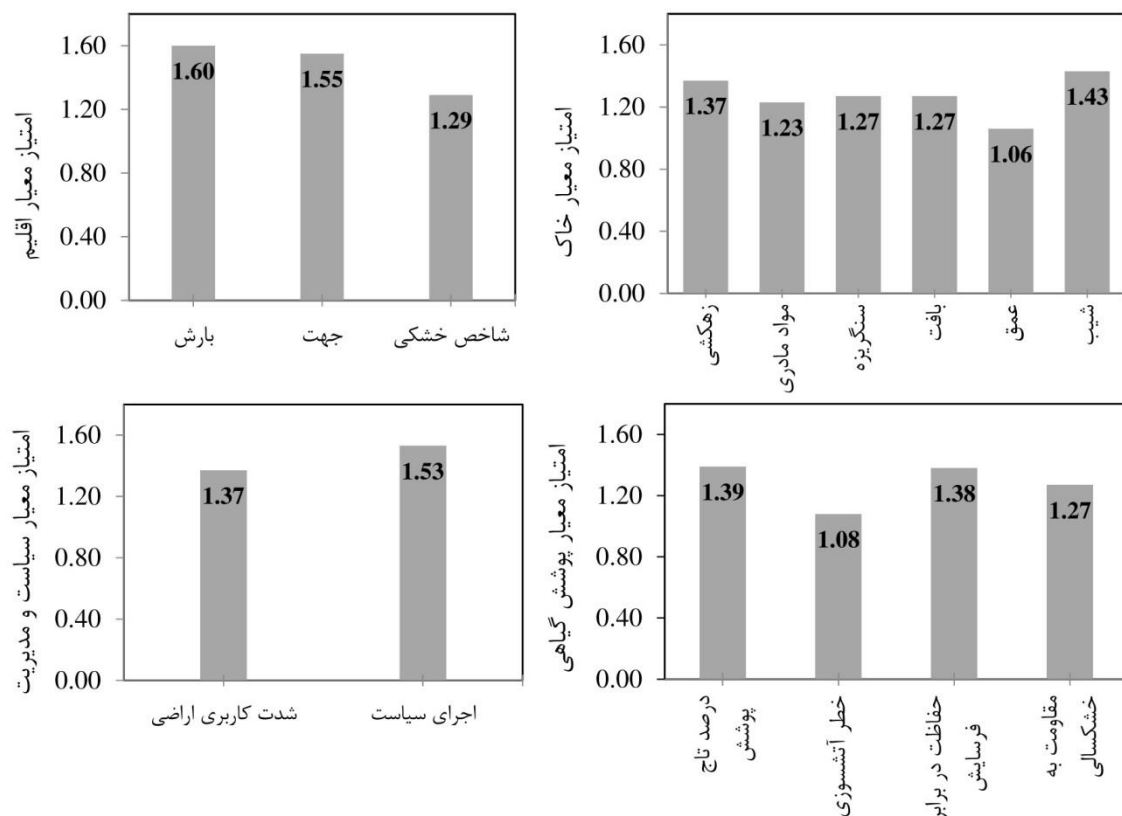
پس از تهیه نقشه وضعیت معیارها که این نقشه‌ها برای مطالعه کیفیت هر معیار و تأثیر آن‌ها در بیابان‌زایی می‌توانند به کار روند، نقشه نهایی مناطق حساس به بیابان‌زایی به دست آمد (شکل ۷). مساحت طبقه مناطق حساس به بیابان‌زایی نیز محاسبه شد. طبق جدول ۶۸/۷۷٪ حوزه در وضعیت شکننده الف تا ج قرار گرفته‌اند و ۳۰/۹٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه در طبقه بحرانی الف تا ج قرار دارد (جدول ۶).

جدول ۶. توزیع فراوانی طبقه‌های شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی به روش ESAs

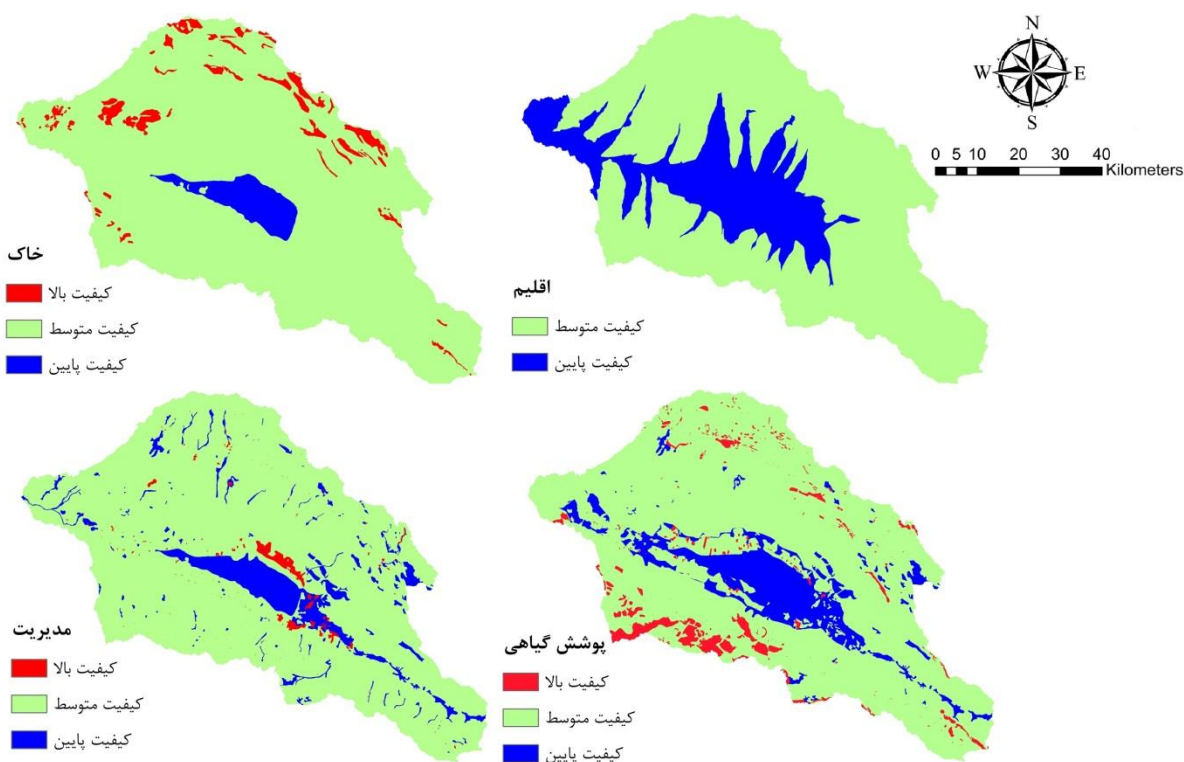
طبقه حساسیت	بی‌اثر	پتانسیل	شکندۀ درجه ۱	شکندۀ درجه ۲	شکندۀ درجه ۳	بحرانی درجه ۱	بحرانی درجه ۲	بحرانی درجه ۳
درصد مساحت	۰/۰۵	۰/۴۴	۱/۳۷	۱۹/۳۸	۴۸/۰۱	۱۵/۴۱	۹/۷۸	۵/۷۰



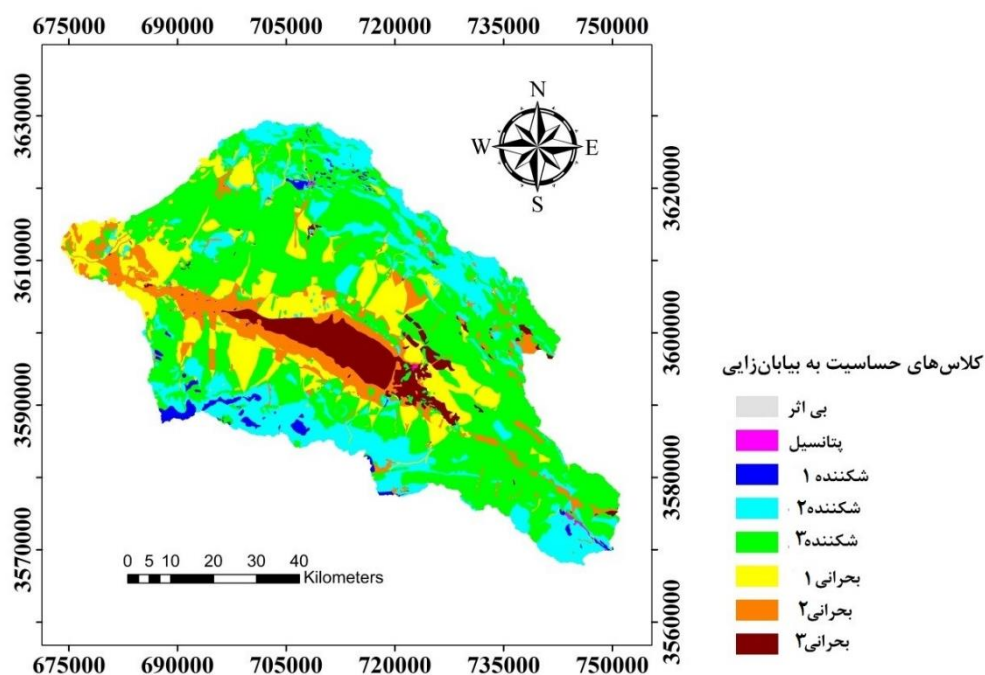
شکل ۴. لایه‌های شاخص‌های مؤثر در ارزیابی بیابان‌زایی به روش مدل‌های



شکل ۵. مقایسه تأثیر شاخص‌های هر معیار در بیابان‌زایی



شکل ۶. نقشه کیفیت معیارهای مدل مدالوس



شکل ۷. نقشه حساسیت حوزه آبخیز دشت مختاران به پدیده بیابان‌زایی

زمانی مورد نظر، میزان مساحت هر یک از کاربری‌ها برای حوزه مختاران مشخص شد (جدول ۷). صحت طبقه‌بندی (۳۳) با مقایسه نمونه‌های واقعیت زمینی و تصویر طبقه‌بندی شده و به‌دست‌آوردن ضرایب کاپا برای هر طبقه، کاپای کلی بین ۰/۸۲ تا ۰/۹۱ محاسبه شد (جدول ۸). نتایج صحت طبقه‌بندی برای سال ۲۰۰۳ آمده است (جدول ۹).

پس از تهیه نقشه فعلی مناطق خطر بیابان‌زایی، شبیه‌سازی کاربری اراضی آینده، به‌عنوان دینامیک اصلی و اثرگذار در بیابان‌زایی آینده انجام شد.

مدل‌سازی کاربری اراضی

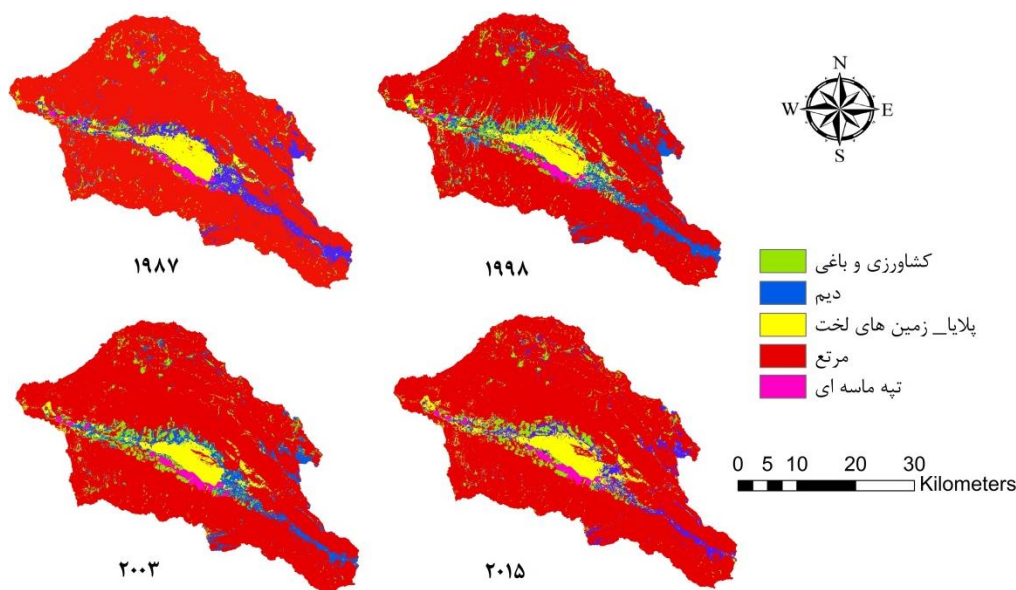
نقشه طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ تهیه شد (شکل ۸). با استخراج اطلاعات مربوط به تغییرات صورت‌گرفته، طی بازه

جدول ۷. مساحت کاربری‌های دشت مختاران بیرجند طی دوره‌های زمانی مورد بررسی (km^2)

کاربری	۱۹۸۷	۱۹۹۸	۲۰۰۳	۲۰۱۵
اراضی کشاورزی و باغی	۱۰۰/۶۷	۱۰۹/۹۹	۱۱۱/۰۵	۱۲۶/۰۲
اراضی دیم	۲۰۸/۸۹	۲۰۱/۹۶	۱۶۸/۲۰	۱۴۰/۶۰
پلایا و اراضی بدون پوشش	۱۲۰/۰۹	۱۷۷/۴۷	۱۳۱/۶۷	۱۴۱/۹۶
مرتع	۱۹۷۱/۶۰	۱۹۰۹/۲۱	۱۹۸۶/۰۵	۱۹۹۰/۴۳
اراضی تپه ماسه‌ای	۲۵/۷۰	۲۸/۳۱	۲۹/۹۵	۲۷/۹۰

جدول ۸. ضرایب کاپا

تصاویر	مقدار کاپا
۱۹۸۷	۰/۹۱
۱۹۹۸	۰/۸۲
۲۰۰۳	۰/۸۷
۲۰۱۵	۰/۸۳



شکل ۸. نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵

جدول ۹. نتایج صحت طبقه‌بندی برای سال ۲۰۰۳

واقعیت زمینی (پیکسل‌ها)					طبقه
کل	پایا-اراضی بدون پوشش	اراضی دیم	کشاورزی آبی و باغات	مرتع	
۸۲۳۵۸	۲۵	۱۸۸۱	۶۷۷۶	۷۳۶۷۶	مرتع
۳۳۵۳۰	۱	۴۱۴	۳۲۰۶۰	۱۰۵۵	کشاورزی آبی و باغات
۲۸۴۰۸	۷۲	۱۷۶۶۷	۹۳۳۵	۱۳۳۴	اراضی دیم
۱۶۱۰۴	۱۳۲۴۸	۲۰۰۳	۷۴۰	۱۱۳	اراضی پایا - بدون پوشش
۱۶۰۴۰۰	۱۳۳۴۶	۲۱۹۶۵	۴۸۹۱۱	۷۶۱۷۸	کل

دقت کلی = $(۱۳۶۶۵۱ / ۱۶۰۴۰۰) \times ۱۰۰ = ۹۵/۹۳۹۱$ ٪، ضریب کاپا = $۰/۸۷۵۶$

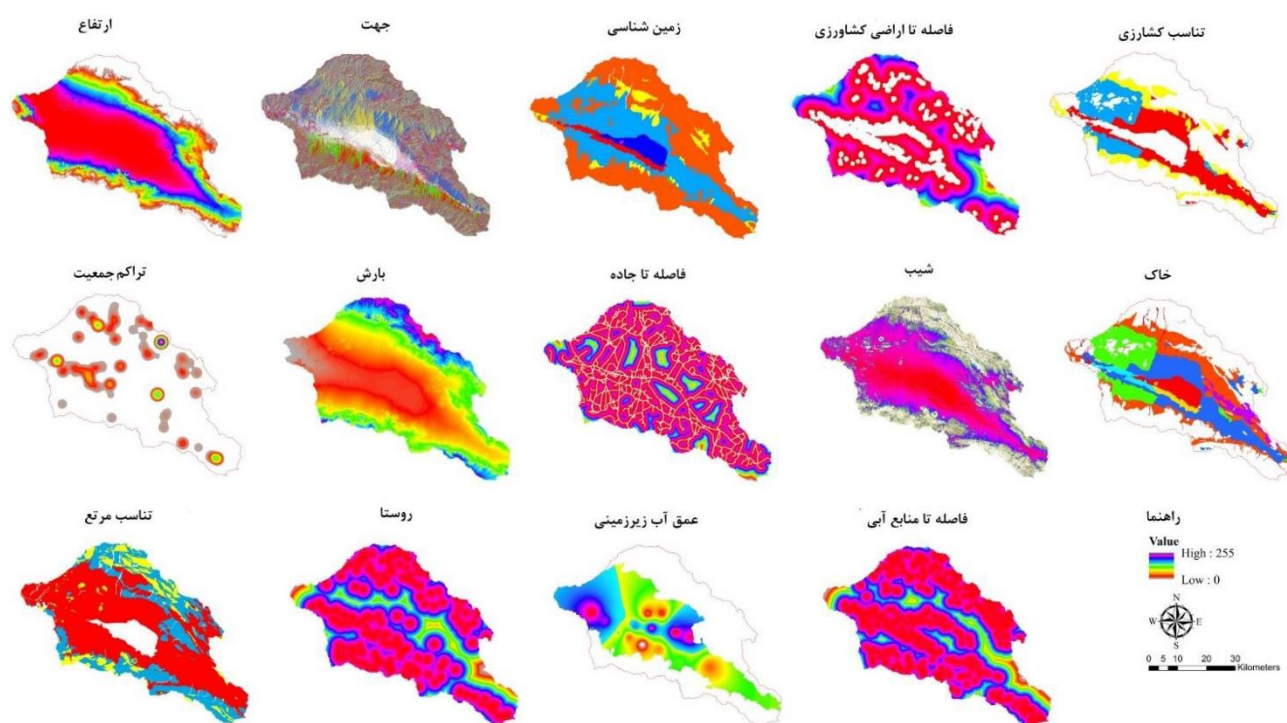
نتایج مدل

نخست ماتریس احتمال انتقال مارکوف که نشان‌دهنده احتمال انتقال از یک کاربری در سال ۱۹۸۷ به نوع دیگر در سال ۲۰۰۳ است به صورت کمی برآورد شد (جدول ۱۰). براساس داده‌های این ماتریس، گذشته از احتمال انتقال کاربری‌های یکسان به همدیگر، به ترتیب احتمال انتقال کاربری اراضی کشاورزی آبی و دیم به مرتع به ترتیب با مقدار ۰/۲۴۱۵ و ۰/۲۱۸۷ در اولویت نخست قرار دارند.

