انجمن علمی مدیریت و
کنترل مناطق بیابانی ایران

نشریه

مدیریت بیابان

شاپا ۲۴۷۶-۳۷۲۱

فصلنامه: سال دهم - شماره ۱ - بهار ۱۴۰۱

۲۱

فهرست مطالب

به نام خدا

نشریه مدیریت بیابان

فصلنامه علمی انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

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

دوره ۱۰ **شماره ۱** **سال ۱۴۰۱**

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

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

□ **آدرس دفتر مجله:**

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

صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

تلفن و فکس: ۳۸۲۱۰۶۹۸-۰۳۵

پست الکترونیک: jdm.isadmc@yahoo.com

□ **تیراژ:** ۱۰۰ نسخه

فصلنامه علمی مدیریت بیابـان

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

سال دهم، شمـاره اول، بهار ۱۴۰۱

فهرست مطالب

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

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

۱- نوع مقاله

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

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

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

- مشخصات بخش‌های مختلف مقاله:

۱) برگ شناسه (معرفی نویسنده یا نویسندگان): شامل نام، نام خانوادگی، مرتبه علمی و نشانی کامل محل کار و شماره تلفن های ثابت و همراه نویسنده (گان) است که به فارسی و لاتین نوشته شده و به همراه نشانی پست الکترونیک نویسندۀ 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 صفحۀ اول درج می‌شود.

۳) چکیده: چکیده باید مجموعۀ 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 منطقۀ مورد مطالعه، طرح آماری و روش‌های ارزیابی است. از هر گونه کلی گویی در این بخش باید پرهیز شود.

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

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

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

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

۱۰) منابع:

الف) منابع داخل متن:

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

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

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

ب) منابع انتهای متن:

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

فهرست منابع مورد استفاده قرار گیرد. منابع به صورت پیوسته شماره‌گذاری و همین شماره در متن برای رفرنس دادن استفاده شود.

در تنظیم فهرست منابع مورد استفاده از آوردن واژگان به صورت مخفف مانند "J" به جای Journal یا، U و یا Univ به جای University و ... پرهیز شود.

چنانچه از یک نگارنده چند منبع مورد استفاده قرار گیرد، ترتیب ارائه آنها بر حسب سال انتشار از قدیم به جدید است، لازم به‌ذکر است در صورتی‌که مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده وجود دارد، ابتدا مقالات منفرد و سپس بقیه آنها به‌ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب گردد.

از به‌کارگیری عبارت "et al." در لیست مقالات به جای نام نویسندگان مقاله خودداری شود و اسامی تمامی نویسندگان به‌ترتیب ذکر شده در منبع مورد نظر آورده شده و نام کامل خانوادگی و حرف اول نام نویسندگان با ویرگول و قبل از نام آخرین نویسنده با & از یکدیگر تفکیک گردند.

سال‌های شمسی تمام منابع فارسی مورد استفاده در مقاله به صورت سال میلادی ارائه گردد.

در مورد منابعی که فارسی است، به‌منظور آگاهی خواننده عبارت "in Farsi" در انتهای منبع قبل از نقطه پایانی و در داخل پرانتز آورده شود.

روش ارجاع منابع مختلف:

✓ کتاب تألیفی:

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

✓ کتاب ترجمه شده:

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

✓ مقاله:

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

✓ پایان نامه:

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

✓ منابع اینترنت:

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

نکته: رعایت اصول تایپی در استفاده از نقطه، کاما و فاصله بین کاراکترها و غیره دارای اهمیت است و باید با دقت رعایت گردد.

- کنترل شود که کلیه منابع استفاده شده در متن مقاله، در لیست منابع ذکر شده باشند و یا منابع ذکر شده در لیست منابع در متن به‌عنوان رفرنس استفاده شوند.

۱۱- برگ چکیده به لاتین:

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

- **شیوهٔ نگارش**:

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

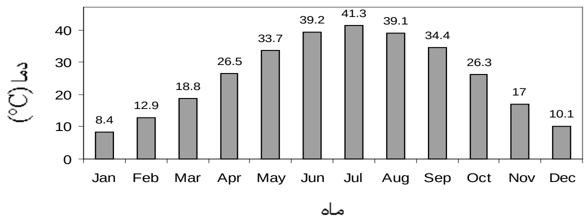
نوع و اندازه قلم‌ها، طبق جدول زیر رعایت شود.

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

جدول، شکل‌ها، نتایج را خیلی دقیق‌تر و واضح‌تر از متن نمایش می‌دهند. اطلاعات ارائه شده در جدول‌ها نباید به صورت منحنی و یا به شکل دیگری در مقاله تکرار شوند. شماره و عنوان جدول در بالای جدول ذکر گردد. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به خود باشد. چنان‌چه تمام ارقام جدول دارای واحد یکسان باشد، می‌توان واحد را در عنوان جدول ذکر نمود. توضیحات عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه گردد. نتایج بررسی‌های آماری باید به یکی از روش‌های علمی در جدول منعکس شود. جدول تنها در محیط Word طراحی و از ایجاد ارتباط یا Link نمودارها با دیگر فایل‌ها خودداری شود.

شکل‌های هر مقاله شامل منحنی، نمودار، عکس و نقشه بوده و همه به طور یکسان به عنوان شکل شماره‌گذاری شوند. شکل‌ها باید به صورت سیاه و سفید و با کیفیت بالا باشد. عنوان هر شکل در پایین آن درج گردد. عکس‌ها باید واضح، مطالب آنها خوانا و دارای مقیاس باشند. در تهیه نقشه‌ها به جای رنگ از علامت "نماد" استفاده گردد. ذکر مأخذ عکس‌ها یا شکل‌های اقتباس شده که از منابع دیگر، الزامی است. فایل‌های اصلی شکل‌ها با فرمت Excel, JPEG, Tiff یا PDF

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



شکل ۱. نمونه فرمت شکل‌های مورد نظر مجله مدیریت بیابان

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

جدول ۱. نمونه جدول مورد نظر مجله مدیریت بیابان

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

● هیأت تحریریه در رد و ویرایش مقالات مجاز است.

● مسئولیت صحت مطالب به عهده نویسندگان است.

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

● **فایل های ارسالی شامل:**

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

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

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

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

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

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

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

تلفکس: ۰۳۵-۳۸۲۱۰۶۹۸

رایانامه: jdm.isadmc@yahoo.com

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

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

Original Article, Vol. 10, No. 1, Spring, 2022, pp 1-14

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Determining the Most Suitable Vegetation Index for Mapping of Desertification Intensity in Arid Lands of Sistan Using Sentinel Images

F. Zolfaghari[1*], V. Abdollahi[1]

1. Assistant Professor, Higher education complex of Saravan, Saravan, Iran.
* Corresponding Author: f.zolfaqari@saravan.ac.ir

Received date: 10/02/2022 **Accepted date: 23/04/2022**

doi 10.22034/JDMAL.2022.548652.1375

Abstract

Vegetation is one of the most important key components in arid regions for reducing of the effects of erosion and determining the severity of desertification. Decrease in vegetation leads to increase in surface albedo. Accessing and preparing desertification intensity map at the fastest possible time and at the lowest cost is one of the concerns of governments. In the present study, in order to identify the best vegetation index for preparing the desertification intensity map, MSIL-1C data of Sentinel 2 satellite in the arid region of Sistan has been used. For this purpose, the relationship between surface albedo and each of the different vegetation indices of the NDVI, RVI, DVI, PVI, SAVI and TSAVI were conducted. After determining the linear regression equation between the albedo and each of the mentioned indices, the relevant desertification intensity equation was calculated and the desertification intensity map of the studied area at 5 classes was prepared based on albedo and each of the mentioned indices. The results showed the strongest relationship in the study area was between albedo and NDVI, with a correlation coefficient of 0.63, and the lowest correlation of 0.37 was between the albedo and PVI indices. Based on the present study among the indices studied, the NDVI is the best for the preparation of maps of desertification intensity in the arid region of Sistan. Based on this index, 20.3% of the region was classified as severe and 32.9% of the region grouped into the moderate desertification class.

Keywords: Classification; Remote Sensing; Sentinel 2; NDVI; Albedo

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

تعیین مناسب‌ترین شاخص پوشش‌گیاهی برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک به کمک تصاویر ماهواره سنتینل

فرهاد ذوالفقاری[۱*]، وحیده عبداللهی[۱]

۱. استادیار، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: f.zolfaqari@saravan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۳
doi 10.22034/JDMAL.2022.548652.1375

چکیده

پوشش‌گیاهی یکی از مهمترین مؤلفه‌های کلیدی در مناطق خشک برای کاهش تاثیر فرسایش و شناخت شدت بیابان‌زایی به حساب می‌آید. کاهش پوشش‌گیاهی منجر به افزایش سپیدایی (آلبدوی) سطحی می‌شود. تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در سریع‌ترین زمان و کمترین هزینه یکی از دغدغه‌های دولت‌ها برای شناخت سریع مناطق بحرانی و تخریب شده می‌باشد. در پژوهش حاضر برای شناسائی بهترین شاخص پوشش‌گیاهی برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در منطقه خشک سیستان از داده‌های MSIL-1C ماهواره سنتینل ۲ استفاده شده است. برای این هدف رابطهٔ بین میزان سپیدایی سطح زمین و هر یک از شاخص های مختلف پوشش‌گیاهی از جمله NDVI، RVI، DVI، PVI، SAVI و TSAVI مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تعیین رابطه رگرسیون خطی بین سپیدایی و هریک از شاخص‌های مذکور رابطهٔ شدت بیابان‌زایی مربوطه استخراج و نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه مورد بررسی در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه قوی ترین رابطه بین دو شاخص Albedo و NDVI وجود دارد به طوری که ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۳ بود. کمترین میزان همبستگی بین دو شاخص سپیدایی و PVI به مقدار ۰/۳۷۲ بدست آمد. بر اساس پژوهش حاضر بهترین شاخص پوشش‌گیاهی از بین شاخص‌های مورد ارزیابی برای تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان شاخص NDVI بود. بر اساس این شاخص ۲۰/۳٪ منطقه در کلاس شدید و ۳۲/۹۲٪ منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی طبقه‌بندی گردید.

واژگان کلیدی: سنجش از دور؛ طبقه‌بندی؛ سپیدایی؛ سیستان؛ شاخص پوشش‌گیاهی

■ مقدمه

پوشش‌گیاهی به‌عنوان عاملی برای پایداری سطح زمین، یکی از مهمترین مؤلفه‌های کلیدی در مناطق خشک برای کاهش تأثیر فرسایش و تعیین شدت بیابان‌زایی به حساب می‌آید (۲۱). کاهش پوشش‌گیاهی و زیتوده ارتباط مستقیمی با تخریب خاک دارد و منجر به افزایش سپیدایی سطحی[1] می‌شود (۱۶). میزان سپیدایی در مناطق تخریب یافته و دارای پوشش‌گیاهی تنک افزایش می‌یابد (۵). با کاهش پوشش‌گیاهی در سطح زمین در واقع مقدار رطوبت کاهش می‌یابد و مقدار سپیدایی سطح در این مناطق افزایش می‌یابد (۱۹). سپیدایی پتانسیل پایش تغییرات عملکرد بوم‌نظام (اکوسیستم) در مناطق خشک را دارد و به‌عنوان زنگ خطری برای شروع پدیده بیابان‌زایی است (۲۸). در نقاط مختلف دنیا بررسی‌های زیادی به کمک فناوری سنجش از دور برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه خشک پرداخته‌اند، مانند الگوریتم های طبقه‌بندی (۲و ۳) و شاخص‌های طیفی (۱۳) که غالب آن‌ها بر پایهٔ داده‌های ماهواره لندست (سنجنده OLI) بوده است؛ و کمتر از داده‌های ماهواره سنتینل استفاده شده است. برای پایش بیابان‌زایی مدلی بر مبنای شاخص سپیدایی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش‌گیاهی در سال ۲۰۱۱ توسط پژوهشگران ارائه گردید این شاخص‌ها به خوبی می‌تواند منعکس کننده بیابان‌زایی پوشش سطح زمین، ترکیب آب گرما و تغییرات آنها باشد و با استفاده از اطلاعات دورسنجی چند طیفی به راحتی می‌توان مناطق بیابانی شده را شناسائی نماید (۱۶). مطالعاتی بر اساس مدل تجزیه و تحلیل ترکیب طیفی، سه گروه متفاوت شامل پوشش گیاهی، آب و خاک برهنه نیز صورت گرفته است در این مطالعات ابعاد تصاویر ماهواره‌ای را به روش کسر حداقل نویز (MFN[2]) کاهش و برای محدود کردن دامنه نهایی از شاخص خلوص پیکسل استفاده گردیده است (۱۹). در این پژوهش بر اساس ویژگی‌های طیفی- زمانی مؤلفه‌های پوشش‌گیاهی و سپیدایی سطح زمین که از تصاویر ماهواره لندست بدست آوردند، وضعیت و درجه بیابان‌زایی را تعیین نمودند. برای درک بهتر پویایی، زمانی–مکانی فرآیندهای زیست محیطی با استفاده از تکنیک تحلیل بردار تغییر (CVA[3])، مقدار تغییرات شاخص‌های سپیدایی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش‌گیاهی در چهار دوره زمانی بررسی و میزان تغییرات بدست آمده برای هر گام زمانی به خوبی نمایش داده شد (۱۲). برای ارزیابی بیابان‌زایی در شهرستان ناتال، ریوگراند دونورث[4] جهت تعیین شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی منطقه با استفاده از الگوریتم سبال[5] اقدام گردید و به این منظور شاخص‌های سپیدایی، پوشش‌گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از فناوری سنجش از دور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این پژوهش نشان داد که میزان سپیدایی در حال افزایش بوده و دما و شاخص پوشش‌گیاهی رفتار مشابهی از خود نشان دادند (۵). تحلیل الگوی مکانی- زمانی بیابان‌زایی با شاخص‌های، MSAVI[6]، FVC[7] و TVDI[8]، و همچنین درجه حرارت سطح زمین و سپیدایی سطح با استفاده از تصاویر سنجنده لندست و سامانه اطلاعات جغرافیایی[9] صورت گرفته است (۱۰). نتایج بررسی آنها نشان داد که با استفاده از فناوری سنجش از دور و با محاسبه شاخص‌های مورد اشاره بخوبی می‌توان مناطق بیابانی شده و مناطقی که در آن شدت بیابان کاهش یافته است را رصد نمود. آنها در این پژوهش نشان دادند که عوامل انسانی مانند تغییرات جمعیتی و افزایش سطح زیر کشت در دوره مورد مطالعه (۲۰۱۰- ۲۰۰۰) از جمله عوامل مؤثر در پدیده بیابان‌زایی بوده است و به کمک فناوری سنجش از دور و شاخص‌های مربوطه به درستی می‌توان اثرات بیابان‌زایی را بررسی کرد.

با استفاده از شاخص‌های NDVI[10] و TGSI[11] و Albedo، وضعیت سطح زمین در خصوص زیست توده گیاهی، الگوی سیمای سرزمین و آب و هواشناسی در

[1] Surface Albedo
[2] Minimum Noise Fraction
[3] Change Vector Analysis
[4] Natal, Rio Grande do Norte
[5] Surface Energy Balance Algorithm for Land
[6] Modified Soil-Adjusted Vegetation Index
[7] Fractional Vegetation Cover
[8] Temperature–Vegetation Drought Index
[9] Geographic Information System
[10] Normalized Difference Vegetation Index
[11] Topsoil Grain Size Index

مقیاس کوچک[1] با توسعه یک مدل کمّی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است (۱۳). محققان در پژوهش خود هیچ ارتباطی بین شاخص NDVI و سپیدایی و همچنین NDVI و TGSI مشاهده نکردند اما همبستگی زیادی (۰/۷۷ تا ۰/۹۲) بین شاخص سپیدایی و TGSI در مناطق غیر بیابان‌زایی مشاهده نمودند. آنها نشان دادند که بر اساس این شاخص‌ها، بیابان‌زایی منطقه در حال افزایش می‌باشد. همچنین بیان کردند که با شناسائی تغییرات در سطح NDVI، TGSI و سپیدایی سطح می‌توان فرایند بیابان‌زایی را شناسائی کزد و بیشترین ارزش TGSI در مناطقی که بیابان‌زایی شدید رخ داده بود مشاهده شد.

محققینی با استخراج شاخص‌های NDVI و BSI[2] و Albedo از تصاویر ماهواره لندست و با مدل CVA[3] به بررسی تعیین جهت و اندازه شاخص‌ها، به ارزیابی تخریب یا پیشرفت وضعیت زمین در دوره‌های مختلف زمانی پرداخته‌اند (۴). در این مطالعه با استفاده از رابطه بین NDVI و Albedo شاخص درجه بیابان‌زایی نشان داده شد. همچنین محققین دیگری با استفاده از شاخص‌های Albedo و MSAVI به مطالعه تخریب خاک پرداخته و شدت تخریب خاک را با استفاده از این دو شاخص به کمک فناوری سنجش از دور نشان دادند (۷). بررسی و مطالعه یک مدل جغرافیایی منطقه‌ای و بررسی سه شاخص MSAVI NDVI, TGSI, و سپیدایی سطح نشان داد که رابطه بین دو شاخصAlbedo و MSAVI نسبت به دو شاخص دیگر برای بدست آوردن نقشه شدت بیابان قوی‌تر و مناسبتر می‌باشد (۲۵). بررسی شدت بیابان‌زایی بر اساس خصوصیات فضائی Albedo و NDVI و Albedo و MSAVI نشان داد که چنانچه میزان پوشش‌گیاهی در سطوح مورد بررسی کاهش یابد از میزان شاخص NDVI و MSAVI کاسته شده و بر مقدار Albedo افزوده می‌شود (۱۵، ۲۴).

در منطقه سیستان تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی بیابان‌زایی و طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی صورت گرفته است (۶، ۸، ۱۷، ۲۰، ۲۹)، که بیشتر آنها به دلیل صرف هزینه‌های زیاد، وسعت منطقه و عدم دسترسی به‌دلایل مسائل امنیتی و خارج از مرز سیاسی ایران با مشکلات عدیده‌ای روبرو بوده است. از طرفی بررسی‌های قبلی صورت گرفته به کمک فن‌آوری سنجش از دور بیشتر بر پایهٔ شاخص NDVI یا دیگر شاخص‌های پوشش‌گیاهی بوده است و ارتباط بین تغییرات شاخص‌های مختلف پوشش‌گیاهی و سپیدایی از نگاه بیابان‌زایی کمتر مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته شده است. با توجه به اینکه تا کنون رابطه بین دیگر شاخص‌های پوشش‌گیاهی با سپیدایی مورد بررسی و توجه قرار نگرفته است ضروریست تا جهت شناخت مناسب‌ترین شاخص پوشش‌گیاهی مطالعات مختلفی در نقاط متفاوتی از مناطق خشک کشور صورت پذیرد. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه خشک سیستان با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل[4] برای بررسی رابطه شاخص‌های مختلف پوشش‌گیاهی و سپیدایی برای شناخت شاخص گیاهی که بیشترین همبستگی را با سپیدایی داشته باشد انجام شد و در آخر بر پایهٔ بهترین شاخص نقشهٔ شدت بیابان‌زایی منطقه تهیه شد.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

تالاب بین المللی هامون با مساحت حدود ۱۵۱۹۷ km^2 در شرق ایران واقع شده است. این منطقه شامل سرزمینی پست و هموار و یکی از مناطق با ارزش‌های بوم‌شناختی ویژه می‌باشد (۲۳). منطقه سیستان از لحاظ شرایط بوم‌شناختی جزء مناطق خشک و بحرانی کشور است (۹). منطقه مورد بررسی بخشی از دشت سیستان به مساحت ۱۴۰۷۲ ha و در محدوده ′ ۴۹ °۳۰ تا ′۴۰ °۳۱ عرض شمالی و ′۱۳ °۶۱ تا ′۳۲ °۶۱ طول شرقی می‌باشد (شکل ۱). بر اساس آمارهای بلند مدت (۹۵-۱۳۶۲) ایستگاه هم‌دیدی (سینوپتیک) شهرستان زابل میانگین بلند مدت بارش در این منطقه ۶۱/۰۱ mm است که حدود ۴۴٪ بارندگی‌های آن در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. میانگین بلند مدت درجه حرارت هوا ۲۶/۶°C و گرمترین ماه سال تیرماه با متوسط ۴۱/۴°C و سردترین ماه سال دیماه با

[1] Micrometeorology
[2] Bare Soil Index
[3] Change Vector Analysis
[4] Sentinel

۲/۴°C است. حداکثر سرعت بادهای غالب بر اساس دیده‌بانی‌های دراز مدت در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور می‌باشد و کمینه متوسط سرعت باد در آذرماه اتفاق می‌افتد (۲۹).

روش پژوهش

برای دستیابی به اهداف تعیین شده در پژوهش حاضر برای پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل از نرم افزار SNAP[1] استفاده شد. همچنین برای تجزیه‌های آماری و رگرسیون از نرم افزار SPSS 24 و برای خروجی و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی از نرم افزار Arc GIS 10.3 استفاده شده است. در پژوهش حاضر برای پایش بیابان‌زایی در منطقه سیستان از مناطق خشک استان سیستان و بلوچستان مراحل زیر صورت گرفت:

گام اول تهیه تصاویر ماهواره‌ای و انجام عملیات آماده سازی تصاویر بود، برای این منظور داده‌های ماهواره Sentinel 2A مربوط به سنسور MSIL-1C دوم آگوست سال ۲۰۲۰ انتخاب و کلیه تصاویر از سایت آژانس فضائی اروپا دانلود و مورد استفاده قرارگرفت (۱۱). گام دوم محاسبه شاخص‌های پوشش‌گیاهی NDVI، RVI، PVI، DVI، SAVI و TSAVI و Albedo بود که بر اساس روابط ۱ تا ۷ محاسبه شد (۲۲).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \tag{۱}$$

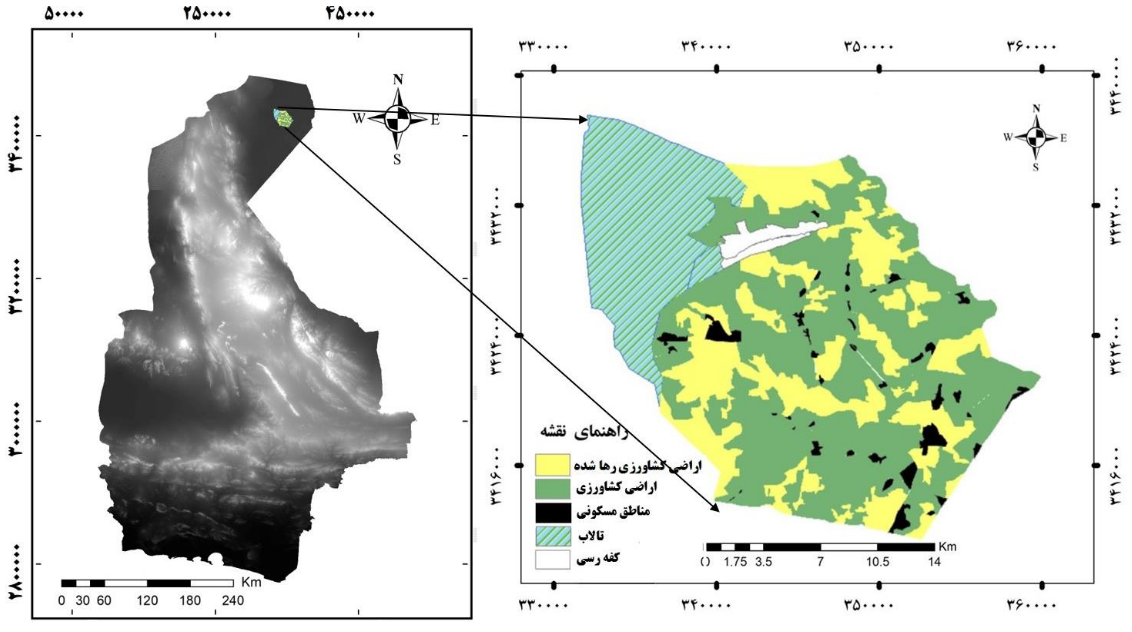
$$DVI = NIR - \alpha \times RED \tag{۲}$$

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \tag{۳}$$

$$SAVI = \frac{(1 + L) \times (NIR - RED)}{NIR + RED + L} \tag{۴}$$

$$TSAVI = \frac{\alpha \times (NIR - \alpha \times RED - b)}{RED + \alpha \times NIR - \alpha \times b} \tag{۵}$$

$$PVI = \sin(\alpha)\, NIR - \cos(\alpha)\, RED \tag{۶}$$



شکل۱. منطقه مورد مطالعه

[1] Sentinel application platform

در این روابط RED باند قرمز (شماره ۴)، NIR باند مادون قرمز نزدیک (شماره ۸) ماهواره سنتینل۲ می‌باشد.

مقدار ضرایب در روابط ۱ الی ۶ به شرح ذیل مورد استفاده قرار گرفت:

$\alpha = 0 \cdot 96916 \quad b = 0 \cdot 84726$
$L = 0 \cdot 5$

در پژوهش حاضر محاسبهٔ مقدار شاخص سپیدایی سطح بر اساس رابطهٔ لیانگ[1] که برای تصاویر سنجنده سنتینل ۲ ارائه شده است بر اساس رابطه (۷) انجام شد (۱۸). با توجه به اینکه برای محاسبه مقدار سپیدایی سطح باندهای مورد استفاده دارای دقت مکانی ۱۰ متر و ۲۰ متری می‌باشند ابتدا با دستور بازنمونه برداری[2] همه باندها به رزولوشن مکانی ۱۰ متری در نرم افزار SNAP تبدیل شد.

$$\alpha = 0.356b_2 + 0.130b_4 + 0.373b_8 + 0.085b_{11} + 0.072b_{12} - 0.0018 \quad (۷)$$

در این رابطه α مقدار سپیدایی سطح و نماد b با اندیس مربوطه نشان دهندهٔ شماره باند ماهواره سنتینل ۲ است.

در پژوهش حاضر برای کاهش مقدار خطای ناشی از رطوبت سطحی خاک و همچنین عدم حضور گونه‌های یک‌ساله و موقت، فصل تابستان و ماه میانه آن یعنی مردادماه برای بررسی انتخاب شد، زیرا در این بازه زمانی سطح خاک خشک و فقط گونه‌های دائمی حضوردارند که نقش بسیار مهمی در پایداری و حفاظت خاک دارند.

محاسبه شدت بیابان‌زایی

به‌منظور برآورد رابطه بین شاخص‌های گیاهی NDVI، RVI، PVI، DVI، SAVI، TSAVI و Albedo از مدل رگرسیون خطی بر اساس ۳۶۲ پیکسل تصادفی استفاده شد. همچنین برای دست‌یابی به رابطه شدت بیابان‌زایی ضریب شیب خط حاصل از رگرسیون بین هریک از شاخص‌های پوشش‌گیاهی و Albedo محاسبه و رابطه شدت بیابان‌زایی ارائه شد (رابطه ۸).

$$I = a * \text{Index} - \text{Albedo} \quad (۸)$$

در این رابطه I شدت بیابان‌زایی، a مقدار ضریب حاصل از رگرسیون بین شاخص سپیدایی و شاخص پوشش‌گیاهی مربوطه که از تقسیم یک بر ضریب شاخص پوشش‌گیاهی بدست می‌آید (۴) و Index هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی می‌باشد.

از روش شکست طبیعی جنکس[3] برای طبقه‌بندی ارزش داده‌ها به ۵ درجه بیابان‌زایی استفاده شد (۱۰، ۴ و ۲۷). در این تقسیم بندی ۵ طبقه مختلف شدت بیابان‌زایی شامل ۱- مناطق بدون بیابان‌زایی، ۲- شدت کم، ۳- شدت متوسط، ۴- شدت‌زیاد، و ۵- شدت خیلی‌زیاد در بیابان‌زایی تعریف شد.

■ نتایج

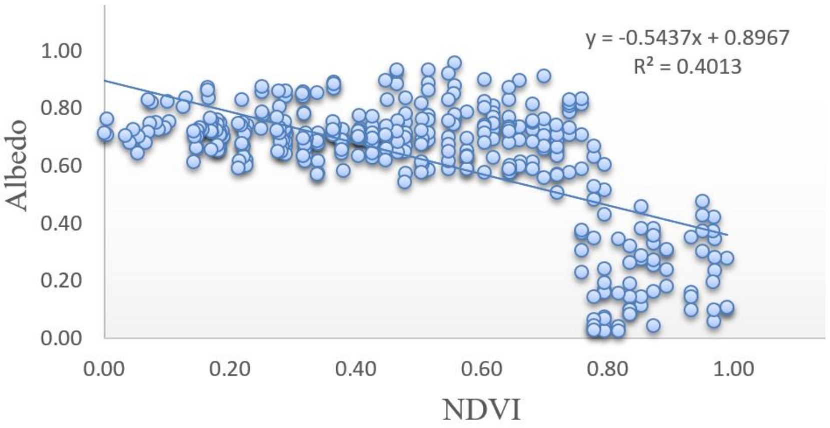
بررسی رابطه بین Albedo و شاخص‌های گیاهی

نتایج حاصل از بررسی رابطه رگرسیون خطی بین دو شاخص NDVI و Albedo نشان داد که بین این دو شاخص رابطه قوی و منفی با ضریب همبستگی ۰/۶۳۳ (درسطح اطمینان ۹۹٪) برقرار می‌باشد (شکل ۲)، به‌طوری‌که با افزایش مقدار شاخص NDVI شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.

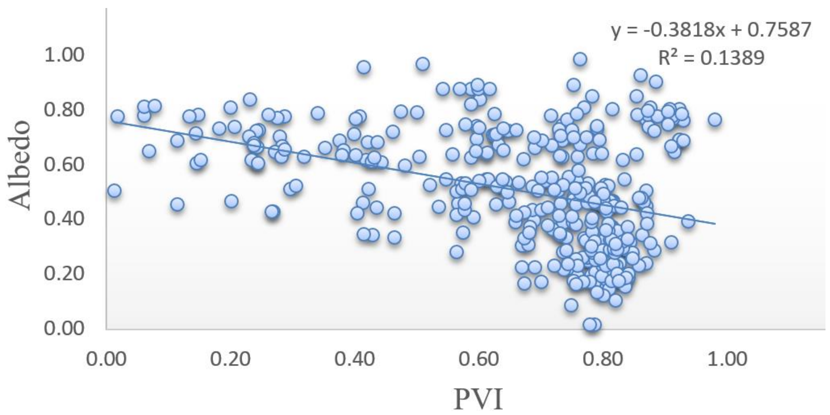
نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص PVI و Albedo نشان داد که ضریب همبستگی بین این دو شاخص برای منطقه زابل ۰/۳۷۲ (درسطح اطمینان ۹۹٪) است و رابطه حاصل نیز منفی می‌باشد (شکل ۳). به‌طوری که با افزایش مقدار شاخص PVI از مقدار شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص RVI و Albedo نشان داد که ضریب همبستگی برای منطقه زابل ۰/۵۴۴ (در سطح اطمینان ۹۹٪) است (شکل ۴) و در این شاخص نیز با افزایش مقدار شاخص RVI از مقدار شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.

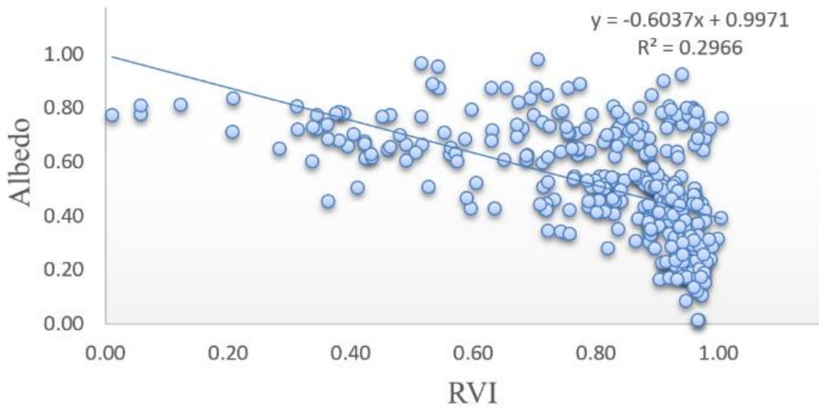
[1] Liang
[2] Resampling
[3] Natural Breaks (Jenks)



شکل ۲. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo – NDVI به روش رگرسیون خطی



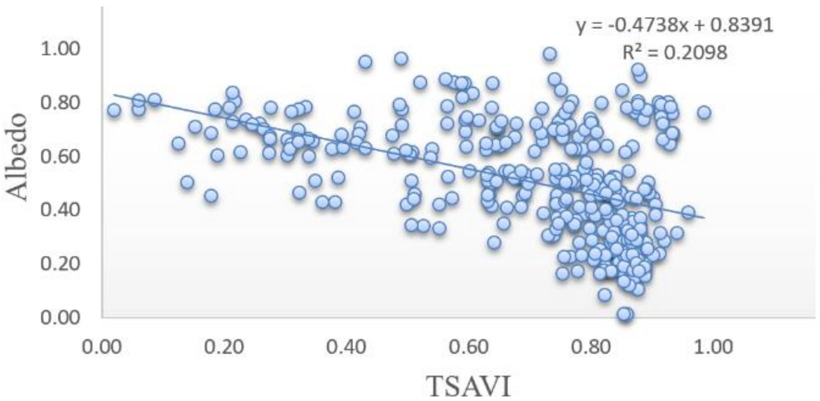
شکل ۳. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo – PVI به روش رگرسیون خطی



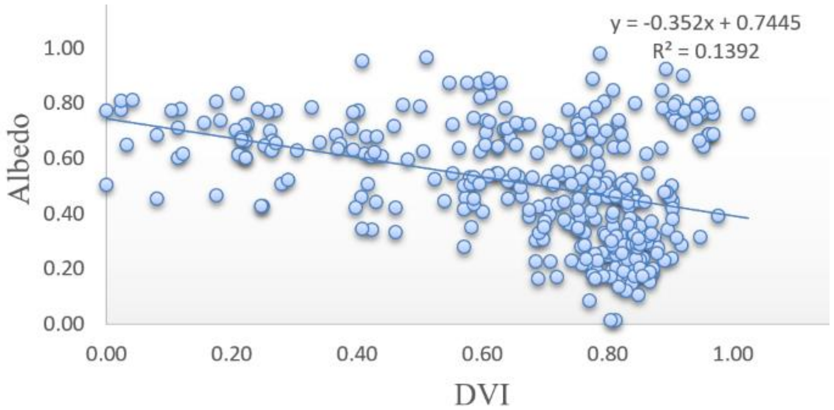
شکل ۴. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo – RVI به روش رگرسیون خطی

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص TSAVI و Albedo نشان داد که مقدار ضریب همبستگی ۰/۴۵۸ (درسطح اطمینان ۹۹٪) برای منطقه زابل می‌باشد (شکل ۵)، که بیانگر وجود یک رابطه منفی بین این دو شاخص است. به‌طوری که با افزایش شاخص TSAVI، از شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص DVI و Albedo نشان داد که بین این دو شاخص نیز رابطه معکوس و متوسطی وجود دارد و ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۷۳ (درسطح اطمینان ۹۹٪) می‌باشد (شکل ۶).



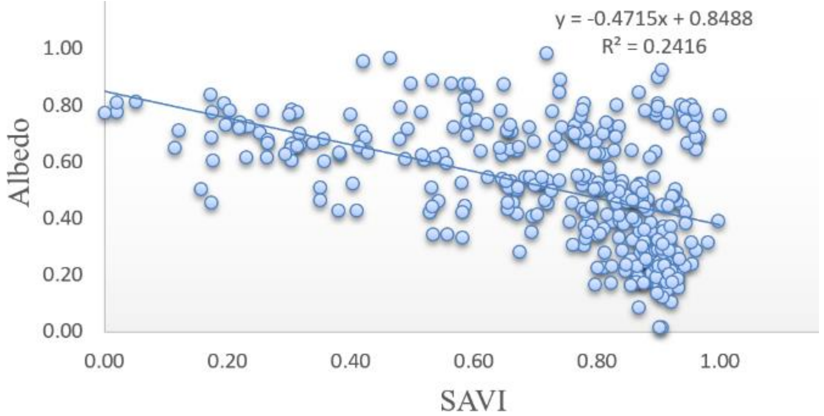
شکل ۵. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo – TSAVI به روش رگرسیون خطی



شکل ۶. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo – DVI به روش رگرسیون خطی

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص SAVI و Albedo نشان داد که ضریب همبستگی بین این دو شاخص برابر با ۰/۴۹۱ (درسطح اطمینان ۹۹٪) است (شکل ۷) و رابطه بین این دو شاخص نیز یک‌رابطه معکوس می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی رابطه بین شاخص Albedo با هر یک از شاخص‌های مورد بررسی پوشش‌گیاهی NDVI, SAVI, RVI, PVI, TSAVI و DVI نشان داد که بالاترین همبستگی در منطقه مورد مطالعه بین شاخص-NDVI Albedo به مقدار ۰/۶۳۳ وجود دارد، همچنین کمترین همبستگی بین شاخص PVI-Albedo به مقدار ۰/۳۷۲- در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که در جدول (۱) برای منطقه مورد مطالعه به تفکیک رابطه بین شاخص سپیدایی با هریک از شاخص‌های پوشش‌گیاهی نشان داده شده است.



شکل ۷. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo – SAVI به روش رگرسیون خطی

جدول ۱. نتایج حاصل از رابطه رگرسیون خطی بین شاخص سپیدایی با هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی

نام شاخص	معادله رگرسیون	ضریب تبیین	(r)	p
NDVI-Albedo	Albedo= -0.5437 × NDVI + 0.8967	۰/۴۰۱	-۰/۶۳۳	۰/۰۰۰۱
SAVI-Albedo	Albedo= -0.4715 × SAVI + 0.8488	۰/۲۴۱	-۰/۴۹۱	۰/۰۰۰۱
RVI-Albedo	Albedo= -0.6037 × RVI + 0.9971	۰/۲۹۶	-۰/۵۴۴	۰/۰۰۰۱
PVI-Albedo	Albedo= -0.3818 × PVI + 0.7587	۰/۱۳۸	-۰/۳۷۲	۰/۰۰۰۱
TSAVI-Albedo	Albedo= -0.4738 × TSAVI + 0.8391	۰/۲۰۹	-۰/۴۵۸	۰/۰۰۰۱
DVI-Albedo	Albedo= -0.352 × DVI + 0.7445	۰/۱۳۹	-۰/۳۷۳	۰/۰۰۰۱

بر اساس ضریب حاصل شده از رگرسیون خطی بین شاخص Albedo و هر یک از شاخص‌های مختلف پوشش‌گیاهی که در جدول (۱) ارائه شده است معادله شدت بیابان‌زایی استخراج گردید که در جدول (۲) برای هریک از شاخص‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

نتایج حاصل از نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس طبقه‌بندی دامنه حاصل از شکست طبیعی جنکس در ۵ طبقه بر اساس مدل Albedo-NDVI برای منطقه مورد مطالعه نشان داد که بیشترین سطح منطقه با ۳۲/۹۲٪ در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار گرفته است و تنها ۲۷/۷۳٪ از منطقه فاقد کلاس بیابان‌زایی می‌باشد (شکل ۸-الف).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-RVI نشان داد که در منطقه زابل بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۶۲/۹۲٪ و کم ترین سطح منطقه با ۰/۶٪ منطقه در طبقه مناطق بدون بیابان‌زایی طبقه بندی شده است (شکل ۸-ب).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-PVI نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۹/۹٪ و کم‌ترین سطح منطقه با ۸/۴۳٪ منطقه در طبقه کم بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-ج).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-SAVI نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۸/۵٪ و کم‌ترین سطح منطقه با ۲٪/۹ منطقه در طبقه کم بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-د).

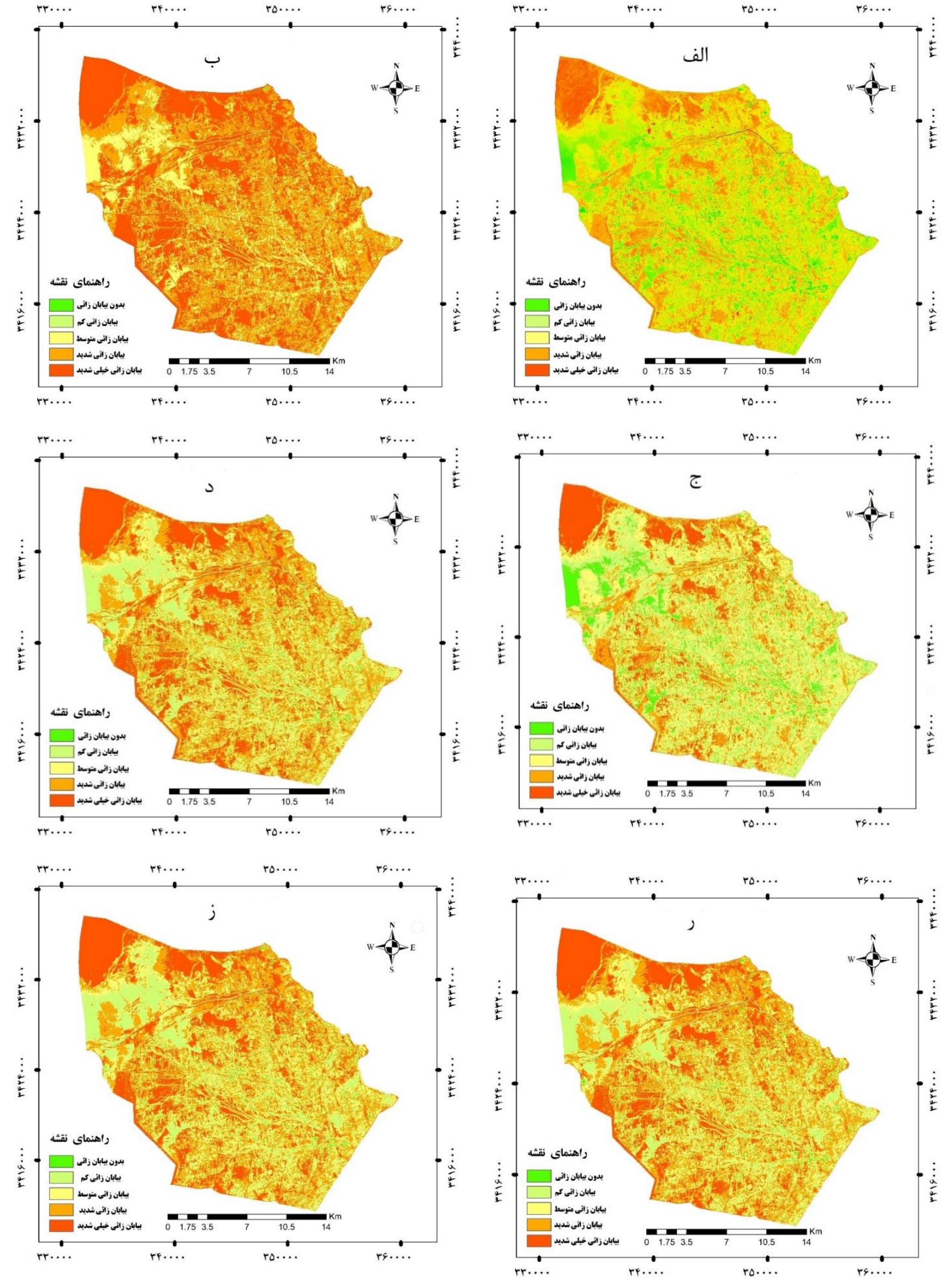
تعیین شدت بیابان‌زایی براساس‌مدل Albedo-TSAVI نشان داد که در منطقه مورد بررسی بر اساس این شاخص بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۶/۰۵٪ و کم‌ترین سطح منطقه با ۲/۶۴٪ در طبقه مناطق بدون بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-ر).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-DVI نشان داد که بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۸/۴٪ و کم ترین سطح منطقه با ۲/۳۸٪ منطقه در طبقه کم بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-ز).

نتایج حاصل از درصد تعیین شدت بیابان‌زایی بر پایۀ مدل سپیدایی و هر یک از شاخص‌های پوشش‌گیاهی برای منطقه مورد بررسی در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از تعیین معادله شدت بیابان‌زایی بین شاخص سپیدایی با هریک از شاخص‌های پوشش‌گیاهی

نام شاخص	معادله شدت بیابان‌زایی
NDVI-Albedo	$I = 1.839 * NDVI - Albedo$
SAVI-Albedo	$I = 2.12 * SAVI - Albedo$
RVI-Albedo	$I = 1.656 * RVI - Albedo$
PVI-Albedo	$I = 2.619 * PVI - Albedo$
TSAVI-Albedo	$I = 2.11 * TSAVI - Albedo$
DVI-Albedo	$I = 2.84 * DVI - Albedo$



شکل ۸. نقشه حاصل از تعیین شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه؛ الف- بر اساس شاخص سپیدایی و NDVI؛ ب- بر اساس شاخص سپیدایی و RVI؛ ج- بر اساس شاخص سپیدایی و PVI؛ د- بر اساس شاخص سپیدایی و SAVI؛ ر- بر اساس شاخص سپیدایی و TSAVI؛ ز- بر اساس شاخص سپیدایی و DVI

جدول ۴. نتایج حاصل از درصد طبقه‌های مختلف شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل I = a * Index − Albedo

طبقه شدت بیابان‌زایی	شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های					
	DVI	TSAVI	PVI	RVI	SAVI	NDVI
خیلی شدیدی	۴۸/۴۰	۴۶/۰۵	۴۰/۹۰	۶۲/۹۲	۴۸/۵۰	۱/۰۲
شدید	۸/۲۲	۸/۰۱	۸/۹۴	۱۷/۵۰	۸/۸۸	۲۰/۳۰
متوسط	۶/۰۱	۶/۸۲	۱۳/۱۱	۱۴/۰۴	۶/۰۶	۳۲/۹۲
کم	۳۴/۹۹	۳۶/۴۸	۸/۴۳	۴/۹۴	۳۳/۶۶	۱۸/۰۳
بدون بیابان زایی	۲/۳۸	۲/۶۴	۲۸/۶۲	۰/۶۰	۲/۹۰	۲۷/۷۳

■ بحث و نتیجه‌گیری

سپیدایی سطح زمین با کارکردهای چند منظوره بوم‌نظام رابطه منفی دارد. ممترین علت علمی این رابطه به میزان نور منعکس شده از سطح زمین در محدودهٔ طول موج ۲۸ /۰ تا ۰/۶ میکرومتر برمی‌گردد گه به دلیل کاهش پوشش‌گیاهی افزایش می‌یابد (۲۸). نتایج بررسی رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo و هریک از شاخص‌های پوشش‌گیاهی مانند PVI, TSAVI NDVI, SAVI, RVI, و DVI در منطقه مورد مطالعه در دشت سیستان واقع در استان سیستان و بلوچستان نشان داد که رابطه معکوس بین شاخص سپیدایی و شاخص‌های مختلف پوشش‌گیاهی مورد مطالعه وجود دارد، و مقدار ضریب همبستگی برای این منطقه بین دو شاخص سپیدایی و شاخص NDVI برابر با ۰/۶۳- به دست آمد که با نتایج پژوهش‌های صورت گرفته دیگر محققان در مناطق خشک (۱۹) هم‌خوانی دارد. همچنین در بررسی‌هایی که بر اساس فن‌اوری تحلیل بردار تغییرات (CVA) انجام شده است، استفاده از دو شاخص NDVI و Albedo برای تعیین شدت بیابان‌زایی در دوره‌های مختلف زمانی تأئیدگردید (۱۲).

همچنین نتایج پژوهش‌های دیگری که بر اساس شاخص سپیدایی و شاخص پوشش‌گیاهی انجام شده است (۴) ارتباط قوی بین شاخص‌های Albedo–NDVI را نشان می‌دهد؛ که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. نتایج حاصل از همبستگی زیاد و معکوس بر اساس این دو شاخص به این مفهوم است که هرگونه افزایش در مقدار شاخص پوشش‌گیاهی NDVI منجر به کاهش در میزان سپیدایی سطح خواهد شد؛ و مناطق با سپیدایی بالا بیانگر تخریب در پوشش‌گیاهی و برهنه شدن سطح خاک می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه در بخش‌هایی از منطقه که در طبقه شدت زیاد بیابان‌زایی قرار گرفته است، میزان شاخص سپیدایی سطحی بالا و شاخص پوشش‌گیاهی مقدار اندکی را نشان می‌دهد، که یکی از دلایل عمده‌ی آن به دلیل خشک شدن تالاب بین المللی هامون و از بین رفتن پوشش‌گیاهی تالاب می‌باشد. در نقشه های ارائه شده نیز این مناطق در طبقه خیلی شدید از نظر شدت بیابان‌زایی قرار گرفت که با نتایج مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط دنیا همخوانی دارد (۱۶).

برررسی‌های صورت گرفته محققان در بخشی از مغولستان چین که به بررسی رابطه بین سه شاخص NDVI, TGSI, MSAVI و Albedo برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی پرداختند (۲۶) با نتایج حاصل از پژوهش حاضر متفاوت بود. آنها در مطالعه خود نشان دادند که رابطه بین دو شاخص Albedo- MSAVI نسبت به دو شاخص NDVI و TGSI با سپیدایی برای تعیین نقشه شدت بیابان‌زایی قوی‌تر و مناسبتر می‌باشد. به نظر می‌رسد این اختلاف به دلیل استفاده از تصاویر با دقت مکانی بهتر (تصاویر ۱۰ متری سنتینل) نسبت به تصاویر لندست با رزولوشن ۳۰ متری می‌باشد. که نیازمند بررسی‌های بیشتری در این زمینه و مقایسه دو تصویر سنتینل و لندست از یک موقعیت مکانی می‌باشد. طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان بر اساس مدل Albedo- NDVI نشان می‌دهد که ۲۷/۷۳٪ منطقه در طبقه بدون شدت بیابان‌زایی، ۱۸/۰۳٪ در طبقه کم شدت، ۳۲/۹۲٪ از منطقه از نظر بیابان‌زایی در طبقه شدت متوسط بیابان‌زایی، ۲۰/۳٪ در طبقه شدید و تنها ۱/۰۲٪ از منطقه در طبقه خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. که با مطالعات

صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه که بر اساس دیگر مدل‌های رایج تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان صورت گرفته است و یکی از علت‌های اصلی بیابان‌زایی منطقه را نبود و از بین رفتن پوشش‌گیاهی برآورد نمودند (۲۰ و ۲۹) هم‌خوانی دارد. در منطقه مورد بررسی به علت خشکسالی‌های مکرر و خشک شدن دریاچه هامون و بالا بودن درجه حرارت پوشش‌گیاهی یکی از نکات کلیدی در مبحث بیابان‌زایی می‌باشد (۳۰)، نتایج حاصل از تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA در منطقه مورد مطالعه (۲۹) نشان داد که یکی از مهمترین فاکتورهای کلیدی نبود و از بین رفتن پوشش‌گیاهی می‌باشد و می‌توان گفت بر اساس نتایج بدست آمده بهترین شاخص پوشش‌گیاهی برای مطالعات تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی که نشان دهنده شدت تخریب باشد استفاده از شاخص پوشش‌گیاهی NDVI می‌باشد که بیشترین همبستگی را با شاخص Albedo از بین شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه دارد. لذا می‌توان گفت یافته‌های حاصل از طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی منطقه در پژوهش حاضر و بر اساس بررسی شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo و هریک از شاخص‌های پوشش‌گیاهی به خصوص شاخص NDVI از جایگاه بالایی برای شناسائی مناطق و طبقه‌های شدت بیابان‌زایی برخوردار می‌باشد و استفاده از دسته‌بندی‌های صورت گرفته با الگوریتم جنکس از کارائی مناسب برخوردار است. محققین زیادی با موفقیت از این مدل برای طبقه‌بندی پدیده‌های طبیعی استفاده کرده‌اند (۱۰، ۴، ۲۷). این روش نقاط شکست را بین دسته‌بندی‌ها با خوارزمیک بهینه شده جنکس، بر اساس طبیعت داده‌ها و گروه‌بندی ذاتی آنها به‌خوبی شناسایی می‌کند. در پژوهش حاضر با استفاده از فن‌آوری سنجش از راه دور و بر اساس تصاویر چند طیفی سنتینل ۲ به استخراج شدت بیابان‌زایی در منطقه خشک سیستان پرداخته شد؛ و بر اساس بازتاب طیفی اتفاق افتاده از سطح زمین و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری شدت بیابان‌زایی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر سنتینل ۲ در پژوهش حاضر و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی و شناخت مناسب مناطقی که دچار بیابان‌زایی شده است، بر اساس نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌گردد به صورت ترکیبی از دو مدل Albedo و سایر شاخص‌های طیفی نیز برای پایش و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک ایران استفاده گردد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مناطق بدون بیابان‌زایی و با شدت کم بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-NDVI به نحو مطلوب‌تری نشان داده می‌شود. با توجه به اینکه پایش و کنترل مناطق تخریب یافته و بیابانی شده و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل‌های رایج امری دشوار و هزینه‌بر و همچنین مستلزم فعالیت‌های بسیار زیاد میدانی است، لذا استفاده از مدل‌هایی سریع و دقیق بسیار ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با توجه به اینکه در اغلب بررسی‌ها برای تهیه نقشه‌های بیابان‌زایی از واحدهای ژئومورفولوژی به‌عنوان واحدهای کاری استفاده می‌شود، نمی‌توان گفت که نقشه شدت بیابان‌زایی حاصل از آن مدل‌ها به دلیل ویژگی خاص زمین، نوع پوشش و رطوبت خاک در مقیاس‌های کوچک از دقت کافی برخوردار باشند. به نظر می‌رسد که توسعه و استفاده از این مدل در آینده می‌تواند گامی نوین در راستای شناخت و پایش سریع بیابان‌زایی در مناطق دور از دسترس باشد.

■ سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی مجتمع آموزش عالی سراوان برای انجام این طرح پژوهشی با شمارهٔ ۱۴۲۰۱ تشکر و قدردانی می‌گردد.

■ References

1. Ait Lamqadem, A., Saber, H., & Pradhan, B. (2018). Quantitative assessment of desertification in an arid Oasis using remote sensing data and spectral index techniques. *Remote Sensing*, *10*(12), 1862.

2. Afrasinei, G. M., Melis, M. T., Buttau, C., Bradd, J. M., Arras, C., & Ghiglieri, G. (2017). Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria). *Applied Remote Sensing*, *11*(1), 016025.

3. Afrasinei, G. M., Melis, M. T., Arras, C., Pistis, M., Buttau, C., & Ghiglieri, G. (2018). Spatiotemporal and spectral analysis of sand encroachment dynamics in southern Tunisia. *European Journal of Remote Sensing, 51*(1), 352–374.

4. Bercerril-Pina, R., Diaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C. A., & Gonzales-Sosa, E. (2016). Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. *Human and Ecological Risk Assessment, 22(6),* 1323-1340.

5. Cordeiro, M. C., Santos, N. A., Alcantra Silva, V. M., Melo Luiz, D., & Silva, V. P. R. (2015). Case Study: Identification of desertification in the years 1999, 2006 and 2011 in Mossoró-rn. *Hyperspectral Remote Sensing, 5*(4), 101-106.

6. Eftekhari, R., Shahriyari, A. R., & Ekhtesasi, M. R. (2015). Assessment and preparation of map for the potential and actual condition of desertification by emphasizing on wind erosion using MICD Model at the southwest of Hirmand township. *Geography and Development, 13*(38), 139- 150. (in Farsi)

7. Feng, J., Ding, J. L., & Wei, W. Y. (2018). A study of soil salinization in Weigan and kuqa rivers Oasis based on Albedo-MSAVI. feature space. *China Rural Water Hydropower, 2,* 147–152.

8. Fozuni, L. Fakhireh, A., & Ekhtesasi, M. R. (2012). Asessmaent of desertification using of modify MEDALUS Model in Sistan plain (The east of Iran). *Elixir Geoscience, 47,* 8950-8955.

9. Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2020). Study effect of flood productivity on vegetation changes using field work and LANDSAT satellite images (Case study: Shandak of Sistan region). *RS & GIS for Natural Resources, 10*(4), 57-73. (in Farsi)

10. Han, L., Zhang, Z., Zhang, Q., & Wan, X. (2015). Desertification assessments in the Hexi corridor of northern China's Gansu province by remote sensing. *Natural Hazards, 75*(3), 2715–2731.

11. http://scihub.copernicus.eu/

12. Karnieli, A., Qin, Z., Wu, B., Panov, N., & Yan, F. (2014). Spatio-temporal dynamics of land-use and land-cover in the mu us sandy land, China, using the change vector analysis technique. *Remote Sensing, 6*(10), 9316-9339.

13. Lamchin, M., Lee, J. Y., Lee, W. K., Lee, E. J., Kim, M., Lim, C. H., Choi, H. A. & Kim, S. R. (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research, 57*(1), 64–77.

14. Lamchin, M., Lee, W. K., Jeon, S. W., Lee, J. Y., Song, C., Piao, D., Lim, C. H., khaulenbek, A., & Navaandorj, I. (2017). Correlation between desertification and environmental variables using remote sensing techniques in Hogno Khaan, Mongolia. *Sustainability, 9*(4), 581.

15. Li, S. G., Harazono, Y., Oikawa, T., Zhao, H. L., He, Z.Y., & Chang, X. L. (2000). Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. *Agricultural and Forest Meteorology, 102,* 125–137.

16. Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., Li, L., & Wang. X. (2011). The Construction and application of an Albedo-NDVI based desertification monitoring model. *Procedia Environmental Sciences, 10*(Part C), 2029 – 2035.

17. Mohammad Ghasemi, S., Zehtabian, Gh. R., & Ahmadi, H. (2008). Assessment of desertification intensity based on water index using Medalus methodology. *Pajouhesh & Sazandgi in natural resources, 21*(3-80), 59-67. (in Farsi)

18. Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Wulf, H., Schaepman, M., & Hoelzle, M. (2017). Cross-comparison of Albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and LANDSAT 8) optical data. *Remote Sensing, 9*(2), 110.

19. Pan, J., & Li, T. (2013). Extracting desertification from LANDSAT TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo- vegetation feature space. *Natural Hazards, 68*(2), 915–927.

20. Parvari Asl, S. H., Pahlavanravi, A., & Moghaddam Nia, A. R. (2010). Classification of desertification intensity using ESAs model in Neiyatak region (Sistan, Iran). *Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 63*(2), 149-163. (in Farsi)

21. Querino, C.A.S., Beneditti, C.A., Machado, N.G., da Silva, M.J.G., da Silva Querino, J.K.A., dos Santos Neto, L.A., & Biudes, M. S. (2016). Spatiotemporal NDVI, LAI, Albedo, and surface temperature dynamics in the southwest of the Brazilian Amazon forest. *Applied Remote Sensing, 10*(2), 026007.

22. Rahimi, M., Damavandi, A. A., & Jafarian, V. (2014). Investigating remote sensing applications in evaluating and monitoring land degradation and desertification. *Geographical Data (SEPEHR), 22*(88), 115-128. (in Farsi)

23. Scott, D. A., & Smart, M. (1999). *Wetlands of the Sistan basin, south Caspian and Fars*, Islamic Republic of Iran, Ramsar Convention Monitoring Procedure Report No.26.

24. Wang, Y., Zhang, J., Tong, S., & Guo, E. (2017). Monitoring the trends of aeolian desertified lands based on time-series remote sensing data in the Horqin Sandy Land, China. *Catena, 157,* 286–298.

25. Wei, H., Wang, J., Cheng, K., Li, G., Ochir, A., Davaasuren, D., & Chonokhuu, S. (2018). Desertification information extraction based on feature space combinations on the Mongolian plateau. *Remote Sensing, 10*(10), 1614.

26. Wei, H., Wang, J., & Han, B. (2020). Desertification information extraction along the China–Mongolia railway supported by multisource feature space and geographical zoning modeling. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 13*, 392-402.

27. Yaduvanshi, A., Srivastava, P. K., & Pandey, A. C. (2015). Integrating TRMM and MODIS satellite with socio-economic vulnerability for monitoring drought risk over a tropical. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 83*(84), 14-27.

28. Zhao, Y., Wang, X., Novillo, C. J., Arrogante-Funes, P., Vázquez-Jiménez, R., & Maestre, F. T. (2018). Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands. *Arid Environment, 157,* 116–123.

29. Zolfaghari, F., Shahriyari, A., Fakhireh, A., Rashki, A. R., Noori, S., & Khosravi, H. (2011). Assessment of desertification potential using IMDPA model in Sistan plain. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 24*(2-91), 97-107. (in Farsi)

30. Zolfaghari, F., Shahriyari, A., Fakhireh, A. (2013). Evaluate the effect of vegetation cover on land degradation process using IMDPA model and GIS (Case study: Sistan plain). *Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science, 4*(1), 69-77. (in Farsi)

Original Article, Vol. 10, No. 1, Spring, 2022, pp 15-36

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Comparative Evaluation of Statistical Models and Artificial Intelligence for Drought Prediction in Isfahan Synoptic Station

H. Zarepour[1], A.A. Vali[2*], H. Ghorbani[3], S.J. Sadatinejad[4], S.H. Alavinia[5]

1. PhD Student in Desert Management and Control, Department of Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Statistics, Faculty of Mathematical Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.
4. Associate Professor, Department of New Energy and Environment, Faculty of Modern Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

* Corresponding Author: vali@kashanu.ac.ir

Received date: 18/12/2021 **Accepted date: 25/01/2022**

doi 10.22034/JDMAL.2022.545156.1361

Abstract

Meteorological drought is a complex natural disaster that occurs everywhere in the world. Predicting the occurrence and severity of drought can be effective in managing water crises and their impacts. The purpose of the current study is to select the most appropriate model from statistical models and artificial intelligence (artificial neural networks) to predict drought in Isfahan synoptic station during the span period of 1990-1920 using the Z-Score index (ZSI). In this study, the capability and efficiency of the SARIMA stochastic linear model and three advanced learning machine models of the Feedforward Neural Networks (FNNs), Multi-layer Perceptron (MLP), and Extreme Learning Machines (ELM) were evaluated based on Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Square Error (MASE) and Mean Absolute Error (MAE). The results showed that among the many models made, the Feedforward Neural Networks (FNNs) model with RMSE of 0.33, MASE of 0.02, and MAE of 0.22 were selected as the best model. Using the superior model, precipitation for the period of 2025-2021 of Isfahan synoptic station was predicted, then based on the ZSI drought index, drought intensity of forecast precipitation data in 3, 6, 9, 12-month time scales, 18, and 24 months was calculated. The results of drought severity predicting showed that severe drought in 3 and 6 month time scales in 2021 and 2023 and in 9 and 18 month time scales in 2024, moderate drought in all time scales in 2024, and weak droughts occurred at the 3, 6, and 24-month time scales in 2024 and 2025, respectively. Overall, the results showed that the use of feed neural network model was more efficient. Since predicting drought at all time scales can reveals drought more accurately, this predicting in turn to facilitate the development of water resources management strategies for management of drought is effective.

Keywords: Extreme Learning Machines (ELM) Model; Feedforward Neural Networks (FNNs) Model; Multi-layer Perceptron (MLP) Model; SARIMA Mode; Z-score index (ZSI)

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۱۵ تا ۳۶

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

نشریه مدیریت بیابـان

www.isadmc.ir

ارزیابی تطبیقی مدل‌های آماری و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی خشکسالی در ایستگاه همدیدی اصفهان

هادی زارع‌پور[۱]، عباسعلی ولی[۲*]، حمید قربانی[۳]، سیدجواد ساداتی نژاد[۴]، سیدحسن علوی‌نیا[۵]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
۲. دانشیار، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
۳. استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
۴. دانشیار ،گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۵. استادیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: Vali@kashanu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

doi 10.22034/JDMAL.2022.545156.1361

چکیده

خشکسالی هواشناسی رخدادی طبیعی، پیچیده ومخرب است که در کل کره زمین مشاهده می‌شود. پیش‌بینی وقوع و شدت خشکسالی می‌تواند در مدیریت بحران آب و خسارت ناشی از آن مؤثر باشد. هدف از پژوهش حاضر انتخاب مناسب‌ترین مدل، از بین مدل‌های آماری و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی خشکسالی در ایستگاه همدیدی اصفهان در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، با استفاده از شاخص معیار استاندارد (ZSI) می‌باشد. در این مطالعه قابلیت و کارآیی مدل خطی تصادفی SARIMA و سه مدل پیشرفته ماشین یادگیری؛ شبکهٔ عصبی مصنوعی پیش‌خور (FNNs)، پرسپترون چندلایه (MLP)، ماشین‌های یادگیری افراطی (ELM)، بر اساس معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مجذور خطای مطلق (MASE) و میانگین قدر مطلق خطاها (MAE) مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که از بین انبوه مدل‌های ساخته‌شده مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی پیش‌خور (FNN) با مقادیر RMSE برابر ۰/۳۳، MASE برابر ۰/۰۲ و MAE برابر ۰/۲۲ بهترین مدل پیش‌بینی است. با استفاده از مدل برتر، بارش ۶۰ ماه آینده ایستگاه همدیدی اصفهان از سال ۲۰۲۱ تا سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی شد. سپس، شدت خشکسالی داده‌های بارش پیش‌بینی شده بر اساس شاخص خشکسالی ZSI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. نتایج ارزیابی شدت خشکسالی‌های پیش‌بینی‌شده نشان داد، در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳ و در مقیاس‌های زمانی ۹ و ۱۸ ماهه در سال ۲۰۲۴ خشکسالی شدید، خشکسالی متوسط در همه مقیاس‌های زمانی در سال ۲۰۲۴ و خشکسالی ضعیف در مقیاس‌های زمانی ۳ ، ۶ و ۲۴ ماهه در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ اتفاق خواهد افتاد. در مجموع نتایج نشان داد که استفاده از مدل شبکه عصبی پیش‌خور دارای کارآیی بیشتری است. از آن جا که پیش‌بینی انجام شده در همه مقیاس‌های زمانی می‌تواند خشکسالی را با وضوح بیشتری آشکار کند، این پیش‌بینی به‌نوبه خود برای تسهیل در توسعه راهبردهای مدیریت منابع آب مؤثر است.

واژگان کلیدی: شاخص معیار استاندارد؛ مدل ساریما؛ شبکهٔ عصبی مصنوعی پیش‌خور؛ پرسپترون چندلایه؛ ماشین‌های یادگیری افراطی

■ مقدمه

مهم‌ترین عارضه در تغییرپذیری شرایط اقلیمی، خشکسالی هواشناسی می‌باشد. اگرچه خشکسالی را پدیده‌ای تصادفی تلقی می‌کند، اما از ویژگی‌های عادی هر اقلیمی محسوب می‌شود که مشخصات آن در هر اقلیم به شکل متفاوت با اقلیم دیگر می‌دهد (۲۶). تحقیقات نشان داده است که فقدان تعریف دقیق و عینی در موقعیت‌های خاص مانعی بر سر راه درک خشکسالی بوده که منجر به عدم تصمیم‌گیری بهنگام و عدم اقدام مدیران، سیاست‌گذاران شده است (۶۰). خشکسالی می‌تواند سال‌ها ادامه داشته باشد و اثرات مخربی بر کشاورزی و منابع آب داشته باشد. ممکن است تعیین زمان شروع یا پایان خشکسالی دشوار باشد. خشکسالی می‌تواند کوتاه باشد، فقط چند ماه طول بکشد یا می‌تواند سال‌ها به طول بیانجامد که بعد از بازگشت شرایط آب و هوایی به حالت عادی و اولیه خشکسالی به پایان برسد (۲۵). از آنجایی‌که تأثیرات خشکسالی در ابتدا به‌کندی ظهور پیدا می‌کند، حتی ممکن است خشکسالی تا زمانی که تثبیت نشده باشد، به‌خوبی تشخیص داده نشود (۱۵).

از آنجا که منطقه اصفهان جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک بیابانی محسوب می‌گردد و از دیگر سو در سال‌های اخیر انواع خشکسالی‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی در منطقه حادث گردیده است (۴۸). تجزیه و تحلیل تاریخ وقایع خشکسالی برای تعیین خطرات احتمالی بروز خشکسالی در آینده این منطقه بسیار مهم و ضروری می‌باشد (۳۰)، یکی از روش‌ها و ابزارهایی که برای بیان کمی خشکسالی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد شاخص‌های خشکسالی می‌باشد (۳). که بر پایهٔ آن‌ها می‌توان ریسک خشکسالی، تجزیه و تحلیل شدت، طول مدت خشکسالی را در مقیاس‌های زمانی مختلف برای گذشته و آینده ارزیابی و پیش‌بینی کرد. یکی از جامع‌ترین شاخص‌های خشکسالی، شاخص معیار استاندارد[1] (ZSI) می‌باشد که در بررسی‌های خشکسالی و ترسالی کاربرد فراوانی دارد (۲۱). با پژوهش‌های مشخص شد که شاخص‌ها توانایی خوبی برای پایش خشکسالی در مقیاس‌های متفاوت دارند و برتری شاخص ZSI نسبت به شاخص SPI به این دلیل است که شاخص ZSI نواقص آماری را در بین سری داده‌ها قبول می‌کند و چون برای محاسبه شاخص ZSI به تبدیل داده‌ها و برازش توزیع مانند گاما و یا پیرسون نوع III مطابق آنچه در SPI انجام می‌گردد، نیاز ندارد به همین دلیل محاسبات ساده‌تری دارد (۱، ۳۶، ۴۴). از نتایج ارزیابی این شاخص در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های زمانی بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۷).

پیش‌بینی خشکسالی نقش مهمی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در به حداقل رساندن پیامدهای منفی آن دارد (۱۹). روش‌های متداول در پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد با توجه به‌احتمال خطای انسانی و دقت اندک و همچنین داشتن حجم انبوهی از داده‌ها و محاسبه‌های زیاد، دارای محدودیت می‌باشند (۱۹). امروزه محققان با ابداع و پیشرفت علومی چون روش‌های آماری و روش‌های هوشمند که ابزاری توانمند و انعطاف‌پذیر و مستقل از مدل‌های دینامیکی سیستم هستند گام‌هایی را در راه شناخت و پیش‌بینی پارامترهای مهم هواشناسی برداشته‌اند (۲۲، ۴۹). مدل‌های آماری برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس روش‌های سری زمانی استفاده می‌شود (۱۰). مدل‌های رگرسیون و مدل‌های میانگین متحرک اتورگرسیو[2](ARMA) مدل‌های معمولی برای روش‌های سری زمانی آماری برای پیش‌بینی هستند. این مدل‌ها اساساً مدل‌های خطی هستند (۱۴). ازآنجاکه پیش‌بینی بر اساس تحلیل سری‌های زمانی با کاربرد مفهوم مدل‌ها در منابع زیادی برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مورد استفاده قرار گرفته است، این به دلیل همبستگی پیاپی[3] بین مشاهدات موجود در سری‌های زمانی می‌باشد خود از ویژگی‌های اصلی سری‌های زمانی خود همبسته میانگین

---

[1] ZSI: Z-Score Index
[2] ARMA: Autoregressive Moving-Average
[3] Serial Correlation

متحرک تلفیق‌شده فصلی[1] (SARIMA) می‌باشد (۲۰، ۵۸). با استفاده از مدل‌های سری زمانی SARIMA بهترین برازش برای هر مدل به دست می‌آید. مدل مذکور بر پایهٔمعیار آکائیک[2] (AIC) انتخاب می‌شود (۴۲). از بین مدل‌های برازش داده‌شده، بر اساس آزمون نکویی برازش، مدل برتر انتخاب می‌شود. مقایسهٔ بین آمار واقعی و آمار تولیدشده، همچنین حدود اطمینان داده‌های تولیدشده برای تائید مدل انتخاب‌شده، صورت گرفته و در پایان مدل مورداستفاده برای پیش‌بینی بارش و بررسی روند خشکسالی در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۸).

ازآنجاکه بسیاری از فرآیندهای هیدرولوژیک به‌شدت غیرخطی و غیرایستایی بوده و تابع قوانین فرآیندهای تصادفی هستند (۵۶). در دهه‌های اخیر سیستم‌های هوشمند به‌طور گسترده برای پیش‌بینی پدیده‌های غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶). شبکه‌های عصبی مصنوعی[3] (ANN) توانایی زیادی در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی و غیرثابت در هیدرولوژی و مهندسی منابع آب به دلیل خاصیت غیرخطی ذاتی و انعطاف‌پذیری برای مدل‌سازی از خود نشان داده‌اند (۵، ۵۹). برخی از مزایای شبکه‌های عصبی مصنوعی عبارت‌اند از: ۱- آن‌ها قادرند رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی را بدون ملاحظات فیزیکی به‌طور واضح تشخیص دهند. ۲- حتی زمانی که داده‌های ورودی حاوی نویز و خطاهای اندازه‌گیری باشند، به‌خوبی کار می‌کنند. ۳- آن‌ها می‌توانند در طول زمان با راه‌حل‌ها سازگار شوند تا شرایط در حال تغییر را جبران کنند. ۴- آن‌ها دارای سایر ویژگی‌های ذاتی پردازش اطلاعات هستند و پس از انجام آموزش بر روی داده‌های ورودی، به‌راحتی قابل استفاده می‌باشند (۱۷).

با توجه به اینکه نتایج نشان داده است روش‌های داده محور بر اساس کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای قابلیت‌های خوبی در زمینه پیش‌بینی قابل اعتماد در خشکسالی هستند (۴). در پژوهش حاضر با توجه به ماهیت غیرخطی سری‌های زمانی بارش، از مدل SARIMA و مدل شبکه عصبی پیش‌خور[4] (FNNs)، مدل پرسپترون چندلایه[5] (MLP) و مدل ماشین‌های یادگیری افراطی[6] (ELM) برای پیش‌بینی وقوع خشکسالی استفاده شد. نتایج نشان داده است مدل‌های پیش گفت از کارآیی قابل قبولی در پیش‌بینی سری‌های زمانی بارش برخوردار هستند (۱۸). در بررسی‌هایی که به‌طور مجزا در مناطق و مقیاس‌های مختلفی انجام‌شده کارایی این مدل‌ها را تأکید و قابلیت پیش‌بینی این مدل‌ها نسبت به سایر مدل‌های دیگر مورد تائید قرار است (۱۲، ۱۳، ۲۳، ۳۲، ۳۳، ۳۷، ۵۰، ۵۷، ۶۱).

از آنجا که مطالعه‌ای به‌طور هم‌زمان قابلیت مدل‌های SARIMA، FNN، MLP و ELM را در منطقه خشک و نیمه‌خشک بیابانی ایستگاه همدیدی اصفهان مورد بررسی قرار دهد و از داده‌های پیش‌بینی‌شده این مدل‌ها، خشکسالی را با شاخص ZSI در مقیاس‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار دهد پژوهشی انجام نشده است، لذا ضرورت این پژوهش در پیش‌بینی بارش و خشکسالی در ایستگاه همدیدی اصفهان به‌عنوان عامل مهم و تأثیرگذار در مدیریت منابع آب و کاهش پیامدهای منفی حیاتی منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. هدف از پژوهش حاضر مقایسه و ارزیابی قابلیت مدل‌های SARIMA، FNN، MLP و ELM برای پیش‌بینی بارش ایستگاه همدیدی اصفهان می‌باشد. مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی بارش ۵ سال آینده بر اساس کمترین مقادیر شاخص جذر میانگین مربعات خطا[7](RMSE)، میانگین مجذور خطای مطلق[8] (MASE) و میانگین قدر مطلق خطاها[9] (MAE) انتخاب شد. سپس با استفاده از شاخص ZSI، شدت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ ، ۱۸ و ۲۴ ماهه ارزیابی شد. تا بتوان با استفاده از نتایج پژوهش حاضر گامی در مسیر توسعه روش‌های مدیریتی منابع آب برای جلوگیری از ایجاد خشکسالی و مدیریت بهتر آن در آینده انجام داد.

[1] SARIMA: Seasonal Autoregressive Integrated Moving -Average
[2] AIC: Akaike Information Criterion
[3] Artificial Neural Network
[4] FNNs: Feed-Forward Neural Network
[5] MLP: Multi-layer Perceptron
[6] ELM: Extreme Learning Machines
[7] RMSE: Root Mean Squared Error
[8] MASE: Mean Absolute Square Error
[9] MAE: Mean Absolute Error

■ مواد و روش

منطقهٔ مورد بررسی

ایستگاه همدیدی اصفهان در مختصات عرض جغرافیایی "۴۳ ´۳۲ °۱۵ شمالی و طول جغرافیایی "۱۷ ´۷۰ °۵۱ شرقی قرار دارد (شکل ۱). میانگین بارندگی و ارتفاع متوسط ایستگاه باران‌سنجی اصفهان به‌ترتیب برابر ۱۲۰ mm/y و، ۱۵۵۰m از سطح دریا می‌باشد (۴۵). استان اصفهان دارای پنج زیر منطقه اقلیمی شامل اقلیم نیمه‌بیابانی، استپی، نیمه‌استپی، کوه‌های مرتفع و جنگل‌های خشک است (۳۰). منطقه مورد بررسی پژوهش حاضر در منطقه خشک و نیمه‌بیابانی واقع شده، در این منطقه برخی گونه‌های مقاوم به خشکی استقرار دارند مناطق پست این منطقه را اراضی شور تشکیل می‌دهد (۴۵).

در پژوهش حاضر برای پیش‌بینی خشکسالی ایستگاه همدیدی اصفهان از داده‌های بارش ماهانه برای دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده بود استفاده شد (۳۵). ابتدا آزمون همگنی داده‌ها به روش آزمون گردش حول میانگین یا ران‌تست[1] که یکی از متداول‌ترین آزمون‌های غیرنموداری برای تأیید همگنی داده‌هاست (۴۶) در نرم‌افزار R محاسبه شد.

روش انجام پژوهش

شاخص معیار استاندارد یا (ZSI)

در این پژوهش از شاخص ZSI برای ایستگاه مورد مطالعه بر پایه آمار بلندمدت بارندگی ۳۰ ساله، در مقیاس‌های زمانی مختلف نظیر یک دوره سه‌ماهه، شش‌ماهه و غیره استفاده شد. مراحل محاسبه شاخص معیار استاندارد به‌صورت زیر می‌باشد (۲۱):

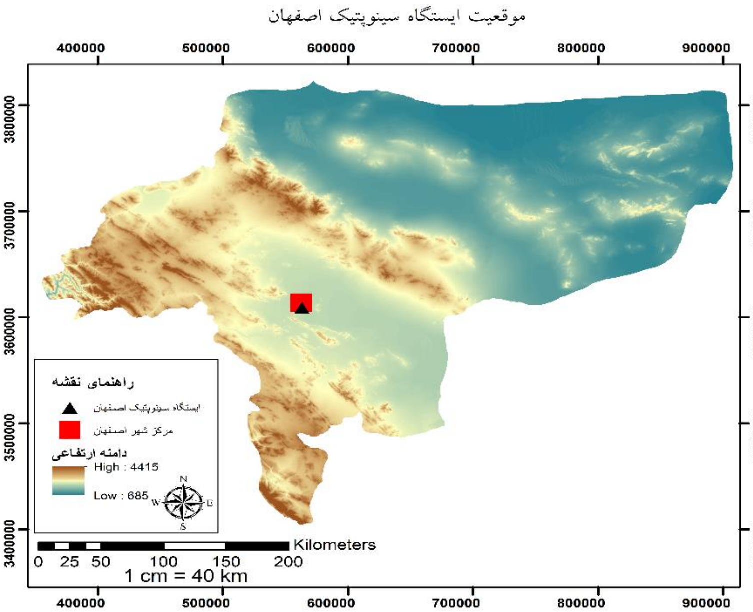
۱- مرتب نمودن سری زمانی داده‌های بارندگی به‌صورت صعودی.

۲- تعیین میانگین و انحراف استاندارد سری زمانی داده‌ها.

۳- تعیین شاخص معیار استاندارد برای هر یک از دوره‌های آماری.

برای محاسبه شاخص معیار استاندارد (ZSI) از رابطه ۱ استفاده شد که X_i میزان بارش دوره، $\bar{X}$ میانگین بارش دوره، S انحراف معیار بارش در هر مقیاس زمانی است (۸). دامنه تغییرات و طبقه‌بندی ZSI برای بیان شدت خشکسالی در جدول ۱ ارائه شده است.

$$Z = \frac{X_{\mathrm{i}} - \bar{X}}{S} \qquad (۱)$$



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه همدیدی اصفهان در استان اصفهان

[1] Run Test

جدول ۱. طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص ZSI (۸).