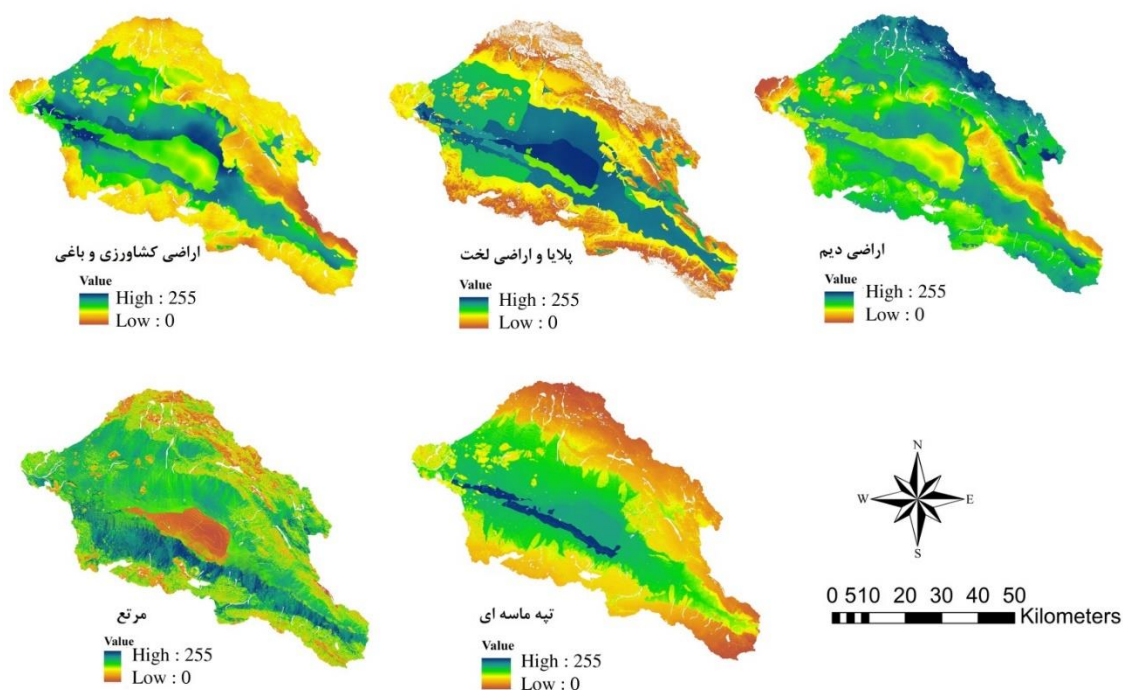
احتمال انتقال سایر کاربری‌ها به یکدیگر در درجات پایین‌تری قرار داشتند. یکی از مراحل مورد نیاز در پیش-بینی تغییرات کاربری اراضی تولید نقشه‌های تناسب است. لایه‌های فازی شده عوامل مؤثر بر تغییر کاربری اراضی به صورت نقشه آمده است (شکل ۹). در نهایت نقشه‌های تناسب برای هر طبقه به دست آمد (شکل ۱۰). صخره‌های بدون پوشش، مسیل‌ها و روستاها در فرآیند مدل‌سازی بدون تغییر باقی ماندند.

جدول ۱۰. ماتریس احتمال انتقال مارکوف

کاربری اراضی	کشاورزی آبی و باغات	دیم	پایا - اراضی بدون پوشش	مرتع	تپه ماسه‌ای
کشاورزی آبی و باغات	۰/۵۰۱۹	۰/۱۹۹۶	۰/۰۴۹۱	۰/۲۴۱۵	۰/۰۰۷۹
دیم	۰/۱۱۸۴	۰/۵۸۹۵	۰/۰۶۷۹	۰/۲۱۸۷	۰/۰۰۵۴
پایا-اراضی بدون پوشش	۰/۰۱۲۲	۰/۰۸۸۶	۰/۸۵۲۲	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۲۹
مرتع	۰/۰۱۷۰	۰/۰۱۰۲	۰/۰۰۴۱	۰/۹۶۷۶	۰/۰۰۱۱
تپه ماسه‌ای	۰/۰۱۶۴	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۲۴۳	۰/۹۵۵۰



شکل ۹. لایه‌های متغیرهای مؤثر بر تغییر کاربری اراضی حوزه مختاران



شکل ۱۰. لایه‌های نهایی تناسب برای کاربری‌های پنج‌گانه تحت مدل MCE

کلی^۱ و تطابق ناشی از مکان بین دو طبقه در نقشه‌های واقعیت و مقایسه^۲ و تطابق ناشی از مقدار بین دو طبقه در نقشه‌های واقعیت و مقایسه^۳ در واقع به‌ترتیب مشتمل بر

برای اعتبارسنجی مدل، نقشه کاربری اراضی شبیه‌سازی شده سال ۲۰۱۵ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد (شکل ۱۱). ضرایب تطابق

3 Kstandard

1 Kno

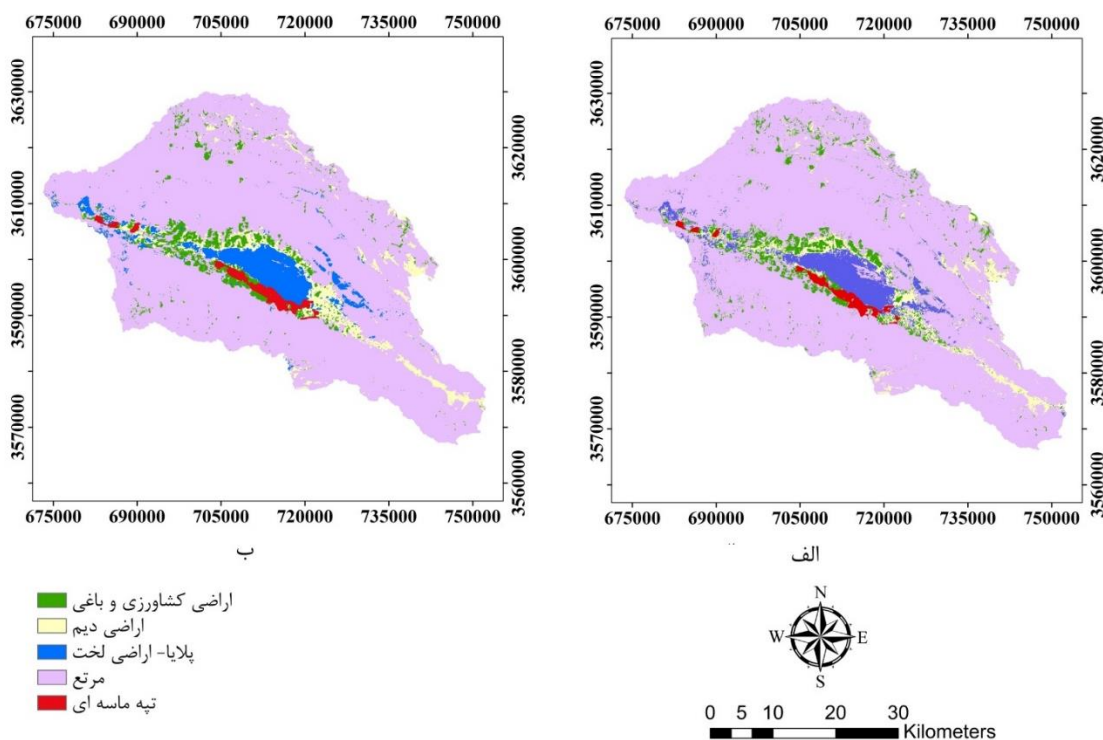
2 Klocation

که افزایش کشاورزی آبی و باغات، کاهش اراضی دیم و افزایش پلایا و اراضی بدون پوشش در سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ رخ خواهد داد. همچنین کاربری کشاورزی آبی، پلایا-اراضی بدون پوشش و مرتع سهم مساحت کمتری نسبت به سناریوی پایه دارند. درحالی که اراضی دیم و تپه ماسه‌ای سهم بیشتری نسبت به سناریوی پایه نشان دادند. درکل، پلایا و اراضی بدون پوشش نسبت به دیگر گروه‌های کاربری دارای نوساناتی بود، و در دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ سهم مساحت بیشتری نسبت به سناریوی پایه نشان داد (جدول ۱۲). همچنین نقشه شبیه‌سازی کاربری اراضی سال ۲۰۳۵ نیز آمده است (شکل ۱۲).

ضریب کاپای زمان و مکان تغییرات بوده که از هر دو به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۳ و ۰/۹۲ بوده و از این رو از درجه پذیرش مناسبی برخوردارند. ضمن اینکه در فرآیند طبقه‌بندی برای اینکه دقت قابل قبولی به دست آید، تمام نقاط واقعیت زمینی با نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی موجود از منطقه، تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث و مشاهدات صحرایی منطبق شدند تا بیشترین دقت در طبقه‌بندی انواع کاربری‌ها فراهم شود. در جدول زیر مساحت کاربری‌ها در سال ۲۰۱۵ و مقادیر پیش‌بینی شده برای مقایسه آمده است (جدول ۱۱). نتایج درصد فراوانی تغییرات گروه‌های کاربری اراضی و تغییرات نسبت به سناریوی پایه در کل چشم‌انداز نشان داد

جدول ۱۱. مساحت کاربری‌ها در سال ۲۰۱۵ و مقادیر پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۵

کاربری اراضی	نقشه واقعیت زمینی ۲۰۱۵ (km ²)	نقشه پیش‌بینی شده ۲۰۱۵ (km ²)
کشاورزی آبی و باغات	۱۲۷/۰۲	۱۳۰/۰۱
دیم	۱۴۰/۵۷	۱۳۴/۹۸
پلایا-اراضی بدون پوشش	۱۴۱/۹۵	۱۴۲/۱۲
مرتع	۱۹۹۰/۲۷	۱۹۹۲/۵۷
تپه ماسه‌ای	۲۶/۹۰	۲۶/۴۳



شکل ۱۱. (الف) نقشه واقعیت زمینی ۲۰۱۵ و (ب) نقشه پوشش اراضی پیش‌بینی شده با مدل سلول‌های خودکار مارکوف ۲۰۱۵

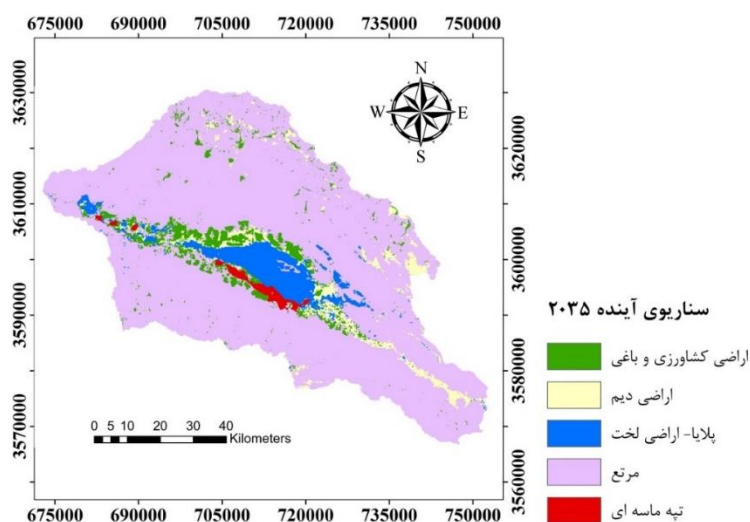
جدول ۱۲. درصد سهم تغییرات گروه‌های کاربری اراضی در کل چشم‌انداز

سناریو	گذشته	پایه	آینده
کاربری اراضی	۱۹۹۸	۲۰۰۳	۲۰۱۵
کشاورزی آبی و باغات	۴/۵۳	۴/۵۸	۵/۱۹
دیم	۸/۳۲	۶/۹۳	۵/۷۹
پلا یا اراضی بدون پوشش	۷/۳۱	۵/۴۳	۵/۸۵
مرتع	۷۸/۶۷	۸۱/۸۳	۸۲/۰۲
تپه ماسه‌ای	۱/۱۷	۱/۲۳	۱/۱۵
	۱۹۸۷	۲۰۲۵	۲۰۳۵
	۴/۱۵	۵/۴۰	۵/۴۷
	۸/۶۱	۵/۳۱	۵/۰۶
	۴/۹۵	۶/۰۴	۶/۱۴
	۷۵/۹۶	۸۲/۱۶	۸۲/۲۵
	۱/۰۶	۱/۰۹	۱/۰۸

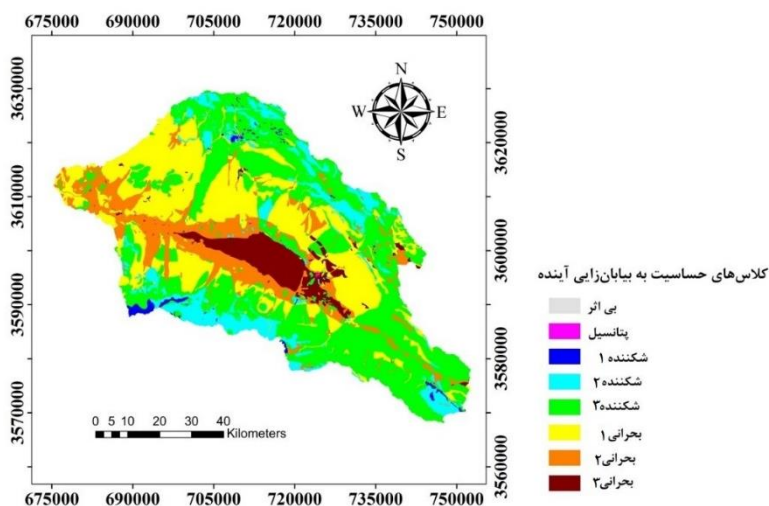
پیش‌بینی نقشه بیابان‌زایی برای آینده

نقشه بیابان‌زایی آتی با استفاده از نقشه پوشش اراضی آینده و تخصیص امتیازات جدید به شاخص‌های مربوطه پیش‌بینی و تهیه شدند (شکل ۱۳). با توجه به نقشه آینده بیابان‌زایی در منطقه، تغییر طبقه به سمت گسترش بیابان‌زایی رخ داده است و گویای پیشرفت وضعیت بیابان‌زایی در منطقه، به‌ویژه در دشت، است. مقادیر امتیاز

معیار مدیریت و سیاست از ۱/۴۲ به ۱/۵۲ در آینده افزایش یافت. براساس ارزیابی‌ها و بررسی‌های انجام‌شده متوسط وزنی ارزش کمی که نشان‌دهنده وضعیت بیابان‌زایی کل منطقه است از ۱/۳۴ به ۱/۳۷ افزایش یافت. مساحت طبقه‌های وضعیت بیابان‌زایی برای حال و آینده محاسبه شده است (جدول ۱۳).



شکل ۱۲. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی آینده



شکل ۱۳. نقشه آینده وضعیت بیابان‌زایی دشت مختاران به روش مدالوس

جدول ۱۳. توزیع فراوانی طبقه‌های شدت وضعیت فعلی و آینده بیابان‌زایی

طبقه	مناطق حساس به بیابان‌زایی در شرایط فعلی		پیش‌بینی مناطق حساس به بیابان‌زایی برای آینده		درصد تغییرات نسبت به وضعیت گذشته
	مساحت (km ²)	مساحت (%)	مساحت (km ²)	مساحت (%)	
نامربوط	۱/۳۱۲	۰/۰۵	۱/۳۱۲	۰/۰۵	-۰/۰۰
پتانسیل	۶/۳۲	۰/۲۶	۲/۳۸۶	۰/۰۹۸	-۶۲/۲۸
شکندۀ ۱	۳۳/۳۳	۱/۳۷	۲۳/۱۰۹	۰/۹۵	-۳۰/۶۷
شکندۀ ۲	۴۷۰/۴۵	۱۹/۳۸	۲۴۹/۲۵۳	۱۰/۲۶	-۴۷/۰۱
شکندۀ ۳	۱۱۶۵/۴۵	۴۸/۰۱	۹۶۸/۶۸	۳۹/۹۱	-۱۶/۸۸
بحرانی ۱	۳۷۴/۰۷	۱۵/۴۱	۶۹۵/۱۴	۲۸/۶۴	۸۵/۸۲
بحرانی ۲	۲۳۷/۵۶	۹/۷۸	۳۳۴/۹۳	۱۳/۷۹	۴۰/۹۸
بحرانی ۳	۱۳۸/۵۵	۵/۷۰	۱۵۲/۲۵	۶/۲۷	۹/۸۸

■ بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از بررسی شاخص‌ها و معیارهای تعیین‌شده در منطقه، علاوه بر ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی، مؤثرترین معیارها در ایجاد بیابان‌زایی این منطقه به ترتیب معیار کیفیت اقلیم با امتیاز ۱/۴۷ و معیار کیفیت مدیریت و سیاست با امتیاز ۱/۴۲ معرفی شدند. دلیل این امر ویژگی‌ها و شرایط اقلیمی منطقه و توسعه غیراصولی انسان بوده است. با توجه به نقشه معیارها، کلاس کیفیت متوسط سطح وسیعی را در تمام نواحی منطقه در بر گرفته است و شامل دشت‌سرها، اراضی کشاورزی و مناطقی است که پوشش گیاهی دست کاشت در آنها ایجاد شده است. ۱۲/۵۶٪ از سطح منطقه تحت کلاس کیفیت پایین و شامل اراضی دق و شوره‌زار است که امکان رشد گیاه در آنها وجود ندارد و به صورت بایر درآمده‌اند. همچنین بدلندها و اراضی دیم را نیز شامل می‌شود. براساس نتایج حاصل از اجرای این مدل ۳۰/۹۰٪ از منطقه مورد مطالعه در طبقه بحرانی و ۶۸/۷۷٪ از سطح منطقه، در طبقه بیابان‌زایی شکندۀ قرار گرفته است. درصد کمی از مساحت حدود ۰/۲٪ در طبقه حساسیت بالقوه قرار داشت. نتایج نشان دادند که حساسیت بیشتر رخساره‌های منطقه، به‌ویژه مناطق کوهستانی، در طبقه شکندۀ طبقه‌بندی شده بودند و عمده مناطق با حساسیت شدید طبقه بحرانی در دشت واقع شده‌اند و این امر، تأییدکننده لزوم توجه بیشتر به این مقوله در این منطقه است. همچنین نتایج مشابهی در تحقیق دیگری در بررسی وضعیت بیابان‌زایی با مدل

مدالوس اصلاح‌شده در دشت سگری واقع در شرق شهر اصفهان به دست آمد. براساس نتایج ۶۳٪ از منطقه در طبقه بیابان‌زایی شدید قرار گرفته و معیار اقلیم و مدیریت و سیاست از عوامل مهم فرآیند بیابان‌زایی در منطقه شناخته شدند که با نتایج تحقیق حاضر هم‌سو بود (۴). پژوهشی در حوزه آبخیز هوندا مصر با استفاده از مدل مدالوس بیش از نیمی از وسعت حوزه، ۶۱٪، در طبقه حساسیت بالقوه تا حساسیت کم طبقه‌بندی شدند. توزیع مکانی مناطق خطر با درجه‌های مختلفی از حساسیت در رابطه با کیفیت اقلیم و عوامل انسانی هم‌سو بود. مناطق با حساسیت شدید به بیابان‌زایی در اثر فشار انسانی شدید یا تحت تأثیر خشکی زیاد یا ترکیب هم‌زمان هر دو عامل انسانی و اقلیمی به وجود آمده‌اند (۵).