طبقات شدت خشکسالی	شاخص معیار استانداردشده (ZSI)
نرمال	۱+ تا صفر
خشکسالی ضعیف	۱- تا صفر
خشکسالی متوسط	۱/۵- تا ۱-
خشکسالی شدید	۲- تا۱/۵-
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۲-

مدل آماری

مدل سری زمانی SARIMA

به‌منظور پیش‌بینی داده‌های بارش از میان مدل‌های مختلف سری زمانی، از مدل SARIMA استفاده گردید. مدل‌های عمومی فصلی SARIMA به‌اختصار به‌صورت $\mathrm{SARIMA}(p,d,q)(P,D,Q)_S$ نمایش داده می‌شوند که s مؤلفه فصلی و (p,d,q) معرف بخش غیرفصلی مدل و $(P,D,Q)_S$معرف بخش فصلی مدل است (رابطه ۲) (۹):

$$\Phi_P(B^S)\phi_P(B)\nabla_S^D\nabla^D X_t = \Theta_Q(B^S)\theta_q(B)a_t, \quad (۲)$$

که در آن X_t مشاهدات متوالی سری زمانی و a_t فرایند نوفه سفید[1] و $B^d X_1 = X_{1-d}$، $\nabla^d X_1 = (1-B)^d X_1$ و $\nabla_S X_1 = X_1 - X_{1-S}$ همچنین $\phi_P(B)$ و $\theta_q(B)$ به ترتیب چندجمله‌ای‌های AR و MA غیرفصلی از درجه p و q برحسب B و $\Theta_P(B^S)$ و $\Theta_Q(B^S)$ نیز به ترتیب چندجمله‌ای‌های AR و MA فصلی از درجه Pو Q برحسب B^S هستند (رابطه ۳ و ۴):

$$\begin{aligned}\phi_P(B) &= 1 - \phi_1 B - \cdots - \phi_P B^P,\\ \theta_q(B) &= 1 - \theta_1 B - \cdots - \theta_P B^P.\end{aligned} \quad (۳)$$

$$\begin{aligned}\Phi_P(B^S) &= 1 - \Phi_1 B^S - \cdots - \Phi_P B^{Ps},\\ \Theta_Q(B^S) &= 1 + \Theta_1 B^S - \cdots - \Theta_Q B^{Qs}.\end{aligned} \quad (۴)$$

p درجه خود همبسته غیرفصلی، d درجه تفاضل‌گیری، q درجه میانگین متحرک غیرفصلی، P درجه خود همبسته فصلی، D درجه تفاضل‌گیری فصلی، Q درجه میانگین متحرک فصلی، s طول فصل است (۳۸، ۳۹، ۵۱).

برای ساخت این مدل، چهار مرحله: شناسایی مدل، برازش الگو، ارزیابی درستی الگو و پیش‌بینی باید انجام گیرد (۳۰).

برای شناسایی و برازش بهترین مدل، چندین مدل SARIMA با مرتبه‌های متفاوت با استفاده از نرم‌افزار R به داده‌ها برازش و مناسب‌ترین مدل توسط معیار اطلاع آکائیک و معیار اطلاع بیزی[2] (BIC) (رابطه ۵) انتخاب شد. معیار انتخاب بهترین مدل داشتن کمترین مقدار AIC است (رابطه ۶) (۳۴).

$$\mathrm{AIC} = n\left(ln\left(\frac{2\pi RSS}{n}\right)+1\right)+2m, \quad (۵)$$

$$\mathrm{BIC} = n\left(ln\left(\frac{2\pi RSS}{n}\right)+1\right)+m\ln(n), \quad (۶)$$

که در آن‌ها n تعداد مشاهدات، $m=(p+q+P+Q)$ تعداد پارامترهای برآورد شده مدل و RSS مجموع مربعات باقیمانده موردنظر می‌باشد (۵۲).

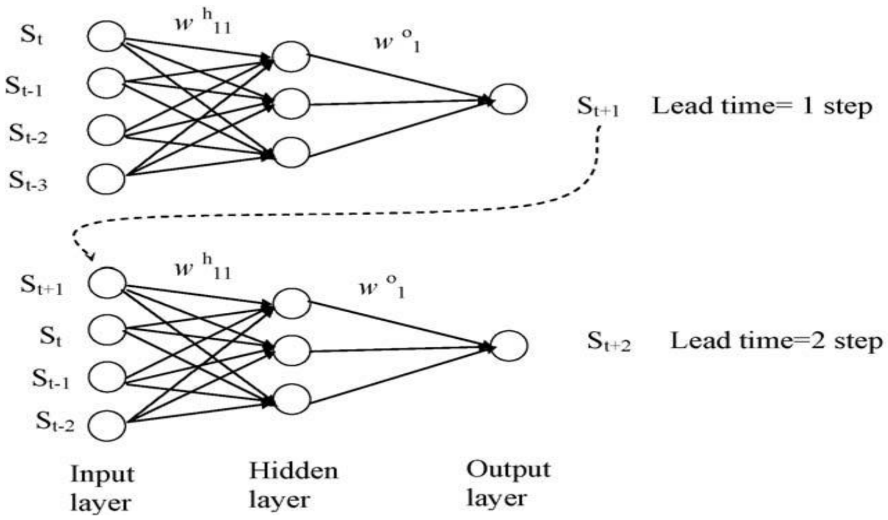
مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی

۱ – مدل شبکه عصبی پیش‌خور (FNNs)

مدل شبکه عصبی پیش‌خور که نوعی مدل شبکه عصبی مصنوعی با سه لایه برای اهداف پیش‌بینی است (شکل ۳) (۳۷).

[1] White Noise

[2] BIC: Bayesian Information Criterion



شکل ۲. یک شبکه FNN با سه لایه (۳۷)

همان‌طور که در رابطه ۷ نشان داده شده است:

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} W_{i.j} I_i + \beta_i \quad (۷)$$

که در آن، n تعداد کل نورون‌های ورودی است، W_{ij} وزن اتصال ارتباط I_j به نورون j و β_j وزن بایاس است (۱۶). سپس گره یا نورون مصنوعی ضرب‌ها را اضافه می‌کند و جمع را به یک تابع انتقال می‌فرستد، برای نمونه تابع سیگموئید ارائه شده است (رابطه ۸):

$$f_j(x) = \frac{1}{1 + e^{-X}} \quad (۸)$$

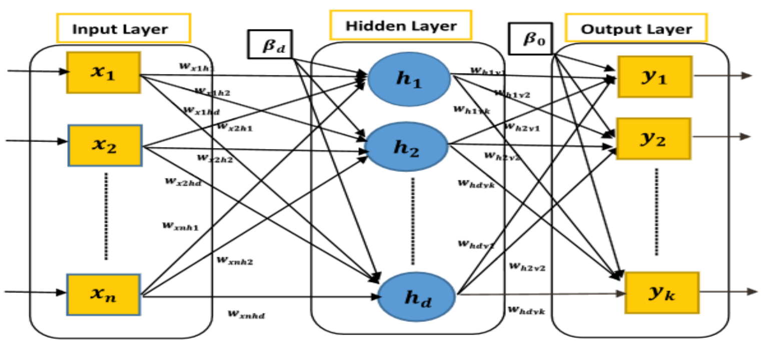
خروجی نورون j (رابطه ۹):

$$y_j = f_j(\sum_{i=1}^{n} W_{ij} I_j + \beta_j) \quad (۹)$$

پس از ساخت شبکه عصبی، مجموعه وزن‌های شبکه به تقریبی نتایج موردنظر تنظیم می‌شود. این فرایند با بهره‌گیری از خوارزمیک تمرینی برای انطباق وزنه‌ها تا زمانی که معیارهای خطا برآورده شود انجام شد (۱۶).

۲- مدل پرسپترون چندلایه (MLP)

مدل پرسپترون چندلایه (MLP) شامل لایه ورودی، لایه پنهان، و لایه خروجی است (۴۷). یک شبکه MLP با یک لایه پنهان واحد، شبکه‌ای است که دارای برخی وزنه‌هایی است که بین لایه‌ها به هم متصل می‌شوند (شکل ۳). مقادیر خروجی شبکه چندلایه پرسپترون از طریق مراحل زیر محاسبه شد.



شکل ۳. یک شبکه MLP با یک لایه پنهان واحد (۵۵)

ابتدا مجموع وزن‌ها به‌صورت زیر در رابطه (۱۰) محاسبه شد (۵۵):

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} w_{ij}x_i + \beta_i. \qquad (۱۰)$$

که در آن x_i متغیر ورودی است، w_{ij} وزن بین متغیر ورودی x_i و نورون j, و β_i وزن بایاس متغیر ورودی است. دوم، مقادیر خروجی نورون‌ها در لایه‌های پنهان از مقادیر دریافتی جمع وزنی (معادله (۱۰)) با استفاده از یک تابع فعال‌سازی تولید شد. یک انتخاب رایج از چنین تابعی یک تابع سیگموئید به شرح رابطه ۱۱ محاسبه شد:

$$f_j(x) = \frac{1}{1+e^{-s_j}}. \qquad (۱۱)$$

که در آن f_j تابع سیگموئید برای نورون j و S_j مجموع وزن‌ها است. درنهایت خروجی نورون j به‌صورت رابطه ۱۲ محاسبه شد:

$$y_j = \sum_{i=1}^{n} w_{ij}f_j + \beta_j. \qquad (۱۲)$$

که در آن y_j خروجی نورون j، w_{ij} وزن بین متغیر خروجی y_i و نرون j، f_j تابع فعال‌سازی نورون j، و β خروجی متغیر بایاس است (۵۵).

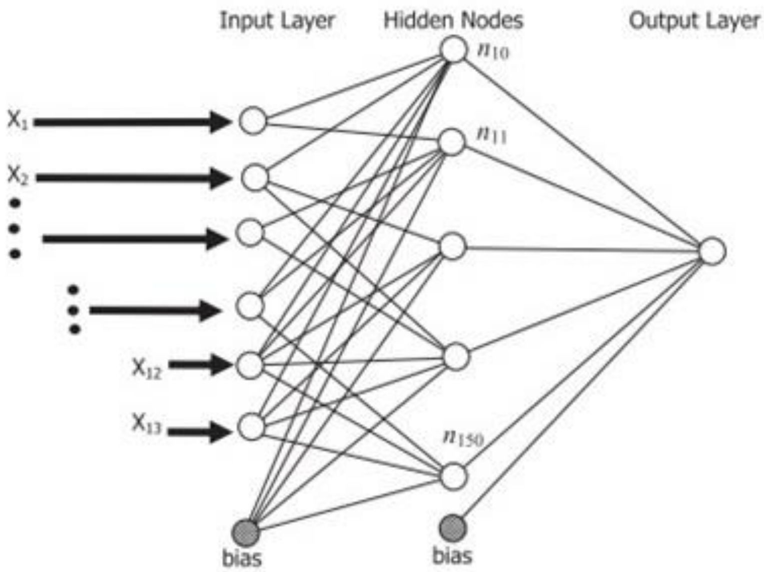
۳- مدل ماشین‌های یادگیری افراطی (ELM)

مدل دیگری که در این پژوهش استفاده شد مدل ماشین‌های یادگیری افراطی (ELM) است. تئوری بنیادی مدل ELM بیان می‌کند که برای N نمونه ورودی مجزای دلخواه $(x_k, y_k) \in R^n \times R^n$، شبکه عصبی پیش‌نگر تک لایه استاندارد (SLFNs) با M گره پنهان و یک تابع g فعال‌ساز در رابطهٔ ۱۳ تعریف شده است (۱۲). الگو ساختار مکان‌نگر شبکه ELM در شکل ۴ نشان می‌دهد.

$$y_K = \sum_{i=1}^{M} \beta_i g(x_K.: c_i. a_i) \;\; K = 1,2,3,3,..,N \qquad (۱۳)$$

که در آن $C_i \in R$ مقدار تصادفی تخصیص‌یافته i امین گره پنهان و $w_i \in R$ وزن ورودی تخصیص‌یافته به‌طور اتفاقی بردار اتصال i امین گره پنهان و گره‌های ورودی است. β_i بردار وزنی است که گره پنهان i ام را به گره خروجی وصل می‌کند.

$g\ (w_k;\ c_i,\ w_i)$ خروجی iام گره پنهان است، با توجه به نمونه ورودی x_k. هر ورودی به‌طور تصادفی به گره‌های پنهان در شبکه ELM اختصاص می‌یابد. بنابراین از معادله ۱۴ می‌توان به معادلات ۱۵ و ۱۶ زیر رسید:



شکل ۴. یک شبکه ELM با یک لایه پنهان (۱۳)

$$H\beta = Y \qquad (۴)$$

$$H = \begin{bmatrix} g(x_1.:c_1.a_1) & \dots & g(x_1.:c_M.a_M) \\ g(x_N.:c_i.a_i) & \dots & g(x_N.:c_M.a_M) \end{bmatrix}_{N\times M} \qquad (۵)$$

$$H\beta = (\beta_1^T\beta_2^T.\dots.\beta_L^T)_{m\times M}^T \qquad (۶)$$

و خروجی (Y) از رابطه ۱۷ به قرار زیر است:

$$Y = (t_1^T t_2^T.\dots.t_L^T)_{m\times M}^T \qquad (۱۷)$$

وزن‌های خروجی با یافتن راه‌حل‌های حداقل مربعات برای سامانه‌های خطی فوق‌الذکر به‌دست آمد که مطابق رابطهٔ ۱۸ محاسبه شد:

$$\beta = H^{+}Y \qquad (۱۸)$$

که در آن H^{+} معکوس تعمیم‌یافته موور_پنروس ماتریکس لایه پنهان H است و وزن‌های ورودی و مقادیر پنهان به‌طور تصادفی انتخاب شد، و وزن‌های خروجی به‌صورت تحلیلی و آنالیز شده تعیین شدند (۱۲).

پیش‌بینی

به‌منظور ارزیابی مدل، داده‌های بارش مربوط به سال‌های آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰ را به دو بخش آموزش یا واسنجی[1] ۱۹۹۰-۲۰۱۷ و آزمون یا اعتبارسنجی[2] ۲۰۲۰- ۲۰۱۷ تقسیم شدند و و از داده‌های قسمت آموزش برای برازش مدل استفاده نماییم. ابتدا با استفاده از این مدل برازش شده، داده‌های قسمت آموزش را پیش‌بینی کردیم (شکل ۶). سپس با استفاده از داده‌های آزمون به مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل‌ها و داده‌ها می‌پردازند (شکل ۷ و نمودارهای سمت راست شکل ۱۱- ۸) (۳۲، ۴۱).

[1] Train
[2] Test

معیارهای ارزیابی

در پایان برای بررسی دقیق‌تر کفایت مدل برازش شده برای پیش‌بینی مقادیر (داده‌های واقعی) از دیگر شاخص‌های ارزیابی مانند میانگین قدر مطلق خطاها (MAE)، میانگین مجذور خطای مطلق (MASE) و شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد، مقادیر کمتر این شاخص‌ها نشان از بهتر بودن مدل دارد (روابط ۲۱ - ۱۹) (۴۱، ۵۷).

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}|y_t - f_t|, \qquad (۱۹)$$

$$MASE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(\frac{|y_t - f_t|}{\frac{1}{n-1}\sum_{t=2}^{n}|y_t - f_{t-1}|}\right), \qquad (۲۰)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}|y_t - f_t|^2}, \qquad (۲۱)$$

که در آن y_t مقادیر مشاهده‌ای، f_t مقادیر پیش‌بینی و n تعداد مشاهدات می‌باشد (۵۳).

هرچند معیارهای خطای مطلق (AEM) مانند میانگین قدر مطلق خطاها MAE میانگین مربعات خطاها[3](MSE) و RMSE معیارهای مهمی برای بررسی کیفیت مدل هستند و بهترین مقدار متصور برای آن‌ها صفر می‌باشد ولی این معیارها علیرغم اینکه در مقالات به‌وفور از آن‌ها استفاده می‌شود دارای عیوب زیر می‌باشند.

اولین و اصلی‌ترین عیب آن‌ها وابسته بودنشان به معیار اندازه‌گیری است، یعنی با تغییر واحد اندازه‌گیری بارش از میلی‌متر به اینچ می‌توان مقدار RMSE را کاهش داد. عیب دیگر آن‌ها این است که به‌شدت تحت تأثیر مقدارهای پرت (حدی) در مشاهدها هستند. یعنی اگر داده‌ها داری یک نقطه پرت از نوع داده بزرگ باشند، حالتی که در عمل بیشتر پیش می‌آید باید از نامناسب بودن مدل به استناد بزرگ بودن RMSE اجتناب کرد. به همین دلیل باید از

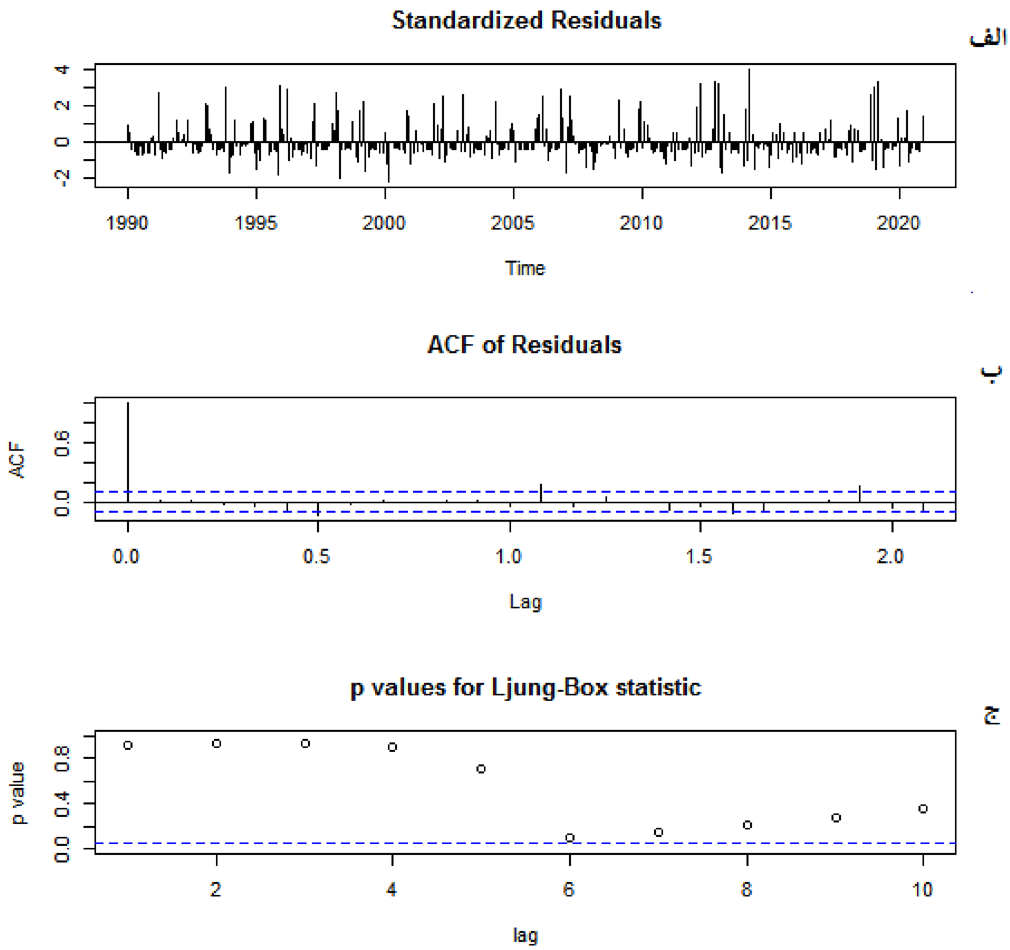
[3] MSE: Mean Square Errors

معیارهایی استفاده کرد که به واحد اندازه‌گیری وابسته نیستند که معروف‌ترین آن‌ها میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE) است که البته آن نیز داری ضعف‌های مختص خود است. به‌عنوان نمونه این معیار فقط برای داده‌های اندازه‌گیری شده با مقیاس نسبتی (یعنی داده‌هایی که صفر واقعی دارند) قابل استفاده است و دیگر اینکه این معیار برای وقتی مقادیر پیش‌بینی‌شده بیش از مقدار واقعی هستند نسبت به وقتی این مقادیر کمتر از مقدار واقعی هستند، جریمه بیشتری در نظر می‌گیرد (۲۵).

■ نتایج و بحث

مدل‌سازی سری زمانی برای ایستگاه همدیدی اصفهان با طول دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۷ انجام شد. بهترین مدل با توجه به معیار AIC انتخاب شده است. در بررسی مدل‌های مختلف سری زمانی و به‌کارگیری معیار اطلاعاتی آکائیک، سری زمانی SARIMA با توجه قابلیت بالای مدل‌سازی به‌عنوان بهترین سری زمانی جهت پیش‌بینی بارش ماهانه ایستگاه همدیدی اصفهان می‌باشد که با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه سلماس (۱۰) و سطح ایران (۳۴) مشابه می‌باشد. همچنین برای ارزیابی عملکرد بهترین مدل انتخاب‌شده، از معیارهای BIC، RMSE، MAE و MASE نیز استفاده شده است (جدول ۲). نتیجه مشابه‌ی نیز توسط سایر پژوهشگران به‌دست آمده است (۱۵).

برای بررسی کفایت مدل برازش شده بر اساس مدل SARIMA، ارزیابی باقیمانده‌ها برای ایستگاه همدیدی اصفهان گزارش شده است (شکل ۵)، که نشان‌دهنده‌ی عدم همبستگی درمانده‌های مدل برازش شده به داده‌های این ایستگاه می‌باشد. نتایج مذکور، با نتایج پژوهش انجام‌شده در استان گلستان (۵۸) مشابه است.



شکل ۵. (الف): نمودار باقی‌مانده‌های استانداردشده، (ب): نمودار خودهمبستگی همراه فاصله اطمینان ۹۵٪ از باقی‌مانده‌ها، (ج): نمودار مقادیر معناداری آزمون لیونگ - باکس ایستگاه اصفهان

مقایسه و ارزیابی مدل‌های آماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی

در پژوهش حاضر به‌منظور مقایسه نتیجهٔ مدل‌های SARIMA، FNN، MLP و ELM برای پیش‌بینی بارش ایستگاه همدیدی اصفهان از داده‌های بارش ماهانه دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ با نرم‌افزار R انجام شد. به‌عنوان خروجی در مدل‌ها با توجه به پارامتر ورودی بارش در ایستگاه موردبررسی، ۸۰٪ از داده‌ها به‌عنوان آموزش و ۲۰٪ از داده‌ها به‌عنوان آزمون به‌صورت تصادفی، که گستره وسیعی از داده‌ها را پوشش دهد، انتخاب شد (۳۱) نکته مهم در آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی نرمال‌سازی داده‌ها قبل از استفاده در مدل‌ها می‌باشد. با توجه به این‌که استان اصفهان جزء مناطق خشک و نیمه‌بیابانی کشور محسوب می‌شود، نوسان‌های شدید بارش از سالی به سال دیگر و حتی در ماه‌های مختلف یک سال کاملاً مشهود می‌باشد. نوسان‌های شدید بارش و به‌تبع آن پراکندگی زیاد داده‌ها منجر به پیچیدگی در فرایند آموزش و توانایی مدل شد و دقت و سرعت شبکه را کاهش می‌دهد (۵۴). برای دوری از چنین شرایطی و ب یکسان کردن ارزش داده‌ها برای شبکه، نرمال‌سازی داده‌ها انجام‌شد که این کار مانع از کوچک شدن بیش از حد وزن‌ها و سبب جلوگیری از اشباع زودهنگام نرون‌ها می‌گردد (۶۲) نرمال‌سازی زمانی که دامنه تغییرات ورودی‌ها زیاد باشد کمک زیادی به آموزش بهتر و سریع‌تر مدل می‌کند، نرمال‌سازی داده‌ها برای ورود به شبکهٔ عصبی مصنوعی انجام شد (رابطه ۲۲).

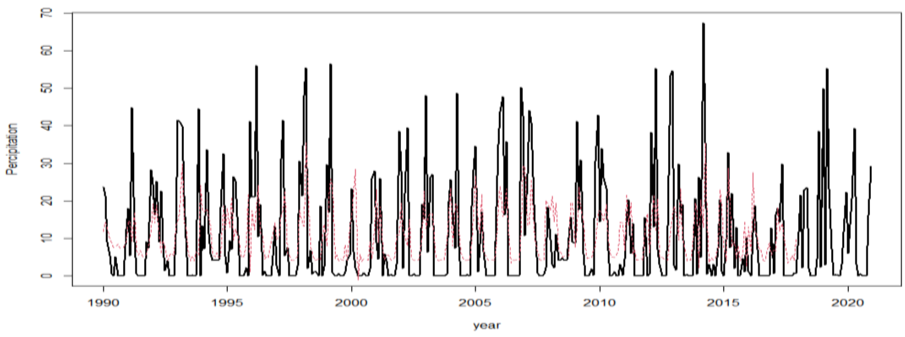
$$x_n = \frac{x_o - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (۲۲)$$

که x_n داده‌های نرمال شده، x_o داده‌های اولیه و x_{min} و x_{max} کمینه و بیشینه داده‌های اولیه را نشان می‌دهد (۵۴).

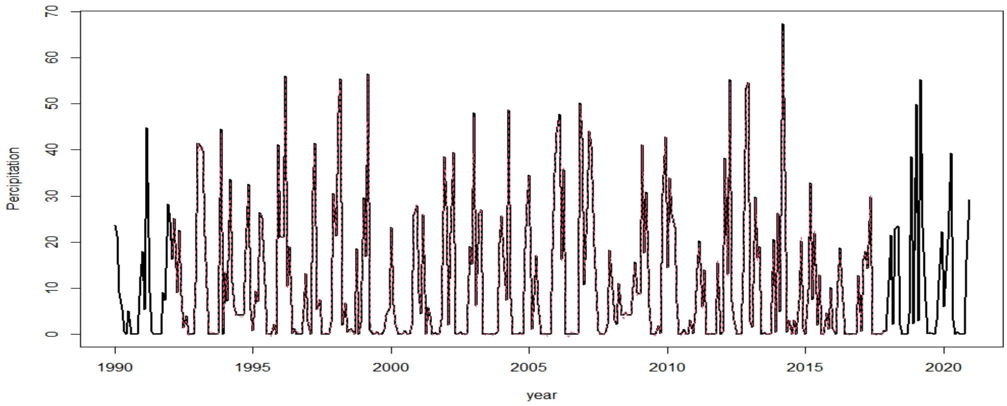
در نرم‌افزار R با استفاده از داده‌های آموزش بهترین مدل برای مدل‌های SARIMA، FNN، MLP و ELM برازش داده شد که مقادیر MASE، MAE و RMSE بهترین مدل برازش داده شده مشخص شد (جدول ۲) (شکل ۹-۶). در مرحلهٔ بعد، ساختار مناسب شبکهٔ عصبی، تابع محرک، تعداد نرون‌ها، تعداد لایه‌های پنهان، لایه‌های ورودی و خروجی انتخاب شد. سپس، برای تعیین بهترین ورودی‌های شبکه پس از سعی و خطای فراوان، ساختاری با استفاده از میانگین بارش سالیانه برای پیش‌بینی بارش سالیانه انتخاب شد (۳۳).

جدول ۲. بهترین مدل برازش شده و معیارهای ارزیابی خطای پیش‌بینی مربوط به داده‌های آموزش در ایستگاه همدیدی اصفهان

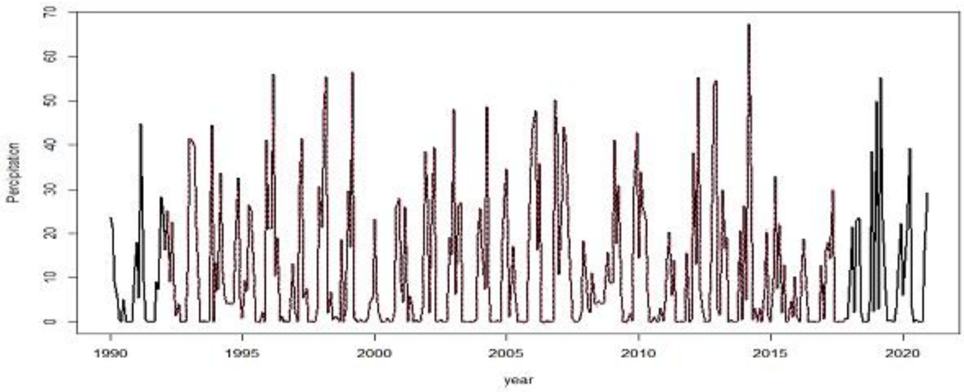
ردیف	مدل	AIC	BIC	RMSE	MAE	MASE
۱	$SARIMA(۱،۰،۰)(۲،۰،۰)_{۱۲}$	۲۶۶۴/۷۳	۲۶۸۳/۹۱	۱۲/۵۲	۹/۱۵	۰/۸۷
۲	FNN	–	–	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۲
۳	MLP	–	–	۳/۴۲	۲/۲۲	۰/۲۴
۴	ELM	–	–	۱۲/۳۰	۸/۶۹	۰/۸۲



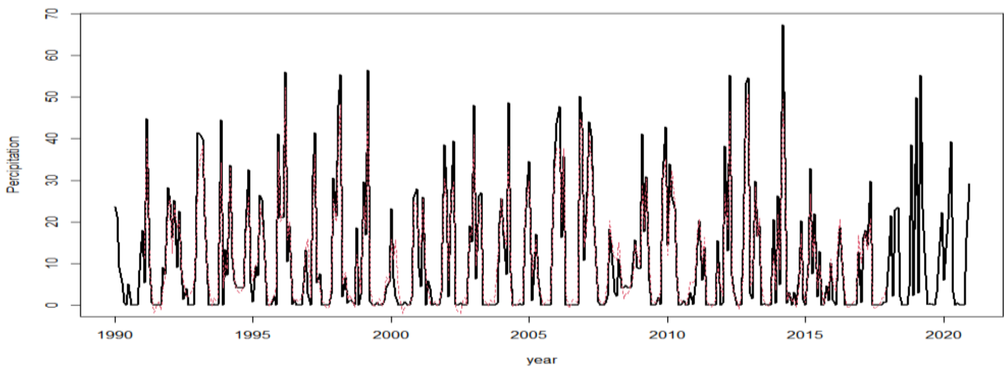
شکل ۶. بهترین مدل برازش شده با داده‌های آموزش با استفاده از مدل SARIMA



شکل ۷. بهترین مدل برازش شده با داده‌های آموزش با استفاده از مدل FNN



شکل ۸. بهترین مدل برازش شده با داده‌های آموزش با استفاده از مدل MLP

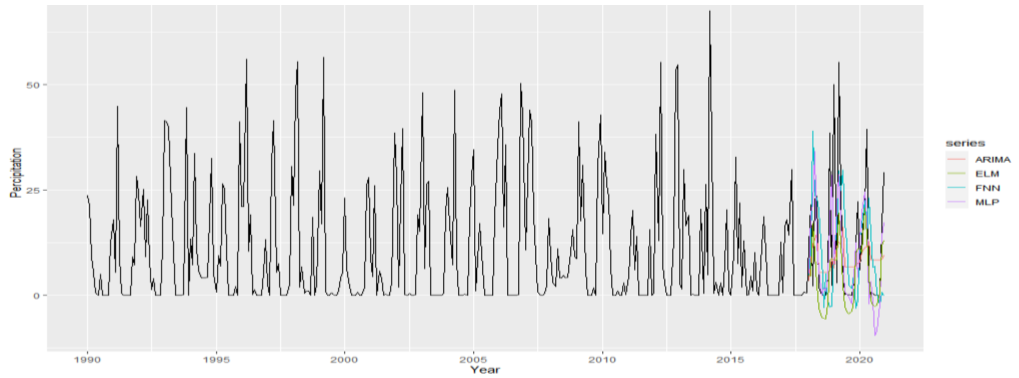


شکل ۹. بهترین مدل برازش شده با داده‌های آموزش با استفاده از مدل ELM

به‌منظور مدل‌سازی از داده‌های آزمون از مدل‌های تصادفی خطی SARIMA و غیرخطی FNN، MLP و ELM با لایه‌های پنهان و با تعداد نرون‌های متفاوت استفاده شد و بهترین مدل با استفاده از داده‌های آزمون ۲۰۲۰–۲۰۱۷، برای هریک از مدل‌ها برازش داده شد. در نهایت مقایسه و ارزیابی عملکرد بهترین مدل‌های برازش شده در بین مدل‌های SARIMA، FNN، MLP و ELM بر اساس کمترین مقادیر MASE، MAE و RMSE انجام شد (جدول ۳). با توجه به نتایج پژوهش حاضر، مدل شبکهٔ عصبی پیش‌خور (FNNs) به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد. نتایج مشابه نیز توسط سایر پژوهشگران به دست آمده است (۳۲، ۴۳، ۵۷). با انطباق نمودارهای پیش‌بینی بارش مدل‌های SARIMA، FNN، MLP و ELM که به‌واسطه بهترین مدل برازش شده بر داده‌های آموزش ۲۰۲۰ - ۲۰۱۷ ایستگاه همدیدی اصفهان به دست آمد، کفایت مدل‌های برازش شده مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۱۰).

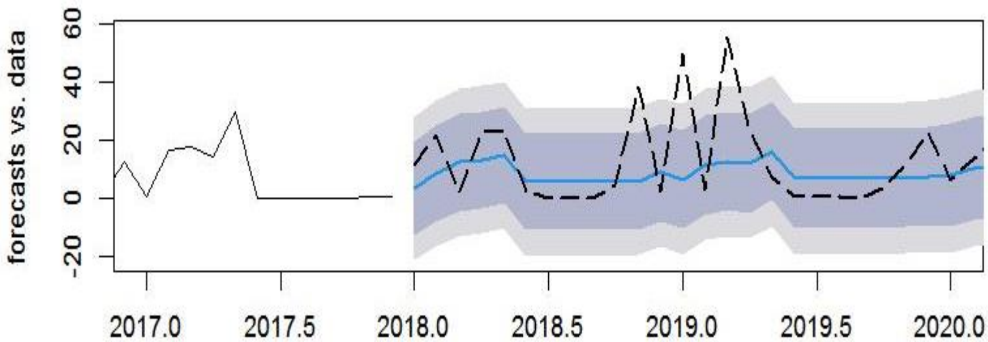
جدول ۳. مقایسه مدل‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی بر اساس معیارهای ارزیابی با داده‌های آزمون در ایستگاه همدیدی اصفهان

ردیف	مدل	RMSE	MAE	MASE
۱	SARIMA	۱۲/۷۴	۹/۳۱	۰/۸۸
۲	FNN	۰/۴۷	۰/۳۵	۰/۰۳
۳	MLP	۴/۳۳	۲/۹۳	۰/۲۸
۴	ELM	۱۲/۴۴	۸/۸۰	۰/۸۳

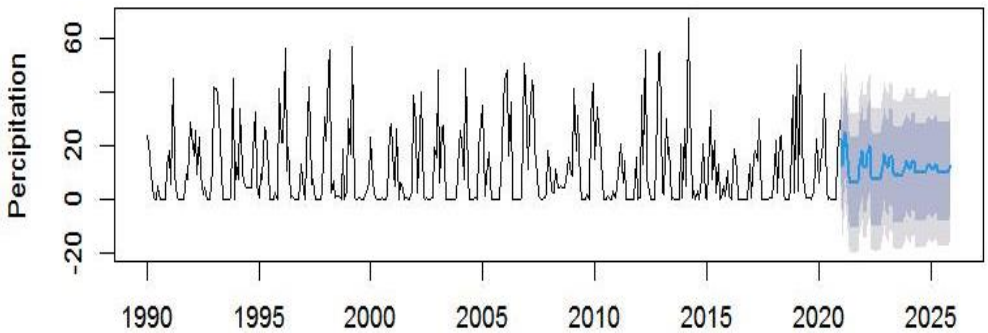


شکل ۱۰. انطباق نمودارهای ارزیابی کفایت پیش‌بینی مدل‌های SARIMA ، FNN، MLP و ELM در ایستگاه همدیدی اصفهان

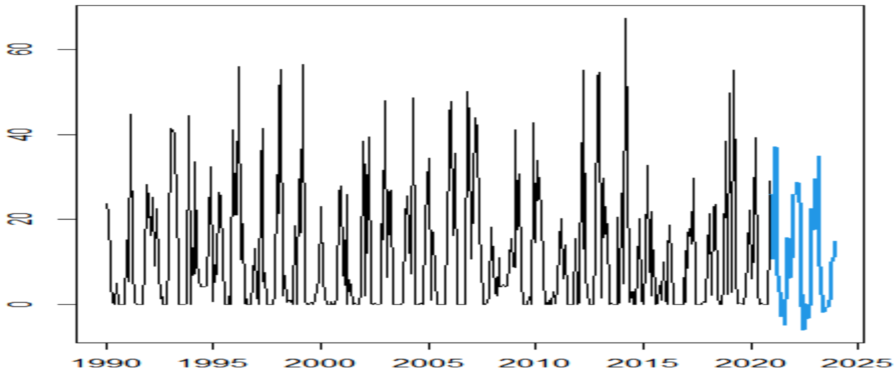
مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط بهترین مدل برازش شده برای هر یک از مدل‌ها مشخص شد (شکل ۱۸-۱۱). نمودارهای ۱۱، ۱۳، ۱۵ و ۱۷ معرف پیش‌بینی بارش برای ۵ سال آینده ۲۰۲۵ - ۲۰۲۱ و نمودارهای ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ معرف قابلیت مدل در پیش‌بینی مقادیر داده‌های آزمون ۲۰۲۰ – ۲۰۱۷ است.



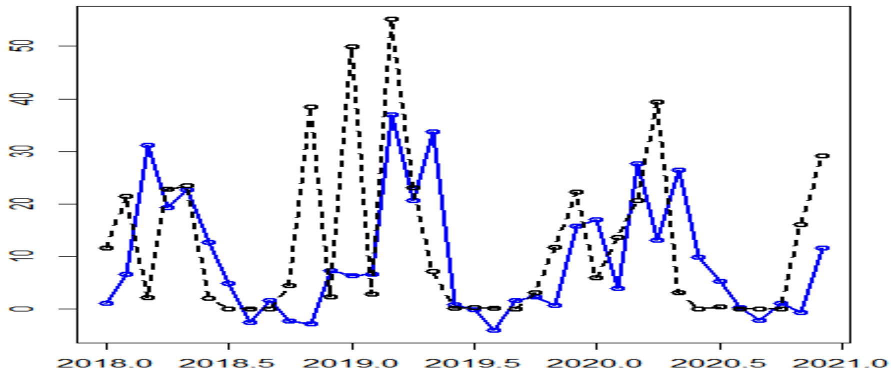
شکل ۱۱. پیش‌بینی بارش برای ایستگاه اصفهان با مدل SARIMA



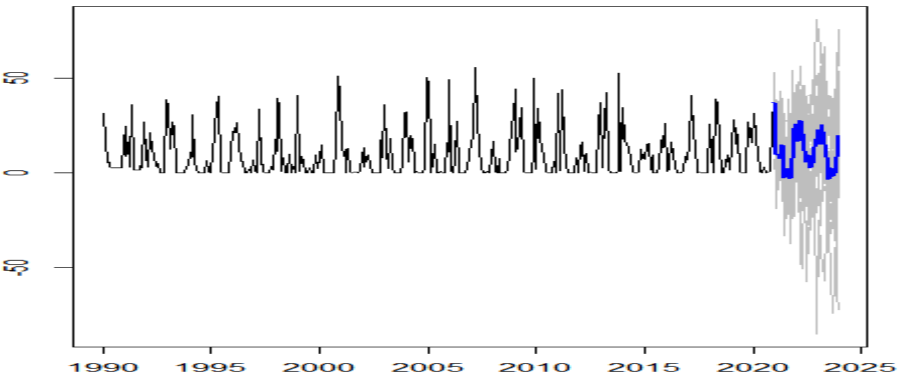
شکل ۱۲. ارزیابی کفایت پیش‌بینی بارش ایستگاه اصفهان با مدل SARIMA



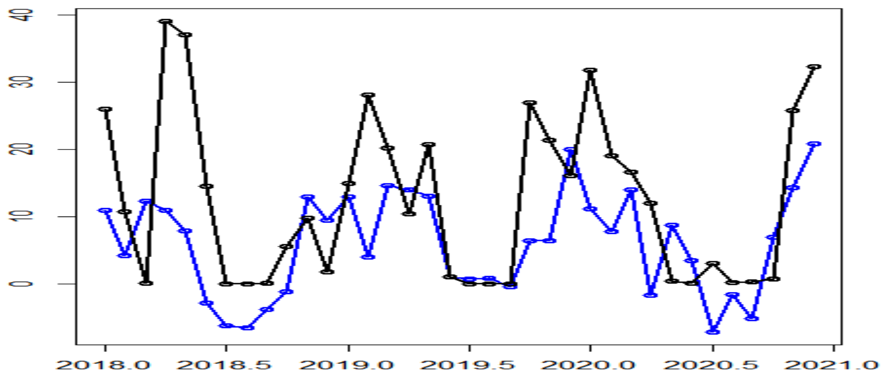
شکل ۱۳. پیش‌بینی بارش برای ایستگاه اصفهان با مدل FNN



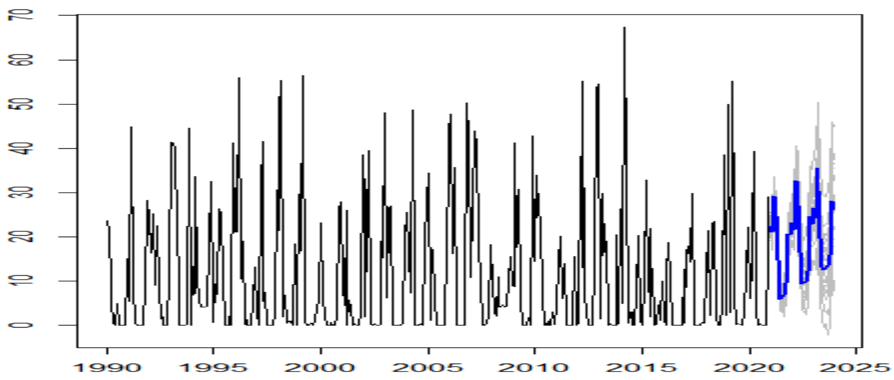
شکل ۱۴. ارزیابی کفایت پیش‌بینی بارش ایستگاه اصفهان با مدل FNN



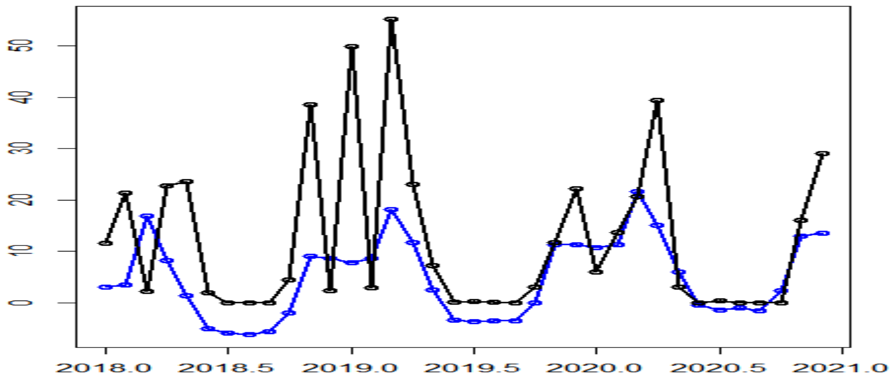
شکل ۱۵. پیش‌بینی بارش برای ایستگاه اصفهان با مدل MLP



شکل ۱۶. ارزیابی کفایت پیش‌بینی بارش ایستگاه اصفهان با مدل MLP



شکل ۱۷. پیش‌بینی بارش برای ایستگاه اصفهان با مدل ELM



شکل ۱۸. ارزیابی کفایت پیش‌بینی بارش ایستگاه اصفهان با مدل ELM

در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که استفاده از مدل‌های FNN، MLP و ELM برای پیش‌بینی داده‌های بارش و وقوع خشکسالی مفید بوده است. همچنین نتایج نشان داده کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای قابلیت‌های خوبی در زمینه پیش‌بینی سری‌های زمانی بارش و خشکسالی برای ۵ سال آینده می‌باشند (۱، ۴، ۱۰، ۱۸، ۴۰، ۶۱). از مزایا و معایب شبکه‌های عصبی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مزایای اصلی استفاده از شبکه عصبی پیش‌خور عبارت‌اند از: حجم زیادی از مجموعه داده‌ها را می‌تواند مدیریت کند. این مدل توانایی تشخیص ضمنی روابط غیرخطی پیچیده را بین متغیرهای وابسته و مستقل را دارد و همچنین این مدل توانایی تشخیص تمام تعاملات ممکن بین متغیرهای پیش‌بینی را نیز دارد. معایب این مدل شامل: ماهیت «جعبه سیاه»، بار محاسباتی بیشتر و ماهیت تجربی توسعه مدل می‌باشد.