تغییر کاربری و پوشش اراضی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی بیابان‌زایی شناخته شده است؛ زیرا تخریب محیط‌زیست همیشه با حذف پوشش گیاهی طبیعی پدید می‌آید (۳۱). نتایج آشکارسازی تغییرات نشان دادند که از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۳ اراضی کشاورزی، اراضی بدون پوشش و مرتع و تپه ماسه‌ای افزایش داشته‌اند. درحالی‌که اراضی دیم با کاهش مساحت همراه بود و تغییرات در هر دو کاربری مرتع و پلایا و اراضی بدون پوشش نوساناتی داشتند. در کل دوره مورد مطالعه (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵) ۶۸/۲۹ km² از وسعت اراضی دیم کاسته و ۲۵/۳۵ km² به اراضی کشاورزی و باغی افزوده شده است. همچنین کاربری پلایا و اراضی بدون پوشش تغییرات به‌سمت

آنها پس از چند سال با کاهش حاصلخیزی خاک، به‌صورت بدون پوشش رها شده و بدون پوشش گیاهی در برابر وزش بادهای شدید قرار گرفته و موجبات فرسایش بادی را فراهم می‌آورد. اما در بیشتر موارد به‌دلیل عدم مدیریت صحیح اراضی به‌ویژه استفاده بیش‌ازحد از مراتع، بوته‌کشی‌ها، اختصاص اراضی به کشت دیم سبب شده است که فرسایش به‌طور تصاعدی تشدید یابد و تنوع در میزان، شدت و اشکال فرسایشی ایجاد شود که خود نمودی از بیابان‌زایی است.

در پژوهشی که در حوزه آبخیز هولولانگات مالزی انجام شد یک نمونه ادغام‌سازی با تلفیق مدل هیدرولوژیکی SWAT و مدل سلول‌های خودکار مارکوف به‌منظور بررسی تأثیر کاربری و پوشش اراضی بر شرایط هیدرولوژیکی حوزه صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی SWAT براساس سناریوی آینده افزایش معنی‌داری در رواناب مستقیم ماهانه و بار رسوب ماهانه نشان داد (۲۳). در پژوهش حاضر ضمن پذیرش صحت کاپا برای این منطقه مدل سلول‌های خودکار مارکوف در تخمین مساحت حساس‌ترین طبقه برای فرآیند بیابان‌زایی مؤثر بوده است کاربری پلایا و اراضی بدون پوشش حساس‌ترین مناطق به بیابان‌زایی تشخیص داده شدند. نتایج دیگری با کاربرد مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در پیش‌بینی مناطق حساس به بیابان‌زایی در حوزه ویرا برزیل نشان دادند که ضمن پذیرش صحت مدل مارکوف طبقه خاک بدون پوشش به‌عنوان حساس‌ترین طبقه به بیابان‌زایی معرفی شد و بعد از آن طبقه اراضی زراعی و مراتع بود (۷). در پژوهش جدیدی حساسیت به بیابان‌زایی در شمال شرقی برزیل با ادغام مسیرهای تغییرات کاربری و پوشش اراضی با سه سناریوی متفاوت تغییر اقلیم و پیش‌بینی رشد جمعیت برای چند دوره زمانی با سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 مورد ارزیابی قرار گرفت (۳۴). مدیریت اراضی در میان تمام شاخص‌های موجود در تجزیه و تحلیل، عامل اصلی حساسیت به بیابان‌زایی تشخیص داده شد. این نتیجه بیانگر پیروی کردن از سیاست‌های پایدار کاربری اراضی برای استراتژی‌های تعدیل و سازگاری در منطقه است. درحقیقت رابطه کاربری اراضی و بیابان‌زایی رابطه‌ای متقابل است که همدیگر را تشدید می‌کنند (۳۲). با توجه

افزایش وسعت این اراضی به‌میزان $26/86 \text{ km}^2$ بوده است. روند تغییرات اراضی مرتعی نیز با $18/83 \text{ km}^2$ افزایش داشته است. ضمن اینکه میزان تغییرات طی دوره‌های مورد مطالعه یکسان نبوده است (جدول ۶). نتایج شبیه‌سازی، افزایش کشاورزی آبی و باغات، کاهش اراضی دیم و افزایش وسعت اراضی پلایا و بدون پوشش را برای سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ نشان دادند. در مطالعه‌ای (۲۷) با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند کاربری اراضی در یک منطقه خشک برای سال ۲۰۲۰ نشان دادند که کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ به‌طور قابل توجهی تغییر کرده است.

هرچند تحقیقات متعددی در حوزه بیابان‌زایی استفاده از مدل در راستای پیش‌بینی روند تخریب اراضی انجام شده بود ولی با تلفیق مدل شبیه‌سازی سلول خودکار مارکوف و مدل بیابان‌زایی مدالوس، به‌عنوان روشی مناسب برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی در حوزه مورد مطالعه بررسی شد. نتایج حاکی از کاهش مساحت مناطق حساسیت شکننده و پتانسیل و افزایش مناطق بحرانی نسبت به مساحت نقشه بیابان‌زایی، براساس سناریوی پایه است. با محاسبه مساحت طبقه‌های وضعیت بیابان‌زایی برای حال و آینده، مناطق دارای حساسیت در طبقه بحرانی ۱، ۲ و ۳ طی ۲۰ سال آینده افزایش خواهند یافت که این تغییر طبقه از شکننده به بحرانی رخ خواهد داد. درحقیقت با تغییر مساحت طبقه شکننده الف، ب و ج به طبقه بحرانی، افزایش روند بیابان‌زایی در آینده پیش‌بینی شده است. نتایج نشان داد که بیشترین تغییر طبقه مربوط به افزایش مساحت مناطق بحرانی الف از $374/07 \text{ km}^2$ به مساحت $695/14 \text{ km}^2$ رخ داده است. بیشترین کاهش در طبقه پتانسیل با تغییر مساحت از $6/32 \text{ km}^2$ به $2/386 \text{ km}^2$ همراه بوده است. همچنین تغییر در طبقه شکننده با کاهش مساحت از $68/77\%$ به $51/13\%$ در آینده رخ خواهد داد. تغییر طبقه مساحت در طبقه بحرانی ج نشان‌دهنده افزایش بیابان‌زایی در طبقه اراضی بدون پوشش و پلایاست. از عوامل تمرکز طبقه وضعیت بحرانی در دشت مختاران این است که بیشترین اراضی کشاورزی و جمعیت در دشت قرار گرفته است. فشار روی منابع آب زیرزمینی، وجود خشکسالی‌های اخیر و تغییر کاربری اراضی مرتعی و شخم

به تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خطر بیابان‌زایی، نتایج پژوهش حاکی از آن بود که با تغییرات مثبت اراضی کشاورزی در طول دوره مطالعه از میزان مراتع کاسته شده است. از طرف دیگر با گسترش اراضی بدون پوشش و اراضی کشاورزی رها شده بر میزان مراتع فقیر افزوده شده و این گویای آن است که منطقه متأثر از خشکسالی‌های اخیر بوده است و افت کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی و استفاده نامناسب از اراضی مزید علت آن بوده است. روند روبه‌رشد اراضی تپه ماسه‌ای از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۵ ادامه داشت و از سال ۲۰۱۵ به دلیل تغییرات جزئی هم در جابجایی این اراضی و هم در تبدیل به اراضی کشاورزی، روند کاهشی داشت. ولی حرکت شن‌های روان به سمت اراضی کشاورزی و روستاها همچنان به عنوان یک مشکل به قوه خود باقی مانده است. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده در این پژوهش باید اذعان کرد که انسان نمی‌تواند در بهبود شرایط عوامل محیطی، همچون اقلیم و خاک، نقش خاصی داشته باشد. بنابراین باید دامنه فعالیت‌هایش را در راستای مقابله با پدیده بیابان‌زایی معطوف به بخش‌هایی کند که بتواند تغییری در شرایط آنها ایجاد کند. بنابراین با توجه به وضعیت منابع حوزه آبخیز، لازم است هرگونه اقدامات مدیریتی با نگرش به استعداد و قابلیت‌های حوزه آبخیز در چارچوب توان و گنجایش محیط، و با اجرای دیدگاه و تفکر آمایشی و اصول توسعه پایدار که همانا توسعه متعادل است صورت گیرد (۲۵). چنین مطالعاتی می‌تواند داده‌های کمی و مناسبی را در خصوص گسترش انواع کاربری‌ها، به لحاظ مکانی، طی دوره‌های مختلف گذشته، حال و آینده در اختیار متولیان امر قرار دهد. اگرچه با پیش‌بینی تغییرات الگوی کاربری اراضی در آینده می‌توان به برنامه‌ریزی برای اجرای

مدیریت مناسب دست پیدا کرد، ولی عمل کردن طبق اصول توسعه پایدار در جهت حفظ و ایجاد شرایط پایدار برای آینده تحت تأثیر بسیاری از مسائل اکولوژیکی و اقتصادی محدودیت ایجاد می‌کند و نقش مهمی در استفاده از اراضی در آینده دارند. از نکات مهم پژوهش حاضر پتانسیل فناوری‌های GIS و سنجش از دور در تشخیص روند تغییرات و پیش‌بینی پوشش اراضی در آینده است (۱۷)، ولی به دلیل محدودیت‌های کمبود داده و عدم آزادی در انتخاب داده، شدت انتقال بین فواصل اعتبارسنجی و کالیبراسیون متفاوت بود. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر می‌تواند با توجه به چگونگی تغییرات کاربری اراضی در گذشته، حال و آینده چشم‌انداز مناسبی برای برنامه‌ریزان، به منظور مدیریت کاربری اراضی و حوزه‌های آبخیز، کنترل خطر بیابان‌زایی در آینده فراهم کند و در شناسایی زون‌های حساس و آسیب‌پذیر و احیای آنها کاربرد داشته باشد. پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری برای یافتن روش‌های جدید برای توسعه معیارها در نقشه‌های تناسب کاربری اراضی انجام شود؛ این امر می‌تواند دقت را در شبیه‌سازی‌های آینده بهبود بخشد. در روند مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف منبع داده عاملی بسیار مهم برای دقت و صحت مدل است و باید مورد توجه قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، با مدل‌سازی فاکتور اقلیم در مدل مدالوس، تأثیر این معیار نیز در نقشه پیش‌بینی بیابان‌زایی لحاظ شود. همچنین توصیه می‌شود نتایج پژوهش حاضر به منظور انتخاب اولویت‌های مکانی در اجرای طرح‌های بیابان‌زایی، مدیریت مراتع و دیگر طرح‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرد.

■ References

1. Adamo, S. B., & Crews-Meyer, K. A. (2006). Aridity and desertification: exploring environmental hazards in Jachal, Argentina. *Applied Geography*, 26(1), 61-85.
2. Agarwal, C. (2002). A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice. US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 297.
3. Araya, Y. H., & Cabral, P. (2010). Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. *Remote Sensing*, 2(6), 1549-1563.

4. Bakhshandehmehr, L., Sultani, S., & Sepehr, A. (2013). assessment of present status of desertification and modifying the MEDALUS model in Segzi plain of Isfahan. *Range and Watershed Management*, 66(1), 27-41. (in Farsi)
5. Boudjemline, F., & Semar, A. (2018). Assessment and mapping of desertification sensitivity with MEDALUS model and GIS–Case study: basin of Hodna, Algeria. *Water and Land Development*, 36(1), 17-26.
6. Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
7. De Oliveira Barros, K., Ribeiro, C. A. A. S., Marcatti, G. E., Lorenzon, A. S., de Castro, N. L. M., Domingues, G. F., de Carvalho, J.R. & dos Santos, A. R. (2018). Markov chains and cellular automata to predict environments subject to desertification. *Environmental Management*, 225, 160-167.
8. Ding, H. P., Chen, J. P., & Wang, G. W. (2009, February). A model for desertification evolution employing GIS with cellular automata. In 2009 International Conference on Computer Modeling and Simulation (pp. 324-328). IEEE.
9. Directorate General of Natural Resources and Watershed Management of South Khorasan Province., (2005). Basic Reports of Watershed Management Studies of Mokhtaran plain. (in Farsi)
10. Eastman, J., (2012). IDRISI Selva Tutorial, 45. Worcester, MA: Idrisi Production, Clark Labs-Clark University.
11. Falsoleiman, M., Hajipour, M., & Sadeghi, H. A. (2013). Comparison of the efficiency of AHP and TOPSIS multivariate methods for determination of areas suitable for pistachio cultivation in Birjand Mokhtaran plain. *Applied Geographical Science Research*, 13(31), 155-133. (in Farsi)
12. Hadeel, A. S., Jabbar, M. T., & Chen, X. (2010). Application of remote sensing and GIS in the study of environmental sensitivity to desertification: a case study in Basrah Province, southern part of Iraq. *Applied Geomatics*, 2(3), 101-112.
13. He, C., Shi, P., Chen, J., Li, X., Pan, Y., Li, J., Li, Y. & Li, J. (2005). Developing land use scenario dynamics model by the integration of system dynamics model and cellular automata model. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 48(11), 1979-1989.
14. Hyandye, C., & Martz, L. W. (2017). A Markovian and cellular automata land-use change predictive model of the Usangu Catchment. *Remote Sensing*, 38(1), 64-81.
15. Jiang, M., & Lin, Y. (2018). Desertification in the south Junggar Basin, 2000–2009: Part I. Spatial analysis and indicator retrieval. *Advances in Space Research*, 62(1), 1-15.
16. Joseph, O., Gbenga, A. E., & Langyit, D. G. (2018). Desertification risk analysis and assessment in Northern Nigeria. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 70-82.
17. Kahangwa, C., Nahonyo, C., & Sangu, G. (2020). Monitoring Land Cover Change Using Remote Sensing (RS) and Geographical Information System (GIS): A Case of Golden Pride and Geita Gold Mines, Tanzania. *Geographic Information System*, 12(5), 387-410.
18. Keshtkar, H., & Voigt, W. (2016). A spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 10.
19. Kosmas, C., Ferrara, A., Briasouli, H., & Imeson, A. (1999). Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification, in: The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, Kosmas C., Kirkby M. & Geeson, N. (Eds.). European Union 1999.

20. Ladisa, G., Todorovic, M., & Liuzzi, G. T. (2012). A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/B/C*, 49, 103-113.
21. Markov, A. A. (1907). Extension of the Limit Theorems of Probability Theory to a Sum of Variables Connected in a Chain, The Notes of the Imperial Academy of Sciences of St. Petersburg VIII Series, Physio-Mathematical College, 22(9).
22. Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sung, C. T. B., Sood, A. M., & Abbaspour, K. (2012). Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia. *Geographic Information System*, 4(6), 542-554.
23. Memarian, H., Balasundram, S. K., Abbaspour, K. C., Talib, J. B., Boon Sung, C. T., & Sood, A. M. (2014). SWAT-based hydrological modelling of tropical land-use scenarios. *Hydrological Sciences*, 59(10), 1808-1829.
24. Miller S. L., & Childers, D. (2004). Markov Processes, In: Probability and Random Processes. United States: Academic Press.
25. Mirdavoodi, H., Zahedi Pour, H., Moradi, M., Goodarzi, G. (2008). Determination of agricultural and rangeland ecological capability of Markazi using GIS. *Range and Desert Research*, 15(2), 255-242. (in Farsi)
26. National Research Council (2001). Grand challenges in environmental sciences. Canada: National Academies Press.
27. Peng, B., Wen, Z., Fan, H., Niu, Q., Guo, Y., & Gu, J. (2020). Dynamic simulation of land use change in Bashang desertification region of Hebei Province using CA-Markov Model. *Geomatics*, 14(1), 10-18.
28. Rubio, J. L., & Bochet, E. (1998). Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. *Arid Environments*, 39(2), 113-120.
29. Salman Mahini, A. & Kamyab, H. R. (2018). Remote sensing and application of GIS with Idrissi software. 1ed Edition. Gorgan: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications.
30. Salvati, L., & Bajocco, S. (2011). Land sensitivity to desertification across Italy: past, present, and future. *Applied Geography*, 31(1), 223-231.
31. Schulz, J. J., Cayuela, L., Rey Benayas, J. M., & Schröder, B. (2011). Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008). *Applied Vegetation Science*, 14(4), 571-582.
32. Silakhori, E., Ownegh, M., Salman Mahini, A., & Babaiyan, E. (2018). *Assessing the effects of observational changes and land use and climate scenarios in developing Management Program of desertification risk in the Esfarayen-Sabzevar*. PhD, Gorgan University Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan.
33. UNCCD, (2007). Climate Change and Desertification. Bonn, Germany: United Nations Convention to Combat Desertification.
34. Vieira, R. M. D., Tomasella, J., Barbosa, A. A., Martins, M. A., Rodriguez, D. A., Rezende, F. S., Carriello, F. & Santana, M. D. (2021). Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. *Land Degradation & Development*, 32(1), 224-240.
35. Wang, G., Jiang, H., Xu, Z., Wang, L., & Yue, W. (2012). Evaluating the effect of land use changes on soil erosion and sediment yield using a grid-based distributed modelling approach. *Hydrological Processes*, 26(23), 3579-3592.