مزایای اصلی استفاده از مدل پرسپترون چندلایه عبارت‌اند از: قابل استفاده برای مدل‌های پیچیده غیرخطی، دارای عملکرد مناسب برای داده‌های با حجم بالا و همچنین دقت زیاد برای محاسبه داده‌های با حجم کم می‌باشد. معایب مدل این مدل شامل: وابستگی هرکدام از متغیرهای مستقل به متغیرهای وابسته مشخص نیست، از طرفی محاسبه و تشخیص دقیق آن بسیار پیچیده است.

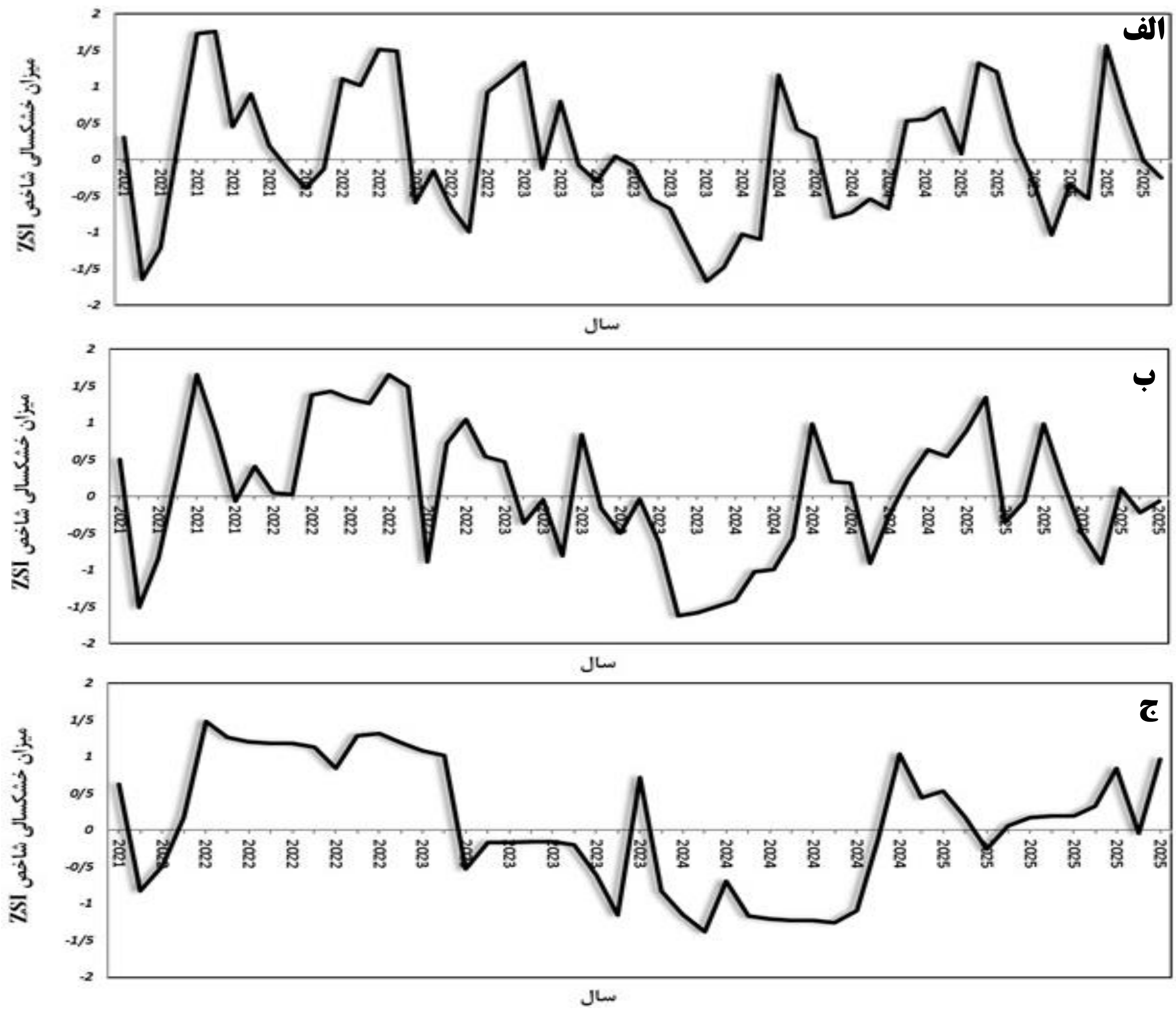
مزایای اصلی استفاده از مدل ماشین‌های یادگیری افراطی این است که بر خلاف شبکه عصبی پیش‌نگر تمام پارامترهای این مدل نظیر مقادیر لایه‌های پنهان و وزن‌های ورودی نیاز به تنظیم قبلی ندارند و همچنین ظرفیت منحصر به‌فرد آن در پردازش تطبیقی غیرخطی دارد. این موجب برتری این مدل نسبت به دیگر مدل‌های شبکه عصبی سنتی می‌باشد (۱۲). مهم‌ترین عیب این مدل این نکته است که با توجه به اینکه در این مدل هنگام برازش بهترین مدل از گره‌های پایین رده و پنهان کمی استفاده می‌کند اما مشکل برازش مدل را دارد.

از آنجا که استان اصفهان جزء مناطق خشک و نیمه‌بیابانی محسوب می‌گردد و از دیگر سو در سال‌های اخیر انواع خشکسالی‌های اقلیمی، هیدرولوژیک، کشاورزی

و اقتصادی- اجتماعی در منطقه ایجاد شه است؛ لذا پیش‌بینی وقوع خشکسالی و ارزیابی آن در این منطقه لازم و ضروری می‌باشد. در این پژوهش با بهره‌گیری از مدل شبکهٔ عصبی پیش‌خور (FNNs) مقدار بارش برای دورهٔ آماری پنجساله ۲۰۲۱-۲۰۲۵ پیش‌بینی شد. استفاده از نرم‌افزار DIP و شاخص خشکسالی ZSI در مقیاس‌های زمانی مختلف (ماهانه، ۳ ماهه، ۶ماهه، ۹ماهه، ۱۲ماهه، ۱۸ماهه، ۲۴ماهه و ۴۸ ماهه) شدت و مدت خشکسالی طی دورهٔ ۲۰۲۱-۲۰۲۵ محاسبه شد (شکل ۱۹).

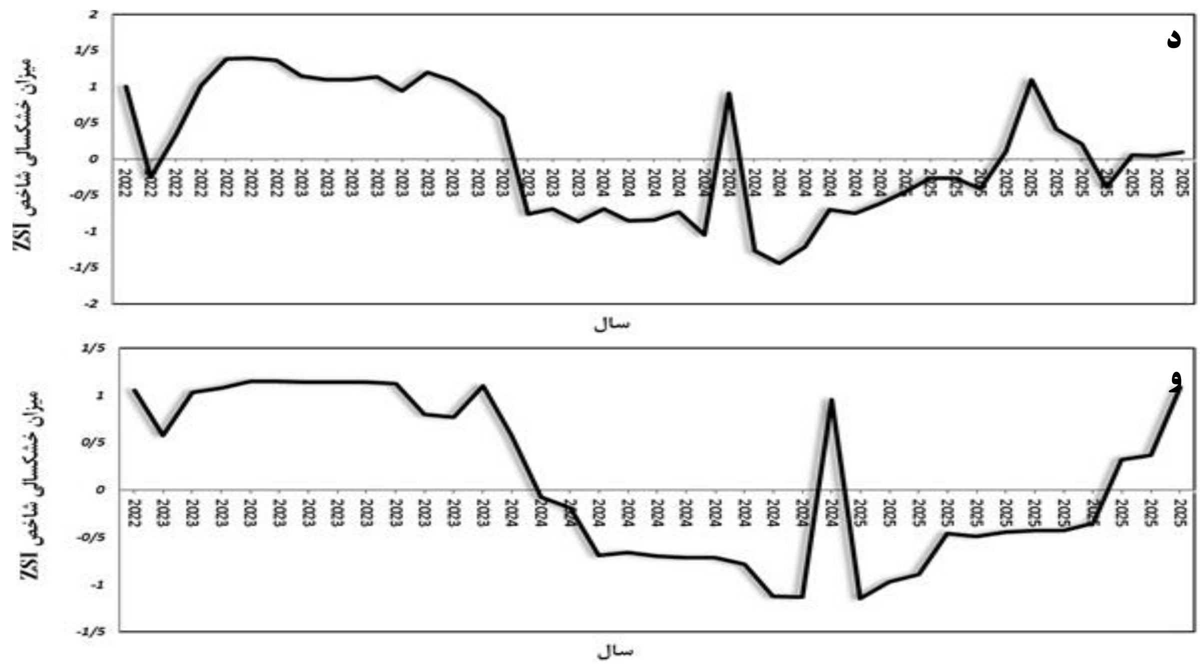
در راستای انتخاب شاخص برتر برای پیش‌بینی خشکسالی در ایستگاه همدیدی اصفهان، قابلیت شاخص‌های درصد نرمال بارندگی[1]، بارش استاندارد شده[2]، معیار استاندارد[3]، Z چینی[4] و Z چینی اصلاح شده[5] براساس کمینه وقوع بارش در طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰ در ده ایستگاه همدیدی استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت و شاخص معیار استاندارد به عنوان شاخص برتر انتخاب شد.

نمودارهای ارزیابی وقوع خشکسالی ایستگاه اصفهان براساس شاخص خشکسالی ZSI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ماهه در شکل ۱۹ می‌باشد.



شکل ۱۹. نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی با استفاده از شاخص ZSI در ایستگاه اصفهان در مقیاس‌های زمانی مختلف (الف): نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۳ ماهه، (ب). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه، (ج). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۹ ماهه، (د). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، (ه). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۸ ماهه، (و). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه

[1] PNPI: Percent of Normal Precipitation Index
[2] SPI: Standardized Precipitation Index
[3] ZSI: Z-Score Index
[4] CZI: China Z- Index
[5] MCZI: Modified Chinese Z - Index



ادامهٔ شکل ۱۹. نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی با استفاده از شاخص ZSI در ایستگاه اصفهان در مقیاس‌های زمانی مختلف (الف) نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۳ ماهه، (ب). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه، (ج). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۹ ماهه، (د). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، (ه). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۸ ماهه، (و). نمودار پیش‌بینی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه

خشکسالی شدید در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه و ۶ ماهه در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳ و در مقیاس‌های زمانی ۹ ماهه و ۱۸ ماهه در سال ۲۰۲۴ در ایستگاه همدیدی اصفهان رخ داده است. همچنین خشکسالی متوسط در همه مقیاس‌های زمانی در سال ۲۰۲۴ و خشکسالی ضعیف در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۲۴ ماهه در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ در این ایستگاه اتفاق افتاده است.

بیشترین شدت خشکسالی مربوط به مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد و بیشترین تداوم خشکسالی مربوط به مقیاس‌های زمانی بلندمدت ۱۸ ماهه و ۲۴ ماهه بوده که به مدت ۲ سال (۲۰۲۳ تا ۲۰۲۵) دربر می‌گیرد. در مجموع نتایج نشان داد استفاده از مدل شبکه عصبی پیش‌خور در زمینه پیش‌بینی خشکسالی مؤثر بوده و پیش‌بینی شدت و مدت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف به‌طور مؤثر وضعیت خشکسالی را به‌وضوح آشکار می‌کنند تا ابزار مفیدی برای جلوگیری این پدیده خطرناک و مدیریت منابع آبی باشد.

■ نتیجه‌گیری

شناخت ویژگی‌های خشکسالی لازمه مدیریت منابع آب است. واکاوی و پایش خشکسالی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های مدیریتی کشاورزی و منابع آبی محسوب می‌شود. بدین منظور باید از شاخص‌های خشکسالی استفاده شود. شاخص معیار استاندارد (ZSI) یکی از شاخص‌های کاربردی و مهم در ارزیابی خشکسالی هواشناسی می‌باشد که با هدف اختصاص ارزش عددی به مهم‌ترین فاکتور اقلیمی، یعنی بارندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این شاخص به این دلیل که نواقص آماری را در بین سری داده‌ها قبول می‌کند و همچنین محاسبه ساده‌تری دارد (۱، ۳۶، ۴۴)، استفاده شد. پس از بررسی تمامی مدل‌ها در مدل‌سازی با متغیر ورودی داده‌های بارش، مدل برتر بر اساس کمترین مقادیر معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مجذور خطای مطلق (MASE) و میانگین قدر مطلق خطاها (MAE) انتخاب شد، نتایج نشان داد مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی پیش‌خور (FNN) با مقادیر RMSE برابر ۰/۳۳، MASE برابر

۰/۰۲ و MAE برابر ۰/۲۲ به‌عنوان بهترین مدل در جایگاه اول و مدل پرسپترون چندلایه (MLP) با مقادیر RMSE برابر ۴/۳۳، MASE برابر ۰/۲۸ و MAE برابر ۲/۹۳ در جایگاه دوم، مدل ماشین‌های یادگیری افراطی (ELM) با مقادیر RMSE برابر ۸/۸۰، MASE برابر ۰/۸۳ و MAE برابر ۱۲/۴۴ در جایگاه سوم و مدل سری زمانی SARIMA با مقادیر RMSE برابر ۱۲/۷۴، MASE برابر ۰/۸۸ و MAE برابر ۹/۳۱ در جایگاه چهارم قرار گرفت.

مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی پیش‌خور قادر به پیش‌بینی بارش و خشکسالی در بیشترین حجم، با کمترین هزینه و در کوتاه‌ترین زمان ممکن می‌باشد، لذا اگر این پیش‌بینی داده‌ها به‌صورت دستی صورت می‌گرفت نیازمند اندازه‌گیری‌های فراوان با کارهای آزمایشگاهی پرهزینه و زمان‌بر بود. همچنین دقت و انعطاف‌پذیری بالای مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی پیش‌خور باعث ایجاد برتری محسوسی نسبت به سایر مدل‌های شبکه عصبی در این مطالعه شده است (۷).

نتایج ارزیابی پیش‌بینی شدت خشکسالی در ۵ سال آینده نشان داد که خشکسالی شدید در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه و ۶ ماهه در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳ و در مقیاس‌های زمانی ۹ ماهه و ۱۸ ماهه در سال ۲۰۲۴، خشکسالی متوسط در همه مقیاس‌های زمانی در سال ۲۰۲۴ و خشکسالی ضعیف در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۲۴ ماهه در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ اتفاق افتاده است. درمجموع نتایج نشان داد که پیش‌بینی بارش و خشکسالی با توجه به ماهیت متغیر آن به‌خصوص برای مدتی قابل‌توجه قبل از وقوع در منطقهٔ خشک و نیمه‌بیابانی اصفهان کاری بسیار دشوار بوده و اغلب روش‌های موجود قادر به پیش‌بینی با این دقت قابل قبول نیستند. اما در پژوهش حاضر مشخص شد مدل شبکه عصبی پیش‌خور قادر به انجام پیش‌بینی وقوع بارندگی به مقدار مشخص و با ضریب اطمینان قابل قبول در ۵ سال آینده بوده که این امر تأکید بر این موضوع دارد که استفاده از مدل شبکه عصبی پیش‌خور و محاسبه شاخص ZSI همه مقیاس‌های زمانی می‌تواند در زمینه پیش‌بینی خشکسالی مؤثر باشد. این امر موجب می‌شود که خشکسالی در همه مقیاس‌های زمانی را با وضوح بالاتری آشکار شود،

در پژوهش حاضر با پیش‌بینی خشکسالی در ایستگاه اصفهان در همه مقیاس‌های زمانی وضعیت خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۲۱ ، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ به دلیل کاهش بارندگی به‌وضوح مشخص شد. وجود خشکسالی از یک‌سو و افزایش تقاضای آب به‌واسطه افزایش فن‌اوری و جمعیت در آینده از طرف دیگر ضروری می‌باشد این بحران کم‌آبی و خشکسالی در ایستگاه اصفهان به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفته و تدابیر اساسی‌تری در جهت کاهش اثرات خشکسالی در سال‌های آتی به عمل آورد.

شایان ذکر است نتایج حاصل از پژوهش حاضر، حاکی از انعطاف‌پذیری زیاد مدل‌های هوش مصنوعی در شرایط فقر داده‌ها می‌باشد که همین عاملموجب شده تا مدل‌های هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری قدرتمند در شبیه‌سازی و پیش‌بینی‌ها شناخته شوند. همچنین با توجه به نتایج قابل قبول این پژوهش، توصیه می‌شود تصمیم‌گیران امر برای اقدام‌های مدیریت ریسک در منطقه و جلوگیری از وقوع بحران‌های جدی از نتایج این تحقیق بهره گرفته و استفاده نمایند. افزون بر این، لازم به‌ذکر است که عوامل هواشناسی از جمله بارش، دمای بیشینه، رطوبت و سرعت باد به‌ترتیب از مؤثرترین عوامل در افزایش دقت پیش‌بینی‌ها می‌باشند. لذا پیشنهاد می‌گردد برای افزایش دقت و کارایی هر چه بیشتر مدل‌های هوش مصنوعی از عوامل پیش‌گفت به‌طور هم‌زمان در محاسبات مورد استفاده قرار گیرد تا بستر و نتایج دقیق‌تری در پیش‌بینی و ارزیابی عوامل اقلیمی و هواشناسی به‌ویژه خشکسالی ایجاد شود.

■ References

1. Adnan, S., Ullah, K., Li, S., Gao, S., Hayat Khan, A., & Mahmood, R. (2017). Comparison of Various Drought Indices to Monitor Drought Status in Pakistan, *Climate Dynamics*, *51*(5/6), 1885-1899.

2. Afkhami, H., Dastorani, M. T., Malekinejad, H., & Mobin, M. H. (2010). Effects of Climatic Factors on Accuracy of ANN-Based Drought Prediction in Yazd Area. *Agriculture and Natural Resources*, *14*(51), 157-169. (in Farsi)

3. Alizadeh, S., & Toosi, A. (2008). Development of a Model for Monitoring and Forecasting Drought (Case Study: Khorasan Razavi Province). *Water and Soil*, *22*(1), 223-235. (in Farsi)
4. Alsumaiei, A. A., & Alrashidi, M. S. (2020). Hydrometeorological Drought Forecasting in Hyper-Arid Climates Using Nonlinearautoregressive Neural Networks. *Water*, *12*(9), 2611.
5. Arjmandi Harat, Z., & Asadi Zarch, M. A. (2021). Performance Analysis of NAR Model for Short and Long-Term Drought Forecasting in Arid Regions, *Desert Management*, *9*(2), 103-120. (in Farsi)
6. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. (2000). Artificial Neural Networks in Hydrology. I: Preliminary Concepts, *Hydrologic Engineering*, *5*(2), 124–137.
7. Biranvand, S., & Sahraeian, K. (2018). *Types of Neural Networks and Their Applications*, 3rd International Conference on Management and Humanities Research in Iran, Non-Governmental Organizations and Centers, Modbar Management Research Institute, *3*, University of Tehran. (in Farsi)
8. Boustani, A., Ulke A., (2020). Investigation of Meteorological Drought Indices for Environmental Assessment of Yesilirmak Region, *Environmental Treatment Techniques*, *8*(1), 374-381.
9. Box, G., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control (3rd edn)*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. NJ.
10. Byzedi, M., Siosemardeh, M., & Asragah, A. (2017). Prediction and Analysis of Meteorological Drought Based on Time Series (Case Study: Salmas Watershed). *Environmental and Water Engineering*, *2*(4), 346-359. (in Farsi)
11. Deo, R. C., & Sahin, M. (2016). An Extreme Learning Machine Model for The Simulation of Monthly Mean Streamflow Water Level in Eastern Queensland, *Environmental Monitoring and Assessment*, *188*(2).
12. Deo, R. C., & Sahin, M. (2015). Application of The Extreme Learning Machine Algorithm for the Prediction of Monthly Effective Drought Index in Eastern Australia, *Atmospheric Research*, *153*, 512-525.
13. Eivazi, M., Mosaedi, A., & Dehghani, A. A. (2009). Comparison of Different Approaches for Predicting SPI. *Water and Soil Conservation*, *16*(2), 145-167. (in Farsi)
14. Fallah Ghalhari, GH., Bayatani, A. F., & Fahiminezhad, E. (2015). Comparing the Forecasting Accuracy of the Box–Jenkins Models in Modeling Seasonal Precipitation (Case Study: The South of Kerman Province, Iran). *Applied Environmental and Biological Sciences, 5*(12) 64-78.
15. Farajzadeh. M. (2013). *Climatic Hazards in Iran*. Tehran, SAMT Press. (in Farsi)
16. Faris, H., Hassonah, M. A., Al-Zoubi, A. M., & Mirjalili, S. (2018). A Multi-Verse Optimizer Approach for Feature Selection and Optimizing SVM Parameters Based on A Robust System Architecture, *Neural Computing and Applications*, *30*(8), 2355–2369.
17. Flood, I., & Kartam, N. (1994). Neural Networks in Civil Engineering I: Principles and Understanding. *Computing in Civil Engineering*, *8*(2), 131–148.
18. Fung, K. F., Huang, Y. F., Koo, C. H., & Soh, Y. W. (2020). Drought Forecasting: A Review of Modelling Approaches 2007–2017, *Water and Climate Change*, *11*(3), 771–799.
19. Haltiner, G. J., & Williams, R. T. (1989). *Numerical Prediction and Dynamic Eteorology,* 2nd Eddition. New York, Wiley & Sons.

20. Han, P., Wang, P. X., Zhang, S. Y., & Zhu, D. H. (2010). Drought Forecasting Based on the Remote Sensing Data Using ARIMA Models. *Mathematical and Computer Modelling, 51*, 1398-1403.

21. Hejazizadeh, Z., & Javizadeh, S. (2017). *Introduction to Drought and its Indicators*. Tehran, Samt Press. (in Farsi)

22. Hosseini-Moghari, S. M., & Araghinejad, Sh. (2016). Application of Statistical, Fuzzy and Perceptron Neural Networks in Drought Forecasting (Case Study: Gonbad-e Kavous Station), *Water and Soil*, *30*(1), 247-259. (in Farsi)

23. Huang, G., Huang, G. B., Song, S., & You, K. (2015). Trends in Extreme Learning Machines: A Review. *International Neural Network Society*, *61*, 32–48.

24. Hyndman, R. J., & Koehler. A. B. (2006). Another Look at Measures of Forecast Accuracy. *Forecasting*, *22*, 679–688.

25. Kardavani, P. (2001). *Drought and ways to deal with it in Iran*. Tehran, University of Tehran (In Farsi).

26. Kaur, A., & Sandeep, K. S. (2020). Deep Learning Based Drought Assessment and Prediction Framework, *Ecological Informatics*, *57*(9).

27. Kaviani, M. R., & Alikhani, B. (2016). *Basics of meteorology*. Tehran, Samt Press. (in Farsi)

28. Khalili, K., Hesari, B. (2004). *Prediction of Drought Trend Using Time Series Statistical Models (Case Study of Urmia Synoptic Station)*. 1th Water Resources Management Conference, Tehran. (in Farsi)

29. Khorrami, M., A. Bozorgnia. 2007. *Analysis of Time Series with MINITAB Software 14*. Sokhan Gostar Publications, 336. (in Farsi)

30. Khosravi, I., Akhondzadeh, M., & Khoshgoftaar, M. (2015). Modeling and Predicting the Drought Indices Time Series Using Machine Learning Methods in Order to Managing Hazards (Case Study: Eastern District of Isfahan), *Environmental Management Hazards*, *2*(1), 51-65. (in Farsi)

31. Kisi, O., Karahan, M., & Sen, Z. (2006). River Suspended Sediment Modeling Using Fuzzy Logic Approach. *Hydrological Processes*, *20*(2), 4351-4362.

32. Malekian, A., Dehbozorgi, M., & Ehsani, A. H. (2015). Evaluation the Efficiency of Using Artificial Neural Networks in Predicting Meteorological Droughts in North-West of Iran. *Researches in Geographical Sciences*, *15(36),* 139-156. (in Farsi)

33. Malekian, A., Dehbozorgi, M., Ehsani, A., & Keshtkar, A. (2014). Application of Artificial Neural Networks in Simulating and Forecasting of Meteorological Drought Decile Percentage Index (Case Study: Sistan & Balouchestan Province), *Range and Watershed Management*, *67*(1), 127-139.

34. Masoumpour Samakosh, J., Jalilian, A., & Yari, E. (2016). The Analysis of Seasonal Precipitation Time Series in Iran. *Physical Geography Research, 49*(3), 457-475. (in Farsi)

35. Meteorological Organization of the Country. (2021). *Meteorological of Isfahan Province*, 26-149. (in Farsi)

36. Mirzaei, A. A., & Sabe, Gh. A. (2011). *Water Engineering Specialized Software*. Kian Academic Publication, Tehran, Iran. (in Farsi)

37. Mishra, A. K., & Desai, V. R. (2006). Drought Forecasting Using Feed-Forward Recursive Neural Network, *Ecological Modelling*, *198*(1), 127-138.

38. Mishra, A. K., & Desai, V. R. (2005). Drought Forecasting Using Stochastic Models. *Stoch Environ Res Risk Assess*, *19*(2), 326-339.

39. Moharrampour, M., Mehrabi, A., Hajikandi, H., Sohrabi, S., & Vakili, J. (2013). Comparison of Support Vector Machines (SVM) and Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) in Daily Flow Forecasting. *River Engineering*, *1*(1), 1–8.

40. Nazari Pouya, H., Khosroshahi, M. (2013). Determining the Most Appropriate Meteorological Drought Index for Evaluation of Drought in Hamedan Province, *Range and Desert Research, 20*(4), 625-633. (in Farsi)

41. Niromand, H., & Bozorgnia, S. A. (2002). *Introduction to Time Series Analysis (Edition 2)*. Translation. Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran. (in Farsi)

42. Niromand, H., & Bozorgnia, S. A. (2011). *Time Series (Edition 5)*. Payam Noor University Press, Tehran. (in Farsi)

43. Nourani, V., Alami, M. T., & Aminfar, M. H. (2009). A Combined Neural-Wavelet Model for Prediction of Ligvanchai Watershed Precipitation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *22*(2), 466–472.

44. Pahlavanravi, A., & Ghasemi, H. (2008). *Estimation of Wet and Drought Periods Using Z-Score Index in Zabol*, International Water Crisis Conference, Ministry of Science, Research and Technology, March 20-22, First Course, Zabol University.

45. Rahdan, H., Moradi, H. R., & Sharifi, K. M. (2015). *Comparison of the Efficiency of Some Meteorological Indicators to Determine the Drought in Isfahan*, 4th National Conference on Health, Environment and Sustainable Development, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch. (in Farsi)

46. Rostami, M., Pahlavanravi, A., & Moghaddamnia, A. (2016). Comparison of Artificial Neural Network Models and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Predicting the Drought Mond Basin of Fars Province. *Natural Environmental Hazards, 4*(6), 21-32. (in Farsi)

47. Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). *Parallel Distributed Processing: Exploratins in the Microstructure of Cognition*, V. 1: Foundations. London, The MIT Press.

48. Saadati, S., Soltani, S., & eslamian, S. (2009). Statistical Analysis of Return Period of Drought Conditions in Isfahan Province Using the Standardized Precipitation Index, *Range and Watershed Management, 62*(2), 257-270. (in Farsi)

49. Sadeghian, M., Karami, H., & Mousavi, S. F. (2018). Selection of a Proper Model to Predict Monthly Drought in Semnan Using Weather Data and Linear and Nonlinear Models, *Water and Soil Science, 21*(4). (in Farsi)

50. Sánchez-Monedero, J., Salcedo-Sanz, S., Gutiérrez, P., Casanova-Mateo, C., & Hervás-Martínez, C. (2014). Simultaneous Modelling of Rainfall Occurrence and Amount Using a Hierarchical Nominal–Ordinal Support Vector Classifier, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *34*, 199–207.

51. Salas, J. D. (1980). Applied Modeling of Hydrologic Time Series: Water Resources Publication.

52. Shafiee, M., Champion, B., Ansari, H., & Sharifi, M. B. (2011). Stochastic Simulation of Drought Severity Based on Palmer Index, *Water and Irrigation Management*, *1*(1), 1-13. (in Farsi)

53. Shcherbakov, M. V., Brebels, A., Shcherbakova, N. L., & Tyukov, A. P. (2013). A Survey of Forecast Error Measures. *World Applied Sciences, 24,* 171-176.

54. Soh, Y. W., Koo, C. H., Huang, Y. F., & Fung, K. F. (2018). Application of Artificial Intelligence Models for The Prediction of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) at Langat River Basin, Malaysia, *Computers and Electronics in Agriculture*, *144*, 164–173.

55. Tarkhaneh. O., & Shen. H. (2019). Training of Feedforward Neural Networks for Data Classification Using Hybrid Particle Swarm Optimization, Mantegna Levy Flight and Neighborhood Search. *Helion*, *5*, e01275.

56. Tokar, A. S., & Markus, M. (2000). Precipitation - Run off Modeling Using Artificial Neural Network and Conceptual Models. *Hydrologic Engineering*, *4*(3), 156-161.

57. Torabipodeh, H., Dehghani, R., & Rostami, S. (2019). Estimation Drought in Lorestan Using Intelligent Networks. *Climate Research*, *1397*(35), 41-52. (in Farsi)

58. Toufani, P., Mosaedi, A., & Fakheri Fard, A. (2010). Prediction of Precipitation Applying Wavelet Network Model (Case Study: Zarringol Station, Golestan Province, Iran). *Water and Soil (Agricultural Science and Technology), 5*(25), 1217-1226. (in Farsi)

59. Vidyarthi, V. K., & Jain, A. (2020). Knowledge Extraction from Trained ANN Drought Classification Model. *Hydrology*, 585.

60. Wilhite, D. A., Rosenberg, N. J., & Glantz, M. H. (1986). Improving Federal Response to Drought, *Climate and Applied Meteorology*, *25*, 332–342.

61. Yeh, H. F., & Hsu, H. L. (2019). Stochastic Model for Drought Forecasting in the Southern Taiwan Basin, *Water*, *11*(10), 2041.

62. Younesi, M., Shahraki, N., Marofi, S., & Nozari, H. (2017). Drought Forecasting Using Artificial Wavelet Neural Network Integrated Model (WA-ANN) and Time Series Model (ARIMA), *Irrigation Sciences and Engineering, 41*(2), 167-181.

Original Article, Vol. 10, No. 1, Spring, 2022, pp 37-52

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Investigation of Methanol Application as A Drought Resistance Solution for Safflower (*Carthamus Tinctorius* L.) Cultivation in Desert Regions of Iranshahr

A. Tavassoli[1*]

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
* Corresponding Author: A.tavassoli@pnu.ac.ir

Received date:06/08/2021 **Accepted date:03/10/2021**

doi 10.22034/JDMAL.2021.535436.1343

Abstract

TWater deficit is considered as one of the limited factors in agriculture in the arid and desert regions of the country. The cultivation of drought tolerant plants such as safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and using methanol to increase the drought resistance of these plants is an appropriate solution for agricultural development in these regions. For this purpose, an experiment was carried out in the design of split plots in a randomized complete block with three replications in the growing season of 2019-2020 in Iranshahr. Experimental treatments were consisted of three drought stress levels including no stress, moderate stress and severe stress, as the main plots, and the four methanol levels including no use, using 10, 20 and 30% volume of methanol as sub plots. The results showed that the highest values of the studied traits were obtained from no stress treatment and foliar application of 30% volume of methanol. However, for the 1000 grain weight, grain and oil yield, there were no statistically significant differences between 30 and 20% by volume of methanol. For all the studied traits, there was no statistically significant difference between the absence of stress treatment and the absence of methanol use, with moderate stress treatment and foliar application of 30% methanol volume. The lowest values of the traits studied were achieved by severe stress treatment without foliar application.

Keywords: Balochistan; Drought stress; Yield; Oil plant

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۳۷ تا ۵۲

نشریه مدیریت بیابـان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

ارزیابی راهکار کاربرد متانول برای افزایش مقاومت به خشکی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در مناطق بیابانی ایرانشهر

ابوالفضل توسلی[1*]

۱. استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: A.tavassoli@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱

doi 10.22034/JDMAL.2021.535436.1343

چکیده

کمبود آب یکی از عوامل محدود کننده کشاورزی در نواحی خشک و بیابانی کشور است. کشت گیاهان متحمل به خشکی نظیر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و به‌کارگیری روش‌هایی مانند بهره‌گیری از متانول برای افزایش مقاومت به خشکی این گیاهان راه حل مناسبی برای توسعهٔ کشاورزی در این مناطق است. بدین منظور آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان ایرانشهر به اجرا درآمد. فاکتور اصلی شامل تیمارهای تنش در سه سطح بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید بود؛ فاکتور فرعی نیز از چهار سطح متانول شامل بدون محلول‌پاشی به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول تشکیل شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدارهای صفت‌های مورد بررسی از تیمار بدون تنش و محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول به‌دست آمد. البته برای صفت‌های وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن بین محلول‌پاشی ۳۰ و ۲۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین برای تمامی صفت‌های مورد بررسی بین تیمار بدون تنش و عدم استفاده از متانول یا شاهد، با تیمار تنش ملایم و محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری ملاحظه نشد. کمترین مقدار صفت‌های مورد بررسی نیز از تیمار تنش شدید و بدون محلول‌پاشی حاصل شد.

واژگان کلیدی: بلوچستان؛ تنش خشکی؛ عملکرد؛ گیاه روغنی

■ مقدمه

ایران بدون شک جزء کشورهای خشک دنیا است (۱۰). در این شرایط کشت گیاهان مقاوم به کم آبی در راستای حفاظت خاک و توسعه پوشش گیاهی اهمیت فراوانی دارد (۱۰). مناطق وسیعی از بلوچستان به‌دلیل کم آبی و خشکسالی‌های پی‌درپی، هر روز بیشتر و بیشتر طعم لم‌یزرع بودن را می‌چشد (۳۶). در این میان یافتن گونه‌های مقاوم به خشکی و گسترش کشت آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

در بین گیاهان متداول روغنی، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بومی کشور است و ایران به‌عنوان یکی از مرکزهای تنوع آن شناخته شده است. توده‌های بومی گلرنگ زراعی در بیشتر مناطق ایران وجود دارد. سازگاری وسیع این دانه روغنی به شرایط مختلف آب و هوایی به اثبات رسیده و گونه‌های وحشی آن در سراسر کشور مشاهده می‌شود (۳۲) مضاف بر این گلرنگ بدلیل مقاومت نسبی به تنش‌های مختلف خصوصاً شوری و خشکی در بین گیاهان روغنی و عدم نیاز بالای آن به تکنولوژی پیشرفته زراعی، امکان توسعه و دستیابی به تولیدهای بیشتر این محصول را امکان پذیر می‌سازد (۳۲). همچنین در بین دانه‌های روغنی، روغن گلرنگ کیفیت بالایی داشته و از روغن‌های خشک شونده با درصد بالایی از اسید لینولئیک[1] است که یکی از سالم‌ترین روغن‌های نباتی به شمار می‌رود. روغن گلرنگ به دلیل داشتن مقدار زیاد اسیدهای چرب غیر اشباع، به عنوان یک روغن بهداشتی و با ارزش همانند سایر روغن‌های خوراکی است (۶).

از طرفی یافتن روش‌هایی که به توان بر افزایش مقاومت به خشکی محصولاتی از این قبیل را برای کشت در مناطق بیابانی کشور فراهم آورد یک ضرورت محسوب می‌گردد. یکی از انواع این روش‌ها کاربرد متانول[2] است (۳۵). در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی گزارش شد که کاربرد محلول‌های متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی موجب افزایش عملکرد، تسریع در رسیدگی، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (۲۹). کاهش سرعت سوخت و ساز دی‌اکسیدکربن[3]، کاهش مقدار هدایت روزنه‌ای و کاهش کارایی مصرف آب از عوامل دخیل کاهش عملکرد گیاه در شرایط خشکی‌اند (۱۸). در این راستا، کاهش تعرق، حفظ تثبیت دی‌اکسیدکربن و کاهش تنفس نوری از مهمترین راهکارها برای کاهش اثر سوء تنش خشکی به شمار می‌آیند (۱۸). افزایش دی‌اکسیدکربن می‌تواند اثر ناشی از تنش خشکی را خنثی کند. بنابراین، استفاده از موادی که غلظت دی‌اکسیدکربن را در گیاه افزایش دهند، موجب تثبیت عملکرد خواهد شد. از راهکارهای افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به ویژه در گیاهان سه کربنه می توان استفاده از ترکیب هایی آلی مانند متانول را بیان کرد. کاربرد متانول سبب تولید دی‌اکسیدکربن در برگ‌ها و در نتیجه تسریع فتوسنتز در گیاه می‌شود، ازاین رو به عنوان منبع کربن قابل استفاده به شمار می‌آید (۳۵). در تحقیقی گزارش شد یکی از راهکارهای افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی، استفاده از ترکیباتی نظیر متانول، اتانول[4]، پروپانول[5] و بوتانول[6] است (۲۰). در آزمایشی بر روی گلرنگ نیز نتایج نشان داد که که با افزایش مصرف متانول از صفر به ۲۰ و ۲۵٪ حجمی شاخص کلروفیل در گلرنگ به طور معنی داری افزایش یافت، که نتیجه آن افزایش فتوسنتز و بهبود عملکرد دانهٔ گلرنگ بود (۹). همچنین بررسی گیاهان کلزا "*Brassica napus* L."، چغندرقند "*Beta vulgaris* L."، لوبیا "*Phaseolus vulgaris* L." و گوجه فرنگی "*Solanum lycopersicum* L." نشان داد گیاهانی که با متانول ۳۰٪ محلول پاشی شدند ۱۲ تا ۱۳٪، محصول بیشتری نسبت به گیاهان شاهد تولید کردند و این گیاهان به‌مقدار کمتری نسبت به کمبود آب حساس بودند و در برخی موارد، تولید آن‌ها با گیاهانی که آبیاری تکمیلی شده بودند، برابر بود (۴۳). بررسی‌های انجام شده در مناطق خشک در پاکستان نیز نشان داد، که محلول پاشی متانول ۳۰٪، در گیاه پنبه "*Gossypium hirsutem* L." موجب افزایش محصول دانه پنبه شد (۲۶). در تحقیقی روی گیاه دانه روغنی کنجد "*Sesamum indicum* L." نیز نتایج حکایت از آن داشت که متانول از طریق افزایش غلظت

---

1 Linoleic acid
2 Methanol
3 Carbon dioxide
4 Ethanol
5 Propanol
6 Butanol

CO_2 سبب افزایش میزان و کارآیی فتوسنتز شد که به موجب این امر خصوصیات زراعی این گیاه نظیر شاخص سطح برگ، تعداد برگ، تعداد کپسول، تعداد و طول شاخه‌های فرعی، ارتفاع بوته، وزن خشک و عملکرد دانه گیاه بهبود یافت (۲۸). در تحقیقات متعدد روی دیگر گیاهان دانه روغنی نظیر آفتابگردان "*Helianthus annuus* L." (۳۹)، پنبه (۲۲)، سویا "*Glycine max* Merr" (۷، ۲۷)، بادام زمینی "*Arachis hypogaea* L." (۳، ۳۸) اثر مثبت متانول بر بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه گزارش شده است.

با توجه به نیاز کشور به تولید روغن، کشت گیاهان روغنی چند سالی می‌شود به‌عنوان یکی از کشت‌های مورد استقبال کشاورزان تبدیل شده‌است، و از طرفی گیاهان دانه روغنی را به عنوان محصول استراتژیک تبدیل کرده است. لذا با توجه به اهمیت کشت این محصولات، پژوهش حاضر با هدف بررسی افزایش مقاومت به خشکی گیاه دانه روغنی گلرنگ در اثر کاربرد متانول برای کشت ممکن در منطقه خشک و بیابانی شهرستان ایرانشهر به اجرا در آمد.

■ مواد و روش

مکان اجرای آزمایش

پژوهش حاضر در مزرعه‌ای واقع در منطقه دامن شهرستان ایرانشهر در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. شهرستان ایرانشهر در ناحیه مرکزی بلوچستان با مساحتی بالغ بر ۳۰۲۰۰Km^2 و با ارتفاع متوسط ۵۹۱m از سطح دریا در فاصله ۳۴۵ Km از مرکز استان سیستان و بلوچستان واقع شده و ۱۵٪ از وسعت استان را به خود اختصاص داده است. محل اجرای آزمایش روی مدار ′۱۲ °۲۷ عرض شمالی و ′۲۴ °۶۰ طول شرقی با اقلیم بیابانی گرم و خشک است. میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۱۰۵/۵mm و متوسط دمای آن از ۴۷/۲°C الی ۲/۲°C- در تغییر است.

روش پژوهش

مزرعهٔ محل آزمایش برای اجرای طرح به صورت آیش چندساله بود. برای مشخص نمودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اقدام به عملیات آماده سازی زمین از عمق صفر الی ۳۰cm از نقاط مختلف مزرعه نمونه‌برداری خاک انجام شد. نمونه‌های مورد نظر برای تجزیه فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج در جدول ۱ آمده است.

آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل تیمارهای تنش در سه سطح S_{100}: بدون تنش "آبیاری در سطح ظرفیت زراعی مزرعه"، S_{80}: تنش ملایم "آبیاری تا رسیدن به سطح ۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه" و S_{60}: تنش شدید "آبیاری تا رسیدن به سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه" بود؛ و فاکتور فرعی نیز از چهار سطح متانول شامل M_0: شاهد "بدون محلول‌پاشی"، M_{10}: ۱۰، M_{20}: ۲۰ و M_{30}: ۳۰٪ حجمی متانول تشکیل شد. در پژوهش حاضر از متانول با فرمول CH_3OH و خلوص ۹۹٪ با گرید AA ساخت شرکت پتروشیمی فن‌آوران استفاده شد. برای کاهش سمیت به هرکدام از سطوح مصرفی متانول، ۰/۲٪ گلیسین اضافه شد. همچنین تمامی محلول‌ها دارای ۱٪ سورفکتانت توین "Tween 80" برای کاهش نیروی کشش سطحی بودند. نحوه طراحی کرت‌های آزمایشی نیز بدین صورت بود که در هر بلوک ۱۲ کرت و در کل آزمایش ۳۶ کرت وجود داشت. هر کرت فرعی از ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر و به فواصل ۵۰cm تشکیل شد. فاصلهٔ کرت‌های فرعی از یکدیگر ۱۰۰cm و کرت‌های اصلی ۲۰۰cm در نظر گرفته شد. پس از کرت‌بندی زمین و قبل از کاشت مقدارهای متعارف کود دامی در منطقه به میزان ۳۰$ton.ha^{-1}$ به خاک مزرعه اضافه شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت خاک	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته گل اشباع (pH)	Organic Carbon (٪)	Total Nitrogen (٪)	Phosphorus (ppm)	Potassium (ppm)
۰-۳۰	لوم رسی	۱/۹۵	۷/۸۲	۰/۲۳	۰/۱۱	۱۳/۴۹	۲۲۱

مقدارهای کودهای شیمیایی نیز مطابق با نتایج آزمون خاک شامل $130 kg.ha^{-1}$ سوپر فسفات تریپل[۱] "$Ca(PO_4H_2)_2$"، $50 kg.ha^{-1}$ کود سولفات پتاسیم[۲] "K_2SO_4" و $120 kg.ha^{-1}$ نیتروژن از منبع اوره[۳] "$CO(NH_2)_2$" به کرت‌های آزمایشی اضافه شدند.

برای کاشت گلرنگ از رقم گلدشت استفاده شد. این رقم جزء ارقام زودرس و متحمل به خشکی طبقه‌بندی می‌شود. کاشت گلرنگ به صورت خشکه‌کاری و در تاریخ ۱۳۹۸/۹/۲۲ و به صورت دستی انجام گرفت. بذرها روی هر ردیف با فاصلهٔ ۵ cm سانتی‌متری و در عمق ۳cm خاک کشت شدند. بلافاصله پس از کاشت بذور، زمین آبیاری شد. آبیاری تا زمان اسقرار مناسب گیاه تا مرحله ۴ برگی بصورت هر ۵ روز یکبار انجام گرفت پس از آن سایر آبیاری‌ها مطابق با تیمارهای آزمایشی اعمال شد. برای رسیدن به تراکم مورد نظر، تنک در مرحله ۴ برگی انجام گردید. کود سرک در دو مرحلهٔ "مرحله طویل شدن ساقه و گلدهی" هر بار به مقدار $40 kg.ha^{-1}$ کود اوره به‌صورت نواری پای بوته‌ها داخل شیاری به کرت‌های آزمایشی مربوطه اضافه شد. محلول‌پاشی متانول نیز مطابق با تیمارهای آزمایشی و همزمان با مصرف کود سرک به کرت‌های مربوطه اضافه گردید. وجین علف‌های هرز در دو مرحله "هم‌زمان با تنک محصول و مرحله طویل شدن ساقه" توسط نیروی کارگری انجام گرفت. از نظر آفات، مزرعه با مگس گلرنگ "*Acanthiophilus helianthin* Rossi" مواجه گردید که برای مبارزه با محلول ۲ در هزار دیمتوات[۴] سمپاشی به‌عمل آمد. محصول رسیده گلرنگ نیز به‌صورت دستی و در تاریخ ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۹ برداشت شد.

در این آزمایش صفت‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غوزه در گیاه، وزن هزار دانه، عملکرد علوفه خشک، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن گلرنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اندازه گیری درصد روغن دانه گلرنگ از دستگاه سوکسله به روش کرمی و همکاران (۱۹) و انجمن رسمی شیمیدان‌های تحلیلی[۵] (۲) استفاده شد.
عملکرد روغن دانه نیز از حاصلضرب درصد روغن دانه گلرنگ در عملکرد دانه آن به‌دست آمد (۱۲).

در پایان داده‌های حاصل تجزیه و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام پذیرفت.

■ نتایج

مطابق با تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی اثر تیمارهای تنش بر صفت‌های تعداد غوزه در گیاه، وزن هزار دانه، درصد و عملکرد روغن از لحاظ آماری در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). همچنین این تیمارها توانستند اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر صفت‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه گلرنگ داشته باشند. اثر تیمارهای محلول‌پاشی متانول نیز بر صفت‌های تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غوزه در گیاه، وزن هزار دانه، درصد و عملکرد روغن در سطح آماری ۵٪، و برای صفت‌های ارتفاع بوته، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه در سطح آماری ۱٪ معنی‌داری گردید. تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارهای تنش و محلول‌پاشی متانول نیز نشان داد که برهمکنش این دو تیمار بر روی تمامی صفت‌های مورد بررسی اثر معنی دار داشت، بطوریکه این معنی‌داری برای صفت‌های تعداد غوزه در گیاه، وزن هزار دانه، درصد و عملکرد روغن در سطح آماری ۵٪ و برای صفت‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، عملکرد علوفه خشک و دانه در سطح آماری ۱٪ مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش و محلول‌پاشی متانول نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی متانول در تمام سطوح تنش خشکی سبب افزایش ارتفاع بوته گلرنگ شدند. بطوریکه بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۹۸/۴۲cm از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل شد. بین این تیمار با دیگر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. پس از این تیمار نیز

[1] Triple superphosphate
[2] Potassium sulfate
[3] Urea
[4] Dimethoate
[5] Association Official Analytical Chemists

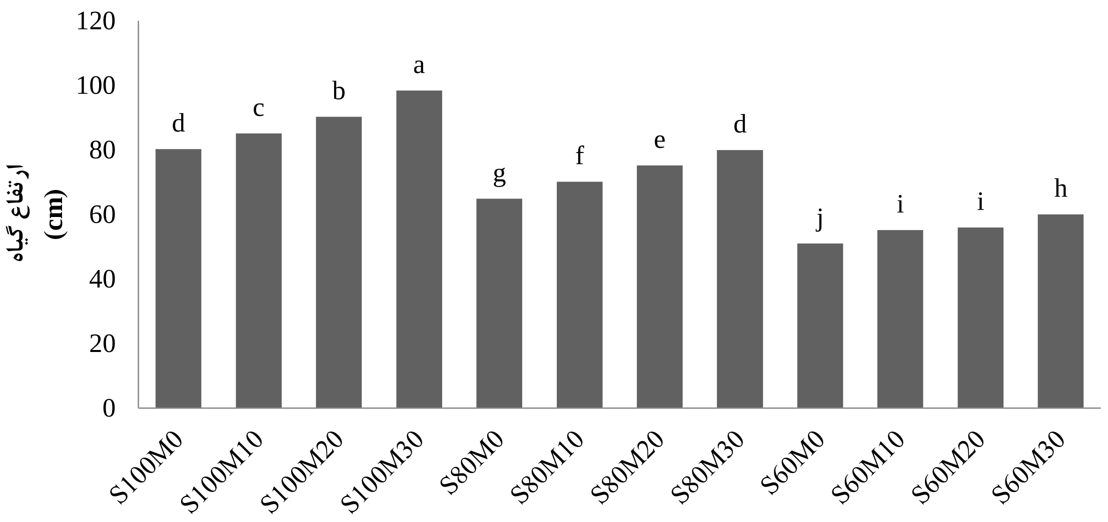
تیمارهای ۲۰ و ۱۰٪ حجمی و در شریط بدون تنش در جایگاه بعدی آماری قرار گرفتند. همچنین تیمار کاربرد ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط تنش ملایم سبب حصول ارتفاع بوته‌ای معادل با شرایط بدون تنش و بدون کاربرد متانول شد و اختلاف آماری معنی‌داری بین این دو تیمار مشاهده نشد. کمترین ارتفاع بوته گیاه نیز با میانگین ۵۰/۹۹cm از تیمار تنش شدید و بدون استفاده از متانول حاصل شد (شکل ۱).

در رابطه با تعداد شاخه فرعی گیاه نتایج آزمایش نشان داد که دقیقاً همان تیمارهایی که موجب ایجاد بیشترین و کمترین طول ارتفاع بوته شدند منجر به کسب بیشترین و کمترین تعداد شاخه فرعی گیاه نیز شدند. به‌طوریکه بیشترین تعداد شاخه فرعی گیاه با میانگین ۱۵/۳۴ شاخه در بوته از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل شد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. کمترین تعداد شاخه فرعی گیاه نیز با میانگین ۲/۵۰ شاخه در بوته از تیمار تنش شدید و بدون استفاده از متانول حاصل شد (شکل ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش و متانول بر صفت‌های مورد بررسی گلرنگ

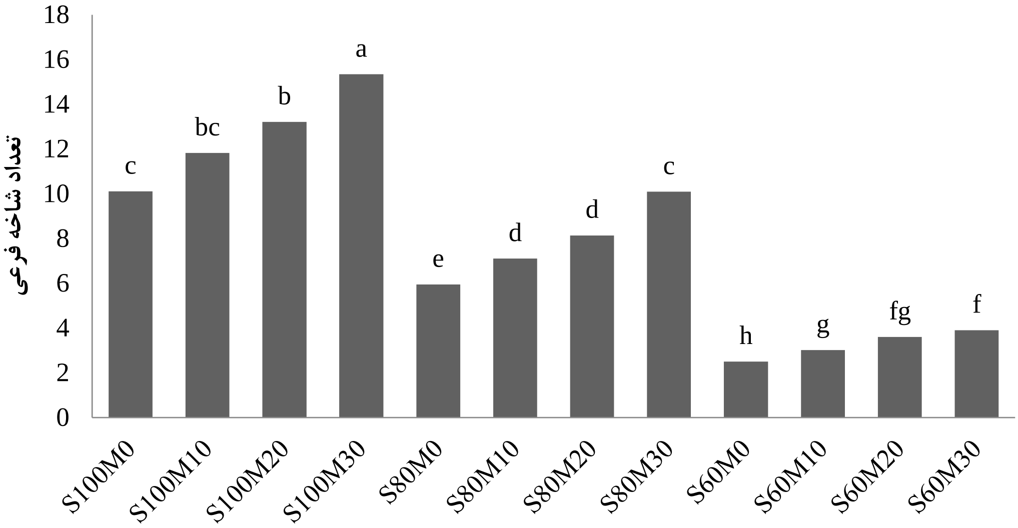
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد غوزه	وزن هزار دانه	عملکرد علوفه خشک	عملکرد دانه	محتوی روغن	عملکرد روغن
		میانگین مربعات							
تکرار	۲	۰/۰۷ ns	۰/۰۲۲ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۴۵ ns	۴/۶۱ ns	۰/۶۲ ns	۰/۰۲۸ ns	۰/۰۹۷ ns
تنش خشکی	۲	۳۱/۵۰**	۷/۴۸**	۹/۲۲*	۱۵/۹۸*	۶۹۵۳۹/۷۰**	۷۱۱۴/۰۵**	۸/۹۱*	۸۶/۱۵*
اشتباه اصلی	۴	۱/۶۶	۰/۹۱	۱/۰۳	۱/۳۲	۱۷/۱۵	۴/۸۲	۰/۹۷	۱/۱۶
متانول	۳	۶۸/۱۷**	۸/۷۵*	۱۶/۶۵*	۳۴/۰۹*	۳۹۶۶۱/۱۸**	۴۳۶۰/۳۲**	۱۴/۸۹*	۷۲/۵۱*
اثر متقابل	۶	۱۳/۰۸**	۲/۹۳ **	۵/۷۷*	۷/۲۳*	۲۱۹۹۴/۸۳**	۱۳۹۹/۹۶**	۵/۰۳*	۵۳/۹۴*
اشتباه فرعی	۱۸	۳/۴۱	۱/۰۴	۲/۱۹	۲/۸۶	۲۸/۹۲	۷/۱۶	۱/۷۸	۲/۰۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۱۷	۶/۱۱	۴/۰۳	۵/۸۴	۴/۷۲	۵/۹۲	۴/۹۳	۶/۰۸

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ ، ۱٪ و غیر معنی‌دار بودن می‌باشد.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر ارتفاع بوته

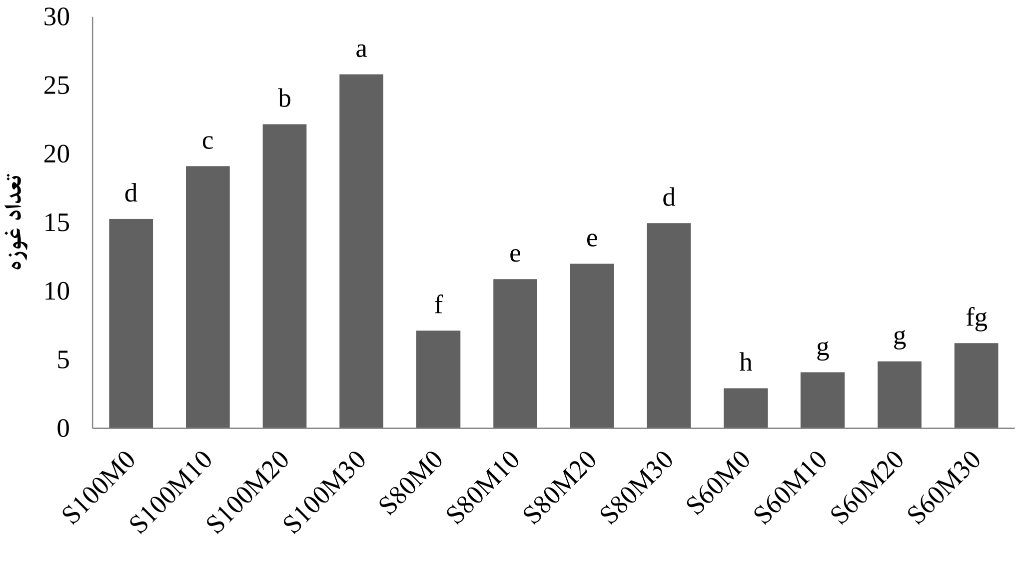
S_{100}، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر تعداد شاخه فرعی

S_{100}، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول

نتیجهٔ مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها برای تعداد غوزه در گیاه نیز نشان داد که بیشترین تعداد غوزه با میانگین ۲۵/۸۰ غوزه در هر بوته از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل شد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. کمترین تعداد غوزه نیز با میانگین ۲/۹۳ غوزه در هر بوته از تیمار تنش شدید و بدون استفاده از متانول حاصل گردید (شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان دریافت که تعداد غوزه در بوته نیز متاثر از تعداد شاخه‌های فرعی گیاه بوده بطوریکه افزایش تعداد شاخه‌های فرعی گیاه در تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول سبب افزایش تعداد غوزه در همین تیمار شده است و از طرفی تیمار تنش شدید و بدون استفاده از متانول نیز موجکاهش شدید هر دو صفت شده است.



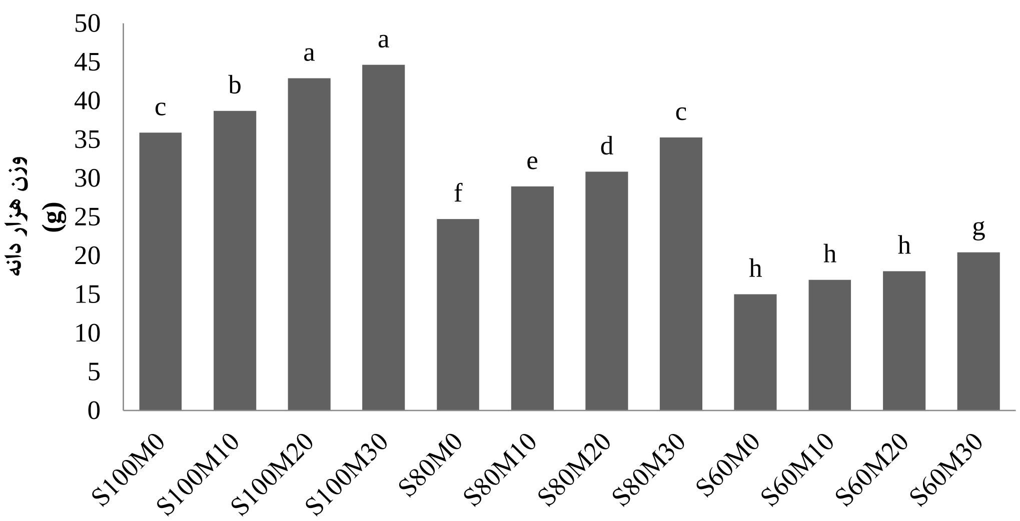
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر تعداد غوزه

S_{10} ، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول

مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمارها برای وزن هزار دانه گلرنگ نیز نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۴۴/۶۴g از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل شد. بین این تیمار با تیمار بدون تنش و مصرف ۲۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. پس از این دو تیمار نیز تیمار بدون تنش و مصرف ۲۰٪ حجمی متانول در جایگاه بعدی آماری قرار گرفت. همچنین تیمار کاربرد ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط تنش ملایم نیز سبب حصول وزن هزار دانه‌ای معادل با شرایط بدون تنش و بدون کاربرد متانول شد و بین این دو تیمار اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین وزن هزار دانه نیز با میانگین ۱۵/۰۱g از تیمار تنش شدید و بدون استفاده از متانول حاصل شد (شکل ۴).

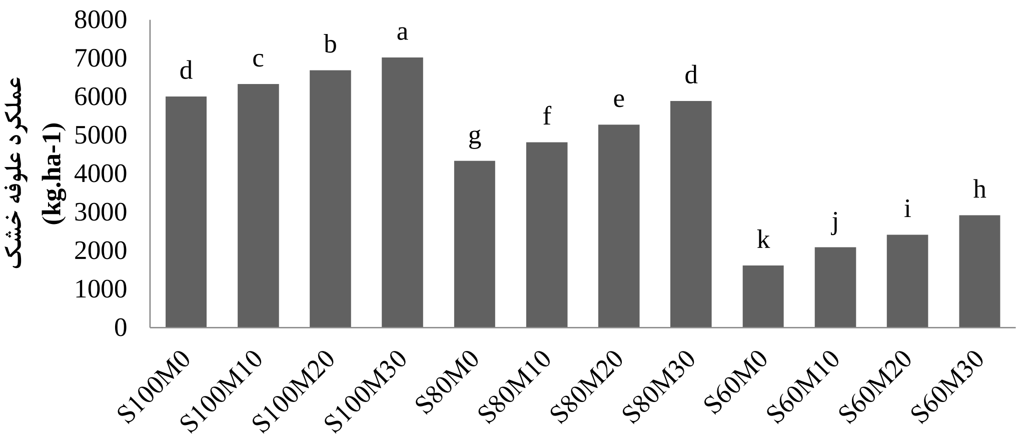
نتیجهٔ مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و محلول‌پاشی متانول بیانگر آن بود که کاربرد متانول در مقایسه با عدم کاربرد آن در کلیه سطوح تنش سبب افزایش عملکرد علوفه خشک گیاه شد. به¬طوریکه در شرایط بدون تنش مصرف ۳۰، ۲۰ و ۱۰٪ حجمی متانول به ترتیب سبب افزایش ۱۴/۴۵، ۱۰/۲۰ و ۵/۰۶٪ عملکرد علوفه خشک در مقایسه با تیمار بدون استفاده از محلول‌پاشی شد. در شرایط تنش ملایم افزایش عملکرد علوفه خشک در اثر مصرف ۳۰، ۲۰ و ۱۰٪ حجمی متانول به ترتیب حدود ۲۶/۴۴، ۱۷/۸۹ و ۱۰/۰۸٪ بود. و در شرایط تنش شدید مصرف مقدارهای ذکر شده متانول افزایش ۴۴/۷۰، ۳۳/۱۸ و ۲۲/۷۸٪ عملکرد علوفه خشک را در مقایسه با تیمار بدون استفاده از محلول‌پاشی حاصل کرد (شکل ۵). لذا باتوجه به نتایج حاصل می‌توان دریافت کاربرد متانول فارغ از نوع سطح تنش قادر به افزایش عملکرد علوفه خشک گیاه است. همچنین در مقایسه بین تیمارهای کاربرد متانول در هر یک از سطوح تنش بهترین راندمان از مصرف ۳۰٪ حجمی آن حاصل می‌شود به¬طوریکه تفاوت آن با سایر مقدارهای استفاده شده متانول معنی دار بود. ضمناً هر چه تنش شدیدتر باشد تاثیر کاربرد متانول بر افزایش عملکرد علوفه خشک بیشتر می‌گردد، چراکه درصد افزایش عملکرد علوفه خشک در اثر مصرف متانول در مقایسه با عدم مصرف آن با شدیدتر شدن تنش، افزایش یافت. و نکته آخر اینکه بیشترین و کمترین مقدئار عملکرد علوفه خشک در همان تیمارهایی حاصل شد که منجر به حصول بیشترین و کمترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی گیاه شده بودند. که نشان از یک رابطه مستقیم بین صفت‌های فوق است.

بیشترین مقدار عملکرد دانه یا میانگین ۱۷۲۹/۲kg.ha از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل گردید. بین این تیمار با تیمار بدون تنش و مصرف ۲۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. اما بین این دو تیمار با تیمار بدون تنش و مصرف ۱۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده گردید.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر وزن هزار دانه

S_{100}، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول

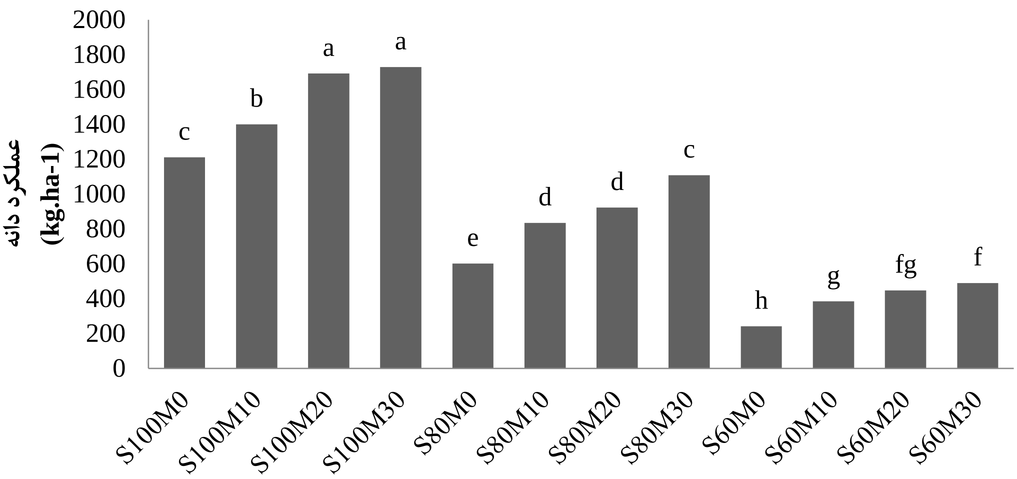


شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر عملکرد علوفه خشک

S_{100}، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول

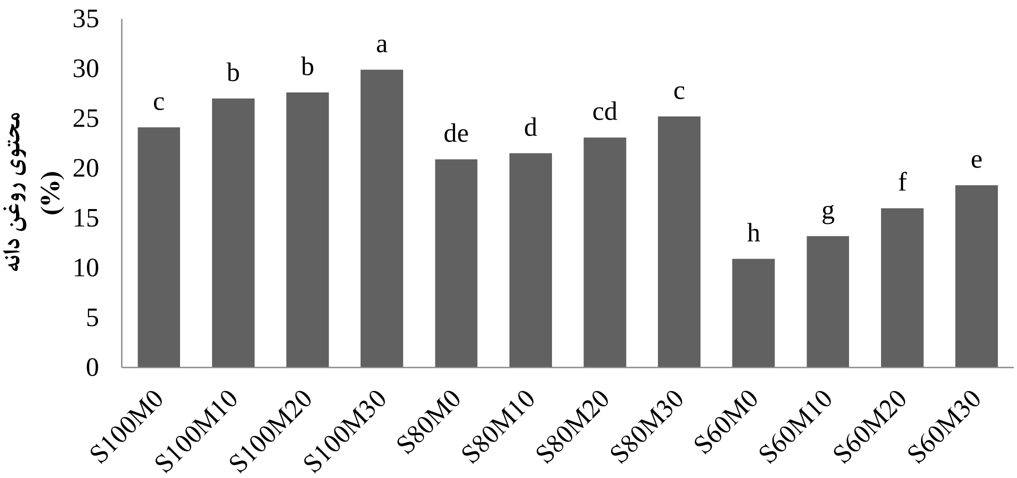
بیشترین مقدار عملکرد دانه یا میانگین $kg.ha^{-1}$ ۱۷۲۹/۲ کیلوگرم در هکتار از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل گردید. بین این تیمار با تیمار بدون تنش و مصرف ۲۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. اما بین این دو تیمار با تیمار بدون تنش و مصرف ۱۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده گردید. بین سه تیمار مذکور نیز با تیمار بدون تنش و بدون کاربرد متانول تفوت آماری معنی‌داری ملاحظه شد. از طرفی مصرف ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط تنش ملایم توانست عملکرد دانه‌ای معادل با تیمار بدون تنش و بدون کاربرد متانول حاصل نماید که مقایسه عملکرد به‌دست آمده در این دو تیمار از نظر آماری نیز غیر معنی دار بود (شکل ۶). نتایج فوق حکایت از اثرات مثبت تیمارهای کاربرد متانول بر افزایش عملکرد دانه دارد. به¬طوریکه تیمارهای مصرف ۳۰، ۲۰ و ۱۰٪ حجمی متانول به ترتیب سبب افزایش ۲۹/۹۴، ۲۸/۳۸ و ۱۳/۴۸٪ عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بدون کاربرد متانول در شرایط بدون تنش شد. در تنش ملایم مقدارهای تیمارهای مصرف ۳۰، ۲۰ و ۱۰٪ حجمی متانول به ترتیب منجر به افزایش ۴۵/۷۳، ۳۴/۷۸ و ۲۷/۸۸٪ عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بدون کاربرد متانول شد. و در نهایت در تنش شدید این مقدارهای از حجم‌های استفاده شده متانول افزایش ۵۰/۷۵، ۴۶/۱۴ و ۳۷/۳۸٪ عملکرد دانه را موجب گردید (شکل ۶). از نتایج فوق نیز می‌توان استنباط کرد که در هر سه سطح تنش بیشترین بهره‌وری کاربرد متانول در ۳۰ و ۲۰٪ حجمی اتفاق می‌افتد. همچنین مطابق با عملکرد علوفه خشک هر چه شدت تنش بیشتر شد تاثیر کاربرد متانول بر افزایش عملکرد دانه نیز افزایش یافت.

برای صفت محتوی روغن دانه گلرنگ نیز مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین محتوی روغن دانه با میانگین ۲۹/۹٪ از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل شد. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. کمترین محتوی روغن دانه نیز با میانگین ۱۰/۹٪ از تیمار تنش شدید و بدون استفاده از متانول حاصل گردید (شکل ۷). بیشترین عملکرد روغن دانه نیز با میانگین $kg.ha^{-1}$۵۰۱/۴ تحت تاثیر از عملکرد دانه و درصد روغن دانه از تیمار بدون تنش و مصرف ۳۰٪ حجمی متانول حاصل شد. و کمترین مقدار آن با میانگین $kg.ha^{-1}$۲۴/۱ از تیمار تنش شدید و بدون استفاده از متانول به‌دست آمد (شکل ۸). از آنجایی که عملکرد روغن دانه از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه حاصل می‌شود، و از طرفی رابطه مستقیمی بین صفت‌های فوق وجود دارد، لذا حصول بیشترین و کمترین مقدار عملکرد روغن دانه به ترتیب در تیمارهایی که منجر به کسب بیشترین و کمترین عملکرد دانه و درصد روغن دانه شدند قابل پیش بینی بود.



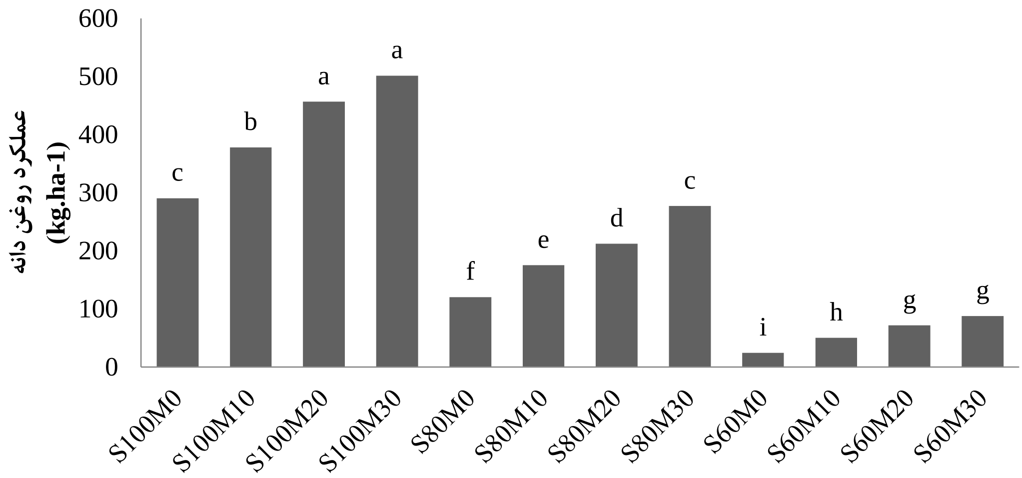
شکل ۶. مقایسهٔ میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر عملکرد دانه

S_{100}، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول.



شکل ۷. مقایسهٔ میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر محتوی روغن دانه

S_{100}، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول



شکل ۸. مقایسهٔ میانگین اثر متقال تیمارهای تنش خشکی و متانول بر عملکرد روغن دانه

S_{100}، S_{80} و S_{60} بترتیب معادل آبیاری در ظرفیت زراعی "بدون تنش"، آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی "تنش ملایم" و آبیاری در ۶۰٪ ظرفیت زراعی "تنش شدید"؛ و M_0، M_{10}، M_{20} و M_{30} بترتیب نشان‌دهنده بدون کاربرد، کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول

■ بحث و نتیجه‌گیری

مطابق با یافته‌های پژوهش، تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تمامی صفت‌های مورد بررسی گلرنگ در پژوهش حاضر شد. کاهش صفت‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن هزار دانه، عملکرد علوفه خشک، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن دانه گلرنگ در اثر تنش خشکی در پژوهش‌های مختلف نشان داده شده‌است (۵، ۴۰، ۴۲).

در آزمایشی عنوان شده است تنش خشکی از طریق کاهش میانگره‌هاموجب کاهش ارتفاع ارقام مختلف گلرنگ شد (۳۴). در پژوهشی دیگر کاهش ارتفاع گلرنگ به موازات تنش خشکی را به اختلال در فرآیند فتوسنتز، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به بخش‌های در حال رشد و عدم دستیابی به توانایی ژنتیکی مرتبط دانستند. همچنین در این تحقیق گزارش شده است که آبیاری مناسب با افزایش طول میانگره‌ها موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (۲۵). در پژوهشی دیگر بر روی گلرنگ محققان یافتند که کاهش تعداد طبق در بوته در شرایط تنش خشکی تا حدود زیادی به قدرت رشد رویشی کمتر گیاه تحت شرایط تنش ارتباط دارد چراکه در اثر تنش صفت‌هایی نظیر ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی بشدت کاهش می‌یابد. همچنین مطابق با یافته‌های این محققین تنش خشکی ضمن کاهش سطح برگ‌ها، پیری زودرس آن‌ها را تسریع نموده و بدین وسیله می‌تواند مقدار تولید را خیلی بیشتر از آنچه که به علت اثرات ناشی از شدت فتوسنتز خالص تقلیل می‌یابد کاهش دهد (۱۲). در آزمایشی دیگر مشاهده شد که تنش خشکی با کاهش طول دوره رشد گیاه و هم چنین تسریع در ورود به فاز زایشی منجر به کاهش تعداد طبق در بوته می‌شود، همچنین کمبود آبیاری مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه فرعی و در نتیجه تعداد طبق در بوته را کاهش می‌دهد (۱۳). در رابطه با کاهش وزن هزار دانه در اثر شرایط تنش محققان اظهار داشتند به طور کلی وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن دانه است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود که به نظر می‌رسد در تیمارهای قطع آبیاری، این مؤلفه‌ها از سرعت و مدت کمتری نسبت به شرایط عدم تنش برخوردار هستند. از طرفی وقوع تنش موجب کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده می‌گردد که تاثیر عمده‌ای بر کاهش وزن هزار دانه گیاه خواهد داشت (۱۲). از بین اجزای عملکرد گلرنگ، تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه نقش برجسته‌تری در تعیین عملکرد دارند و نقش فرآورده‌های فتوسنتزی غیرساختاری ذخیره شده در اندام‌های رویشی، به ویژه موادی که قبل از شروع مرحله گلدهی انباشت می‌شوند، در بهبود عملکرد دانه، طی دوره پر شدن دانه‌ها، تحت شرایط محدودیت آبی برجسته است (۲۳). لذا کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به آبیاری مطلوب را می‌توان به کاهش فتوسنتز و ماده سازی در گیاه تحت شرایط تنش نسبت داد چرا که کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال یافته از برگ به دانه از پیامدهای تنش کمبود آب است که باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (۱۲). همچنین محققان نشان دادند تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز، و همچنین متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوط به آن، موجب کاهش عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود (۸). در رابطه با محتوی روغن دانه گلرنک نتایج برخی تحقیقات حاکی از آن بود که آبیاری بهینه و به موقع می‌تواند به مقدار قابل توجهی کارآیی سیستم‌های تولید گلرنگ را افزایش داده و تولید روغن را بهبود بخشد. کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت اختلال در فرایندهای متابولیسمی بذر و اختلال در انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد (۳۱). نتایج تحقیق دیگری نشان داد تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه‌ها درصد روغن را کاهش داد که به نظر می‌رسد علت آن تسریع در رسیدگی گیاه می‌باشد، که در این حالت فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره شده در دانه وجود نداشته و بنابراین درصد روغن کاهش یافته است (۳۳). گزارش شده است که تنش خشکیموجب تغییر در توسعه جنین و پریکارپ شده که در نتیجه آن کاهش محتوای روغن دانه رخ می‌دهد (۳۷).