36. Wijitkosum, S. (2012). Evaluation of impacts of spatial land use changes on soil loss using remote sensing and GIS in Huay Sai Royal Development Center, Thailand. *Environmental Research and Development*, 6(3), 487-493.
37. Wijitkosum, S. (2014). Critical factors affecting the desertification in Pa Deng, adjoining area of Kaeng Krachan National Park, Thailand. *Environment Asia*, 7(2), 87-98.
38. Wijitkosum, S. (2016). The impact of land use and spatial changes on desertification risk in degraded areas in Thailand. *Sustainable Environment Research*, 26(2), 84-92.
39. Wu, J., Liu, Y., Wang, J., & He, T. (2010). Application of Hyperion data to land degradation mapping in the Hengshan region of China. *Remote Sensing*, 31(19), 5145-5161.
40. Wu, R., & Tiessen, H. (2002). Effect of land use on soil degradation in alpine grassland soil, China. *Soil Science Society of America*, 66(5), 1648-1655.
41. Xiao-Li, L. I. U., Yuan-Qiu, H. E., Zhang, H. L., Schroder, J. K., Cheng-Liang, L. I., Jing, Z. H. O. U., & Zhang, Z. Y. (2010). Impact of land use and soil fertility on distributions of soil aggregate fractions and some nutrients. *Pedosphere*, 20 (5), 666-673.
42. Yang, X., Zhang, K., Jia, B., & Ci, L. (2005). Desertification assessment in China: An overview. *Arid Environments*, 63(2), 517-531.
43. Zehtabian, Gh. R. Khosravi, H& Masoudi (2014). Desertification assessment models (criteria and indicators), 1st edition, Tehran University Press. (in Farsi)

Performance Analysis of NAR Model for Short and Long Term Drought Forecasting in Arid Regions

Z. Arjmandi Harat¹, M.A. Asadi Zarch^{2*}

1. MSc of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

2. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

* Corresponding Author: amin.asadi@yazd.ac.ir

Received date: 05/05/2021

Accepted date: 13/06/2021



[10.22034/JDMAL.2021.246303](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246303)

Abstract

Drought forecasting is of particular importance in water resources management. Drought forecasting allows planners to schedule for reducing the negative impacts of drought as well as to adapt to it. Drought prediction is more important in arid regions. Because these areas are inherently water scarce and the consequences of drought in these areas are more severe. Due to the high variabilities of the temporal and spatial distribution of precipitation in these areas, the frequency of drought is higher and results in more difficulty to model and predict drought. In this study, since drought time series is nonlinear and cyclic, nonlinear autoregressive neural networks (NARs) were used to predict short-term and long-term drought in Yazd synoptic station from 2006 to 2018. Reconnaissance Drought Index (RDI) which in addition to precipitation, considers potential evapotranspiration to monitor droughts, for one, three, and six months timescales was calculated. Potential evapotranspiration was calculated using the FAO-Penman-Monteith method. The results of short-term (one month) drought prediction presented that the model provides high performance in predicting three and six months RDI values. The results of long-term (13-years) drought forecasting (without access to real drought data from 2006 to 2018) indicated that RDI values in dry months show best fit to real values in three months' timescale. To improve the efficiency of the model in the long-term drought forecasting, long-term precipitation and potential evapotranspiration (without model access to real data from 2006 to 2018) were predicted. RDI values were then calculated based on the predicted precipitation and potential evapotranspiration data. The results showed that the prediction accuracy increased in one and three months scales. Also, on six months' timescale, RDI data were more accurately predicted in dry months.

Keywords: Precipitation; Potential evapotranspiration; FAO-Penman-Monteith; Yazd; RDI





بررسی کارایی مدل NAR در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی در مناطق خشک

زهره ارجمندی هرات^۱، محمد امین اسدی زارچ^{۲*}

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

* نویسنده مسئول: amin.asadi@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳

 [10.22034/JDMAL.2021.246303](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246303)

چکیده

در مدیریت منابع آب، پیش‌بینی خشکسالی در مناطق خشک اهمیت زیادی دارد. چون به برنامه‌ریزان فرصت می‌دهد تا برای کاهش تاثیر منفی خشکسالی، سازگاری با آن را برنامه‌ریزی کنند. با توجه به تغییرپذیری زیاد زمانی و مکانی بارش در این مناطق، فراوانی وقوع خشکسالی بیشتر و مدل‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی در این مناطق سخت‌تر است. در پژوهش حاضر با توجه به ماهیت غیرخطی و چرخه‌ای سری‌های زمانی خشکسالی، از شبکه‌های عصبی خود رگرسیون غیرخطی (NARs) برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی ایستگاه همدیدی یزد در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. همچنین شاخص RDI که علاوه بر بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل را نیز در پایش خشکسالی در نظر می‌گیرد، در سه مقیاس یک، سه و شش ماهه محاسبه گردید. تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت محاسبه شد. نتایج پیش‌بینی کوتاه مدت (یک ماهه) خشکسالی نشان‌داد مدل کارایی زیادی در پیش‌بینی مقدارهای RDI سه و شش ماهه دارد. نتایج پیش‌بینی بلندمدت خشکسالی که بدون دسترسی مدل به داده‌های واقعی خشکسالی در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ انجام شد، نشان داد مقدار RDI در ماه‌های خشک در مقیاس سه ماهه تطابق بهتری با مقدار واقعی نسبت به دیگر مقیاس‌های زمانی دارد. برای ارتقا کارایی مدل در پیش‌بینی بلند مدت خشکسالی، مقدارهای بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت بلندمدت و بدون دسترسی مدل به داده‌های واقعی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸، پیش‌بینی شد. سپس مقادیر RDI بر اساس داده‌های پیش‌بینی شده بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، محاسبه گردید. نتایج نشان داد دقت پیش‌بینی در مقیاس یک و سه ماهه افزایش می‌یابد. همچنین در مقیاس شش ماهه داده‌های RDI در ماه‌های خشک با دقت بیشتری پیش‌بینی شد.

واژگان کلیدی: بارش؛ تبخیر و تعرق پتانسیل؛ فائو-پنمن-مانتیت؛ یزد؛ شاخص RDI

■ مقدمه

خشکسالی کاهش قابل توجه بارش در دوره‌ای معین است و ممکن است با عواملی مانند افزایش دما و تبخیر تشدید شود. خشکسالی در همه مناطق آب و هوایی اتفاق می‌افتد. این پدیده منجر به کاهش منابع آب در دسترس شده و بر روی رطوبت خاک، آب‌های سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد (۴). تقاضای جهانی برای آب شیرین طی دهه‌های گذشته به دلیل افزایش سریع جمعیت افزایش یافته است. بحران کمبود آب و خشکسالی از مهمترین مشکلاتی است که بشر در سال‌های اخیر با آن روبرو شده است (۱۶). انواع خشکسالی همانند هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی با کمبود بارندگی همراهند (۲۴). خشکسالی یکی از مهمترین نگرانی‌های مدیران محلی و منطقه‌ای در سراسر جهان، به ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، می‌باشد (۲۸). در واقع میزان آسیب‌پذیری جوامع مختلف در برابر تأثیر خشکسالی به عوامل متعددی از جمله میزان منابع آب موجود بستگی دارد (۲۳). مناطق خشک و فراخشک با توجه به محدودیت شدیدی که در منابع آب در دسترس دارند، دارای بوم‌نظام ضعیف و حساسی هستند. این ویژگی موجب می‌شود این مناطق آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر اقلیم‌ها در مواجهه با خشکسالی داشته باشند (۵).

آماده‌سازی و برنامه‌ریزی برای مقابله با اثرات زیان‌بار این رویداد به اطلاعات مربوط به گستردگی، شدت و مدت خشکسالی بستگی دارد. بنابراین، پایش خشکسالی در برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سیستم‌های منابع آب بسیار حیاتی است. این اطلاعات را می‌توان با شاخص‌های خشکسالی بدست آورد که اطلاعات کمی در مورد ویژگی‌های خشکسالی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد. چنین اطلاعات کمی در پایش خشکسالی بسیار مفید است (۱۷). در واقع شاخص‌های خشکسالی برای پایش خشکسالی و با تلفیق متغیرهای آب و هوایی مانند بارش، تبخیر و تعرق و دما ایجاد شده‌اند (۳۰) و با ساده‌سازی توابع پیچیده اقلیمی، شدت، گسترش، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها را کمی می‌کنند (۲۵).

شاخص‌های خشکسالی هواشناسی انحراف متغیرهای اقلیمی را در یک دوره زمانی معین از شرایط نرمال محاسبه می‌کنند (۲۲). شاخص‌های خشکسالی اقلیمی از پارامترهای اقلیمی متفاوتی برای کمی‌کردن خشکسالی بهره می‌برند. برخی از شاخص‌ها فقط براساس بارش هستند و برخی دیگر علاوه بر بارش، پارامترهای موثر دیگری مانند تبخیر و تعرق پتانسیل را نیز در نظر می‌گیرند. در بررسی حاضر، به منظور کمی‌سازی خشکسالی از شاخص RDI^۱ بهره‌گیری شد. این شاخص علاوه بر بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل را نیز در پایش خشکسالی در نظر می‌گیرد (۲۷). تشدید چرخه هیدرولوژیک یکی از پیامدهای تغییر اقلیم است که موجب می‌شود بزرگی، فراوانی وقوع و وسعت مناطق تحت تأثیر رویدادهای حدی آب و هوایی مانند خشکسالی افزایش یابد (۱۰). وقوع خشکسالی‌ها به طور قابل توجهی از نظر تعداد و شدت در طی چند دهه گذشته افزایش یافته است و مردم بیش از هر خطر طبیعی دیگر برای مدت زمان طولانی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند (۲۵). پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد روند گرم شدن زمین در آینده نیز ادامه خواهد داشت (۲۱). بنابراین انتظار می‌رود به دلیل وقوع گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، رخدادهای خشکسالی و اثرات آنها بر روی جامعه و محیط شدیدتر شود (۲۴). پیش‌بینی می‌شود کمبود آب ناشی از عدم تعادل مکانی و زمانی بین تأمین و تقاضای آب در شرایط آب و هوایی گرم‌تر شدیدتر شود (۲۵).

تأمین پایدار آب یکی از الزامات اساسی برای بقا و توسعه جوامع بشری است (۱۴). اثرهای تغییر اقلیم بر قابلیت دسترسی به آب و تقاضای آب همراه با فشارهای مستقیم ایجاد شده توسط افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی، آلودگی و اقدامات نامناسب مدیریت آب، احتمالاً منابع آب سطحی و زیرزمینی را کاهش می‌دهد و در نتیجه رقابت برای آب را افزایش خواهد داد (۲۰، ۷). پیش‌بینی خشکسالی یکی از اقدامات مهمی است که می‌تواند به برنامه‌ریزی صحیح جهت تأمین پایدار آب منجر شود (۱۹). پیش‌بینی خشکسالی یکی از اجزای مهم مدیریت بهینه منابع آب می‌باشد که به مدیران و برنامه‌ریزان بخش آب کمک

مستقیم مقدار RDI، نسبت به پیش‌بینی بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل و سپس محاسبه RDI بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، اقدام شد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی و داده‌ها

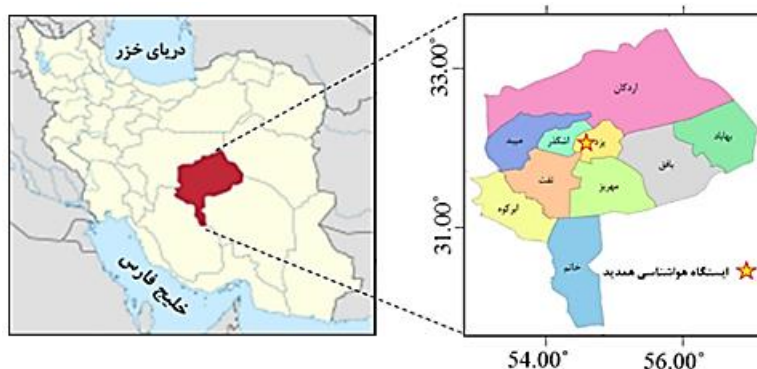
پژوهش حاضر با استفاده از آمار ایستگاه هواشناسی همدید یزد، مستقر در شهرستان یزد انجام شد. استان یزد با مساحت حدود 131575 km^2 در قسمت مرکزی فلات ایران قرار دارد. این استان در $29^\circ 35'$ تا $35^\circ 7'$ عرض شمالی و $52^\circ 50'$ تا $58^\circ 16'$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مرتفع‌ترین و پست‌ترین منطقه استان به ترتیب در قسمت جنوب غربی (شیرکوه با ارتفاع حدود 4075 m) و ارتفاع 950 m در شمال تا شمال شرقی استان واقع شده است. شهرستان یزد در ارتفاع حدود 1200 m از سطح دریا قرار دارد. در مجموع، ارتفاعات از غرب به شرق استان کاهش یافته و به همان نسبت وسعت شوره زارها و کویرها از غرب به شرق افزایشی است. ایستگاه هواشناسی همدید یزد با بیش از ۶۰ سال آمار، دارای طولانی‌ترین دوره آماری در بین ایستگاه‌های استان یزد است. در پژوهش حاضر از داده‌های بارش، دمای حداقل، حداکثر و میانگین، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی یزد با طول دوره آماری ۵۸ سال در مقیاس ماهانه از ژانویه ۱۹۶۱ معادل دی ماه ۱۳۳۹ تا دسامبر ۲۰۱۸ معادل آذر ماه ۱۳۹۷، استفاده گردید. لازم به ذکر است اختلاف ماه‌های میلادی و شمسی حداکثر ۱۱ روز می‌باشد. از بین متغیرهای مذکور، فقط داده‌های ساعات آفتابی نقص قابل توجه داشت که با استفاده از روابط رگرسیونی بین دمای متوسط و ساعات آفتابی در ماه‌های بدون نقص و اعمال آن برای ماه‌های با نقص آماری، بازسازی داده‌های ناقص ساعات آفتابی انجام شد.

روش پژوهش

محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت

می‌کند تا اثرات شدید کمبود آب ناشی از وقوع خشکسالی را کاهش دهند (۲). از این رو، محققان به دنبال پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از روش‌های مختلف و برآورد نتایج آن به منظور مدیریت و انجام اقدامات مناسب در مقابل این پدیده هستند (۱۸).

شبکه‌های عصبی مصنوعی از روش‌های متداول برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی مانند وقوع پدیده خشکسالی هستند (۱۱). این شبکه‌ها مدل‌های ریاضی و انعطاف‌پذیری هستند که می‌توانند در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده به کار برده شوند و می‌توانند یک نگاهت غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها ارائه دهند (۱۳). برای پیش‌بینی موثر داده‌های غیرخطی، محققان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN^1) را با داده‌های هیدرولوژیک گسترش داده‌اند (۳). نتایج نشان داده است روش‌های داده محور بر اساس کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای قابلیت‌های قابل توجهی در زمینه پیش‌بینی قابل اعتماد خشکسالی هستند (۲). بنابراین، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در علوم هیدرولوژیکی به‌طور ویژه شامل پیش‌بینی وقایع خشکسالی است (۲۹). در پژوهش حاضر با توجه به ماهیت غیرخطی و چرخه‌ای سری‌های زمانی خشکسالی، از شبکه‌های عصبی خود رگرسیون غیرخطی ($NARs^2$) برای پیش‌بینی وقوع خشکسالی استفاده گردیده است. نتایج نشان داده است شبکه‌های NAR از کارایی قابل قبولی در پیش‌بینی سری‌های زمانی برخوردار هستند (۱۵). این مدل‌ها می‌توانند در پیش‌بینی داده‌های غیرخطی موثر هستند (۸). تاکنون مطالعاتی برای پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل NAR انجام گرفته است. اما مطالعه‌ای که همزمان قابلیت این مدل را در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی در مناطق خشک مورد بررسی قرار دهد، یافت نشد. پراکنش بارش در مناطق خشک و فراخشک بسیار ناهمگون است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی قابلیت مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی NAR در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی در این مناطق است. در پیش‌بینی خشکسالی بلندمدت، علاوه بر پیش‌بینی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه هواشناسی همدید شهرستان یزد در کشور و در استان یزد

محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۸، شاخص RDI برای ایستگاه یزد در دوره مطالعه محاسبه گردیده است. محاسبه شاخص RDI از رابطه ۲ می باشد.

$$X_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{i=1}^k PET_{ij}} \quad (2)$$

, i = 1 to N

در رابطه ۲، P_{ij} و PET_{ij} به ترتیب نشاندهنده مقدار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماه j ام سال i ام و N بیانگر تعداد سال‌های داده در دسترس است. k بیانگر تعداد ماه‌های متممادی است. مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد اگرچه توزیع‌های لوگ‌نرمال و گاما برای برازش مقادیر X_k مناسب هستند، اما توزیع گاما برازش بهتری را ارائه خواهد کرد (۲۶). بنابراین در پژوهش حاضر بعد از برازش مقدار X_k آغازین به توزیع گاما، شاخص RDI محاسبه شده است. معادلات مربوطه برای رعایت اختصار ذکر نگردیده است (مراجعه شود به منبع ۶).