در رابطه با کاربرد متانول نتایج نشان داد که محلول‌پاشی متانول به‌دلیل اثر تعدیل کنندگی تنش قادر به بهبود تمامی صفت‌های مورد بررسی گیاه گلرنگ در پژوهش حاضر باشد. متانول به عنوان یک منبع غنی کربن، یکی از موادی است که تثبیت کربن را در گیاهان سه کربنه افزایش می‌دهد و در شرایط تنفس نوری زیاد با افزایش راندمان فتوسنتزی، بخشی از تلفات کربن تثبیت شده را با افزایش غلظت CO_2 جبران می‌کند (۳۰، ۴۱). بنابراین راه‌هایی که موجب افزایش دی‌اکسیدکربن در گیاهان می‌شود می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب برای افزایش عملکرد و زیست توده گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (۱۸). در پژوهش اخیر، کاربرد متانول به عنوان یک منبع کربن برای گیاهان زراعی رواج پیدا کرده است (۴۱، ۴۳). زیرا گیاهان می‌توانند متانول محلول پاشی شده بر روی برگ‌ها را به راحتی جذب کرده و آن را به عنوان منبع کربنی اضافه بر کربن اتمسفر مورد استفاده قرار دهند. متانول در مقایسه با CO_2 مولکول نسبتاً کوچکتری است که به راحتی توسط گیاهان، جذب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴، ۱۱). کاربرد متانول محلول پاشی شده همانند متانول طبیعی که در برگ‌ها بر اثر فعالیت آنزیمی پکتین متیل استراز در فرایند گسترش دیواره سلولی ایجاد می‌شود، می‌تواند موجب افزایش تولید اکسین و سیتوکنین و تحریک رشد گیاه شود (۱۶). نحوهٔ تولید اکسین و سیتوکینین در اثر مصرف متانول بدین صورت است که باکتری‌های متیلوتروف "*Methylobacterium* spp" با دریافت متانول از برگ‌ها، آن را استفاده کرده و هورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکینین تولید و در اختیار گیاه قرار می‌دهند (۱۷، ۲۴). افزون بر این باکتری‌های یادشده با تولید ویتامین B_{12} موجب افزایش نمو گیاه می‌شوند (۱). همچنین محلول‌پاشی متانول از سنتز اتیلن جلوگیری و باعث تأخیر در پیری برگ‌ها و طولانی‌تر شدن طول دوره فتوسنتزی گیاه می‌شود (۱۴). پژوهش‌ها نشان دادند محلول‌پاشی متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی موجب افزایش عملکرد دانه، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی آن‌ها می‌شود (۹، ۲۲). همچنین محلول‌پاشی گیاهان سه کربنه با ۱۰ الی ۵۰٪ حجمی متانول سبب افزایش عملکرد می‌شود که علت آن را به کاهش تنفس نوری و همچنین افزایش آماس یاخته‌ای بافت گیاهی نسبت داده‌اند (۳۵). در پژوهشی دیگری نشان داده‌شده‌است که با افزایش درصد حجمی محلول‌پاشی متانول ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی ساقه در بادرنجبویه "*Melisa officinalis*" افزایش پیدا می‌کند (۲۱). در آزمایشی روی سویا "*Glycine max*" نیز گزارش شد که متانول با اکسیداسیون سریع به دی‌اکسیدکربن و با افزایش غلظت CO_2 درونی گیاه، و کاهش میزان تنفس نوری سبب بهبود کارآیی فتوسنتز و در نهایت، افزایش ۲۲-۱۶٪ عملکرد در سویا شده است. در تحقیق دیگری، کاربرد برگی متانول با نسبت حجمی ۲۰٪، سبب افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، کارایی فتوسنتز، پروتئین دانه، وزن هزار دانه، افزایش تعداد غلاف‌های رسیده و عملکرد دانه در بادام زمینی "*Arachis hypogaea*" شده است (۳). نتایج کاربرد محلول‌پاشی متانول بر روی آفتابگردان "*Helianthus annuus*" نیز حاکی از افزایش ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه گیاه بود (۱۵). در آزمایشی دیگر محققان اعلام کردند که عملکرد دانه، وزن دانه‌ها و تعداد غلاف در بوته‌هایی از سویا "*Glycine max*" که با متانول محلول‌پاشی شده بودند در مقایسه با تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش یافت. مطابق با نتایج این محققان محلول‌پاشی‌متانول‌بیشترین اثر را بر رشد و افزایش عملکرد دانه سویا داشت (۲۷). در پایان بحث از نتایج تحقیق حاضر چنین نتیجه گیری می‌شود که تنش خشکی منجر به کاهش رشد، عملکرد دانه و محتوی روغن گلرنگ می‌گردد. اما بکارگیری روش‌هایی نظیر محلول‌پاشی متانول قادر است اثرات شدت تنش را کاهش دهد. به¬طوریکه در شرایط تنش ملایم برای صفت‌های عملکرد علوفه خشک، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه گیاه محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول منجر به‌حصول عملکردی برابر با شریط بدون تنش‌شد. همچنین در شرایط بدون تنش، محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول در مقایسه با عدم استفاده از آن برای صفت‌های مذکور به ترتیب موجب افزایش ۱۴/۴۵، ۲۹/۹۴ و ۴۲/۰۴٪ عملکرد گردید. همچنین در بررسی کاربرد متانول مشاهده شد که صفت‌های رویشی گیاه نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و عملکرد علوفه خشک واکنش مطلوبتری به محلول‌پاشی

متانول نشان دادند به‌طوریکه برای صفت‌های فوق بین مصرف ۳۰٪ حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری با مصرف ۲۰ و ۱۰٪ حجمی متانول وجود داشت اما برای صفت‌های مرتبط با خصوصیات زایشی گیاه نظیر وزن هزار دانه و عملکرد دانه تفاوت آماری معنی‌داری بین مصرف ۳۰ و ۲۰٪ حجمی متانول مشاهده نشد. در انتهای آزمایش نیز با توجه به اقلیم و نوع خاک منطقه می‌توان پیشنهاد نمود که در صورت وجود منابع آب کافی و عدم وقوع تنش در طول فصل رشد اگر هدف از تولید گلرنگ برداشت علوفه این گیاه است می‌توان تا ۳۰٪ حجمی از متانول را برای تولید بیشتر این محصول استفاده کرد، ولی اگر هدف تولید دانه و عملکرد روغن است محلول‌پاشی ۲۰٪ حجمی از متانول کفایت می‌نماید. همچنین در صورت عدم وجود منابع آب کافی، آبیاری تا ۸۰٪ ظرفیت زراعی خاک و محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول قادر است عملکردی قابل قبول و متناسب با شرایط بدون تنش و بدون استفاده از متانول تولید نماید.

■ **سپاسگزاری**

از مساعدت و همکاری جناب آقای مهندس برشان سرپرست اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان ایرانشهرکه در انجام این پژوهش مبذول داشته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود

■ References

1. Abanda Nkwatt, D., Musch, M., Tschiersch, J., Boettne M. & Schawb, W. (2006). Molecular interaction between *Methylobacterium extorquens* and seedlings: growth promotion, methanol consumption, and localization of the methanol emission site. *Experimental Botany, 57*(15), 4025-4032.

2. Association Official Analytical Chemists. (1990). *Official Method of Analysis*. Washington, DC, USA.

3. Babaei, F., Heydari shrifabad, H., Safarzadeh Vishekaei, M.N., Normohammadi, Gh. & Majidi Harvan, I. (2014). Effect of foliar application of methanol and ascorbic acid on physiological characteristics and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Advances in Biology, 8*(16), 280-285.

4. Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M. & Haslam, R. (2004). Expression profiling of the response of Arabidopsis thaliana to methanol stimulation. *Phytochem, 65*, 2305-2316.

5. Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A. & Damalas, C.A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management, 218*, 149-157.

6. Ergonul, P.G. & Ozbek, Z.A. (2020). *Cold pressed safflower* (*Carthamus tinctorius* L.) *seed oil*. Academic Press.

7. Esazadeh Panjali Kharabasi, J., Galavi, M. & Ramroudi, M. (2016). Effect of methanol spraying on some quantitative and qualitative traits of soybean under drought stress condition. *Crops Improvement, 17*(4), 1075-1085. (in Farsi)

8. Farokhnia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B. & Sasandoust, R. (2011). Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress. *Field Crop Science, 42*(3), 545-553. (in Farsi)

9. Ghorbani, A., Sayyahfar, M. & Shakarami, G. (2017). Study the efficiency of methanol foliar application on some qualitative and physiological traits of safflower under supplemental irrigation. *Agricultural Research, 9*(2), 1-16. (in Farsi)

10. Guiti, A. R. (2011). *Desert, desertification and desert reclamation*. Iran Agriculture Science Press. (in Farsi)

11. Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A.R., Benson, A. & Douce, R. (2000). Plant metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology, 123*, 287-296.

12. Haghshenas, R., Sharafi, S. & Gholinezhad, E. (2020). Effect of different levels of drought stress and mycorrhiza on yield of safflower cultivars. *Agriculture science and Sustainable Production*, *30*(2), 91-109. (in Farsi)

13. Hayashi, H., Hanada, K., 2008. Effects of soil water deficit on seed yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Plants. *Japans Journal of Crop Science, 54*(4), 364-352.

14. Heins, R. (1980). Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol. *American Society for Horticultural Science, 105*(1), 141-144.

15. Hernandez, L.F., Pellegrini, C.N. & Malla, L.M. (2000). Effect of foliar applications of methanol on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Phyton, Experimental Botany, 66*(1), 1-8.

16. Holland, M.A. (1997). Occams razor applied to hormonology. Are cytokinins produced by plants? *Plant Physiology, 115*, 865-868.

17. Ivanova, E.G., Dornina, N.V. & Trotsenko, Y.A. (2001). Aerobic methyl bacteria are capable of synthesizing axins. *Microbiology, 70*, 392-397.

18. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, J. (2011). *Physiology of environmental stresses in plants*. Ferdowsi University Press. (in Farsi)

19. Karami, S., Sabzalian, M.R., Rahimmalek, M., Saeidi, Gh. & Khodaee, L. (2017). Influence of seasonal variations on seed oil and total phenolic content of seeds and leaves in cultivated, wild species and F5 generation of inter-specific cross in *Carthamus* spp. *Medicinal and Aromatic Plants, 33*(2), 281-292. (in Farsi)

20. Khammari, M., Ghanbari, A., Dahmardeh, M. & Mousavinik, M. (2019). Effect of different levels of methanol on spring planting potato under fertilizer management. *Agriculture Science and Sustainable Production, 29*(1), 251-268. (in Farsi)

21. Khosravi, M. (2011). *Effect of methanol and ethanol foliar on yield and quality of medicinal plant of balm (Melissa officinalis L.)*. M.Sc. thesis, Islamic Azad University, Karaj Branch. (in Farsi)

22. Khosravi, A. & Moosavi, S.G. (2019). Effect of irrigation, foliar application of methanol and plant density on morphophysiology traits, yield and yield components of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Cotton Researches*, *7*(1), 33-56. (in Farsi)

23. Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K. & Doitsinis, A. (2004). Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilation to safflower yield. *Field Crops Research, 90*(2-3), 263-274.

24. Li, Y., Gupta, J. & Siyumbano, A.K. (1995). Effect of Methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. *Plant Nutrition, 18*, 1875-1880.

25. Lotfi, P, Mohammadi-Nejad, G. & Golkar, P. (2012). Evaluation of drought tolerance in different genotypes of the Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agriculture Knowledge, 5*(7), 1-14. (in Farsi)

26. Makhdum, M.I., Malik, M.N.A., Din, S.U., Ahmad, F. & Chaudhry, F.I. (2002). Physiological response of cotton to methanol foliar application. *Research (Science), Bahauddin Zakariya University Multan Pakistan, 13,* 37-43.

27. Mirakhori, M., Paknejad, F., Ardakani, M.R., Moradi, F., Nazeri, P. & Nasri, M. (2009). Effect of methanol spraying on yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.). *Agroecology, 2*(2), 236-244. (in Farsi)

28. Moqbeli, H., Qolami, A., Ameriyan, M.R. & Abas dokht, H. (2019). Effect of methanol foliar application on yield and morphological characteristics of sesame (*sesamum indicum* L). *Field Crop Science, 49*(4), 137-149. (in Farsi)

29. Nemecek-Marshall, M., MacDonald, R.C., Franzen, J.J., Wojciechowski, C.L. & Fall, R. (1995). Methanol emission from leaves: enzymatic detection of gas-phase methanol and relation of methanol fluxes to stomatal conductance and leaf development. *Plant Physiology, 108*, 1359-1368.

30. Nonomura, A.M. & Benson, A.A. (1997). The path to carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences. U.S.A. 89*, 9794-9798.

31. Pasandi, M., Janmohammadi, M., Abasi, A. & Sabaghnia, N. (2018). Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management, *Nova Biotechnologica et Chimica, 17*(1), 86-94.

32. Pourdad, S.S. & Jamshid Moghaddam, M. (2013). Study on genetic variation in safflower collection (*Carthamus tinctorius* L.) under rainfed condition. *Dryland, 1*(3), 1-16. (in Farsi)

33. Rahmani, F., seyfzade, S., Jabbari, H., Valadabadi, A. & Hadidi Masouleh, E. (2020). Effect of drought tension and foliar application of zinc on some physiological and agronomic traits of safflower cultivars. *Crop Physiology*, *12*(47), 27-43. (in Farsi)

34. Rajab Nasab Aghamahali, M. & Karapetian, Zh. (2013). The water stress at flowering stage on plant height and seed protein of different safflower cultivars. *Plant Environmental Physiology, 8*(31), 37-46. (in Farsi)

35. Ramroudi, M., Chezgi, M. & Galavi, M. (2017). Effect of methanol spraying on quantitative traits and osmatic adjustments in Moldavian (*Dracocephlum moldavica* L.) under low irrigation conditions. *Field Crop Science, 48*(1), 149-158. (in Farsi)

36. Raziei, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R. & Saghafian, B. (2007). Investigation of meteorological droughts in the Sistan and Balouchestan province, using the standardized precipitation index and Markov chain model. *Iran-Water Resources Research, 3*(1), 25-35. (in Farsi)

37. Rondanini, D., Savin, R. & Hall, A.J. (2003). Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. *Field Crops Research, 83*, 79-90.

38. Safarazade Vishgahi, M.N. & Nourmohamadi Magidi, H. (2007). Effect of methanol on peanut function and yield components. *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 38*(1), 88-103. (in Farsi)

39. Seyed Sharifi, R. & Seyed Sharifi, R. (2019). Effects of different irrigation levels, methanol application, and nano iron oxide on yield and grain filling components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Crops Improvement, 21*(1), 27-42. (in Farsi)

40. Shahrokhnia, M.H. & Sepaskhah, A.R. (2017). Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products, 95*, 126-139.

41. Tavassoli, A. & Galavi, M. (2011). Effect of foliar application of methanol on efficiency, production and yield of plants. *Indian Journal of Agricultural Research, 45*(1), 1-10.

42. Tayebi, S., Earahvash, F., Mirshekari, B., Tari-nejad, A. & Yarnia, M. (2018). Effect of shoot application of salicylic acid on some growth parameters and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress. *Plant Ecophysiology, 10*(32), 78-93. (in Farsi)

43. Zbiec, I., Karczmarczyk, S. & Podsiado, C. (2003). Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. *Polish Agricultural Universities, 6*, 1-7.

Original Article, Vol. 10, No. 1, Spring, 2022, pp 53-66

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Prediction of Potential Distribution of *Prosopis Farcta* L. in Marginal Rangelands of Niatak River of Sistan

V. Azimi[1], H. Piri Sahragard[2*], P. Karami[3], M. Saberi[4]

1. MSc Graduated of Range management, Range and Watershed department, Water and Soil College, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Associate professor, Soil and Water College, Range and Watershed Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
3. Ph D Graduated of environmental science, University of Malayer, Hamedan, Iran.
4. Assistant professor, Soil and Water College, Range and Watershed Department, University of Zabol, Zabol, Iran.

* Corresponding Author: hopiry@uoz.ac.ir

Received date: 10/02/2022 **Accepted date: 18/04/2022**

doi 10.22034/JDMAL.2022.548628.1374

Abstract

The present study aimed at preparing the potential distribution map and identifiying the environmental requirement of *Prosopis farcta* L. using tree-based and regression methods in the marginal rangeland of Niatak river in Sistan region. For this purpose, species presence data was recorded randomly. Environmental variables were prepared using field sampling and digital elevation model. In order to achieve the pseudo-absence points, first habitat modeling was performed using the domain model, then pseudo-absence points were prepared using the prediction map obtained from this method. Species distribution modelling was conducted using random forest (RF), classification and regression trees (CART) and generalized additive model (GAM). The accuracy of the models used was evaluated using the area under curve criterion. Result showed that the RF with area under curve 0.98 has the highest accuracy. Generalized additive models and classification and regression trees were ranked after RF. The highest and lowest values of kappa index were assigned to the RF with 0.75, and GAM with 0.43 Kappa value. Accordingly, the RF model is the most accurate model in predicting the potential habitat distribution. Analysis of the variable's importance showed that in the studied scale, edafic factors and distance from the river have greater effect on species distribution than other factors. So that, in all models used, acidity and electrical conductivity were identified as the most important variables. In general, it is suggested that habitat development plans for *Prosopis farcta* should be planned in the central and marginal parts of the Niatek river due to better suitability of these regions for species distribution.

Keywords: Distribution modeling; Threshold; Random Forest; Soil properties; Distance from the river

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۵۳ تا ۶۶

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

نشریه مدیریت بیابان

www.isadmc.ir

پیش‌بینی پراکنش بالقوۀ کهورک *Prosopis farcta* (L.) در مراتع حاشیه رودخانه نیاتک سیستان

وحید عظیمی[۱]، حسین پیری صحراگرد[۲*]، پیمان کرمی[۳]، مرتضی صابری[۴]

۱. دانش آموختۀ کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. دانشیار دانشکدۀ آب و خاک، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳. دانش آموختۀ دکتری محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران.

۴. استادیار دانشکدۀ آب و خاک، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

* نویسندۀ مسئول: hopiry@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۱/۲۹

doi 10.22034/JDMAL.2022.548628.1374

چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناخت نیازهای محیطی گونه *Prosopis farcta* (L.) و تهیه نقشۀ پراکنش بالقوه آن با بهره‌گیری از روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته در مراتع حاشیه رودخانۀ نیاتک منطقۀ سیستان انجام شد. برای این منظور، داده‌های حضور گونه طی بازدید میدانی و اطلاعات عوامل محیطی با استفاده از نمونه‌برداری میدانی و مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. در آغاز مدل‌سازی رویشگاه با بهره‌گیری از مدل دامنه اجرا و نقشه پیش‌بینی حاصل از این روش برای تهیه نقاط شبه عدم حضور استفاده شد. مدل‌سازی پراکنش گونه با روش‌های جنگل تصادفی، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و روش تجمعی تعمیم یافته انجام شد. ارزیابی دقّت مدل‌های با معیار سطح زیر منحنی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل جنگل تصادفی با مقدار سطح زیر منحنی ۰/۹۸ دارای بیشترین دقّت پیش‌بینی است. پس از این روش، به‌ترتیب مدل‌های جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون قرارگرفت. بیشترین و کمترین مقدار تطابق با شاخص کاپا به‌ترتیب مقدار ۰/۷۵و ۰/۴۳ به مدل جنگل تصادفی و مدل جمعی تعمیم یافته اختصاص دارد. نتایج بررسی اهمیت متغیرها نشان داد که در مقیاس مورد بررسی، عوامل مرتبط با خاک و فاصله از رودخانه در مقایسه با دیگر عوامل، تأثیر بیشتری در پراکنش گونه مذکور دارند، به‌نحوی که در تمامی مدل‌های مورد استفاده متغیرهای درجۀ اسیدیته و هدایت الکتریکی به‌عنوان متغیرهای مهم‌تر شناسایی شد. در مجموع، با توجه به اینکه قسمت‌های مرکز و حاشیه رودخانه نیاتک دارای بیشترین مطلوبیت برای انتشار گونه کهورک هستند، پیشنهاد می‌گردد طرح‌های توسعه رویشگاه‌های گونه *Prosopis farcta* در این مناطق برنامه‌ریزی شود.

واژگان کلیدی: جنگل تصادفی؛ حد آستانه؛ فاصله از رودخانه؛ مدل‌سازی پراکنش؛ ویژگی‌های خاک

■ مقدمه

مدل‌های پراکنش گونه‌ها مدل‌های عددی و تجربی هستند که با بهره‌گیری از داده‌های مربوط به مکان گونه‌ها مانند فراوانی، حضور و متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش آن‌ها ساخته می‌شود (۶). این مدل‌ها علاوه بر تشریح شرایط بوم‌شناختی مورد نیاز گونه‌ها و مسائل به مربوط به آشیان گونه‌ها، نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش را تولید می‌کنند. این نقشه‌ها معمولاً در طرح‌های برنامه‌ریزی برای حفاظت مورد استفاده قرار می‌گیرند (۸، ۲۷). علاوه بر این، مدل‌های پراکنش گونه‌ها می‌توانند به‌منظور بررسی الگوها و دلیل پراکنش آن‌ها، ویژگی‌های جامعه‌های گیاهی مانند غنای گونه‌ها در مقیاس‌های مکانی بزرگ، یافتن پاسخ فرض‌های بوم‌شناختی مرتبط با تغییرات جغرافیایی پراکنش و ویژگی‌های گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرند (۴، ۱۹). یکی از اجزای اصلی تئوری‌های بوم‌شناختی که مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها را پشتیبانی می‌کند، تئوری نیچ یا آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها است. بر این اساس، پراکنش بالقوه یک گونه زیرمجموعه‌ای از آشیان بوم‌شناختی (اکولوژیک) بنیادی گونه است که در شرایط فعلی در زیست‌کره وجود دارد (۶). پاسخ بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی به گرادیان محیطی، به‌عنوان یکی از ابعاد اصلی آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها، در مدیریت و حفاظت از پوشش گیاهی از اهمیّت قابل توجهی برخوردار است. با استفاده از منحنی‌های پاسخ گونه به عوامل محیطی علاوه بر شناخت دامنه بهینه عوامل محیطی برای هر گونه، می‌توان مدل پاسخ گونه به گرادیان‌های محیطی را نیز ارائه داد (۳).

رابطه بین متغیرهای محیطی و پراکنش پوشش گیاهی به‌وسیله روش‌های مختلف مدل‌سازی مورد توصیف قرار گرفته است. از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده می‌توان به روش‌های رگرسیونی مانند مدل تعمیم‌یافته خطی[1] (۲۳) و مدل تجمعی تعمیم یافته[2] و روش‌های یادگیری ماشین مانند مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی[3]، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون[4] و روش آنتروپی حداکثر[5] اشاره کرد (۳۴، ۳۵، ۳۶). مدل جنگل تصادفی علاوه بر تعیین اهمیّت متغیرها، به‌دلیل ارزیابی درونی نتایج و وزن‌دهی به نتایج هر درخت، می‌تواند نتایج دقیقی را تولید کند (۲، ۱۱). در این روش یک سوم داده‌های اصلی در ایجاد درخت استفاده نمی‌شوند که به‌عنوان نمونه‌های بیرون از سبد نامیده می‌شوند. این قسمت می‌تواند برای ارزیابی عملکرد مدل مورد استفاده قرارگیرد (۲۴). مدل جنگل تصادفی به دو روش میانگین کاهش دقّت[6] و میانگین کاهش ضریب جینی[7] اهمیت متغیرها را نشان می‌دهد (۲).

مقایسهٔ چهار مدل خطی تعمیم یافته، مدل جمعی تعمیم یافته، درخت رگرسیون تقویت شده و جنگل تصادفی در برآورد پراکنش گونه‌های گیاهی نشان داد که روش جنگل تصادفی پراکنش گونه‌های گیاهی را بهتر پیش‌بینی می‌کند. از این رو می‌توان از این مدل برای معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتعی استفاده نمود (۱۳). کاربرد مدل جنگل تصادفی در شناسایی متغیرهای محیطی مؤثر بر توزیع گونه‌ها در مراتع تفتان نشان داد که مدل جنگل تصادفی مدلی قوی برای تجزیه و تحلیل روابط بین توزیع گونه‌های گیاهی و متغیرهای محیطی است (۲۸). مقایسه عملکرد جنگل تصادفی با روش‌های کریجینگ پیشرفته نیز نشان داد که مدل جنگل تصادفی می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را در مقایسه با روش کریجینگ انجام دهد (۱۱).

گونه *Prosopis farcta* (L.) از جنس Prosopis و خانواده Leguminosea، گیاهی بوته‌ای است که از نظر حفاظت و جلوگیری از فرسایش خاک بسیار حائز اهمیت است. عصارهٔ اتانولی-آبی ریشه کهورک از فعالیت ضدمیکروبی و آنتی اکسیدانی مناسبی برخوردار است. با توجه به قرار گرفتن منطقه سیستان در اقلیم بیابانی و ادامه خشکسالی‌های مخرب، علاوه بر کاهش قابل توجه در سطح کلی تاج پوشش گونه‌های گیاهی به ویژه گونه کهورک، رویشگاه بسیاری از گونه‌های بومی منطقه نیز در معرض تهدید جدی قرار گرفته است. بر این اساس، لزوم توسعه

---

[1] Generalized Linner Model: GLM
[2] Generalized Additive Model: GAM
[3] Random Forest: RF
[4] Classification and Regression Tree: CART
[5] Maximum entropy: MaxEnt
[6] Average precision drop
[7] Average Gini coefficient decrease

پوشش‌گیاهی این منطقه بر اساس استعداد اراضی متأثر از ویژگی‌های محیطی غالب به‌ویژه خاک برای حفظ و توسعه رویشگاه‌های گونه‌های بومی منطقه بیش از پیش احساس می‌شود. این امر مستلزم شناخت و تشریح نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های بومی منطقه و برآورد پراکنش بالقوه این گونه‌ها است. از سوی دیگر، فقدان اطلاعات کمّی در خصوص نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی بومی منطقه، مدیریت صحیح عرصه‌های رویشگاهی این گونه‌ها را با محدودیت‌های جدی مواجه ساخته است. بنابراین بررسی تغییرات دامنه پراکنش گونه‌های بومی در مقیاس محلی جهت حفظ و مدیریت بهینه رویشگاه‌های موجود و توسعه رویشگاه‌های گونه در مناطق مستعد ضروری است. واضح است که مدل‌سازی پراکنش این گونه با روش‌های دقیق و کاربرپسند علاوه بر فراهم آوردن امکان شناخت نیازهای رویشگاهی گونه، می‌تواند با برقراری ارتباط بین نیازهای بوم‌شناختی هر گونه و شرایط محیطی غالب در هر منطقه، منجر به تولید نقشه‌های دقیق از پراکنش بالقوه گونه‌ها شده و زمینه برنامه‌ریزی منطبق با شرایط واقعی و در نتیجه بهره‌برداری پایدار از رویشگاه‌های آن را فراهم آورد. براین اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی دقّت پیش‌بینی روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته در تهیه نقشه بالقوه پیش‌بینی پراکنش و شناخت صحیح از نیازهای رویشگاهی گونه *Prosopis farcta* در مراتع منطقه خشک و بیابانی دشت سیستان انجام شد.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

منطقه سیستان با وسعت ١۵١٩٧ km^2 در جنوب شرق ایران و قسمت شمالی استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. محدوده مورد بررسی با مساحت ١٢٣/۵٢ کیلومتر مربع در حدود جغرافیایی ″۴٩′۴٣ °٣٠ تا ″۵۴′۴٩ °٣٠ عرض شمالی و ″٣٠′٢٢ °۶١ تا ″۶١°٣٧′٠۵ طول شرقی در اطراف رودخانه نیاتک و در شرق زابل قرار گرفته است (شکل ١). ارتفاع منطقه از سطح دریا ۴٧٨ m و اقلیم آن گرم و خشک است. منطقه پژوهش با بارندگی کمتر از ٧٠mm یکی از نواحی خشک کشور به‌حساب می‌آید. میانگین بارش سالانه ۵٧ mm و دما نیز از ٩- تا ۴٩° C متغیر است (٣٠). منطقه مورد بررسی از اراضی ملی حوزه شهرستان زابل است که به‌نام اراضی میانکنگی، جنگل بی‌بی دوست یا شنزار میانکنگی شناخته می‌شود. در این منطقه حدود ٨١٪ از پوشش گیاهی سواحل رودخانه را گونه‌های خشبی است (١۴). از دیگر گونه‌های گیاهی موجود در منطقه مورد بررسی می‌توان به گونه‌های درختچه‌ای از جنس تاغ و گز اشاره کرد.

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پوشش‌گیاهی و متغیرهای محیطی

برای انجام بررسی میدانی پس از شناسایی حدود پراکنش گونه (.L) *Prosopis farcta* با بازدید میدانی، ثبت نقاط حضور گونه با پیمایش میدانی و با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب دستی انجام شد. ثبت حضور گونه در ١٠٠ نقطه بصورت انتخابی و با پیمایش صحرایی انجام شد. از آنجا که روش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر از گروه روش‌های طبقه‌بندی کننده هستند پس به دو نوع داده (حضور و عدم حضور) نیاز است. از این رو، علاوه بر ثبت ١٠٠ نقطه حضور برای گونه در محدوده مورد بررسی، به‌دلیل لزوم دسترسی به نقاط عدم حضور جهت مدل‌سازی، از نقاط شبه عدم حضور[1] استفاده و تعداد ٢٠٠ نقطه یعنی دو برابر کل نقاط حضور گونه به‌صورت تصادفی به عنوان نقاط شبه حضور در نظر گرفته شد (١٨). به‌منظور دستیابی به نقاط شبه عدم حضور ابتدا مدل‌سازی رویشگاه با استفاده از مدل دامنه[2] اجرا و از نقشه پیش‌بینی حاصل از این روش برای تهیه نقاط شبه عدم حضور استفاده شد (١). در این راستا متغیرهای رویشگاه وارد نرم افزار ModEco شدند و مدل‌سازی نقاط عدم حضور با استفاده از این نرم‌افزار انجام شد. خروجی نرم‌افزار نقشه صفر و یک است که در آن پهنه‌های مطلوب برای پراکنش گونه ارزش عددی یک و پهنه‌های فاقد مطلوبیت ارزش صفر را به خود اختصاص می‌دهد. بدین‌ترتیب ٢ برابر نقاط حضور یعنی ٢٠٠ نقطه عدم‌حضور به‌شکل تصادفی در بخش‌هایی‌که به‌عنوان رویشگاه نامطلوب

---
[1] Pseudo Absence

[2] Domain

شناسایی شده بود، ایجاد شد (۳۱). ایجاد نقاط شبه عدم حضور نیز به‌صورت تصادفی و در نرم QGIS 3.16.3 انجام شد. بازبینی موقعیت نقاط عدم حضور ثبت شده به جهت حصول اطمینان از عدم حضور گونه، با بازدید میدانی انجام شد. در مرحله بعد، با تقسیم تصادفی داده‌های حضور و شبه عدم حضور به‌ترتیب ، ۷۵ و ۲۵٪ داده‌ها برای آموزش ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

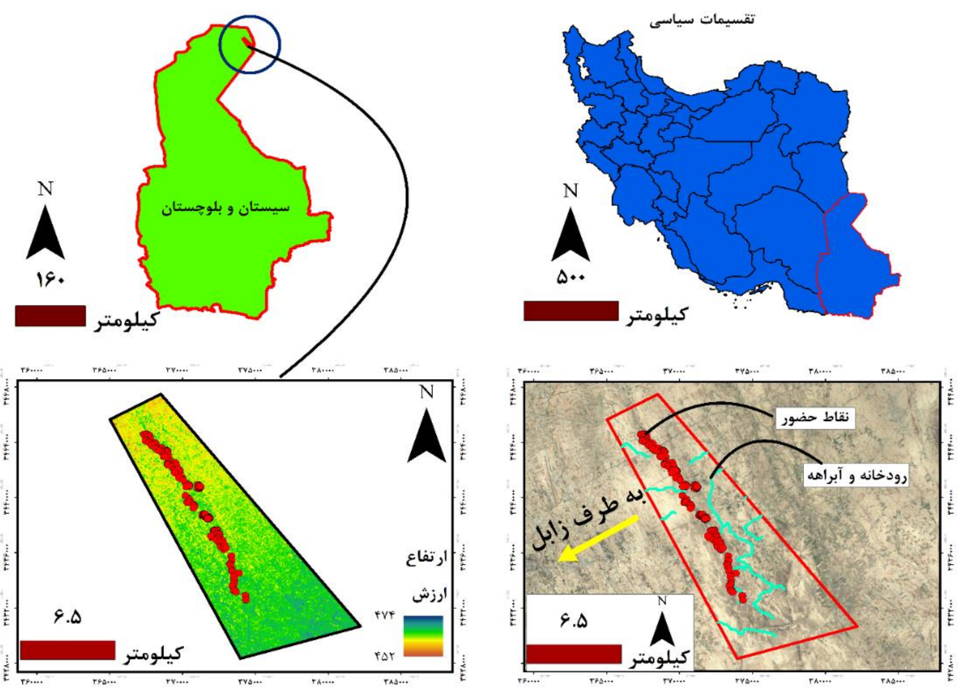
برای تعیین واحد نمونه‌برداری و انجام نمونه‌برداری از خاک، ابتدا نقشه‌های پایه منطقه مورد بررسی تهیه و واحد همگن بوم‌شناختی با تلفیق نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع تعیین شد. بعد از مشخص شدن واحدهای همگن، بازدید میدانی از منطقه مورد نظر صورت گرفت و با توجه به دشتی‌بودن منطقه، مشاهده شد که در یک واحد همگن چند تیپ گیاهی حضور دارند. از این رو غلبه گونه در منطقه مورد بررسی به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری از خاک درون محدوده‌ای که گونه مورد بررسی غالب بود، انجام شد. بر این اساس، تعداد ۴۷ نمونه خاک به شکل تصادفی، از کل سطح منطقه مورد و از عمق صفر تا ۳۰cm برداشت شد (شکل ۲). نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بافت، اسیدیته، شوری و میزان مواد آلی خاک با روش‌های استاندارد به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱).

علاوه بر ویژگی‌های خاک، متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، رطوبت حاصل از سطح[1]، مقدار تشعشعات دریافتی[2]، فاصله از رودخانه و شاخص تراکم پوشش گیاهی نیز جهت مدل‌سازی استفاده شد. متغیر ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع با دقّت ۳۲ m استخراج شد.

استخراج شاخص تراکم پوشش گیاهی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین انجام شد. ارتفاع، شیب، نمایه رطوبت سطح زمین و مقدار تابش دریافتی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد. بارگرمایی دریافتی جهت جغرافیایی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه‌شد (۲۲):

$$HI = \frac{[1 - \cos(\theta - 45)]}{2} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ فوق، مقدار θ آزیموت جهت برحسب درجه است. مقدار شاخص بار گرمایی بین صفرتا یک است و جهت شمال شرقی دارای مقدار صفر و جهت جنوب غربی دارای مقدار یک است (۲۱).

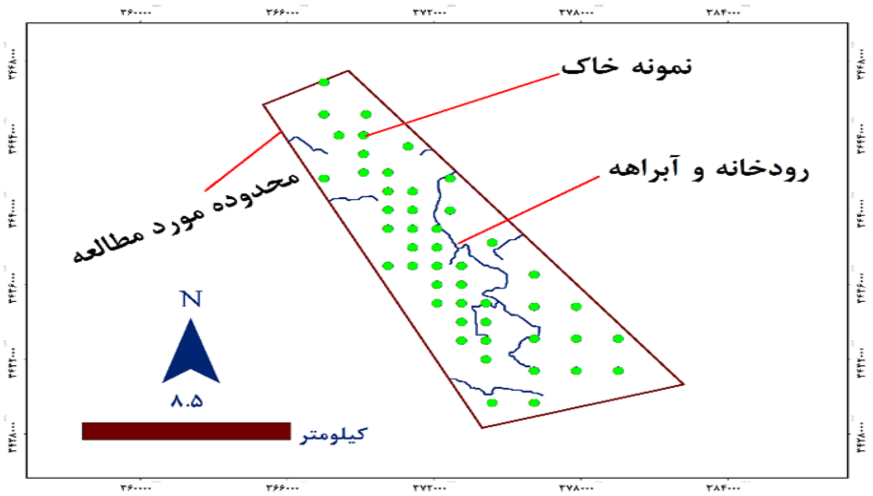


شکل۱. موقعیت محدوده مورد بررسی، نقاط حضور و رودخانه نیاتک در استان سیستان و بلوچستان

---

[1] Compound topographic index (CTI)

[2] heat load index (HLI)



شکل۲. موقعیت نقاط نمونه‌برداری از خاک در اطراف رودخانه نیاتک

جدول ۱. اطلاعات مربوط به متغیرهای محیطی مورد استفاده در پژوهش

ردیف	ویژگی	روش اندازه‌گیری	علامت اختصاری	واحد
۱	رس	هیدرومتری	clay	٪
۲	شن	هیدرومتری	sand	٪
۳	سیلت	هیدرومتری	silt	٪
۴	اسیدیته	pH متر	pH	–
۵	شوری خاک	EC متر	EC	dS/m
۶	شیب	رمپ	slope	٪
۷	مواد آلی	والکی و بلک	OM	%
۸	ارتفاع از سطح دریا	مدل رقومی ارتفاع	DEM	m
۹	بار گرمایی	ارتفاع	HLI	-
۱۰	تراکم پوشش گیاهی	محاسبات باندی	NDVI	-
۱۱	رطوبت سطح زمین	ابزار QGIS	CTI	-
۱۲	فاصله از آبراهه	مدل رقومی ارتفاع	DIS-STREUM	m
۱۳	فاصله از رودخانه	ارتفاع	DIS-REVER	m

شاخص تراکم پوشش‌گیاهی با استفاده از تصاویر سامانه گوگل ارث انجین استخراج شد (۷). متغیر فاصله از آبراهه با استفاده از ابزارهای هیدرولوژی در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 محاسبه شد. ورودی اصلی به مدل‌های پراکنش، نقاط حضور و متغیرهای محیطی هستند که با توجه به اینکه مدل‌سازی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی پراکنش گونه معمولاً دارای یکسری پیش‌فرض است، کنترل این پیش‌فرض‌ها برای هر دو دسته از این ورودی‌ها ضروری است. بدین‌منظور، برای نقاط حضور گونه کاهش خود همبستگی مکانی و برای متغیرهای محیطی همبستگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی از پیش‌پردازش‌های مهم در مدل‌سازی پراکنش، بررسی هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل است. مقدار مناسب این شاخص در برخی از مطالعات ۱۰ گزارش شده است (۳۲). بر این اساس در پژوهش حاضر شاخص کمّی تورم واریانس[1] برای همه متغیرهای مستقل مورد قرار گرفت و با توجه به اینکه شاخص تورم واریانس برای متغیرهای ارتفاع، بار گرمایی، مواد آلی، تراکم پوشش‌گیاهی، رس، شن، سیلت و رطوبت سطح زمین بیشتر از ۱۰ بود، این

[1] Variance Inflation Factor

متغیرها از تحلیل کنار گذاشته شد و مدل‌سازی با دیگر متغیرها انجام شد (۱۶).

مدل‌سازی پراکنش گونه و اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها با بهره‌گیری از سه نوع از روش‌های مدل‌سازی شامل مدل‌های فقط حضور، مدل‌های حضور و عدم حضور و مدل‌های حضور و شبه عدم حضور انجام می‌شود (۲۵). در مدل‌سازی پراکنش گونه با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که همان نقاط حضور هستند مناطقی که به‌طور بالقوه مناسب هستند شناسایی و گستره احتمالی پراکنش گونه برآورد می‌شود. روش‌های مورد استفاده پیش فرض خاصی نداشته و برای گونه‌های غالب و غیر غالب در رویشگاه قابل اجرا هستند. به‌منظور کشف ارتباط حضور گونه با عوامل محیطی نمونه‌برداری باید به نحوی انجام شود که بیانگر شرایط کل جامعه باشد.

در پژوهش حاضر از روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، روش جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته جهت برآورد حدود پراکنش گونه و شناخت نیازهای رویشگاهی آن استفاده شد. اهمیّت متغیرها در مدل جنگل تصادفی با استفاده از میانگین کاهش دقّت به‌دست آمد (۲). حد آستانه نیز با استفاده از آماره TSS[1] اندازه‌گیری شد. بعد از اعمال حد آستانه بر نقشه پیوسته پیش‌بینی حاصل از هر یک از مدل‌ها، نقشه مناطق حضور و عدم حضور گونه‌ها تهیه شد که مناطق حضور و عدم حضور به‌ترتیب معادل رویشگاه مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. اعتبارسنجی نقشه‌های پیوسته با استفاده از آماره سطح زیر منحنی[2] و اعتبارسنجی نقشه‌های حضور و عدم حضور پس از اعمال حدآستانه بر روی نقشه پیش‌بینی با اندازه‌گیری شاخص کاپا انجام شد. در اجرای مدل تجمعی تعمیم یافته از هموارساز TP[3] استفاده شد که هموارساز پیش فرض پکیج MGCV است. اجرای مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون با استفاده از پکیج Rrpart و اجرای مدل جنگل تصادفی در بسته R randomForest انجام شد. برای ارزیابی نتایج مدل‌ها از شاخص‌های سطح زیر منحنی، کاپا و آماره واقعی عملکرد استفاده شد (۱۶، ۱۸)

■ نتایج و بحث

ارزیابی دقّت پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده نشان داد که مقادیر سطح زیر منحنی روش‌های مورد استفاده از یکدیگر متفاوت است. در بین سه روش مورد استفاده، مدل جنگل تصادفی دارای بهترین عملکرد پیش‌بینی است (جدول ۲). علاوه بر این، بیشترین حد ضریب کاپا با مقدار ۰/۹۸ مربوط به روش جنگل تصادفی و کمترین حد این شاخص با مقدار ۰/۶۸۲ مربوط به روش مدل تجمعی تعمیم یافته است. این در حالی است که مقدار ضریب کاپای مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون برابر با ۰/۸۱۱ بود (جدول ۲). بنابراین، می‌توان گفت که در بین مدل‌های مورد استفاده، مدل مدل تجمعی تعمیم یافته با ضریب کاپای ۰/۶۸۲ کمترین توانایی را در تمایز حضور و عدم‌حضور گونه *Prosopis farcta* داشته است، در صورتی‌که مدل‌های حاصل از روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و جنگل تصادفی بیشترین قابلیت را در طبقه‌بندی حضور و عدم‌حضور گونه *P. farcta* دارا هستند. به‌عبارت دیگر، در بین مدل‌های ارائه‌شده، مدل حاصل از روش مدل تجمعی تعمیم یافته ضعیف‌ترین مدل در تشخیص حضور و عدم‌حضور گونه است، زیرا با اعمال حد آستانه بهینه ۰/۴۹، توانایی مدل پیش‌بینی در تشخیص حضور و عدم حضور گونه از ۰/۶۸ فراتر نرفته است.

برای طبقه‌بندی متغیرهای مستقل روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون با هدف معرفی متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر پراکنش گونه تقسیم‌بندی متغیرها انجام می‌شود و محقق نقشی در تقسیم‌بندی متغیرهای مورد بررسی ندارد. بر اساس نمودار درخت هرس شده حاصل از مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، مهمترین عامل در حضور و عدم حضور گونه گیاهی *P. farcta* اسیدیته بیشتر یا مساوی ۷/۹ است. بر این اساس، حدود ۴۱٪ داده‌ها این شرط را دارا بودند که در گره نهایی قرار گرفته‌اند و این امر

[1] True skill statistic
[2] Area under the curve
[3] Thin plate regression spline

منجر به عدم حضور گونه شده است (شکل ۳). از سوی دیگر، اگر مقدار اسیدیته کمتر از ۷/۹ باشد حدود ۵۹٪ احتمال حضورها توسط دومین گره مادر تأثیرگذار که فاصله از رودخانه است، تعیین می‌شود. در این شاخه مناطقی با فاصله بیشتر یا مساوی ۱۳۴۰m حدود ۴٪ از منطقه را شامل می‌شود که منجر به عدم حضور گونه می‌شود و مناطقی با فاصله کمتر از ۵۳۸ m باعث ایجاد گره نهایی به مقدار تقریبی ۳۸٪ است، به‌طوری که با حرکت این گره به سمت گره مادر بعدی که شامل حدود ۱۷٪ داده‌ها می‌شود مجدداً عامل اسیدیته دارای تأثیرگذاری بیشتری است. به‌گونه‌ای که این‌بار اسیدیته بیشتر یا کمتر از ۷/۸ منجر به عدم حضور گونه می‌شود. گره دیگری که منجر به حضور گونه شده است شامل حدود ۱۳٪ داده‌ها می‌شود.

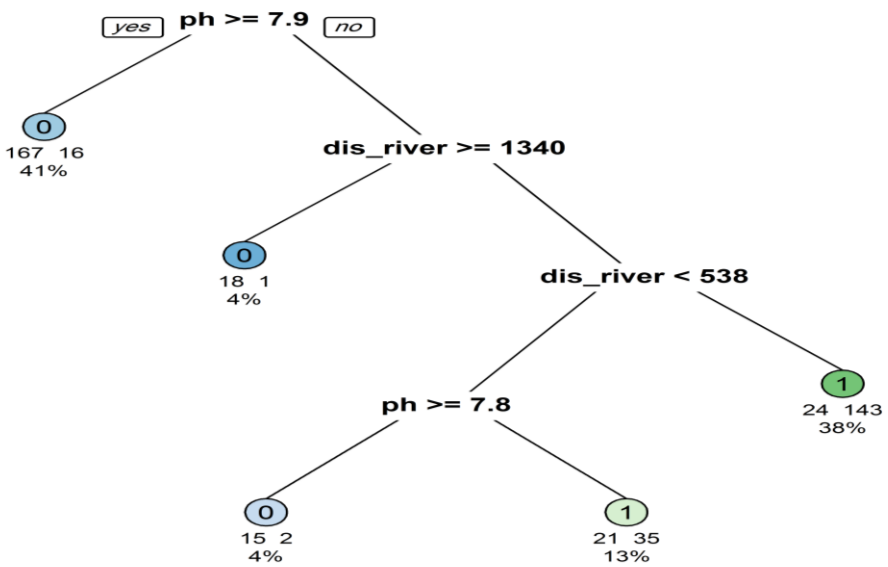
نتایج حاصل از بررسی اهمیت متغیرها بر اساس مدل جنگل تصادفی نیز نشان می‌دهد که به‌ترتیب متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی خاک و فاصله از رودخانه مهمترین نقش را در مطلوبیت رویشگاه گونه *P. farcta* در منطقه مورد بررسی دارند (شکل ۴). به‌عبارت دیگر این متغیرها دارای بیشترین وزن در مدل پیش‌بینی حاصل از مدل جنگل تصادفی بوده و بیشترین سهم را در مطلوبیت رویشگاه گونه دارند. بررسی منحنی‌های پاسخ حضور گونه به این عوامل گویای آن است که با افزایش اسیدیته به بیش از ۸ و فاصله از رودخانه به بیش از ۲۰۰۰m مطلوبیت رویشگاه برای استقرار گونه کاهش یافته است. این در حالی است که افزایش هدایت الکتریکی به بیش از ۸ dS/m، احتمال حضور گونه در رویشگاه را افزایش می‌دهد.

منحنی‌های پاسخ مربوط‌به متغیرهای رویشگاهی مؤثر در مدل تجمعی تعمیم یافته بیانگر آن است که در مجموع در بیشتر نمونه‌های برداشت شده نوسان متغیر هدایت الکتریکی حدوداً ثابت بود و تغییر آن در محدوده رویشگاه مطلوب زیاد نیست. با افزایش مقدار هدایت الکتریکی از ۸ تا ۱۰ dS/m بر مطلوبیت رویشگاه گونه افزوده می‌شود. اما بررسی منحنی‌های مربوط به اسیدیته نیز نشان داد که با افزایش مقدار آن از مطلوبیت رویشگاه گونه کاسته می‌شود. به‌گونه‌ای که مناطق با شرایط قلیئیت خاک (۷ تا حدود ۷/۳) از بیشترین مطلوبیت استقرار گونه مورد بررسی برخوردار هستند (شکل ۵). بررسی متغیرهای تأثیرگذار و معنادار در مدل مدل تجمعی تعمیم یافته نیز نشان می‌دهد که از بین متغیرهای رویشگاهی مورد استفاده، متغیرهای اسیدیته و هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر را بر حضور گونه در رویشگاه دارند. معیار آکائیکه برای این مدل برابر ۳۲۰/۴۱ محاسبه شد که پس از تکرار مدل با استفاده از هموارسازهای مختلف، این مقدار به‌عنوان نمایه هدر رفت اطلاعات شناسایی شد. بررسی اجمالی نتایج حاصل از تحلیل اهمیت متغیرها در سه مدل مورد استفاده بیانگر مشابهت در متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش رویشگاه بالقوه گونه است، به‌گونه‌ای که نتایج حاصل از سه روش در یک راستا هستند.

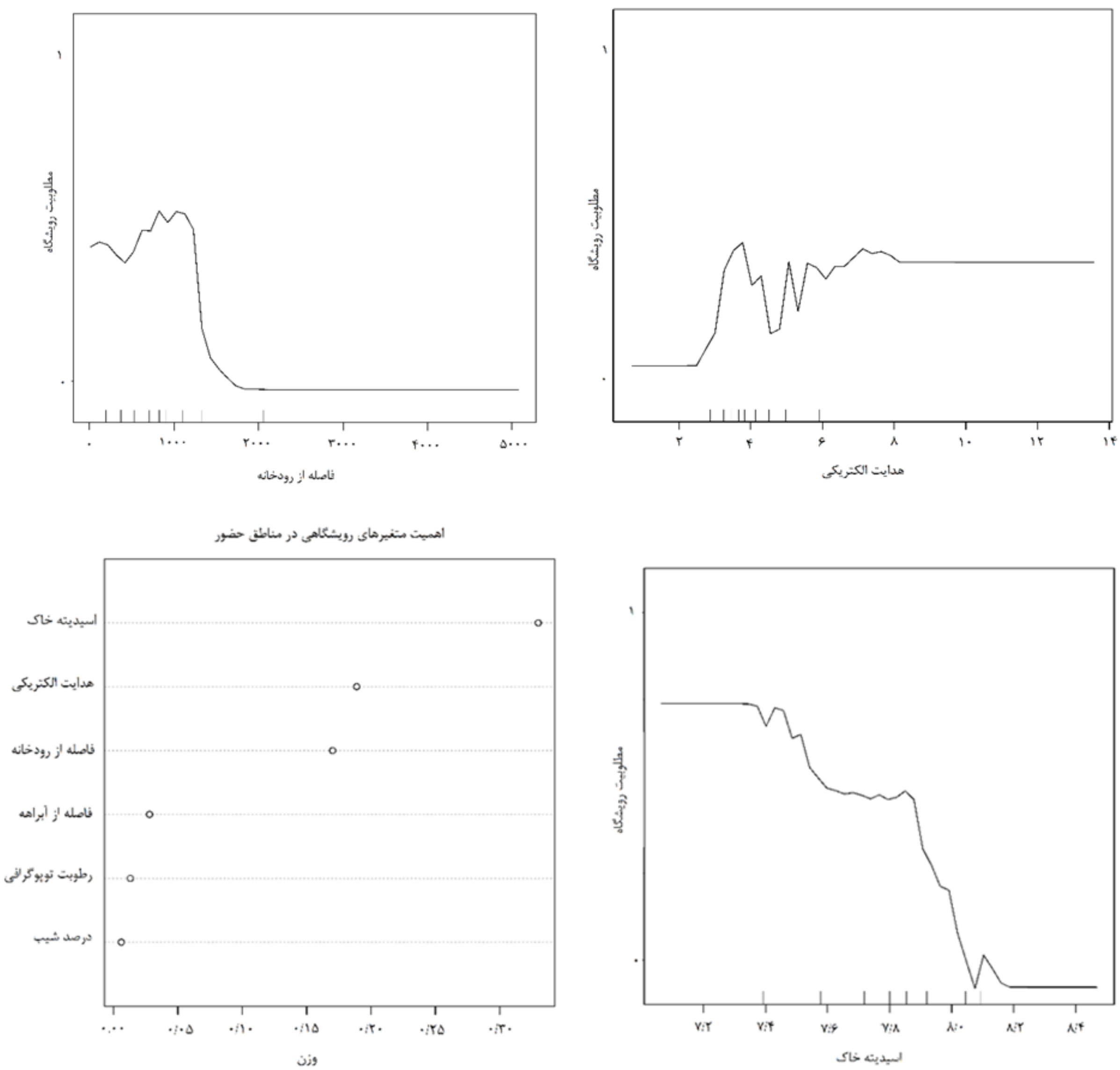
تحلیل اهمیت متغیرها نشان می‌دهد که در مدل‌های حاصل از هر سه روش مورد استفاده، ویژگی‌های مربوط به خاک به‌عنوان عامل دارای بیشترین تأثیر در پراکنش گونه *P. farcta* در مراتع حاشیه رودخانه نیاتک هستند. به‌طوری که در مدل پیش‌بینی جنگل تصادفی به‌ترتیب متغیرهای pH، EC و فاصله از رودخانه، در مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون نیز به ترتیب متغیرهای pH و فاصله از رودخانه و در مدل تجمعی تعمیم یافته هم متغیرهای متغیرهای pH و EC بیشترین تأثیر را بر پراکنش مکانی گونه دارند.

جدول۲. ارزیابی عملکرد کلی پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی پراکنش گونه *P. farcta* در داده‌های آزمون

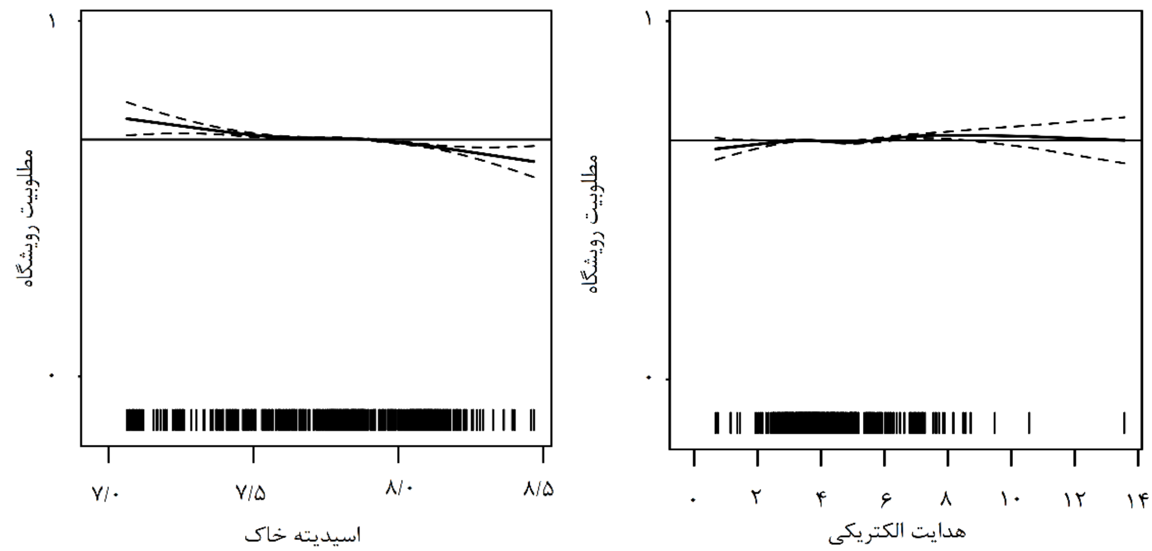
آماره	RF	CART	GAM
سطح زیر منحنی	۰/۹۸	۰/۸۸۵	۰/۹۴۳
حد آستانه	۰/۸۶۰	۰/۶۹۴	۰/۴۹۳
کاپا	۰/۹۸	۰/۸۱۱	۰/۶۸۲



شکل ۳. درخت هرس شده عوامل محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه *P. farcta* در مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون



شکل ۴. نمودار منحنی پاسخ گونه *P. farcta* به عوامل محیطی تأثیرگذار در مدل جنگل تصادفی



شکل۵. منحنی پاسخ گونه *P. farcta* به متغیرهای محیطی تأثیرگذار در مدل تجمعی تعمیم یافته

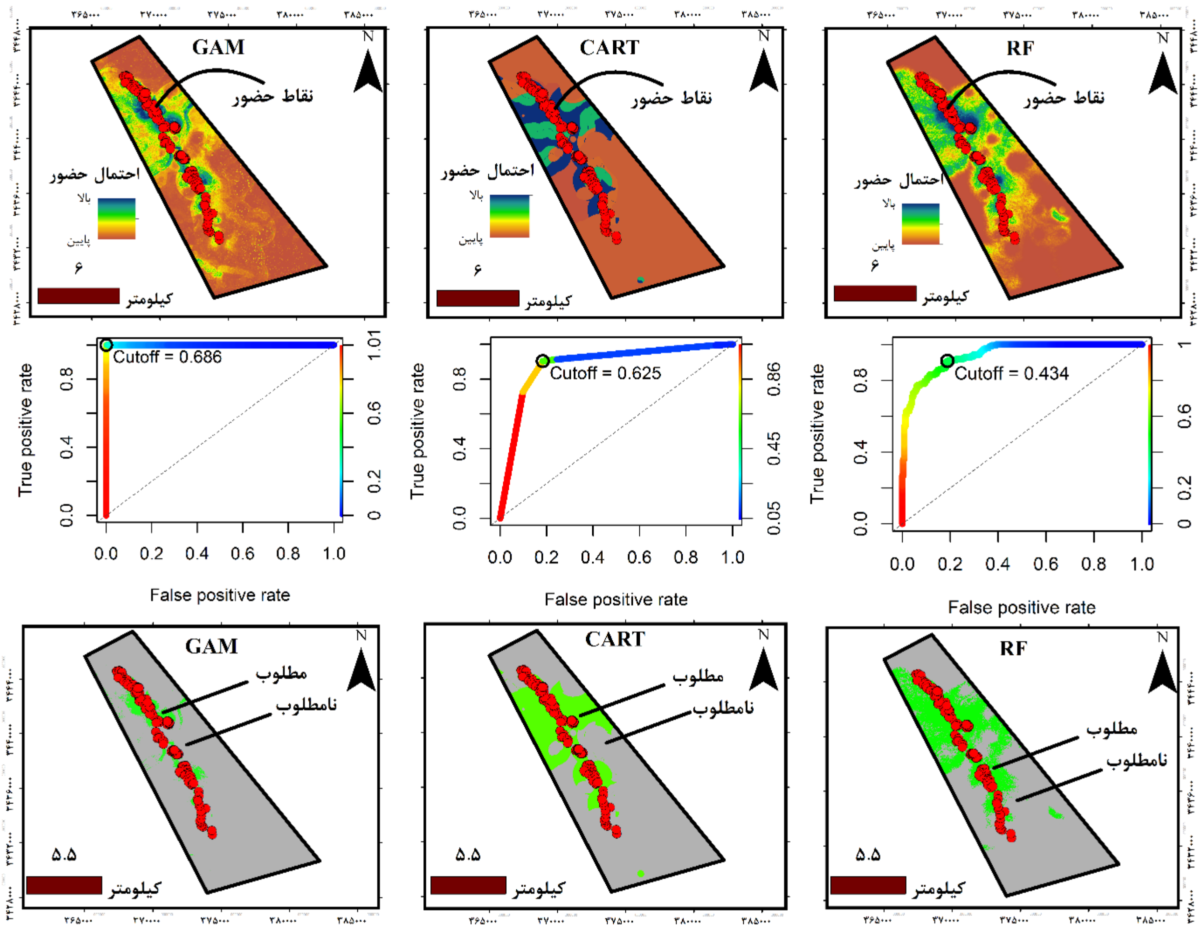
علاوه بر این عامل فاصله از رودخانه نیز به عنوان یک عامل تأثیرگذار در تناسب رویشگاه گونه در منطقه مورد بررسی شناسایی شده است. رودخانه به عنوان بستر طبیعی و مهم در ساختار بوم‌نظام‌های (اکوسیستم) مناطق خشک است و بر ساختار و عملکرد آن نقش پویایی دارد (۱۴). به‌طور کلی، از نتایج حاصل از سه مدل پیش‌بینی در مورد تحلیل اهمیّت متغیرها این‌گونه می‌توان نتیجه گرفت که هر گونه گیاهی با توجه به منطقه رویش، نیازهای بوم‌شناختی و دامنه بردباری با بعضی از ویژگی‌های خاک رابطه دارد (۵، ۲۹). بر این اساس از بین متغیرهای مورد بررسی متغیرهای متغیرهای مرتبط با ویژگی‌های خاک و همچنین متغیر فاصله از رودخانه نقش مهمتری را در پراکنش گونه *P. farcta* در مراتع مورد بررسی ایفا می‌کنند. همسو با یافته پژوهش حاضر، پژوهشگران متعددی ویژگی‌های مربوط به خاک را به‌عنوان یکی از مهمترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر کنترل پراکنش جوامع گیاهی در مناطق خشک، معرفی کرده‌اند (۱۲، ۱۵). به‌طور ویژه گزارش شده است که با توجه به شرایط رطوبتی یکسان در منطقه مورد بررسی به‌ویژه حاشیه رودخانه نیاتک، تفاوت در ویژگی‌های خاک باعث تغییر در پوشش گیاهی این منطقه شده است (۱۴). در راستای یافته پژوهش حاضر، گزارش شده است که در مناطق خشک ویژگی‌های مرتبط با بافت خاک مانند بافت، هدایت الکتریکی و pH از جمله متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گیاهان هستند (۱۲، ۱۷، ۲۰).

نتایج حاصل از تفسیر منحنی‌های پاسخ متغیرهای رویشگاهی در روش جنگل تصادفی نشان داد که با افزایش مقدار EC بر مطلوبیت رویشگاه گونه *P. farcta* افزوده می‌شود. این بدان معنی است که افزایش مقدار شوری خاک، موجب مساعد شدن شرایط محیطی رشد گونه می‌شود و شرایط را برای استقرار آن تسهیل می‌کند. شوری خاک می‌تواند از طریق تأثیر بر فشار اسمزی، افزایش مقاومت گیاهان نسبت به شوری را در پی داشته باشد و زمینه را برای استقرار گونه‌های شورپسند فراهم آورد (۳۷). براساس نتایج پژوهش حاضر افزایش شوری خاک از ۸ تا ۱۰ dS/m بر مطلوبیت رویشگاه گونه افزوده است، اما با توجه به این‌که افزایش مطلوبیت تنها در محدوده ۸ تا ۱۰ dS/m رخ داد و در مناطقی با مقدار شوری بیشتر، مطلوبیت رویشگاه گونه افزایش نیافته است نمی‌توان با قطعیت در مورد شورپسند بودن گونه اظهارنظر کرد. اما آنچه که مسلم است افزایش محدود در مقدار شوری خاک می‌تواند به‌طور نسبی احتمال حضور گونه را در رویشگاه افزایش دهد. همچنان‌که‌گزارش‌شده است که گونه‌های جنس Prosopis به‌عنوان گونه‌های مقاوم به شوری در برنامه‌های احیاء پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی مطرح هستند. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که افزایش قابل توجه شوری می‌تواند علاوه بر کاهش سرعت جوانه زنی و ایجاد مسمومیت در گیاه، جذب آب توسط بذر را با اشکال مواجه سازد. بر همین اساس با افزایش میزان شوری در خاک

میزان خسارت وارد شده نیز افزایش خواهد یافت (۱۷). همچنین بررسی منحنی پاسخ pH به‌عنوان متغیر تأثیرگذار بر پراکنش گونه نشان می‌دهد که با افزایش مقدار این عامل تا ۷/۸ بر میزان مطلوبیت رویشگاه افزوده می‌شود ولی افزایش pH به بیش از ۸ باعث کاهش قابل توجه تناسب رویشگاه می‌شود و استقرار آن را محدود می‌کند. به‌عبارت دیگر، هر چند، با افزایش مقدار آهک خاک و در نتیجه افزایش مقدار pH، قابلیت جذب و دسترسی به مواد غذایی افزایش می‌یابد و شرایط جهت استقرار گونه گیاهی مساعد می‌شود، اما افزایش بیش از حد آهک خاک می‌تواند به‌دلیل ایجاد سخت‌لایه و بروز مشکل در جذب بعضی از مواد غذایی توسط گیاهان استقرار و پراکنش گیاهان را با محدودیت‌های جدی مواجه سازد (۱۵).

نقشه پیش‌بینی پیوسته پراکنش مکانی گونه گیاهی *P. farcta* حاصل از روش‌های روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته در مراتع منطقه سیستان نشان می‌دهد که مناطق مرکزی منطقه مورد بررسی و حاشیه رودخانه از مطلوبیت بیشتری جهت استقرار گونه برخوردار است (شکل ۶). بر این اساس، رویشگاه مطلوب گونه در حاشیه رودخانه نیاتک قرار گرفته است و حاشیه‌های محدوده مورد بررسی از مطلوبیت کم‌تری برخوردار است. پس از اعمال حد آستانه و تهیه نقشه‌های حضور و عدم حضور گونه مشخص شد که به‌طور کلی وسعت رویشگاه بالقوه گونه در نقشه حاصل از روش مدل تجمعی تعمیم یافته بیشتر از دو روش دیگر است.

توانایی مدل در تمایز نقاط‌حضور و عدم‌حضور گونه‌های گیاهی یکی از مهمترین ابعاد تأثیرگذار در دقّت مدل‌های پیش‌بینی پراکنش است (۱۹). بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر، در مجموع، بین دقّت پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده وجود دارد و حدود پراکنش بالقوه گونه در مدل‌های مختلف از یکدیگر متفاوت است.



شکل ۶. نقشه حضور و عدم حضور گونه *P. farcta* در مراتع حاشیه رودخانه نیاتک به همراه مقادیر حد آستانه هر مدل

براین اساس، مدل جنگل تصادفی و مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون بهترین مدل‌های اجرا شده هستند و دارای بیشترین دقّت پیش‌بینی هستند. بنابراین می‌توان گفت که مدل جنگل تصادفی، به‌دلیل ظرفیت بیشتر در شناسایی حضور و عدم حضور گونه، در مقایسه با دیگر مدل‌های مورد استفاده، مدل دقیق‌تری است. این مدل به‌دلیل غیر پارامتری بودن در بهره‌گیری از متغیرهای توضیحی مختلف دارای انعطاف‌پذیری است و می‌تواند روابط غیرخطی بین متغیرهای پاسخ و متغیرهای توضیحی و همچنین برهمکنش‌های سلسله مراتبی بین متغیرهای توضیحی را نشان دهد (١٠). همسو با یافته پژوهش حاضر در بررسی مشابه نیز گزارش شده است که مدل جنگل تصادفی، روش دقیقی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی است. بنابراین می‌توان از آن برای برآورد حدود پراکنش گونه‌هایی که اولویت حفاظتی بیشتری دارند، استفاده شود (۲۶، ۲۸، ۳۳). گزارش شده است که تفاوت در عملکرد پیش‌بینی مدل‌ها امری قطعی است و این امر می‌تواند به‌دلیل استفاده از توابع ریاضی متفاوت باشد (۹).

■ نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، در شرایط فعلی بیشترین وسعت رویشگاه بالقوه گونه در منطقه سیستان در محدوده مرکز و اطراف رودخانه نیاتک واقع شده است. به‌عبارت دیگر، این مناطق به‌طور بالقوه از قابلیت بیشتری برای انتشار گونه برخوردار است و در صورت مساعد بودن دیگر شرایط، گونه توانایی استقرار در این مناطق را دارد. ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل‌های مورد بررسی نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل جنگل تصادفی در طبقه‌بندی حضور و عدم حضور گونه در مقایسه با دو روش دیگر بود (جدول ۲). مدل جنگل تصادفی، به‌عنوان روش درخت پایه، توانسته است علاوه بر شناسایی صحیح متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه و همچنین وزن آن‌ها، نقشه پیش‌بینی دقیقی از دامنه جغرافیایی پراکنش بالقوه گونه در مراتع مورد بررسی را ارائه کند. ظرفیت این روش در پیش‌بینی پراکنش گونه، در کنار ویژگی‌هایی مانند ارائه منحنی‌های پاسخ و درصد اهمیت هر متغیر در مدل‌سازی از ویژگی‌های بارز این مدل است. بیشتر بودن اعتبار این مدل در اجرا، نشان می‌دهد که می‌توان از این مدل در پیش‌بینی رویشگاه‌های گونه‌های مناطق بیابانی کشور استفاده کرد. به‌طور کلی می‌توان گفت که حضور گونه *Prosopis farcta* (L.) در منطقه مورد بررسی متأثر از ویژگی‌های خاک (اسیدیته و هدایت الکتریکی) و همچنین فاصله از رودخانه است. از سوی دیگر، با توجه به شناخت نیازهای بوم‌شناختی و مناطقی با تناسب بالاتر جهت استقرار گونه در ریز مقیاس، می‌توان نتیجه گرفت که جهت افزایش احتمال موفقیت برنامه‌های اصلاحی، توسعه رویشگاه گونه در مناطق مرکزی و حاشیه رودخانه متمرکز شود. از سوی دیگر، انجام فعالیت ترویجی در بین ساکنین محلی برای توسعه کشت گونه در مناطق با تناسب بالا، با هدف جلوگیری از تشدید فرسایش خاک و معرفی خواص دارویی، همچنین ایجاد منبع درآمد جدید جهت بهره‌برداران پیشنهاد می‌شود.

■ سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است (شماره گرنت: IR-UOZ-GR-8694)؛ بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه زابل سپاسگزاری می‌شود.

■ References

1. Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H., & Thuiller, W. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, *3*(2), 327-338.
2. Breiman, L., Cutler, A. (2004). *Random Forests.* Department of Statistics: University of Berkeley.
3. Coudun, C. H., & Gégout, J. C. (2006). The derivation of species response curves with Gaussian logistic regression models is sensitive to sampling intensity and curve characteristics. *Ecological Modelling*, *199*,164-175.

4. Dobrowski, S. Z., Thorne, J. H., Greenberg, J. A., Safford, H. D., Mynsberge, A. R., Crimmins, S. M., & Swanson, A. K. (2011). Modeling plant ranges over 75 years of climate change in California, USA: temporal transferability and species traits. *Ecological Monographs*, *81*(2), 241-257.

5. El-Amier, Y. A. (2016). Vegetation structure and soil characteristics of five common geophytes in desert of Egypt. *Basic and Applied Science*, *3*, 172-186.

6. Elith, J., 2017. (2017). *Invasive species: risk assessment and management*. Cambridge: Cambridge University Press.

7. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing Environment, 202*, 18-27.

8. Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letter*, *8*, 993- 1009.

9. Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., & Tatian, M. R. (2017). Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. *RS and GIS for Natural Resources*, *8*(3), 1-14. (in Farsi)

10. Henderson, E. B., Ohmann, J. L., Gregory, M. J., Roberts, H. M., & Zald, H. (2014). Species distribution modelling for plant communities: stacked single species or multivariate modelling approaches? *Applied Vegetation Science*, *17*(3), 516-527.

11. Hengl, T., Nussbaum, M., Wright, M. N., Heuvelink, G. B., & Gräler, B. (2018). Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *Peer Journals, Life and Environment, 6*, 1-49.

12. Jafari, M., Zare Chahouki, M. A., & Tavili. A., & Kouhandel A. (2007). Soil-vegetation relationships in rangelands of Qom province, *Pajouhesh –va- Sazandegi*, *19*(3), 110-116. (in Farsi)

13. Jafarian , Z., & Kargar, M. (2017). Distribution modeling of protective and valuable plant species in the tourist area of Polour using generalized linear model (GLM) and generalized additive model (GAM), *Geography and Development Iranian Journal, 15*(46), 117-132. (in Farsi)

14. Jahantigh, M. (2017). Study on relations of vegetation and soil in river banks of dryland regions. *Plant Ecosystem Conservation, 4*(9), 181-194. (in Farsi)

15. Javadi, S.A., Khanarmooyi, A., & Jafari, M. (2016). Investigation of relationship between vegetation factors and soil properties (Case Study: Khojir National Park). *Rangeland and Watershed Management*, *69*(2), 353-366. (in Farsi)

16. Kargar, M., Jafarian, Z., Tamartash., & Alavi, S. J. (2017). Comparison of non-parametric and parametric species distribution models (SDM) in determining the habitat of dominant rangeland species (Case study: Khetteh Riz Rangelands). *Range and Desert Research*, *25*(3), 512-523. (in Farsi)

17. Karimi, Gh., Heidari Sharif abad, H., & Assareh, M. H. (2005). The effects of salinity stress on seed germination, seedling growth and proline content in *Atriplex verrucifera*, *Rangeland and Forest Plant Breeding and Gentic Research*, *12*(2), 419-432. (in Farsi)

18. Keyghobadi, M., Piri Sahragard, H., Pahlavan Rad, M. R., Karami, P., Yari, R. (2020). Application of generalized additive model (GAM) and classification and regression tree (CART) to estimate the potential habitat distribution of rangeland plant species (Case study: Khazri Rangelands of Beyaz Plain, Southern Khorasan). *Range and Desert Research, 27*(3), 561-576. (in Farsi)

19. Kozak, K. H., Graham, C. H., & Wiens, J. J. (2008). Integrating GIS-based environmental data into evolutionary biology. *Trends in Ecology and Evolution*, *23*(3), 141-48.

20. Liu, C., White, M., & Newell, G. (2011). Measuring and comparing the accuracy of species distribution models with presence–absence data. *Ecography, 34*, 232-243.

21. Mahmoudi A. A., Zahedi Gh., & Etemad, V. (2013). The investigation on the relationship between soil physical and chemical properties and succulence of natural and planted saxaul (*Haloxylon* spp) (Case study: Hosseinabad plain, Southern Khorasan province). *Forest*, *4*(4), 289-299. (in Farsi)

22. McCune, B., & Keon, D. (2002). Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Vegetation Science*, *13*(4), 603-606.

23. McCullagh, P., & Nelder, J. A. (1989). *Generalized linear models*. Chapman and Hall. 2nd edition: London.

24. Milanesi, P., Holderegger, R., Caniglia, R., Fabbri, E., & Randi, E. (2016). Different habitat suitability models yield different least-cost path distances for landscape genetic analysis. *Basic and Applied Ecology*, *17*(1), 61-71.

25. Morovati, M., Karami, P., Bahadori Amjas, F. (2020). Accessing habitat suitability and connectivity for the westernmost population of Asian black bear (Ursus thibetanus gedrosianus, Blanford, 1877) based on climate changes scenarios in Iran. *PloS ONE*, *15*(11), 1-22.

26. Peters, J., Baets, B. D., Verhoest, N. E. C., Samson, R., Degroeve, S., & Becker, P. D. (2007). Random forests as a tool for ecohydrological distribution modelling. *Ecological Modelling*, *207*(2-4), 304-18.

27. Peterson, A.T., Sober J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martinez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. New Jersey: Princeton University Press.

28. Piri Sahragard, H., Ajorlo, M., & Karami, P. (2018). Modeling habitat suitability of range plant species using random forest method in arid mountainous rangelands. *Mountain Science*, *15*(10), 2159- 2171.

29. Piri Sahragard, H., & Zare Chahouki, M. A. (2015). Modeling of *Artemisia sieberi* Besser habitat distribution using maximum entropy method in desert rangelands. *Rangeland Science*, *6*(2), 93-101.

30. Piri, H., & Ansari, H. (2013). Study of Sistan plain drought and its impact on wetlands international Hamoon. *Wetlands*, *4*(15), 63-74. (in Farsi)

31. Schaefer, H. (2019). *Predicting spawning habitat for lake whitefish coregonus clupeaformis and cisco coregonus artedi in the Lake Erie and Lake Ontario regions using classification and regression tree (CART) and random forest models*. Doctoral dissertation, University of Michigan: Michigan.

32. Sutton, L.J., & Puschendorf, R. (2020). Climatic niche of the Saker Falcon Falco cherrug: predicted new areas to direct population surveys in Central Asia. *Ibis*, *162*(1), 27-41.

33. Wang, H. H., Wonkka, C.L., Treglia, M. L., Grant, W. E., Smeins, F. E., & Rogers, W. E. (2015). Species distribution modeling for conservation of an endangered endemic orchid. *AoB PLANTS, 7*, 39.

34. Williams, J. N., Seo, C., Thorne, J., Nelson, J. K., Erwin, S., O'Brien, J. M., & Schwartz, M. W. (2009). Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Diversity and Distributions*, *15*(4), 565-576.

35. Zare Chahouki M. A., Piri Sahragard, H., & Naghilou, M. (2016). Determination of occurrence optimal thresholds in the predictive models of plant species distribution (Case study: Rangelands of Nir region of Yazd province). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *5*(10), 1-12. (in Farsi)

36. Zare Chahouki, M. A., & Piri Sahragard, H. (2016). Maxent modelling for distribution of plant species habitats of rangelands (Iran). *Polish Journal of Ecology*, *64*(4), 453-467.

37. Zhang, K., Yongzhong, S., Wang, T., & Liu. T. (2016). Soil properties and herbaceous characteristics in an age sequence of *Haloxylon ammodendron* plantations in an oasis-desert ecotone of northwestern China. *Arid Land*, *8*(6), 960-972.

Original Article, Vol. 10, No. 1, Spring, 2022, pp 67-76

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Study of Some Physiological and Phonological Traits of *Salvia Eremophila* Boiss. At Three Rangeland Sites in Yazd Province

S. Mirahmadi[1], A. Ahmadi[2*], S. Z. Hoseyni[3], N. Abdi[4], H. Toranjzar[2]

1. Department of Natural Resources, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
2. Department of Natural Resources, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
3. Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran
4. Department of Natural Resources, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

* Corresponding Author: a-ahmadi@iau-arak.ac.ir

Received date: 11/12/2021 **Accepted date: 29/03/2022**

doi 10.22034/JDMAL.2022.544682.1358

Abstract

The present study was aimed at studying the physiological and phonological characteristics of *Salivia eremophila* Boiss. as a native and medicinal species in three rangeland sites in Yazd province, Iran. For this perpose three areas (Damaghan, Tange-Chenar and Ghavam abad) and three sites in each area, were investigated in terms of soulobe carbohydrates, proline, chlorophyll and carotenoids in aerial parts of *Salivia eremophila* in two phonological stages of flowering and seeding. Plant sampling was done based on randomized-systematic method in 1m^2 plots, along with 50 m^2 transects. Phenolocical diagram of *Salivia eremophila* was drived based on consecutive field investigations. The results showed that there are significant differences in the interaction effects between phonological stage, site and area. Site #1 of Tange-Chenar had significant difference in Chlorophyll (a and b) with the other sites ($p<0.05$). For carotenoids, there was a significant difference between sites and areas where Damgahan Site #3 at the seeding stage and Tange-Chenar Site #1 had the highest rates. Proline levels at Damgahan Site #1 (at the flowering stage) were higher than at other sites and areas, and showed a significant difference. The amount of soulobe carbohydrates showed a significant difference in sites and phonological stages in general (except the flowering stage). In overall, the climate conditions of the studied sites are nearly similar in terms of annual rainfall, as well as rangelans type and altitude, and this can affect the occurrence of low changes in plant nutrients.

Keywords: Arid rangelands; Soulobe carbohydrates; Proline; Chlorophyll; Carotenoid

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۶۷ تا ۷۶

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

نشریه مدیریت بیابـان

www.isadmc.ir

مطالعه برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و فنولوژیک گیاه مریم گلی بیابانی *Salvia eremophila* Boiss. در سه رویشگاه مرتعی استان یزد

سارا میراحمدی[۱]، عباس احمدی[۲*]، زین العابدین حسینی[۳]، نوراله عبدی[۴]، حمید ترنج زر[۲]

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.
۲. استادیار، گروه منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.
۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۴. دانشیار، گروه منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.
* نویسندۀ مسئول: a-ahmadi@iau-arak.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۱/۰۹

doi 10.22034/JDMAL.2022.544682.1358

چکیده

هدف از بررسی حاضر، بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک و فنولوژیک و تعیین روابط بین عناصر موجود گیاه دارویی مریم‌گلی بیابانی *Salvia eremophila* Boiss. در سه رویشگاه مرتعی استان یزد می‌باشد. به این منظور در سه رویشگاه دامگاهان، تنگ چنار و قوام آباد و در سه ایستگاه مختلف، مقدار عناصر غذایی شامل قند محلول، کلروفیل، کاروتنوئید و پرولین موجود در اندام هوایی گیاه مریم‌گلی بیابانی در دو مرحله فنولوژیک گلدهی و بذردهی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از گیاهان به روش تصادفی-سیستماتیک و با استفاده از قطعه‌های یک مترمربعی در طول نوارهای (ترانسکت) ۵۰ متری انجام شد. همچنین پس از بازدیدهای منظم میدانی، نمودار مراحل رشد فنولوژیک مریم‌گلی بیابانی در محدوه مورد بررسی رسم شد. داده‌ها پس از جمع‌آوری و در سطح خطای ۵٪ تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل مرحله فنولوژیک، منطقه و ایستگاه بر روی متغیرهای مورد بررسی اثر معنی داری داشت ($p<0.05$). ایستگاه ۱ تنگ چنار در مرحله گلدهی از نظر مقدار کلروفیل a، b بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها و مناطق مورد بررسی بوده و تفاوت معنی‌داری با آنها داشت. ایستگاه ۱ تنگ چنار در مرحله گلدهی و ایستگاه ۳ دامگاهان در مرحله بذردهی، بیشترین مقدار کاروتنوئید را دارا بودند. مقدار پرولین در مناطق مختلف، مراحل فنولوژیک و ایستگاه‌های سه گانه، تفاوت معنی‌داری نشان داد. ایستگاه ۲ منطقه دامگاهان در زمان گلدهی بیشترین مقدار پرولین را دارا بود. از نظر مقدار قند محلول نیز اختلاف بین ایستگاه‌ها و مرحله فنولوژیک (به غیر از مرحله گلدهی)، معنی‌دار بود. در مجموع، به دلیل تشابه شرایط اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی در هر منطقه و نیز تیپ مرتع و ارتفاع از سطح دریا، این موضوع می‌تواند بر بروز تغییرات اندک در عناصر غذایی گیاه مؤثر باشد.

واژگان کلیدی: پرولین؛ قند محلول؛ کلروفیل؛ کاروتنوئید؛ مراتع مناطق خشک

■ مقدمه

مراتع ایران با مساحت ۸۴/۶ میلیون هکتار و با بیش از ۷۰۰۰ گونه گیاهی (۱). افزون بر نقشی که در تولید و تامین علوفه دارند، مهمترین منبع برای تولید محصولات فرعی و گیاهان دارویی و صنعتی محسوب می‌شوند. با توجه به رشد جمعیت و محدود بودن تولید علوفه به منظور بهبود وضعیت اقتصادی بهره‌برداران مراتع، توجه به محصولات فرعی، تولید گیاهان دارویی و صنعتی، زنبورداری، بوم‌گردی و آبزی‌پروی لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد (۲). تیره نعناعیان (Lamiaceae) از راسته لامیال (Lamiales) یکی از مهمترین‌و بزرگترین تیره‌های گیاهی است که دارای بیش از ۴۰۰۰ گونه گیاهی است که در ۲۰۰ جنس جای داده شده‌اند. این تیره در کل کره زمین پراکنده شده است که بیشترین مقدار انتشار آن در منطقه مدیترانه‌ای است (۳).