مدل NAR

در پژوهش حاضر از مدل شبکه عصبی NAR استفاده شده است (شکل ۲). خروجی‌های آینده سری زمانی در مدل NAR با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$y(t) = f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-p)) \quad (3)$$

تبخیر و تعرق یک مولفه اصلی در محاسبه بیلان آبی است و برآورد صحیح آن جهت مدیریت بهینه منابع آب با اهمیت است. به منظور برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیت (۱) از رابطه ۱ استفاده شده است:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma [890 / (T + 273)] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

که در آن:

$$ET_0 = \text{تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)}$$
$$R_n = \text{تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJm}^{-2} \text{ d}^{-1})$$

$T =$ متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (°C)

U_2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})

$e_a - e_d$ = کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)

$$\Delta = \text{شیب منحنی فشار بخار (KPa } ^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$\gamma = \text{ضرب، طوتے} \text{ (KPa } ^\circ\text{C}^{-1})$

$G =$ شا، گرما به داخل، خاک ($\text{MJm}^{-2} \text{d}^{-1}$)

سایر معادلات برای رعایت اختصار ذکر نشده است (مراجعه شود به منبع ۱). در پژوهش حاضر، تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه همدیدی یزد به صورت ماهانه برای دوره ۱۳۳۹ تا ۱۳۹۷ شمسی محاسبه شد.

RDI محاسبه شاخص

شاخص RDI (۲۷) بر اساس نسبت بین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره زمانی دلخواه و مقیاس زمانی^۱ مورد نظر قابل محاسبه است. در پژوهش حاضر پس از

پیش‌بینی می‌کند و برای پیش‌بینی بیش از یک گام زمانی، باید داده‌های واقعی متغیر مورد پیش‌بینی در تعداد گام‌های زمانی مورد پیش‌بینی به جز گام زمانی آخر در اختیار مدل قرار گیرد تا از هر مقدار واقعی در هر گام برای پیش‌بینی مقدار متغیر در گام بعدی استفاده شود (۱۲). بنابراین در این حالت مقادیر RDI یک، سه و شش ماهه در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۸ (دی ماه ۱۳۳۹ تا آذر ماه ۱۳۹۷) در اختیار مدل قرار گرفت و دوره دی ۱۳۸۴ تا آذر ۱۳۹۷ به عنوان دوره پیش‌بینی در نظر گرفته شد. همانگونه که ذکر گردید، بیشینه اختلاف ماه‌های میلادی و شمسی ۱۱ روز می‌باشد.

پیش‌بینی بلندمدت خشکسالی

در پژوهش حاضر، مدل NAR برای پیش‌بینی تعداد گام زمانی دلخواه^۴ نیز مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴). در این روش، شبکه NAR مقدار پیش‌بینی شده در گام زمانی حاضر را برای پیش‌بینی متغیر مورد مطالعه در گام زمانی بعدی مورد استفاده قرارداد (۹). در واقع مدل NAR برای پیش‌بینی تعداد گام زمانی دلخواه، پیش‌بینی گام‌های زمانی آینده را در یک فرایند مرحله به مرحله^۵ انجام داد. در ابتدا مقدار x_{t+1} با استفاده از p مقدار گذشته $x_{t+1-p}, \dots, x_{t-1}, x_t$ پیش‌بینی شد.

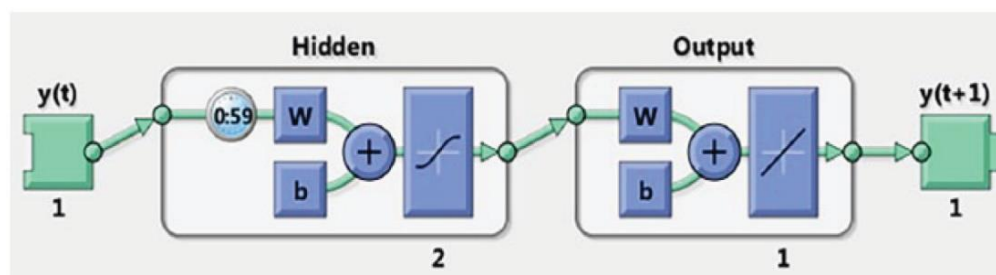
در این رابطه f یک تابع غیر خطی از متغیرهای توصیفی یا رگرسورها^۱ می‌باشد که توابع متفاوتی می‌تواند انتخاب شود. در پژوهش حاضر از شبکه عصبی پیشخور به دلیل دقت بالای آن در مدل‌سازی فرایندهای غیرخطی استفاده شده است. $y(t)$ مقدار پیش‌بینی شده پارامتر هدف توسط مدل در زمان t با استفاده از p داده گذشته از سری داده‌های پارامتر هدف است. از آنجا که در مرحله آموزش، خروجی‌های سیستم واقعی موجود بود، خروجی‌های سیستم واقعی در ورودی مدل استفاده گردید. در حالت استفاده از خروجی‌های سیستم واقعی، شبکه عصبی دارای ساختار پیش‌سو بوده و به آن مدل سری موازی گفته می‌شود. برای آموزش شبکه از الگوریتم GDX^2 استفاده شده است (۳).

پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشکسالی

در حالت عادی مدل NAR تنها برای یک گام زمانی^۳ پیش‌بینی را انجام می‌دهد (شکل ۳). در این حالت در ابتدا مقدار x_{t+1} با استفاده از p مقدار گذشته $x_{t+1-p}, \dots, x_{t-1}, x_t$ پیش‌بینی می‌شود. سپس مقدار x_{t+2} بر اساس p مقدار قبلی $x_{t+1-p}, \dots, x_{t-1}, x_t, x_{t+1}$ پیش‌بینی می‌شود. مقدار x_{t+1} مقدار واقعی متغیر مورد پیش‌بینی در گام زمانی $t+1$ می‌باشد. بنابراین در این حالت مدل فقط یک گام زمانی پیش‌رو را



شکل ۲. مدل NAR مورد استفاده در آموزش شبکه (۸)



شکل ۳. مدل NAR برای پیش‌بینی یک گام زمانی (۸)

3 One step-ahead prediction
4 Multistep-ahead prediction
5 Step by step

1 Regressors
2 Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation

سپس مقدار X_{t+2} بر اساس p مقدار قبلی که مقدار پیش‌بینی شده برای X_{t+1} را نیز شامل می‌شد $(X_{t+1-p}, \dots, X_{t-1}, X_t, X_{t+1})$ ، پیش‌بینی شد. این فرایند تا پیش‌بینی آخرین مقدار X_{t+h} ادامه یافت. h تعداد گام زمانی مورد نظر برای پیش‌بینی است.

در پژوهش حاضر با توجه به طول دوره پیش‌بینی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ که برابر ۱۳ سال و در نتیجه ۱۵۶ ماه بود، تعداد گام زمانی پیش‌بینی ۱۵۶ در نظر گرفته شد. همانگونه که ذکر شد، در مطالعه حاضر داده‌های RDI در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ در اختیار مدل قرار نگرفت. تعداد لایه‌های پنهان شبکه بین ۱۱ تا ۳۰ انتخاب گردید. همچنین زمان تأخیر شبکه نیز بین ۱ تا ۲۴ ماه در نظر گرفته شد. سپس شبکه برای هر یک از ترکیب‌های یاد شده اجرا شد و خروجی‌های پیش‌بینی شده RDI توسط هر یک از مدل‌ها با مقدار RDI مشاهداتی مقایسه و ضریب تعیین R^2 محاسبه شد. سپس بیشترین مقدار R^2 برای هر مقیاس زمانی مشخص و شبکه مربوطه به عنوان مناسب‌ترین شبکه انتخاب شد.

■ نتایج و بحث

تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه همدیدی یزد در طول دوره مورد مطالعه

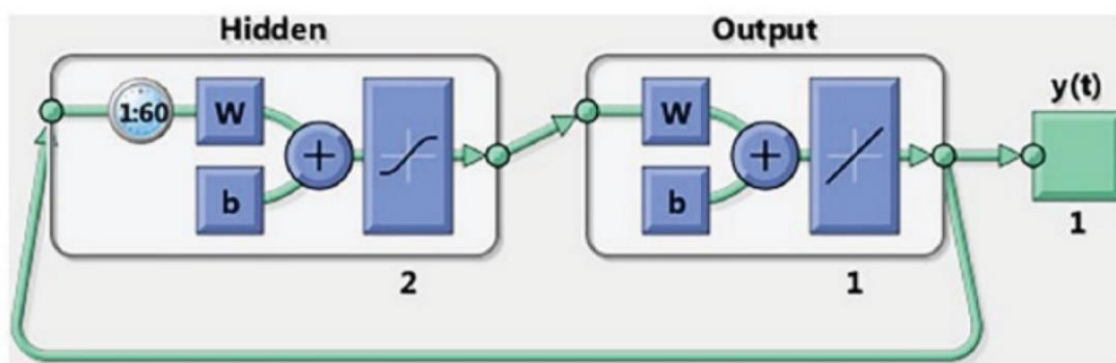
مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین دمای حداقل، دمای حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه یزد در طول دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۸ در شکل (۵) نمایش داده شده است. از بین پارامترهای دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی، تغییرات مقادیر ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه یزد در طول دوره مورد مطالعه با نوسان‌های مقدار سرعت باد انطباق بیشتری دارد.

پیش‌بینی کوتاه مدت خشکسالی با استفاده از مدل شبکه عصبی NAR

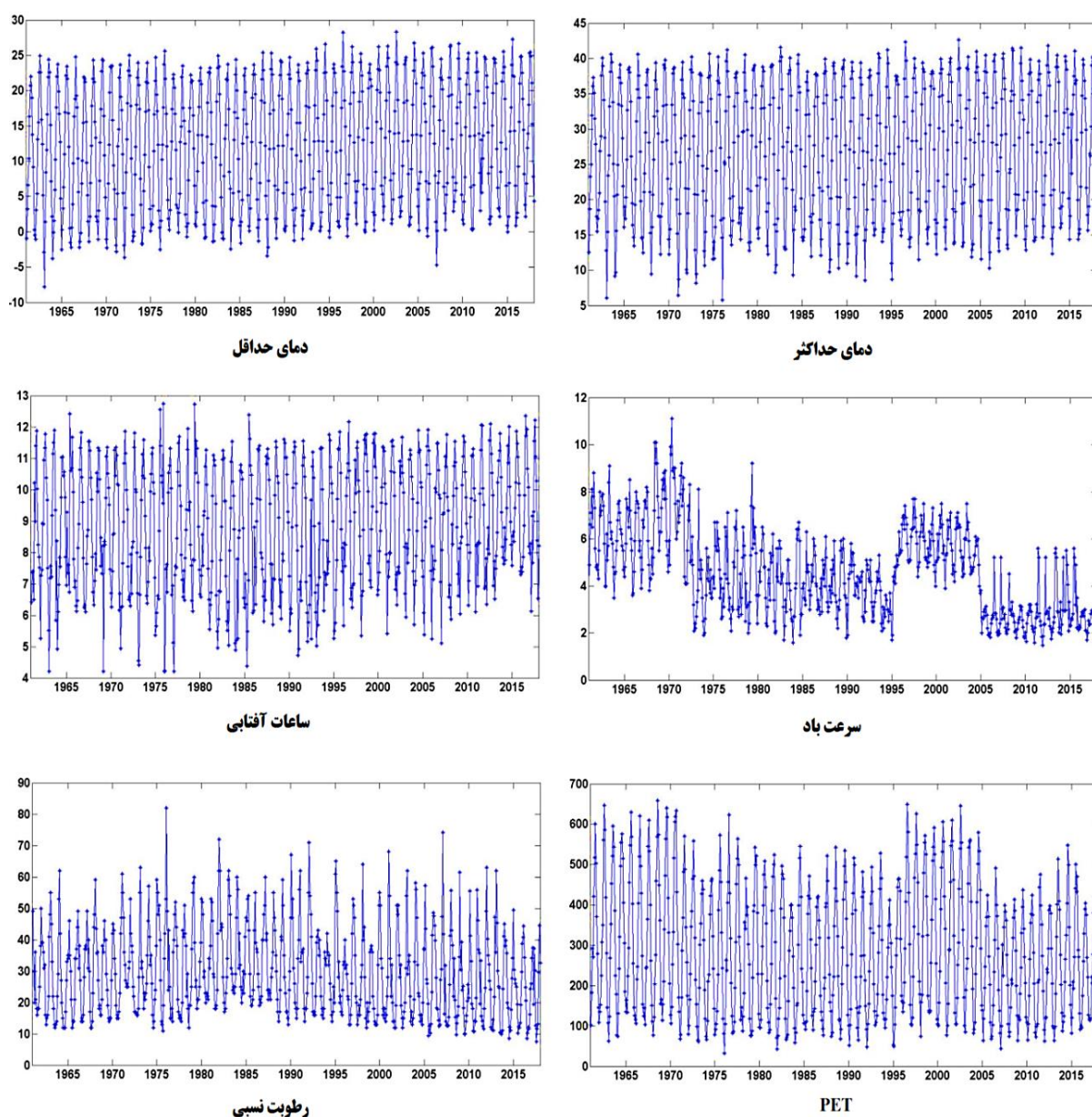
برای سنجش توانایی مدل NAR در پیش‌بینی کوتاه مدت خشکسالی، یک‌ماهه، در مناطق خشک تعداد گام زمانی پیش‌بینی یک گام معادل یک ماه در نظر گرفته شد.

در نتیجه مقادیر RDI در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ نیز در اختیار مدل قرار گرفت. بنابراین در این حالت مدل NAR تنها برای یک گام زمانی پیش‌بینی خشکسالی را انجام می‌دهد. بنابراین با کاهش تعداد گام زمانی پیش‌بینی، انتظار می‌رود دقت مدل افزایش یابد. تعداد لایه‌های پنهان در این شبکه بین ۱۱ تا ۳۰ انتخاب گردید. همچنین زمان تأخیر بین ۱ تا ۲۴ ماه در نظر گرفته شد. سپس شبکه NAR برای هر یک از ترکیب‌های یاد شده اجرا شد. در مرحله بعد خروجی‌های پیش‌بینی شده RDI توسط هر یک از مدل‌ها با مقادیر RDI مشاهداتی مقایسه و ضریب R^2 برای هر یک از مدل‌ها محاسبه گردید. سپس بالاترین میزان R^2 برای هر مقیاس زمانی مشخص و شبکه مربوطه به عنوان مناسب‌ترین شبکه انتخاب شد (جدول ۱). مدل NAR با یک گام زمانی پیش‌بینی در مقیاس زمانی یک ماهه با تعداد لایه‌های پنهان ۲۹ و زمان تأخیر ۲۴ ماه بیشترین مقدار همبستگی را نشان داد (R^2 برابر ۰/۵۴۵) (جدول ۱). شکل (۶) خروجی‌های مدل مذکور را در مقایسه با مقادیر RDI واقعی نشان می‌دهد. ماه‌های مرطوب با دقت نسبتاً مناسبی پیش‌بینی شدند. ماه‌های خشک در مواردی نسبتاً مناسب پیش‌بینی شد. در مواردی هم پیش‌بینی انجام شده همراه با بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی بوده است.

اجرای مدل NAR با ترکیب‌های مختلف از تعداد لایه‌های پنهان بین ۱۱ تا ۳۰ و زمان‌های تأخیر متفاوت ۱ تا ۲۴ ماه برای مقیاس سه ماهه نشان داد مدل با ترکیب تعداد لایه‌های پنهان ۲۳ و زمان تأخیر ۱۰ ماه دارای بالاترین کارایی با R^2 برابر ۰/۹۱۹ بود. نتایج مدل مذکور در مقایسه با مقادیر واقعی در شکل (۷) نمایش داده شده است. پیش‌بینی‌های مدل تطابق قابل قبولی با مقادیر RDI واقعی در طول دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ در ایستگاه همدیدی یزد دارد. لازم به ذکر است تطابق مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی هم در ماه‌های خشک و هم در ماه‌های مرطوب نسبتاً قابل قبول است. در مقیاس زمانی شش ماهه، شبکه با تعداد لایه‌های پنهان ۱۱ و زمان تأخیر ۲۴ ماه دارای بالاترین R^2 با مقدار ۰/۹۵۷ می‌باشد (شکل ۸). تطابق مناسبی بین داده‌های پیش‌بینی شده خشکسالی و مقدار خشکسالی مشاهده شده در ماه‌های خشک و مرطوب وجود دارد.



شکل ۴. مدل NAR برای پیش‌بینی تعداد گام زمانی دلخواه (۸)



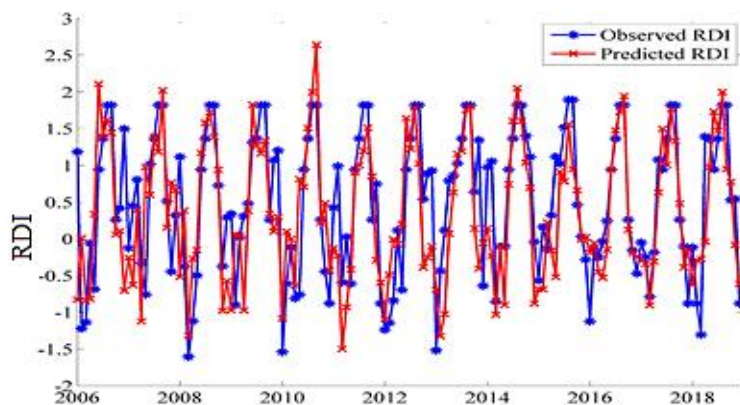
شکل ۵. دمای حداقل، دمای بیشینه، ساعات آفتابی، سرعت باد، رطوبت نسبی و تعرق پتانسیل ماهانه ایستگاه همدیدی یزد در طول دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۸

جدول ۱. مقدار ضریب تعیین (R^2) بین RDI یک ماهه مشاهده شده و پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ توسط مدل شبکه عصبی NAR با پیش‌بینی یک گام زمانی با زمان‌های تأخیر و تعداد لایه‌های متفاوت

زمان تأخیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
تعداد لایه پنهان	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۱۱	۰/۲۸۲	۰/۲۷۶	۰/۲۴۷	۰/۲۵۴	۰/۳۲۶	۰/۳۸۳	۰/۴۴۳	۰/۴۰۲	۰/۴۸۹	۰/۴۳۳	۰/۴۷۴	۰/۴۰۵
۱۲	۰/۲۷۷	۰/۲۹۴	۰/۳۲۶	۰/۳۰۷	۰/۳۳۲	۰/۳۹۲	۰/۴۴۲	۰/۴۷۷	۰/۴۸۴	۰/۴۲	۰/۳۹۵	۰/۴۴۹
۱۳	۰/۳۳	۰/۳۲۵	۰/۲۷۳	۰/۳۰۳	۰/۴	۰/۲۵۷	۰/۳۵۲	۰/۳۷۸	۰/۳۳۷	۰/۴۵۲	۰/۴۲۷	۰/۳۹۵
۱۴	۰/۲۵۷	۰/۲۹	۰/۲۳۴	۰/۳۰۳	۰/۲۹۲	۰/۳۵۳	۰/۴۳۲	۰/۴۷۴	۰/۳۸۱	۰/۴۳۹	۰/۳۶۹	۰/۳۲۸
۱۵	۰/۲۹۶	۰/۳۲۲	۰/۲۷۳	۰/۳۳۱	۰/۳۴۴	۰/۳۲۳	۰/۴۴	۰/۴۴۷	۰/۳۶	۰/۴۲۳	۰/۳۶۵	۰/۲۸
۱۶	۰/۳۲۵	۰/۳۰۴	۰/۳۰۹	۰/۱۰۶	۰/۲۹۷	۰/۳۸۸	۰/۳۴۱	۰/۴۱۸	۰/۴۳۲	۰/۳۷۸	۰/۴۴	۰/۴۳۲
۱۷	۰/۲۳۶	۰/۲۲۴	۰/۲۶۷	۰/۳۰۹	۰/۳۷۴	۰/۳۵۸	۰/۳۶۷	۰/۴۱۹	۰/۴۵۴	۰/۴۴۶	۰/۴۲۵	۰/۴۵۸
۱۸	۰/۲۷۳	۰/۲۵۵	۰/۲۷۵	۰/۲۵۳	۰/۳۳۷	۰/۳۰۵	۰/۳۴۷	۰/۴۲۲	۰/۴۰۶	۰/۳۹۹	۰/۴۲	۰/۳۴۱
۱۹	۰/۳۲۶	۰/۲۷۶	۰/۲۵۸	۰/۲۲۳	۰/۲۶۴	۰/۴۱۹	۰/۴۵۸	۰/۴۶۹	۰/۴۳۸	۰/۳۴۷	۰/۴۴	۰/۴۳۱
۲۰	۰/۳۳۵	۰/۳۰۹	۰/۲۸۶	۰/۲۳۴	۰/۳۳۲	۰/۳۵۸	۰/۳۷۲	۰/۴۰۲	۰/۴۱۴	۰/۳۵۵	۰/۴۷	۰/۴۷۴
۲۱	۰/۳۳۱	۰/۲۵۱	۰/۲۳۴	۰/۲۸۴	۰/۲۹۹	۰/۲۸۵	۰/۳۷۹	۰/۳۷۷	۰/۳۷۶	۰/۳۹۳	۰/۳۸۲	۰/۳۸۴
۲۲	۰/۳۲	۰/۳۵۵	۰/۲۶۵	۰/۲۸	۰/۳۱۶	۰/۳۴	۰/۴۰۴	۰/۲۳۲	۰/۴۵۲	۰/۴۸۴	۰/۴۱۵	۰/۵۱۲
۲۳	۰/۳۱۷	۰/۳۱۷	۰/۲۳۷	۰/۱۱۵	۰/۳۷۸	۰/۳۸۳	۰/۲۸۱	۰/۳۹۵	۰/۳۹	۰/۳۵۸	۰/۵۱۹	۰/۳
۲۴	۰/۳۲۷	۰/۲۹۵	۰/۲۷	۰/۱۰۳	۰/۳۶۶	۰/۳۷۱	۰/۳۸۴	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۳۶۸	۰/۳۵۲	۰/۳۵
۲۵	۰/۳۴۷	۰/۲۵۶	۰/۳۰۷	۰/۳۲۲	۰/۳۶۳	۰/۳۵۷	۰/۴۲۷	۰/۴۳۴	۰/۳۷۷	۰/۴۲۱	۰/۳	۰/۴۵۶
۲۶	۰/۳۲۴	۰/۲۴۷	۰/۲۷۹	۰/۲۳۶	۰/۲۸۹	۰/۳۶۷	۰/۴۸۳	۰/۴۶۶	۰/۴۲	۰/۲۴۸	۰/۲۵۲	۰/۴۷۳
۲۷	۰/۲۷۸	۰/۲۶۱	۰/۱۹۳	۰/۲۱۸	۰/۳۹	۰/۲۵۲	۰/۴۶۱	۰/۳۴۸	۰/۴۰۳	۰/۴۷۶	۰/۳۷۲	۰/۳۷۲
۲۸	۰/۳۳۹	۰/۲۴۵	۰/۲۶۲	۰/۱۸۸	۰/۲۸۷	۰/۳۶۲	۰/۳۲۵	۰/۳۴۶	۰/۳۵۹	۰/۵۰۱	۰/۱۵۴	۰/۴
۲۹	۰/۳۴۲	۰/۳۱	۰/۲۶۳	۰/۱۵۹	۰/۳۰۳	۰/۳۷۷	۰/۳۴۲	۰/۳۷	۰/۴۸۸	۰/۳۶	۰/۳۵۹	۰/۴۱۷
۳۰	۰/۲۸۵	۰/۳۳۸	۰/۱۸۷	۰/۲۷۷	۰/۲۱۴	۰/۳۸۵	۰/۴۱۸	۰/۳۸۴	۰/۳۸۵	۰/۳۸۵	۰/۲۴۶	۰/۱۹

ادامه جدول ۱. مقدار ضریب تعیین (R^2) بین RDI یک ماهه مشاهده شده و پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ توسط مدل شبکه عصبی NAR با پیش‌بینی یک گام زمانی با زمان‌های تأخیر و تعداد لایه‌های متفاوت

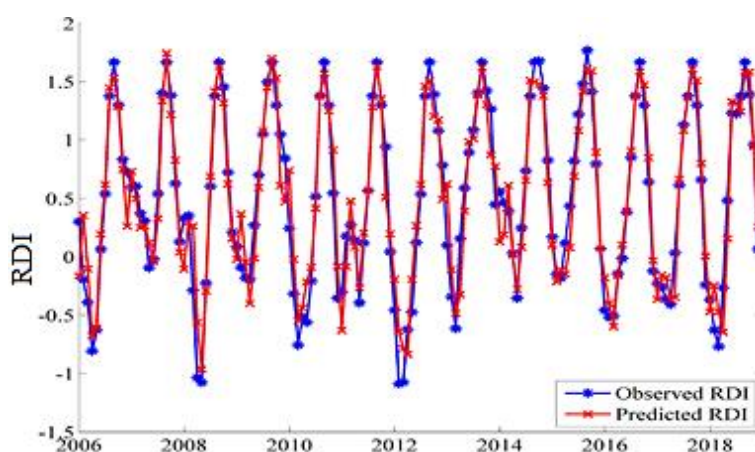
زمان تأخیر	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
تعداد لایه پنهان	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
۱۱	۰/۴۴۹	۰/۳۹۱	۰/۵۱۲	۰/۳۰۹	۰/۵۲۲	۰/۳۳۱	۰/۴۵۸	۰/۴۹۷	۰/۴۹۳	۰/۳۱۵	۰/۴۶	۰/۴۶۶
۱۲	۰/۵۲۱	۰/۵۱	۰/۴۷۸	۰/۳۹۹	۰/۴۸۴	۰/۵۳۱	۰/۳۴۱	۰/۴۴۴	۰/۳۹۶	۰/۳۴۸	۰/۳۳۸	۰/۵۳۶
۱۳	۰/۳۹۵	۰/۳۹۷	۰/۴۴۲	۰/۴۱۸	۰/۴۱۷	۰/۳۸۸	۰/۴۱۷	۰/۴۶۷	۰/۴۱۶	۰/۴۵۶	۰/۳۷۴	۰/۳۹۹
۱۴	۰/۲۹۶	۰/۴۳	۰/۴۱۷	۰/۲۴۳	۰/۴۵۹	۰/۴۱۴	۰/۵۱۷	۰/۴۶۲	۰/۲۶۸	۰/۴۰۳	۰/۵۲۲	۰/۴۶۷
۱۵	۰/۲۶۴	۰/۴۲۹	۰/۴۴۷	۰/۴۵۲	۰/۳۸۱	۰/۲۹۹	۰/۲۸۳	۰/۴۳۴	۰/۳۹۶	۰/۲۳۴	۰/۵۱۱	۰/۵۳۲
۱۶	۰/۴۹۶	۰/۴۹۷	۰/۴۴۲	۰/۳۳۵	۰/۳۳۳	۰/۴۸۶	۰/۳۶۵	۰/۴۸۹	۰/۴۴۱	۰/۴۶۵	۰/۳۵	۰/۴۵۳
۱۷	۰/۲۵۴	۰/۴۳۲	۰/۴۴	۰/۴۴۹	۰/۳۶۸	۰/۳۲۲	۰/۱۴۴	۰/۳۴	۰/۳۵۴	۰/۳۹	۰/۵۰۹	۰/۴۵۹
۱۸	۰/۲۳	۰/۲۹۶	۰/۴۲	۰/۴۵۸	۰/۴۳۷	۰/۳۲۹	۰/۴۲۵	۰/۲۴۷	۰/۴۳۵	۰/۴۶۵	۰/۲۳۹	۰/۳۳۴
۱۹	۰/۴۱۱	۰/۴۵۹	۰/۲۷	۰/۳۶۳	۰/۳۷۷	۰/۴۰۴	۰/۳۸۱	۰/۲۳۹	۰/۲۹۲	۰/۳۳۲	۰/۳۸۱	۰/۴۸
۲۰	۰/۳۰۴	۰/۰۰۶	۰/۴۱۶	۰/۴۵۱	۰/۳۴۶	۰/۳۲۴	۰/۴۰۹	۰/۴۳۶	۰/۳۲۸	۰/۳۵۸	۰/۱۴۷	۰/۲۱۳
۲۱	۰/۲۱۳	۰/۴۶۱	۰/۳۸۵	۰/۳۶۲	۰/۴۲۲	۰/۲۶۹	۰/۴۱۶	۰/۴۴۲	۰/۲۶۴	۰/۳۷۴	۰/۳۲۶	۰/۴۳۴
۲۲	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۳۳۷	۰/۱۴۹	۰/۳۳۱	۰/۴۶۲	۰/۴۷۳	۰/۳۷۴	۰/۳۷۸	۰/۲۵۲	۰/۱۰۲	۰/۴۹
۲۳	۰/۴۲۷	۰/۳۹۶	۰/۴۶۴	۰/۳۴۲	۰/۲۲۵	۰/۲۴۶	۰/۳۵۲	۰/۳۵۴	۰/۳۴۵	۰/۴۲۲	۰/۱۶۳	۰/۴۵۲
۲۴	۰/۳۸۷	۰/۳۱۸	۰/۲۶۷	۰/۱۴۱	۰/۳۶۷	۰/۳۲	۰/۴۱۴	۰/۳۶۶	۰/۲۵۲	۰/۳۵۳	۰/۲۸۹	۰/۴۳۳
۲۵	۰/۴۶۶	۰/۳۴۱	۰/۲۸۸	۰/۴۰۲	۰/۳۹۲	۰/۲۲۲	۰/۴۱۵	۰/۲۸	۰/۳۲۹	۰/۳۱۷	۰/۳۹۶	۰/۵۱۷
۲۶	۰/۲۴	۰/۲۲۲	۰/۲۴۴	۰/۳۶	۰/۳۱۴	۰/۳۰۳	۰/۲۱۱	۰/۱۸۳	۰/۵۰۲	۰/۳۵۹	۰/۱۸۵	۰/۲۷۱
۲۷	۰/۲۴۳	۰/۳۶۶	۰/۲۳۹	۰/۴۷۷	۰/۲۵۷	۰/۴۷۸	۰/۲۲۸	۰/۳۷۴	۰/۴۴	۰/۳۱۳	۰/۲۲۷	۰/۳۱۷
۲۸	۰/۳۴۱	۰/۱۱۷	۰/۳۸۸	۰/۳۵۶	۰/۲۹	۰/۲۹۱	۰/۳۹۱	۰/۲۰۶	۰/۲۹۱	۰/۳۳۳	۰/۴۲	۰/۵۴۹
۲۹	۰/۴۳	۰/۲۵۶	۰/۳۸۵	۰/۴۳۵	۰/۳۹۴	۰/۲۷۲	۰/۱۰۱	.	۰/۳۳۸	۰/۴۳۲	۰/۳۳۸	۰/۵۴۵
۳۰	۰/۲۶۱	۰/۳۳۲	۰/۴۶۲	۰/۲۱۸	۰/۳۶۹	۰/۲۶۶	۰/۵۳۴	۰/۴۲۸	۰/۱۸۳	۰/۳۲۶	۰/۲۴۷	۰/۳۵۴



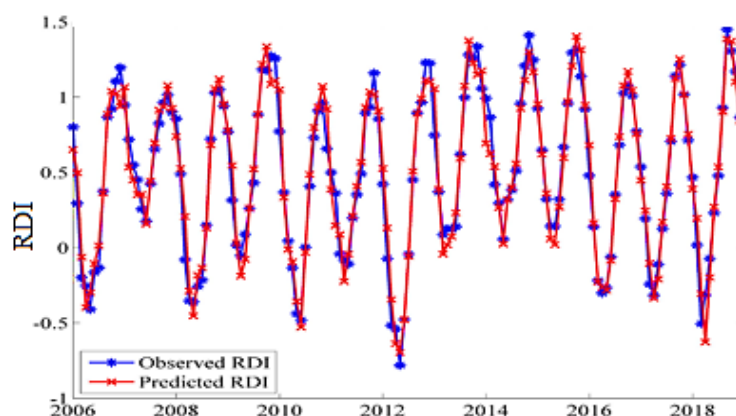
شکل ۶. مقایسه مقدار RDI پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی NAR با پیش‌بینی یک گام زمانی و مقدار مشاهداتی در مقیاس یک ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸

مقیاس‌های یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه را نمایش می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده همبستگی قابل قبولی بین مقادیر RDI مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی NAR با یک گام زمانی پیش‌بینی در مقیاس‌های زمانی سه و شش ماهه می‌باشد.

همانگونه که انتظار می‌رفت، دقت مدل با افزایش مقیاس زمانی خشکسالی از یک ماه به شش ماه و در نتیجه کاهش نوسان، به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. جدول (۲) میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده با استفاده از NAR با یک گام زمانی پیش‌بینی در



شکل ۷. مقایسه مقدار RDI پیش‌بینی شده با پیش‌بینی یک گام زمانی با مقدار مشاهداتی در مقیاس سه ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸



شکل ۸. مقایسه مقدار RDI پیش‌بینی شده با پیش‌بینی یک گام زمانی و مقدار مشاهداتی در مقیاس شش ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸

جدول ۲. مقایسه ضریب تعیین (R^2) بین RDI پیش بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی NAR با یک گام زمانی پیش بینی و خشکسالی های مشاهداتی در مقیاس های یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه

ضریب تعیین (R^2)	مقیاس زمانی
۰/۵۴۵	RDI یک ماهه
۰/۹۱۹	RDI سه ماهه
۰/۹۵۷	RDI شش ماهه

مرطوب نسبتاً مناسب پیش بینی کرده است. مقدار R^2 بین RDI شش ماهه مشاهده شده و پیش بینی شده توسط مدل شبکه عصبی NAR با زمان تأخیر ۱ تا ۲۴ ماه و تعداد لایه های پنهان ۱۱ تا ۳۰ در جدول ۳ ارائه شده است. در مقیاس شش ماهه مدل NAR با تعداد لایه های پنهان ۲۲ و زمان تأخیر ۱۷ ماه دارای بالاترین میزان کارایی با R^2 برابر ۰/۷۱۹ می باشد. مقایسه مقدار RDI مشاهده شده و RDI پیش بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی NAR با تعداد لایه های مذکور در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. ماه های نرمال و مرطوب به خوبی پیش بینی شده اند. اما ماه های خشک با دقت کمتری پیش بینی شده اند. میزان همبستگی بین داده های مشاهداتی و پیش بینی شده در مقیاس های یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه در جدول ۴ ارائه شده است. همبستگی نسبتاً مناسبی بین داده های مشاهداتی و داده های پیش بینی شده شبکه عصبی NAR در مقیاس های زمانی سه و شش ماهه مشاهده می شود.

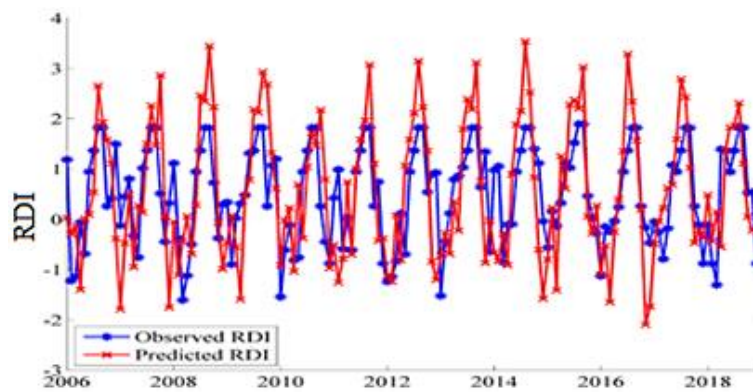
پیش بینی بلندمدت خشکسالی با استفاده از پیش بینی بلندمدت بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل

پیش بینی خشکسالی می تواند از طریق پیش بینی بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل و سپس محاسبه مقادیر شاخص RDI آینده انجام گیرد. در پژوهش حاضر، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از ترکیب های اشاره شده قبلی، ۱۱ تا ۳۰ لایه پنهان و ۱ تا ۲۴ ماه تأخیر، برای دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ پیش بینی شدند. گام زمانی پیش بینی در این مرحله مانند پیش بینی بلندمدت خشکسالی ۱۵۶ در نظر گرفته شد. بنابراین فقط داده های بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ در اختیار مدل قرار گرفت.

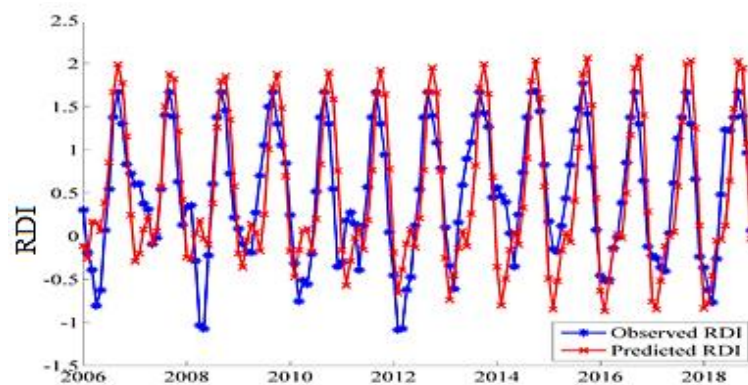
پیش بینی بلندمدت خشکسالی با استفاده از مدل شبکه عصبی NAR

برای پیش بینی بلندمدت خشکسالی، مقادیر RDI دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۸ محاسبه گردید. سپس داده های حاصل از محاسبه شاخص RDI در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ برای آموزش، ارزیابی و تست وارد مدل NAR شد. با توجه به طول دوره پیش بینی، ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ برابر ۱۵۶ ماه، تعداد گام زمانی پیش بینی ۱۵۶ در نظر گرفته شد. بنابراین در این بخش مقادیر RDI در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ در اختیار مدل قرار نگرفت.

مدل NAR با ۱۵۶ گام پیش بینی برای پیش بینی RDI یک ماهه در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ برای ترکیب های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، در این حالت مدل NAR با تعداد لایه های پنهان ۲۱ و زمان تأخیر ۱۱ ماه دارای بیشترین مقدار کارایی با R^2 برابر ۰/۴۴۲ است. مقایسه مقادیر RDI مشاهده شده و RDI پیش بینی شده با بهره گیری از مدل NAR مذکور در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ در شکل ۹ نمایش داده شده است. مدل مذکور مقادیر RDI در ماه های خشک را تا حدی بهتر از ماه های مرطوب پیش بینی کرده است. مقدار ضریب تعیین (R^2) بین RDI سه ماهه مشاهده شده و پیش بینی شده توسط مدل شبکه عصبی NAR با ترکیب زمان های تأخیر ۱ تا ۲۴ ماه و تعداد لایه های پنهان ۱۱ تا ۳۰ نشان می دهد که مدل دارای ۱۴ لایه پنهان و زمان تأخیر ۱۰ ماه دارای بیشترین مقدار همبستگی ($R^2 = ۰/۶۵۶$) است. مقایسه مقادیر RDI مشاهده شده و RDI پیش بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی NAR با ترکیب مذکور در مقیاس زمانی سه ماهه را در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ در شکل ۱۰ ارائه شده است. مدل مذکور مقادیر RDI را در برخی ماه های خشک و



شکل ۹. مقایسه مقادیر RDI پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مقیاس یک ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸.



شکل ۱۰. مقایسه مقدار RDI پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مقیاس سه ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸.

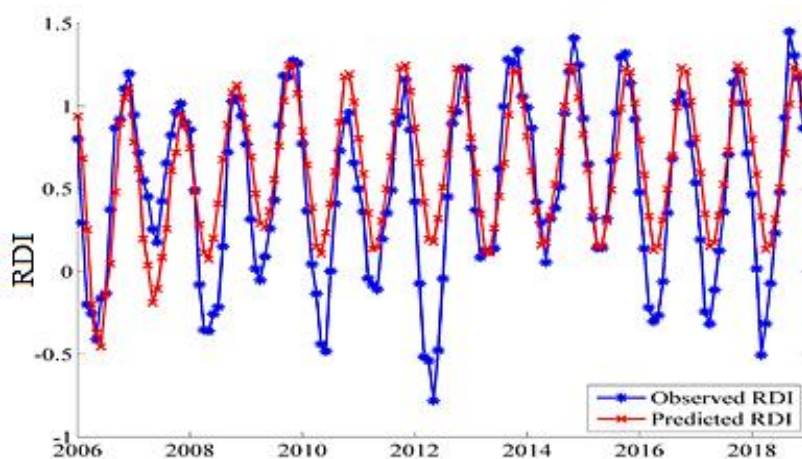
جدول ۳. مقدار ضریب تعیین (R^2) بین RDI شش ماهه مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی NAR با زمان تأخیر

و تعداد لایه‌های متفاوت

زمان تأخیر												تعداد لایه پنهان
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
۰	۰/۰۰۲	۰/۱۶۹	۰/۲۶۸	۰/۷۰۶	۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	۰/۳۳۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۶	۰/۳۱۱	۰/۲۰۲	۱۱
۰/۰۰۱	۰	۰/۲۲۹	۰/۲۱۲	۰/۷۶۳	۰/۱۱۹	۰/۷۰۱	۰/۵۰۸	۰/۲۸۵	۰/۰۰۱	۰/۲۷۹	۰/۱۰۷	۱۲
۰	۰/۰۰۲	۰/۰۵۵	۰	۰/۳۷۳	۰/۰۵۴	۰/۲۲	۰/۴۳۸	۰/۰۳	۰/۱۱۴	۰/۲۵۴	۰/۲۱۱	۱۳
۰	۰/۰۳	۰/۰۱۵	۰/۲۴۸	۰/۰۶۳	۰/۰۴۳	۰	۰/۲۷۳	۰/۲۱	۰	۰/۰۱	۰	۱۴
۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۱۰۱	۰/۲۵۳	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۴۸۸	۰/۱۱۷	۰/۰۶۱	۰/۰۰۲	۰/۴۹۴	۰/۴۵۴	۱۵
۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۲۵۲	۰/۱۶۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۴۵	۰/۳۹۴	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰	۰/۴۱۵	۱۶
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۲۸۶	۰/۶۷۸	۰/۱۹۹	۰/۴۳۱	۰/۴۸۱	۰	۰/۱۶۱	۰/۲۰۱	۰/۲۱۱	۱۷
۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۳۲۲	۰/۰۰۶	۰/۲۵۸	۰/۷۲۲	۰	۰/۵۳۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۲۸۶	۰/۵۹۱	۱۸
۰/۰۱	۰/۱۱	۰	۰/۰۰۲	۰/۵۱۸	۰/۰۰۶	۰/۵۲۷	۰/۰۰۵	۰/۰۹۸	۰/۱۶۵	۰/۲۹	۰/۱۷۷	۱۹
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۰/۱۰۷	۰/۷۳۱	۰	۰/۲۷	۰/۱۸۲	۰/۰۱۲	۰	۰/۰۲۶	۲۰
۰/۰۲۱	۰	۰/۰۳۶	۰/۲۱۱	۰/۰۲۳	۰/۵۰۹	۰/۱۴۴	۰/۰۸۹	۰/۱۶۶	۰/۰۸۳	۰/۳۷۱	۰/۰۰۳	۲۱
۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۹۲	۰/۰۲۱	۰/۷۱	۰/۲۰۸	۰/۳۰۲	۰/۵۹۹	۰/۱۶۲	۰/۰۰۴	۰/۴۳۲	۰/۱۷۱	۲۲
۰/۰۰۸	۰/۲۳۲	۰	۰/۰۴۳	۰/۲۹۵	۰/۵۱۸	۰/۶۲۸	۰/۱۱۳	۰/۰۷	۰/۳۱۷	۰/۰۰۳	۰/۰۷۴	۲۳
۰/۰۰۸	۰	۰/۱۸۸	۰/۰۴۳	۰/۶۶۸	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۲۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۵۲۳	۰/۵۸۱	۲۴
۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰	۰/۳۲۷	۰/۰۰۸	۰/۰۸۲	۰/۵۴۹	۰/۱۰۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۱	۰/۰۹۲	۰/۰۷۸	۲۵
۰/۰۲	۰/۰۲۱	۰/۳۸	۰	۰/۲۵۱	۰/۰۱	۰/۷۰۵	۰/۰۳۷	۰/۱۶	۰/۱۳۲	۰/۱۸	۰/۱۳۳	۲۶
۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۱۶۵	۰/۲۱۵	۰/۲۰۴	۰/۴۴	۰/۲۲	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۲۷	۰/۳۹۷	۲۷
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۰۷	۰/۱۰۲	۰/۰۱	۰/۵۵۶	۰/۶۶۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۴۴	۰	۰/۴۲۴	۲۸
۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۴۴۷	۰/۲۳۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵	۰/۴۹۲	۰/۲۲۵	۰/۱۴۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۵۷	۲۹
۰	۰	۰/۰۸۲	۰/۰۰۳	۰/۰۷۳	۰/۴۱۳	۰/۴۱۴	۰/۰۳۲	۰	۰/۱۷۶	۰/۳۰۳	۰/۵۳۲	۳۰

ادامه جدول ۳. مقدار ضریب تعیین (R^2) بین RDI شش ماهه مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی NAR با زمان تأخیر و تعداد لایه‌های متفاوت

زمان تأخیر تعداد لایه پنهان	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۱۱	۰/۰۰۲	۰/۲۸۷	۰/۱۸۲	۰/۴۳۷	۰/۰۶	۰/۰۹۲	۰/۰۲۶	۰/۰۴۵	۰/۰۳	۰/۰۷۱	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸
۱۲	۰/۳۲۶	۰/۱۳۶	۰/۰۷	۰/۰۰۷	۰/۶۹۴	۰/۰۲۹	۰/۵۹۴	۰/۰۲۲	۰/۰۳۳	۰/۱۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲
۱۳	۰/۱۳۴	۰	۰/۰۲۴	۰/۰۰۷	۰/۲۷	۰/۶۰۵	۰/۴۳۱	۰/۱۴۷	۰/۱۰۶	۰/۱۳۲	۰/۰۴۵	۰/۱۳۶
۱۴	۰/۲۷۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۴	۰/۱۵۹	۰/۴۸۲	۰/۳۵۵	۰/۲۷۸	۰/۰۰۲	۰/۰۲۳	۰/۵۱۷	۰/۱۵۲	۰/۴۶۹
۱۵	۰/۱۴۳	۰/۲۲۲	۰/۰۳۷	۰/۱۶۵	۰/۰۷۱	۰/۱۱	۰/۳۷۸	۰/۱۴۵	۰/۰۳۲	۰/۱۱۹	۰/۱۰۸	۰/۰۶۴
۱۶	۰/۳۱۵	۰/۴۷۵	۰/۳۵۱	۰/۴۸۷	۰/۰۱	۰/۵۵۵	۰/۰۰۱	۰/۱۴۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۴۹
۱۷	۰/۰۵۹	۰/۰۷۳	۰	۰/۴۳۱	۰/۵۱۲	۰/۶۶۷	۰/۶۵۱	۰/۰۰۳	۰/۳۰۷	۰/۲۱۳	۰	۰/۰۰۱
۱۸	۰/۰۸۲	۰	۰/۱۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۴۵	۰/۶۲۸	۰/۰۱۱	۰/۱۱۵	۰/۶۳۹	۰/۱۹	۰/۰۰۷
۱۹	۰/۳۴۹	۰/۲۳۱	۰	۰/۱۹۷	۰/۳۹۶	۰/۱۵۳	۰/۲۶۸	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۷۳	۰	۰/۰۰۸
۲۰	۰/۰۹۲	۰/۱۳۵	۰/۰۰۸	۰/۰۹۲	۰/۰۴۲	۰/۲۵۸	۰/۰۴۳	۰/۱۹۷	۰/۰۲۶	۰/۴۸۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷
۲۱	۰/۰۳۸	۰/۰۶۹	۰/۲۸۷	۰/۳۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۷۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۴۴۵	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲
۲۲	۰/۰۰۳	۰	۰/۱۸۸	۰/۱۵۱	۰/۷۱۹	۰/۰۲۳	۰/۰۳۸	۰/۰۲۱	۰/۳۷۳	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹
۲۳	۰/۲۷۳	۰/۱۵۲	۰/۳۶۳	۰/۳۵۶	۰/۲۶۱	۰/۲۹۶	۰/۱۴۱	۰/۱۹۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱
۲۴	۰/۶۲۶	۰/۴۶۹	۰/۰۶۱	۰/۳۱۵	۰/۰۰۱	۰/۵۵۲	۰/۰۹	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۵۱۵	۰
۲۵	۰/۱۳۵	۰/۰۱۶	۰/۰۵۲	۰/۱۱	۰/۳۵۷	۰	۰/۲۶۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۱۴۳	۰/۰۱۴	۰/۳۹۹
۲۶	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۱۳۴	۰/۶۴	۰/۳۰۷	۰	۰/۰۰۹	۰/۰۳۱	۰/۳۵۶	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸
۲۷	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۳۳۳	۰/۰۰۶	۰/۱۱۱	۰/۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۱۵
۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۱۶	۰/۱۴۹	۰/۵۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳۵	۰	۰/۰۲۵	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴
۲۹	۰/۱۶۲	۰/۰۸	۰	۰/۲۳۷	۰/۰۲۲	۰/۴۸۷	۰/۲۹۸	۰/۰۱۸	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱
۳۰	۰/۰۴۶	۰/۱۴۹	۰/۰۱۴	۰/۵۷۳	۰/۰۱۱	۰/۵۸۶	۰/۰۲۶	۰/۰۸۹	۰/۰۰۳	۰/۰۳۷	۰	۰/۰۰۲



شکل ۱۱. مقایسه مقدار RDI پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مقیاس شش ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸

جدول ۴. مقایسه ضریب تعیین R^2 بین RDI پیش‌بینی شده و خشکسالی‌های مشاهداتی در مقیاس‌های یک ماهه،

سه ماهه و شش ماهه

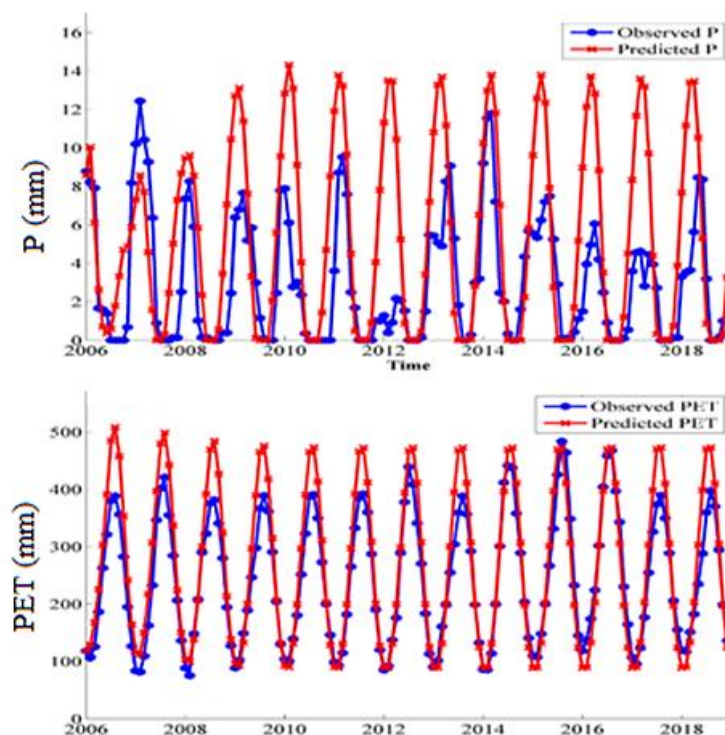
مقیاس زمانی	ضریب تعیین (R^2)
RDI یک ماهه	۰/۴۴۲
RDI سه ماهه	۰/۶۵۶
RDI شش ماهه	۰/۷۱۹

در پایان کارایی ترکیب‌های مختلف مدل برای پیش‌بینی بلندمدت بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در مقیاس‌های زمانی یک، سه و شش ماهه مورد بررسی قرار گرفت. مقدار R^2 و ساختار مدل با بیشترین کارایی در مقیاس‌های زمانی مختلف برای بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شد (جدول ۵). کارایی مدل‌ها در پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل در تمام مقیاس‌های زمانی به طور قابل توجهی از بارش بیشتر بود. با توجه به پراکنش زمانی بسیار نامنظم بارش در مناطق خشک، وقوع این امر قابل انتظار است. برای نمونه، مقدار پیش‌بینی شده و واقعی بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در مقیاس زمانی سه ماهه در

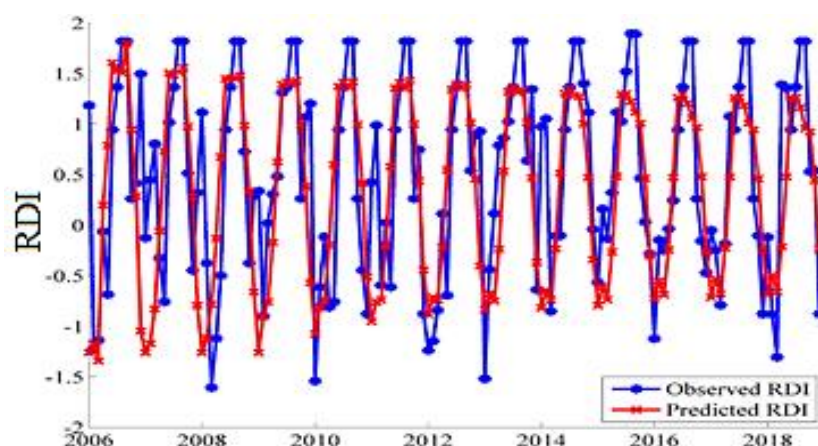
دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ با هم مقایسه شده‌اند (شکل ۱۲). RDI محاسبه شده بر پایه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده در مقیاس‌های یک، سه و شش ماهه به ترتیب در اشکال (۱۳) تا (۱۵) با مقادیر واقعی مقایسه شده‌اند. بر اساس نتایج، مقادیر RDI پیش‌بینی شده در ماه‌های خشک با دقت مناسب‌تری نسبت به ماه‌های مرطوب پیش‌بینی شده است. در مقیاس سه ماهه نیز ماه‌های خشک با دقت قابل قبول‌تری پیش‌بینی شده‌اند. در مقیاس شش ماهه در ماه‌های خشک و مرطوب مقدار RDI به طور نسبتاً مناسبی پیش‌بینی شده‌اند.

جدول ۵. مقایسه ضریب تعیین (R^2) بین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل با مقدار مشاهداتی در مقیاس‌های یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸

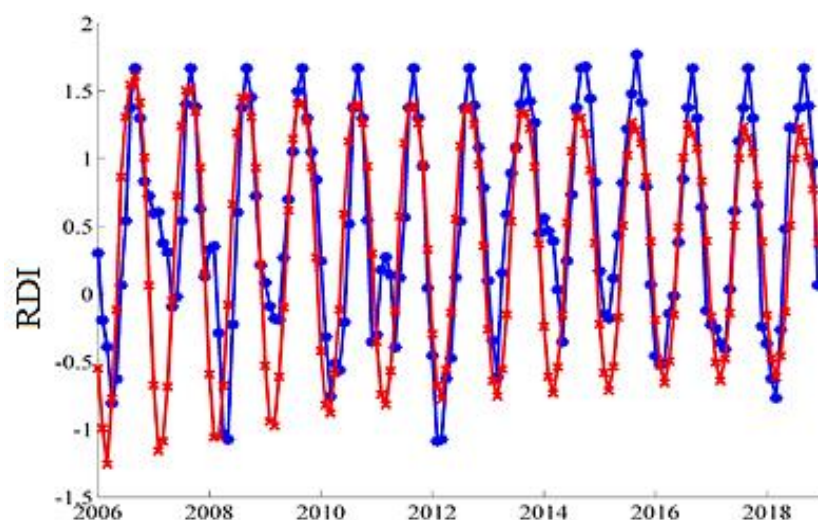
PET			P			پارامتر
زمان تأخیر (ماه)	تعداد لایه پنهان	R^2	زمان تأخیر (ماه)	تعداد لایه پنهان	R^2	مقیاس زمانی
۱۲	۱۹	۰/۹۲۲	۷	۲۹	۰/۲۹۶	یک ماهه
۱۰	۱۱	۰/۹۴۲	۱۴	۲۶	۰/۴۴۹	سه ماهه
۷	۲۷	۰/۹۰۵	۹	۱۳	۰/۵۷۲	شش ماهه



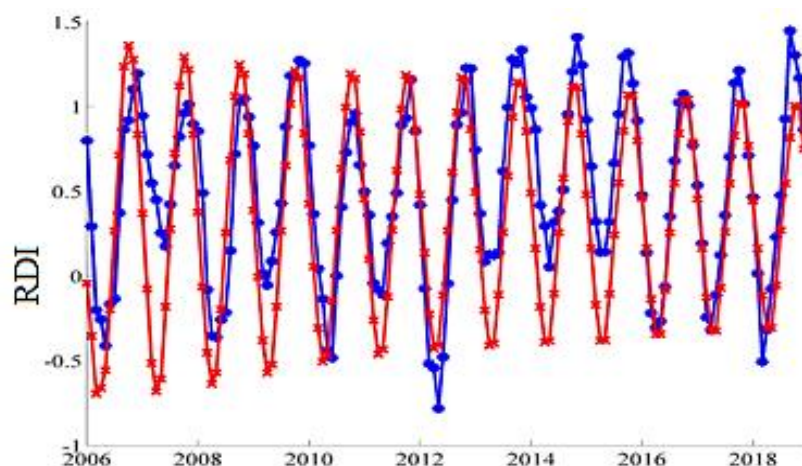
شکل ۱۲. مقایسه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده با مقدار واقعی در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸



شکل ۱۳. مقایسه مقدار RDI محاسبه شده بر پایه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مقیاس یک ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸



شکل ۱۴. مقایسه مقدار RDI محاسبه شده بر پایه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده و مشاهداتی در مقیاس سه ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸



شکل ۱۵. مقایسه مقادیر RDI محاسبه شده بر اساس بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده با مشاهداتی در مقیاس شش ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸

برای پیش‌بینی بلندمدت خشکسالی، مدل با پیش‌بینی ۱۵۶ گام زمانی پیش رو (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ که برابر ۱۳ سال است) اجرا گردید. بنابراین این حالت بدون دسترسی مدل به داده‌های واقعی خشکسالی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ انجام شد. نتایج نشان داد مقادیر RDI در ماه‌های خشک در مقیاس سه ماهه، تطابق بهتری با مقادیر واقعی نسبت به دیگر مقیاس‌های زمانی دارد.

در پژوهش حاضر همچنین مقادیر بلند مدت RDI به طور غیرمستقیم از طریق پیش‌بینی بلندمدت مقادیر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی گردید. در این مورد نیز مدل به داده‌های واقعی بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ دسترسی نداشت. مقادیر RDI بر اساس داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده، محاسبه شد. نتایج نشان داد دقت پیش‌بینی در مقایسه با پیش‌بینی مستقیم RDI در مقیاس یک و سه ماهه بهبود یافته است. در مقیاس شش ماهه، دقت مدل در حالت پیش‌بینی مستقیم و غیرمستقیم تقریباً یکسان است، اما در حالت غیر مستقیم داده‌های RDI در ماه‌های خشک با دقت بالاتری پیش‌بینی شده‌اند.

با توجه به نتایج ذکر شده، مدل NAR کارایی لازم برای پیش‌بینی خشکسالی در مناطق خشک را دارا می‌باشد. بنابراین توجه به کارایی نسبتاً مناسب مدل NAR، پیشنهاد می‌گردد کارایی مدل $NARX^1$ که با ساختار غیرخطی علاوه بر داده‌های هدف، از داده‌های کمکی نیز بهره‌گیری می‌کند، مورد آزمون قرارگیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود کارایی مدل NAR با دیگر مدل‌های پیش‌بینی مانند مدل‌های جهانی اقلیم و مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی خشکسالی در مناطق خشک مقایسه شود.

با توجه به ضریب تعیین (R^2) بین مقدارهای واقعی و محاسبه‌شده RDI بر پایه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده (جدول ۶)، تطابق مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در مقیاس یک و سه ماهه نسبت به پیش‌بینی مستقیم مقادیر RDI (جدول ۴) اندکی افزایش یافته است. در مقیاس شش ماهه مقادیر R^2 در هر دو حالت تقریباً با هم برابر است. مقایسه اشکال (۹) تا (۱۱) با اشکال (۱۳) تا (۱۵) نشان می‌دهد پیش‌بینی RDI به طور غیرمستقیم بر اساس محاسبه RDI بر اساس بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده، مقادیر RDI در ماه‌های خشک را نسبتاً با دقت بیشتری نسبت به روش پیش‌بینی مستقیم RDI، پیش‌بینی می‌کند.

■ نتیجه‌گیری

در بررسی حاضر، تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه ایستگاه همدیدی یزد در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۸ با بهره‌گیری از مدل فائو-پنمن-مانتیت محاسبه شد. سپس مقدار یک، سه و شش ماهه RDI در دوره فوق محاسبه شد. در پژوهش حاضر از مدل شبکه مصنوعی NAR برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی ایستگاه یزد در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. برای آموزش شبکه از الگوریتم آموزش GDX استفاده گردید. در مرحله بعد مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی مقایسه شدند. در پیش‌بینی کوتاه مدت، مدل NAR فقط یک گام زمانی پیش‌رو را پیش‌بینی می‌کند. بنابراین داده‌های واقعی دوره پیش‌بینی در اختیار مدل قرار گرفت. نتایج پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشکسالی نشان داد مدل کارایی قابل قبولی در پیش‌بینی مقادیر RDI سه و شش ماهه دارد.

جدول ۶. مقایسه ضریب تعیین R^2 بین RDI محاسبه شده بر پایه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل پیش‌بینی شده با مشاهداتی در

مقیاس‌های یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸

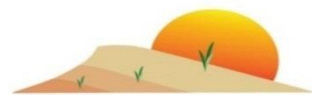
مقیاس زمانی	ضریب تعیین (R^2)
RDI یک ماهه	۰/۴۶۹
RDI سه ماهه	۰/۶۶۴
RDI شش ماهه	۰/۷۱۶

¹ Nonlinear autoregressive network with exogenous inputs

■ References

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. fao irrigation and drainage paper 56, *Food and Agriculture Organization*, Rome.
2. Alsumaiei, A.A., & Alrashidi, M.S., (2020). Hydrometeorological drought forecasting in hyper-arid climates using nonlinear autoregressive neural networks. *Water*, 12(9), 2611.
3. Asadi, M., (2019). Potential evapotranspiration prediction using nonlinear autoregressive model with exogenous input (NARX) (case study, Yazd Province, Iran). *Aridbiome*, 8(2), 37-49. (in Farsi)
4. Asadi, M.A., Jamnezhad, F., Ekhtesasi, M.R., & Hosseini, S.Z. (2020). investigating the effects of drought and land-use changes on quantity and quality of groundwater resources: a case study of Darab plain. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(28), 89-102. (in Farsi)
5. Asadi Zarch, M.A., (2017). Analyzing climate change effects on drought occurrence in Yazd province, Iran. *Desert Management*, 5(9), 74-90 (in Farsi).
6. Asadi Zarch, M.A., Sivakumar, B. Sharma, A. (2015). Droughts in a warming climate: A global assessment of standardized precipitation index (SPI) and reconnaissance drought index (RDI). *Hydrology*, 526, 183-195.
7. Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (2008). Climate change and water. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
8. Blanchard. T., Samanta, B., (2020). Wind speed forecasting using neural networks. *Wind Engineering*, 44(1), 33-48.
9. Cheng H., Tan P.N., Gao J., Scripps J. (2006). Multistep-ahead time series prediction. In: Ng W.K., Kitsuregawa M., Li J., Chang K. (eds) *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. PAKDD 2006. Lecture Notes in Computer Science*, vol 3918. Springer, Berlin, Heidelberg.
10. Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *WIREs Climate Change*, 2(1), 45-65.
11. Djerbouai, S., & Souag-Gamane, D. (2016). Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Stochastic Models: Case of the Algerois Basin in North Algeria. *Water Resources Management*, 30, 2445-2464.
12. Dong, G., Fataliyev, K., Wang, L., (2013). *One-step and multi-step ahead stock prediction using backpropagation neural networks*. 9th International Conference on Information, Communications & Signal Processing, pp. 1-5.
13. Eivazi, M., Mosaedi, A., Dehghani, A.A., (2012). Comparison of different approaches for predicting SPI. *Water and Soil Conservation*, 16(2), 145-167 (in Farsi).
14. Katko, T.S., Hukka, J.J. (2015). Social and economic importance of water services in the built Environment: Need for more structured thinking. *Procedia Economics and Finance*, 21, 217-223.
15. Kirbas, I. (2018). *NAR based forecasting interface for time series analysis: T-seer*. IV International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS), 144-149.
16. Lindsay, J., Dean, A.J., Supski, S. (2017). Responding to the millennium drought: comparing domestic water cultures in three Australian cities. *Regional Environmental Change*, 17(2), 565-577.
17. Mahmoudi, P., Rigi, A., Miri Kamak, M.A (2019). Comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3-4), 3123-3138.

18. Mokhtarzad, M., Eskandari, F., Jamshidi Vanjani, N. et al. (2017). Drought forecasting by ANN, ANFIS, and SVM and comparison of the models. *Environmental Earth Sciences*, 76, 729 (2017).
19. Nguyen, V., Li, Q., Nguyen, L., (2017). Drought forecasting using ANFIS- a case study in drought prone area of Vietnam. *Paddy Water Environ*, 15, 605–616.
20. Noorisameleh, Z., Khaledi, S.H., Shakiba, A., Zeaiean Firouzabadi, P., Gough, W.A., Mirza, M.M.Q. (2020). Comparative evaluation of impacts of climate change and droughts on river flow vulnerability in Iran. *Water Science and Engineering*, 13(4), 265-27.
21. Pachauri, R.K., et al. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
22. Rehana, S., Sireesha Naidu, G. (2021). Development of hydro-meteorological drought index under climate change Semi-arid river basin of Peninsular India. *Hydrology*, 594, 125973.
23. Shilenje, Z.W., Ongoma, V., Njagi, M. (2019). Applicability of combined drought index in drought analysis over north eastern Kenya. *Natural Hazards*, 99, 379–389.
24. Singh, R.M., Shukla, P. (2020). Drought characterization using drought indices and El Nino effects. *National Academy Science Letters*, 43, 339–342.
25. Surendran, U., Kumar, V., Ramasubramoniam, S. et al. (2017). Development of drought indices for semi-arid region using drought indices calculator (DrinC) – a case study from madurai district, a semi-arid region in India. *Water Resources Management*, 31, 3593–3605.
26. Tsakiris, G., Nalbantis, I., Pangalou, D., Tigkas, D., Vangelis, H. (2008). *Drought meteorological monitoring network design for the Reconnaissance Drought Index (RDI)*. 1st International Conference Drought Management: Scientific and Technological Innovations. Zaragoza, Spain. 12–14 June 2008. pp. 57–62.
27. Tsakiris G, Vangelis H (2005) Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10, 3–11.
28. Van Loon, A.F, Van Lanen, H.A.J. (2013). Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework. *Water Resources Research*, 49, 1483–1502.
29. Vidyarthi, V.K., Jain, A. (2020). Knowledge extraction from trained ANN drought classification model. *Hydrology*, 585, 124804.
30. Wei, W., Zhang, J., Zhou, L. et al. (2021). Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 20408–20425.



Contents

- **Investigating the Effects of Climate Change on the Mobility of Sand Dunes (Case study: Sabzevar City)** 1
Naeimi, M., S. Zandifar, M. Khosroshahi, P. Ashouri and H. R. Abbasi
- **Investigating the Effect of Flood Sedimentation on Vegetation and Topsoil Changes in Abdalan Plain** 19
Jahantab, E., M. Farzin and M. Khazaei
- **Projection of Climate Changes in Yazd Province in both the Near and Distant Future using SDSM Linear Multiple Model** 31
Rafiei Sardooi, E., A. Azareh, J. Rafi Sharifabad and M. Jafary Godeneh
- **Detection and Numerical Simulation of Dust Storm in Kermanshah** 47
Alizadeh, T., M. Rezaei Banafsheh, Gh.R. Goodarzi and S.H. Sheikhghaderi
- **Effect of Wet and Drought Periods on Physico-Chemical Properties of Groundwater Resources in the Eastern Part of Gorgan Plain** 63
Jandaghi N., M. Ghare Mahoodlu and A. Nasiri
- **Modeling the Effects of Land Use and Land Cover Changes on Desertification Intensity in Mokhtaran Plain Using CA-Markov Method** 79
Rafieemajoomerd Z., M. Rahimi, Sh. Nikoo, H. Memarian and H. Kaboli
- **Performance Analysis of NAR Model for Short and Long Term Drought Forecasting in Arid Regions** 103
Arjmandi Harat Z. and M.A. Asadi Zarch

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. 9

No. 2

2021

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 9 - No 2- Summer 2021

18

Contents

- **Investigating the Effects of Climate Change on the Mobility of Sand Dunes (Case study: Sabzevar City)** 1
Naeimi, M., S. Zandifar, M. Khosroshahi, P. Ashouri and H. R. Abbasi
- **Investigating the Effect of Flood Sedimentation on Vegetation and Topsoil Changes in Abdalan Plain** 19
Jahantab, E., M. Farzin and M. Khazaei
- **Projection of Climate Changes in Yazd Province in both the Near and Distant Future using SDSM Linear Multiple Model** 31
Rafiei Sardooi, E., A. Azareh, J. Rafi Sharifabad and M. Jafary Godeneh
- **Detection and Numerical Simulation of Dust Storm in Kermanshah** 47
Alizadeh, T., M. Rezaei Banafsheh, Gh.R. Goodarzi and S.H. Sheikhghaderi
- **Effect of Wet and Drought Periods on Physico-Chemical Properties of Groundwater Resources in the Eastern Part of Gorgan Plain** 63
Jandaghi N., M. Ghare Mahoodlu and A. Nasiri
- **Modeling the Effects of Land Use and Land Cover Changes on Desertification Intensity in Mokhtaran Plain Using CA-Markov Method** 79
Rafieemajoomerd Z., M. Rahimi, Sh. Nikoo, H. Memarian and H. Kaboli
- **Performance Analysis of NAR Model for Short and Long Term Drought Forecasting in Arid Regions** 103
Arjmandi Harat Z. and M.A. Asadi Zarch