مریم‌گلی بیابانی (*Salvia eremophila* Boiss.) گیاهی علفی، پایا و متعلق به شاخه گیاهان دانه‌دار Spermatophytes، زیرشاخه نهاندانگان Angiosperms، رده دو لپه‌ای‌ها Dicotyledon، راسته Lamiales، خانواده نعناعیان Lamiaceae است و *Salvia* جنس بزرگی از این خانواده است که در سراسر جهان تقریبا ۹۰۰ گونه دارد و حدودا ۵۸ گونه آن در ایران می‌روید که ۱۷ گونه آن انحصاری ایران می‌باشند (۱۱، ۱۹). گونه *Salvia eremophila* یکی از هفت گونه مریم‌گلی است که از استان یزد گزارش شده است. این گیاه به صورت پراکنده در مناطق مختلف استان به‌مساحت ۲۴۷۲۲ ha معادل ۰/۲۹٪ از کل پوشش‌گیاهی استان یافت می‌شود. دامنه ارتفاعی گسترش این گیاه از ارتفاع ۸۰۰ تا ۲۲۵۰ m از سطح دریا متغیر است. اقلیم گرم و خشک بیابانی سرد، نیمه بیابانی تا شدید با میانگین بارندگی سالانه در حدود ۱۲۵mm و تبخیر سالیانه ۱۴۰۰mm تا ۱۸۰۰ mm از شرایط اقلیمی رویشگاه‌های این گیاه در استان می‌باشد (۲۶، ۳۰).

مریم‌گلی بیابانی در استان‌های اصفهان، یزد، فارس، هرمزگان، خوزستان و خراسان رویش دارد. گیاهی است بوته‌ای به ارتفاع ۱۵ cm تا ۲۵ cm، با ساقه‌های منشعب، ساقه‌های آن در تمام طول خود برگدار و پوشیده از کرک‌های سفید ساده بلند، نرم و متراکم هستند، برگ‌ها مستطیلی شکل و سرنیزه‌ای، تخم‌مرغی به طول ۲ mm تا ۱۲mm و عرض ۱ mm تا ۲mm، با حاشیه چین خورده و پیچیده، رنگ گل سفید یا قرمز، گیاه معطر بوده و دو بار در سال گل می‌دهد (۳۰).

گزارش‌های اندکی در مورد اکوفیزیولوژی و عناصر غذایی موجود در گیاه مریم گلی بیابانی وجود دارد و غالباً متابولیت‌های ثانویه این گونه مطالعه شده‌است. عمده‌ترین ترکیبات اسانس این گونه شامل آلفا پینن[1]، بورنئول، بورنیل استات و کامفن بودند (۲۱، ۳۰). مرحله میوه‌دهی کامل در آبان‌ماه به عنوان بهترین مرحله برداشت برای حصول بیشینه بازده اسانس پیشنهاد شده است. همچنین این گونه به‌عنوان یکی از منابع برای استخراج ترکیب آلفا - پینن گزارش شده است (۳۰).

از نظر ترکیبات شیمیایی برگ‌های مریم‌گلی بیابانی دارای اسانس روغنی فرار و ساپونین (۲۱) و یک ماده تلخ به نام پیکروسالوین[2] با خاصیت تسهیل کننده هضم، مُدر، قاعده‌آور و متوقف‌کننده رشد باکتری و همچنین اسیدهای آلی می باشد. اسانس مریم‌گلی بیابانی عنبری است و از نظر مقدار کافور خیلی غنی است و مقدار اسانس و مقدار ماده سینئول اسانس در دوران ظهور شکوفه‌ها و بازشدن گل بیشترین مقدار را داراست. مقدار سینئول موجود در اسانس شاخه‌هایی که تازه خشک شده‌اند در حدود ۰/۲۵ می‌باشد (۲۱).

براساس بررسی‌های انجام شده در مورد گیاه مریم‌گلی، ویژگی های دارویی و درمانی فراوانی معرفی شده‌است که علاوه بر کاربردهای این گیاه در درمان سرطان، سالمونلا، گلو درد، چربی خون، بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های پوستی، اسکیزوفرنی، بیماری‌های چشمی، آلزایمر، جنون، بیماری‌های التهابی و ایدز، از این گیاه به‌عنوان عامل ضدویروس،ضدمیکروب، ضدالتهاب، ضدپیری و کاهش‌دهنده فعالیت تومور نیز استفاده می‌شود (۵، ۲۰). نکته جالب در مورد گیاه مریم‌گلی بیابانی این است که در موارد اندکی از مضرات آن ذکر به میان آمده است. لذا با در نظر گرفتن

[1] Alpha-Pinene

[2] picrosalvin

اهمیت این گیاه از نظر دارویی و خواص بی نظیر آن و همچنین به لحاظ بومی بودن و نظر به اینکه در زمینه تعیین و شناسایی عناصر غذایی موجود در این گیاه مطالعه خاصی صورت نگرفته است، تحقیق حاضر در استان یزد بر روی این گونه انجام گرفت. همچنین با در نظر گرفتن بهترین شرایط اقلیمی برای افزایش و بهبود عناصر غذایی و معرفی آن در این تحقیق، اهمیت این مطالعه در مورد بررسی مقدار و روابط بین عناصرغذایی موجود گیاه مریم‌گلی بیابانی *Salvia eremophila* شامل قند محلول، مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و پرولین، در سه رویشگاه مرتعی استان یزد دو چندان می‌شود.

■ مواد و روش

مناطق مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی و اقلیمی رویشگاه قوام آباد

رویشگاه قوام‌آباد در فاصله عرض جغرافیایی "۳۷ '۴۸ °۳۱ تا "۴۷ '۴۸ °۳۱ شمالی و طول جغرافیایی'۴ °۵۴ تا "۱۴ '۴ °۵۴ شرقی و در ارتفاع ۱۷۰۰m از سطح دریا در محدوده شهرستان اشکذر است. از نظر سازندهای زمین‌شناسی شامل واحدهای دوران پالئوزوئیک از قبیل سازندهای کهر، دولومیت سلطانیه، باروت و آهک جهرم دوران سنوزوئیک، رسوبات تریاس شامل دولومیت شتری، سازند نایبند، شیل ماسه‌ای و ماسه سنگ کوارتزیت می‌باشند. مقدار بارندگی سالیانه منطقه بر اساس آمار ایستگاه باران‌سنجی قوام‌آباد، ۱۲۵mm می‌باشد (۲۰).

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی رویشگاه دامگاهان

رویشگاه دامگاهان در فاصله بین عرض جغرافیایی "۴۱ '۳۲ °۳۱ تا "۵۲ '۳۲ °۳۱ شمالی و طول جغرافیایی "۳۲ '۲۰ °۵۴ تا "۳۴ '۲۰ °۵۴ شرقی و در ارتفاع ۱۸۰۰m از سطح دریا قرار گرفته است. از نظر زمین‌شناسی در این منطقه تنوع لیتولوژیکی تشکیلات به چشم نمی‌خورد و رخنمون‌های زمین‌شناسی عمدتاً شامل آهک‌های خاکستر رنگ سازند تفت متعلق به کرتاسه و گرانیت شیرکوه می‌باشد. مقدار بارندگی سالیانه منطقه بر اساس آمار ایستگاه باران‌سنجی مهریز، ۲۰۰mm می‌باشد (۲۰).

موقعیت جغرافیایی و اقلیمی رویشگاه تنگ چنار

رویشگاه تنگ‌چنار در عرض جغرافیایی"۲۲ '۳۲ °۳۱ تا "۳۰ '۳۲ °۳۱ شمالی و طول جغرافیایی"۵ '۲۱ °۵۴ تا "۲۱'۷ °۵۴ شرقی و در ارتفاع ۲۰۰۰m از سطح دریا قرار گرفته است. از نظر زمین‌شناسی سازند آهک تفت در این منطقه دیده می‌شود که متشکل از آهک زیاد می‌باشد. مقدار بارندگی سالیانه منطقه براساس آمار ایستگاه باران‌سنجی مهریز، ۱۸۸mm می‌باشد (۲۰).

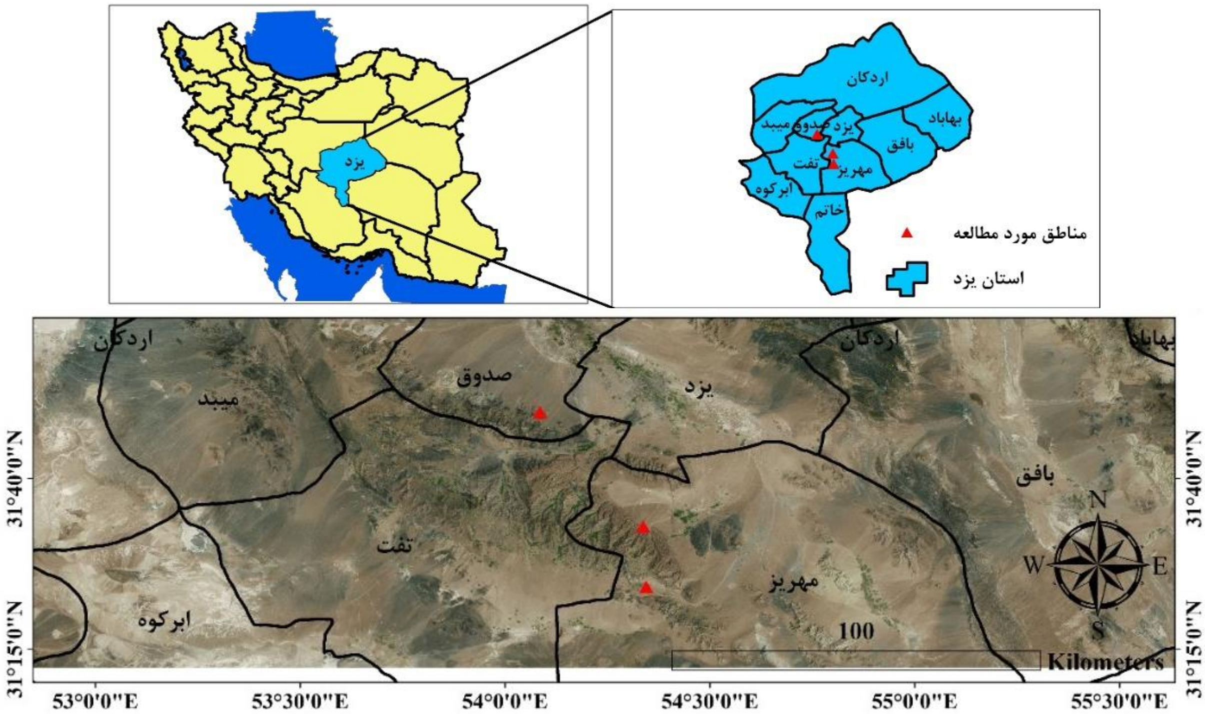
براساس بررسی‌های کتابخانه‌ای و فلور استان یزد (۲۶)، رویشگاه‌های اصلی گیاه که در بردارنده ویژگی‌های مختلف اکولوژیک و سازگار با گیاه مریم‌گلی بیابانی بود تعیین شد. سپس طول و عرض جغرافیایی مناطق مورد مطالعه، توپوگرافی ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب و همچنین مشخصات اقلیمی دما و بارندگی هر رویشگاه به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت. با توجه خصوصیات نسبتاً نزدیک اقلیمی و دمایی سه رویشگاه، دیاگرام فنولوژی این گیاه به شکل واحد ترسیم شد (شکل ۲).

برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی ۳ نوار (ترانسکت) به طول ۵۰m، با فاصله ۲۵m از همدیگر انتخاب شدند. در هر نوار ۱۰ نقطه و با فاصله ۵m از یکدیگر و با استفاده از قطعه (پلات) یک مترمربعی در مجموع ۳۰ پلات $1m^2$ یادداشت برداری‌ها در خصوص تعداد بوته انجام پذیرفت. باید ذکر کرد جهت مطالعات خصوصیات پوشش گیاهی از گیاهان موجود در هر پلات استفاده شد و اطلاعات آن شامل تعداد بوته، وزن بوته، وزن خشک یادداشت شد. در منطقه‌های مورد بررسی که ۳۰ پایه گیاهی در پلات‌ها قرار نداشت از گیاهان رویش یافته نزدیک به هر پلات و یا در ادامه ترانسکت استفاده شد. علاوه بر تاج پوشش، ارتفاع گیاه نیز در ۷ منطقه با انتخاب نمودن ۳۰ پایه، آنالیز و ارزیابی شد. بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی قند محلول با روش kochert 1987 (۲۳)، مقدار کلروفیل a و b و کاروتنوئید با روش Lichtenthaler 1987 (۲۴)، پرولین با روش Bates 1973 (۹) برای نمونه‌های هر یک از رویشگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پس از بازدیدهای منظم میدانی، دیاگرام مراحل رشد فنولوژیک مریم گلی بیابانی در محدوده مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۲). برای تجزیه آماری، در آغاز با استفاده از آزمون تجزیه واریانس

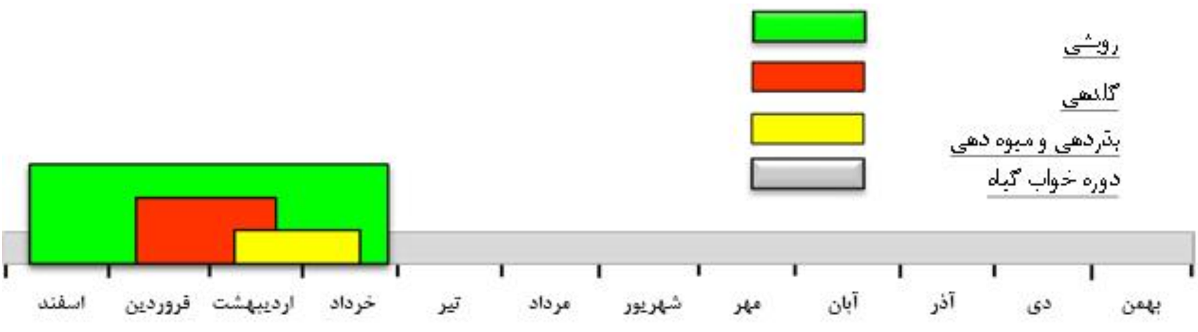
دوطرفه اقدام به بررسی اثر متقابل متغیرها شد. در پایان با بهره‌گیریاز میانگین، انحراف معیار و آزمون تجزیه واریانس یک طرفه در سطح خطای ۵٪ اقدام به تحلیل نتایج شد.

■ نتایج

به منظور بررسی اطلاعات بدست آمده ابتدا با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه اقدام به بررسی تأثیر متقابل بین متغیرهای وضعیت گیاه، منطقه مورد بررسی و ایستگاه مورد نظر پرداخته شد که در تمامی متغیرهای مورد بررسی تأثیرمعناداری بین اثرمتقابل مرحله فنولوژیک گیاه و منطقه مورد بررسی، منطقه و ایستگاه مورد بررسی و نیز اثرمتقابل بین مرحله فنولوژیک. منطقه و ایستگاه مورد بررسی مشاهده گردید ($p<0.05$) (جدول ۱). نتایج آزمون تجزیه واریانس یکطرفه و تست تعقیبی دانکن نشان داد که گیاهان مورد بررسی در ایستگاه ۱ تنگ چنار در مرحله گلدهی از نظر مقدار کلروفیل a، b و مقدار کارتینوئید با سایر ایستگاه های مورد بررسی و مناطق مورد بررسی تفاوت داشتند و از نظر آماری اختلاف معناداری نشان دادند ($p<0.05$) همچنین مقدار پرولین در ایستگاه ۱ منطقه قوام آباد با سایر ایستگاه های مورد بررسی و مناطق مورد بررسی تفاوت داشت ولی این اختلاف منجر به بروز اختلاف معنی‌دار نشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی



شکل ۲. دیاگرام مراحل رشد فنولوژیک مریم گلی بیابانی در محدوه مورد مطالعه

در مورد قند محلول نیز این مساله صادق بود. یعنی با وجود اینکه در مرحله بذردهی در ایستگاه شماره ۲ دامگاهان، مقدار قند محلول بالاتر از سایر مناطق بود، اختلاف معنی داری بین آنها وجود نداشت. همچنین در دیگر متغیرها براساس مرحله فنولوژیک، منطقه و ایستگاه مورد بررسی میانگین گروه‌ها در زیر مجموعه های همگن نمایش داده شد (جدول ۲).

جدول ۱. بررسی اثر متقابل مرحله فنولوژیک، منطقه، و ایستگاه مورد بررسی براساس متغیرهای مطالعه

متغیر	اثر متقابل	F	Sig.
کلروفیل a	مرحله فنولوژیک * منطقه	۹/۳۸۷	۰/۰۰۲
	منطقه * ایستگاه	۵/۱۱۸	۰/۰۰۶
	مرحله فنولوژیک * منطقه * ایستگاه	۳/۵۵۹	۰/۰۱۷
کلروفیل b	مرحله فنولوژیک * منطقه	۱۳/۸۲۴	۰/۰۰۰
	منطقه * ایستگاه	۶/۲۰۹	۰/۰۰۳
	مرحله فنولوژیک * منطقه * ایستگاه	۴/۷۲۴	۰/۰۰۵
کاروتنوئید	مرحله فنولوژیک * منطقه	۱۴/۵۴۲	۰/۰۰۰
	منطقه * ایستگاه	۳/۱۵۳	۰/۰۴۰
	مرحله فنولوژیک * منطقه * ایستگاه	۲/۵۸۸	۰/۰۴۵
قند محلول	مرحله فنولوژیک * منطقه	۳/۷۸۵	۰/۰۴۲
	منطقه * ایستگاه	۴/۲۴۴	۰/۰۲۸
	مرحله فنولوژیک * منطقه * ایستگاه	۳/۵۱۱	۰/۰۳۱
غلظت پرولین	مرحله فنولوژیک * منطقه	۴/۸۱۳	۰/۰۲۱
	منطقه * ایستگاه	۴/۱۸۴	۰/۰۱۴
	مرحله فنولوژیک * منطقه * ایستگاه	۴/۶۷۱	۰/۰۱۳

جدول ۲. بررسی مقدار عناصر غذای براساس مرحله فنولوژیک، منطقه و ایستگاه مورد بررسی

عامل تغییر	متغیر				
	کلرفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	قند محلول	پرولین
مرحله گلدهی در دامگاهان و ایستگاه ۱	c۴/۰±۹۴/۰۸	c۰/۰±۴۴/۰۱	c۰/۰±۸۵/۰۱	c۶۳/۰±۰۵/۶۵	c۱/۰±۵۹/۲۴
مرحله گلدهی در دامگاهان و ایستگاه ۲	c۳/۱±۹۳/۳۰	c۰/۰±۳۶/۲۳	c۰/۰±۸۴/۱۹	c۶۰/۸±۵۸/۶۸	a۲/۱±۴۴/۰۶
مرحله گلدهی در دامگاهان و ایستگاه ۳	c۳/۰±۸۸/۵۱	c۰/۰±۴۰/۲۰	c۰/۰±۷۰/۰۱	c۶۶/۱±۶۷/۸۴	c۱/۰±۲۷/۱۲
مرحله گلدهی در تنگ چنار و ایستگاه ۱	a۱۵/۳±۹۸/۹۰	a۳/۰±۱۴/۷۴	a۲/۰±۷۵/۴۹	c۶۶/۰±۷۸/۹۰	b۱/۰±۲۱/۲۵
مرحله گلدهی در تنگ چنار و ایستگاه ۲	b۷/۱±۱۷/۱۹	b۱/۰±۲۹/۲۴	b۱/۰±۶۳/۱۳	c۶۸/۶±۰۵/۶۷	c۱/۰±۱۱/۰۲
مرحله گلدهی در تنگ چنار و ایستگاه ۳	c۴/۰±۷۰/۹۱	c۰/۰±۶۱/۱۸	c۱/۰±۰۸/۱۴	c۷۲/۳±۳۵/۳۳	a۱/۰±۴۱/۶۸
مرحله گلدهی در قوام آباد و ایستگاه ۱	c۷/۰±۷۵/۳۲	c۱/۰±۱۶/۰۷	c۱/۰±۲۵/۰۱	c۷۲/۱±۳۱/۳۹	c۱/۰±۳۸/۰۱
مرحله گلدهی در قوام آباد و ایستگاه ۲	c۷/۲±۳۳/۴۰	c۱/۰±۰۷/۵۵	c۱/۰±۲۸/۳۲	c۷۳/۰±۳۹/۰۹	c۰/۰±۹۲/۲۲
مرحله گلدهی در قوام آباد و ایستگاه ۳	c۶/۰±۲۹/۶۹	c۰/۰±۹۶/۱۲	c۱/۰±۰۱/۰۹	c۷۳/۲±۰۸/۴۲	c۱/۰±۲۱/۴۲
مرحله بذردهی در دامگاهان و ایستگاه ۱	c۵/۰±۹۶/۱۶	c۰/۰±۶۷/۹۵	b۲/۰±۰۶/۰۱	c۷۲/۱۲±۰۱/۳۷	c۱/۰±۵۰/۴۸
مرحله بذردهی در دامگاهان و ایستگاه ۲	b۹/۲±۳۴/۰۴	b۱/۰±۰۷/۳۵	b۲/۰±۳۸/۲۴	a۷۹/۶±۱۱/۳۴	c۱/۰±۹۴/۷۱
مرحله بذردهی در دامگاهان و ایستگاه ۳	b۸/۱±۹۰/۹۰	b۱/۰±۲۴/۳۹	a۲/۰±۴۴/۴۶	c۷۴/۴±۲۳/۰۸	c۱/۰±۱۰/۰۶
مرحله بذردهی در تنگ چنار و ایستگاه ۱	c۷/۱±۶۰/۴۰	c۰/۰±۸۶/۱۹	c۱/۰±۹۵/۱۳	c۶۳/۸±۳۳/۴۸	c۰/۱±۹۵/۴۸
مرحله بذردهی در تنگ چنار و ایستگاه ۲	c۶/۳±۷۷/۲۳	c۰/۰±۷۴/۶۵	c۲/۰±۰۰/۷۷	b۷۵/۵±۳۳/۶۵	c۰/۰±۶۶/۳۶
مرحله بذردهی در تنگ چنار و ایستگاه ۳	c۶/۱±۴۶/۰۰	c۰/۰±۷۸/۲۱	c۱/۰±۸۸/۳۵	c۷۳/۸±۴۶/۵۶	c۱/۰±۳۹/۱۷
مرحله بذردهی در قوام آباد و ایستگاه ۱	c۴/۱±۸۴/۳۴	b۰/۰±۴۱/۸۹	b۱/۰±۵۲/۱۷	b۷۸/۳±۱۹/۳۴	a۲/۰±۲۶/۲۹
مرحله بذردهی در قوام آباد و ایستگاه ۲	c۷/۳±۸۲/۷۶	b۰/۰±۹۳/۶۳	b۲/۰±۰۳/۶۲	b۷۵/۳±۹۵/۷۱	b۱/۰±۹۶/۳۵
مرحله بذردهی در قوام آباد و ایستگاه ۳	c۴/۰±۵۴/۱۹	b۰/۰±۳۸/۰۲	b۱/۰±۴۰/۱۰	b۷۴/۰±۹۴/۶۲	c۱/۱±۳۰/۱۲

■ بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی عناصر موجود در گیاه مریم گلی بیابانی شامل قند محلول، مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و پرولین در ۳ رویشگاه دامگاهان، تنگ چنار و قوام آباد در دو تکرار مورد بررسی قرار گرفت و مقدار عناصر در دو فاز گلدهی و بذردهی گیاه اندازه گیری شد.

نورگرایی (فتوسنتز) فرآیندی است که انرژی نوری به‌دست آمده از خورشید را به فرمی از انرژی که می‌تواند به‌طور مستقیم بوسیله موجودات زنده بکار گرفته شود، تبدیل می‌کند. شاخص کلروفیل برگ‌ها یک شاخص مفید برای بهره‌وری از پتانسیل فتوسنتزی و قدرت عمومی گیاه می‌باشد. تغییرات در مقدار کلروفیل تحت تنش ممکن است بخشی از پاسخ سازگاری باشد. گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی در مرحله رشد رویشی مقدار کلروفیل برگ کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش به‌واسطه کاهش پروتئین‌های غشایی خاص، اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد همچنین یکی از عواملی که بر روی مقدار کلروفیل گیاهان تأثیر می‌گذارد عامل تنش اکسیداتیو است، لذا با بروز تنش در گیاهان به صورت معناداری مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد (۶). کاهش مقدار کلروفیل در طی مراحل پیری و در اثر تنش خشکی در دیگر گونه‌های گیاهی نیز گزارش شده است (۷، ۲۲). براساس نتایج پژوهش حاضر نمونه‌های مورد بررسی از نظر مقدار کلرفیل a و کلروفیل b، مابین زمان گلدهی و بذردهی، منطقه مورد بررسی و نیز ایستگاه‌های مورد بررسی اختلاف معنی داری وجود داشت. مقدار کلروفیل a و b در ایستگاه ۱ تنگ چنار و در زمان گلدهی به نسبت سایر ایستگاه‌های مورد بررسی از مقدار بالاتری برخوردار بود. البته این تفاوت در مرحله بذر دهی در دوایستگاه تنگ چنار و قوام آباد، معنی دار نبود. این موضوع می‌تواند به سبب تشابه در وضعیت اقلیمی و نزدیک بودن شرایط جوی، اقلیمی و محیطی ایستگاه‌ها و مناطق مورد بررسی باشد. بررسی تأثیر تنش خشکی بر مقدار کلروفیل گیاه نشان داد که مقدار کلروفیل در گیاه در دوره تنش خشکی و پس از آن کاهش می‌یابد (۱۸). در مطالعه دیگری که به منظور بررسی کلروفیل به عنوان ابزاری برای شناسایی تنش خشکی در گیاه مورد بررسی قرار گرفت بیان شد که مقدار کلروفیل گیاهان با بروز تنش خشکی تحت تأثیر قرار می گیرد و منجر به کاهش معنادار سطح کلروفیل گیاه می‌شود (۷). همچنین در پژوهش‌های پیشین همبستگی مثبت و معنادار بین مقدار نیتروژن خاک و مقدار کلروفیل a و b بیان شده است به صورتی که با افزایش نیتروژن خاک مقدار کلروفیل در گیاه افزایش می‌یابد (۳۱). شاید نزدیک بودن مقدار کلروفیل در گیاه مریم‌گلی به دلیل یکسان بودن مقدار ازت خاک در رویشگاه‌های مورد بررسی باشد. همچنین در پژوهش حاضر مقدار کلروفیل a از کلروفیل b به مراتب بیشتر بود. مقدار کاهش کلروفیل b در اثر تنش خشکی بیشتر از کلروفیل a می‌باشد. زیرا در اثر تنش خشکی مقدار کمپلکس پروتئینی جذب کننده نور chl a/b موجود در فتوسیستم II به شدت کاهش پیدا می‌کند. بخش کلروفیل b این کمپلکس پروتئینی درون غشاء سبزدیسه (کلروپلاست) قرار دارد (۴). لذا احتمال بروز تنش خشکی در گیاه مریم در دوره رشد تا زمان برداشت محتمل می‌باشد.

پس از بررسی مقدار کاروتنوئید موجود در مریم‌گلی بیابانی، بیشترین مقدار کاروتنوئید در زمان گل دهی مشاهده گردید و اختلاف معناداری بین زمان گل‌دهی و بذردهی از نظر مقدار کاروتنوئید در مریم‌گلی مشاهده گردید. همچنین مقدار کاروتنوئید در رویشگاه تنگ چنار و ایستگاه ۱ در مرحله گلدهی و نیز ایستگاه شماره ۳ دامگاهان در مرحله بذر دهی نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد بررسی بیشتر بود. بررسی ارتباط بین مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان نشان‌داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار کلروفیل، کاروتنوئید و تنش خشکی در گیاهان وجود دارد (۳۲). با در نظر گرفتن مقدار کلروفیل بیشتر در ایستگاه ۱ تنگ‌چنار نسبت به سایر مناطق مورد بررسی، لذا افزایش مقدار کاروتنوئید توجیه‌پذیر است.

مقدار قند محلول در زمان گلدهی و بذردهی، مناطق مورد بررسی و ایستگاه‌های مختلف از نظر آماری یکسان بود که این موضوع نزدیک بودن میانگین قند محلول را در

شرایط‌مختلف را نشان می‌دهد. یکی از عوامل‌تأثیرگذار بر افزایش مقدار قند محلول گیاهان، مقدار پتاسیم خاک می‌باشد به صورتی که همبستگی مثبتی بین مقدار پتاسیم خاک و مقدار قند محلول اندازه‌گیری شده در تحقیقات مختلف بیان شده است (۱۵، ۱۷، ۲۵، ۲۸، ۳۲). از نقش‌های مهم پتاسیم می‌توان به افزایش مقاومت گیاهان در برابر آفات و بیماری‌ها، کم‌آبی، تنش‌های محیطی و بهبود کمی و کیفی، افزایش طول عمر گل‌های بریده و تشدید فتوسنتز اشاره نمود. از طرفی کمبود پتاسیم موجب کاهش گلچه‌ها و همچنین کوتاهی سنبله گل، تاخیر در گلدهی و زردی عمومی در برگ‌های مسن می‌شود (۳۲). پتاسیم به شدت در سنتز و تحرک کربوهیدرات‌ها در گیاهان نقش دارد، همچنین بنظر می‌رسد در ضخیم شدن دیواره سلولی و افزایش مقاومت ساختارهای گیاهی نیز موثر است (۱۵).

مقدار پرولین در زمان گلدهی و بذردهی، مناطق مورد بررسی و ایستگاه‌های مختلف از نظر آماری یکسان نبود و ایستگاه ۳ تنگ‌چنار در زمان‌گل‌دهی و ایستگاه ۱ قوام‌آباد در زمان بذردهی نسبت به دیگر ایستگاه‌های مورد بررسی از مقدار پرولین بیشتری برخوردار بودند. یکی از عوامل تأثیر گذار بر افزایش مقدار پرولین گیاهان، مقدار پتاسیم خاک می‌باشد. نتایج پژوهش‌های محققان دیگر نیز نشان می‌دهد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه از نظر مقدار پتاسیم می‌تواند بر افزایش مقدار پرولین گیاه کمک کند (۸، ۱۲). همچنین انباشت پرولین نقش بسیار موثری در تطابق و سازگاری گیاه با شرایط خشکی دارد (۲۹).

به‌طورکلی زمان‌گلدهی و بذردهی، رویشگاه و ایستگاه‌های مورد بررسی عوامل تأثیرگذاری بر عناصرغذایی مورد بررسی در گیاه مریم‌گلی بودند. گرچه بعضاً در بین ایستگاه‌های سه‌گانه هر منطقه، تغییرات معنی‌دار نبوده و مقادیر عناصر غذایی به هم نزدیک بودند. به بیان دیگر شرایط اقلیمی ایستگاه‌های منتخب در مناطق مورد بررسی از نظر مقدار بارش سالیانه و نیز بافت مرتع و ارتفاع از سطح دریا تقریبا مشابه به هم بوده و این موضوع می‌تواند بر بروز تغییرات اندک در عناصر غذایی گیاه موثر باشد. در تحقیق‌های پیشین نیز بیان شده است که اختلاف در ساختمان خاک تیپ‌های مرتعی و نیز اختلاف از سطح دریا و مقدار بارش بر مقدار عناصرغذایی و شیمیایی تأثیر می‌گذارند (۱۳، ۲۷).

■ References

1. Abdollahi, V., Arzani, H., Chahuki, Z., Movahed Mohammadi, H., Haderbadi, G., & Motamedi, J. (2021). Assessment of the ability of mountain rangelands of Darmiyan in South Khorasan to exploit medicinal plants based on ecological characteristics and relying on indigenous knowledge of exploiters. *Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(1), 30-51. (in Farsi)

2. Armand, N., & Jahantab, E. (2019). Comparing the essential oil composition of Smyrnium cordifolium Boiss. in different natural habitats of Boyer Ahmad County. *Rangeland*, *13*(1), 39-51. (in Farsi)

3. Al-Dhabi, N. A., Ghilan, A. K. M., Esmail, G. A., Arasu, M. V., Duraipandiyan, V., & Ponmurugan, K. (2019). Bioactivity assessment of the Saudi Arabian Marine Streptomyces sp. Al-Dhabi-90, metabolic profiling and its in vitro inhibitory property against multidrug resistant and extended-spectrum beta-lactamase clinical bacterial pathogens. *Infection and Public Health*, *12*(4), 549-556.

4. Alberet R. S., & Thornber J. P. (1977). Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplast of maize. *Plant Physiology*, *59*(3), 351- 353.

5. Alizadeh, A., & Shaabani, M. (2012). Essential oil composition, phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity in *Salvia officinalis* L. Cultivated in Iran. *Advances in Environmental Biology*, *6*(1), 221-226.

6. Amini, Z., & Haddad R. (2014). Role of photosynthetic Pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress. *Molecular and Cellular Researches (Biology)*, *26*(3), 251-265. (in Farsi)

7. Buchanan-Wollaston V. Earl S. Harrison E. Mathas E. Navabpour S. Page T. & Pink D. (2003). The molecular analysis of leaf senescence – a genomics approach. *Plant Biotechnology*, *1*(1), 3-22.

8. Bagheri, A. R. (2010). The effect of drought stress on yield, yield components and ion contents of four wheat cultivars. Plant Ecophysiology, *1*(3), 15-29. (in Farsi)

9. Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare, 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Student. *Plant and Soil, 39,* 205-207.

10. Banks, J. M. (2018). Chlorophyll fluorescence as a tool to identify drought stress in Acer genotypes. *Environmental and experimental botany*, *155*, 118-127.

11. Chalchat, J.C., Michet A., & Pasquier B. (1998). Study of clones of *Salvia officinalis* L. yields andchemical composition of essential oil. *Flavour and Fragrance*, *13*, 68 - 70.

12. Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Plant Nutrition and Soil Science*. *168*, 521 - 530.

13. Derakhshan, F., Abdi, N., Toranjzar, H., & Ahmadi, A. (2021). Simulating Soil Organic Carbon Dynamics under Climate Change Scenarios in an Arid Ecosystem. *Polish Journal of Environmental Studies*, *30*(3), 2063-2072 .

14. Embry J. L., & Nothnagel E. A. (1988). Leaf development and senescence in Panicum miliaceun L., a cereal with a short seed-to-seed cycle. *Plant Science*, *55*(2), 129-136.

15. Elumalai, R. P., Nagpal, P., & J.W. Reed. (2002). A mutation in the Arabidopsis KT2/KUP2 potassium transporter gene affects shoot cell expansion. *Plant Cell*, *14*(1), 119-131.

16. Gitelson, A. (2020). Towards a generic approach to remote non-invasive estimation of foliar carotenoid-to-chlorophyll ratio. *Plant Physiology*, *252*, 153227.

17. Hartt, C. E. (1934). Some effects of potassium upon the growth of sugar cane and upon the absorption and migration of grown in hydroponic nutrient solution. *Agricultural Science. 4*(3), 93-99.

18. HANCI, F., & CEBECİ, E. (2014). Investigation of proline, chlorophyll and carotenoids changes under drought stress in some onion (Allium cepa L.) cultivars. *Turk Tarım ve Doga Bilimleri Dergisi*, *1*(Ozel Sayı-2), 1499-1504.

19. Hedge IC. Labiatae in: Rechinger KH. (1986). Flora Iranica, Labiatae. Akademische Druck-u Verlagsanstalt. Austria, 403– 480.

20. https://www.yazdmet.ir/

21. Kianmehr, H. (2014). *Medicinal plants of Iran*, second edition, Tehran, Ayizh publication. (in Farsi)

22. Kukavica B., & Jovanovic S. V. (2004). Senescence-related changes in the antioxidant status of ginkgo and birch leaves during autumn yellowing. *Physiologia Plantarum*. *122*(3), 321- 327.

23. Kochert, G. (1987). *Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method*. Cambridge, Cambridge University Press.

24. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Method Enzyme*, *148*, 350- 382.

25. Marschner, H. (1995). *Functions of mineral nutrients: macronutrients*. *Mineral Nutrition of Higher Plants* (Second Edition). London, Academic Press.

26. Mozaffarian, V., & Barzegari, Gh. (2000). *Flora of Yazd Province*, Yazd, Yazd Publication (in Farsi).

27. Saeidnia S, Gohari, A.R., Malmir, M., Moradi-Afrapoli, F., & Ajani, Y. (2011). Tryptophan and Sterols from *Salvia limbata*. *Medicinal Plants*, *10*(37), 41-47 .

28. Shabala, S. (2003). Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. *Annals of Botany*, *92*(5), 627-634.

29. Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Translated by: Kafi, M., Zand, E., Kamkar, B., Mahdavi-Damghani, A. & Abbasi, F. (2010). *Plant physiology 2*. Mashhad, Jihad-e- Daneshgahi press.

30. Tjhia, B., Aziz, S. A., & Suketi, K. (2018). Correlations between Leaf Nitrogen, Phosphorus and Potassium and Leaf Chlorophyll, Anthocyanins and Carotenoids Content at Vegetative and Generative Stage of Bitter Leaf (Vernonia amygealina Del.). *Tropical Crop Science, 5*(1), 25-33.

31. Zarei, Gh., & Morovvati Sharifabad, A. (2017). Essential Oil Composition of *salvia eremophila* Boiss. In Different Stages of Plant Growth oin Yazd Province. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *4*(4), 74 – 84. (in Farsi).

32. Zepeda-Jazo, I., Shabala, S., Chen, Z., & Pottosin, I. I. (2008). Na (+) -K (+) transport in roots under salt stress. *Plant Signaling & Behavior*, *3*(1), 401-403.

Original Article, Vol. 10, No. 1, Spring, 2022, pp 77-98

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Temporal and Spatial Monitoring and Forecasting of Suspended Dust Using Google Earth Engine and Remote Sensing Data (Case Study: Qazvin Province)

M. Mansourmoghaddam[1], N. Naghipur[2], I. Rousta[3*], H.R. Ghaffarian[3]

1. Master of Remote Sensing, Department of Geography, Campus of Humanities and Social Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.
2. M. Sc. Student, Department of Geography, Campus of Humanities and Social Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Geography, Campus of Humanities and Social Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.

* Corresponding Author: irousta@yazd.ac.ir

Received date: 02/02/2022 **Accepted date: 23/03/2022**

doi 10.22034/JDMAL.2022.548083.1372

Abstract

Dust, the main pillar of air pollution, has always been an important subject of study on several levels. Over the last few years, it has become increasingly concentrated in various regions. The present study, which uses Google Earth engine system and MODIS satellite data with 8-day temporal resolution and spatial resolution of 1km and 250m, as well as statistical methods such as correlation and averaging of Triple Exponential Smoothing (TES), to monitor and predict spatial and temporal changes of airborne dust in Qazvin province. For this purpose, using Aerosol Optical Depth Index (AOD) images, Optimal Vegetation Index (EVI) and Modis Heat Island (HI) change index, and preparing their temporal and spatial monitoring maps during the statistical period 2015-2020 and predict to 2030, the relationship between these factors was examined. The results of the present study showed an increase in the quantity of airborne dust in Qazvin province from 0.461 in 2015 to 0.603 in 2017. his rate was then reduced by 0.493 in 2018 and by 0.575 in 2019. The quantity of airborne dust, then fell slightly to 0.5366 in 2020. The results showed a negative relationship between precipitation, relative humidity and vegetation, and a positive relationship between wind speed, freezing days, temperature, variations in temperature islands and hours of sunshine with AOD. The present study also examined changes in airborne dust concentrations in two high- and low-risk classes, and predicted a high-risk class for 2030. This finding is helping policymakers and planners reduce dust pollution in cities through vegetation management and reduce the heat islands, as well as implement climate programs to manage precipitation and moisture in cities.

Keywords: AOD index; EVI index; HI; MODIS; Triple Exponential Smoothing

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۷۷ تا ۹۸

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

پایش و پیش‌بینی زمانی و مکانی گردوغبار معلق در جو در استان قزوین با استفاده از سامانهٔ گوگل‌ارث‌انجین

محمد منصورمقدم[۱]، نگار نقی‌پور[۲]، ایمان روستا[۳*]، حمیدرضا غفاریان[۳]

۱. کارشناس ارشد سنجش‌ازدور، گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۳. استادیار، گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: irousta@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۰۳**

doi 10.22034/JDMAL.2022.548083.1372

چکیده

گردوغبار به‌عنوان مهمترین رکن آلودگی هوا است که در سال‌های اخیر غلظت آن در مناطق مختلف افزایش یافته است. پژوهش حاضر، با استفاده از سامانهٔ گوگل ارث انجین و داده‌های ماهواره‌ای مودیس با قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه و قدرت تفکیک مکانی 1km و 250m و همچنین روش‌های آماری از جمله همبستگی و هموارسازی نمایی سه‌گانه، به پایش و پیش‌بینی تغییرات مکانی و زمانی گردوغبار معلق در جو استان قزوین پرداخت. بدین منظور، با استفاده از تصاویر شاخص عمق اپتیکی آئروسل (AOD)، شاخص بهینه پوشش گیاهی (EVI) و شاخص تغییرات جزیره حرارتی (HI) مودیس و تهیه نقشه‌های پایش زمانی و مکانی آنها در طول دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۹۹ و پیش‌بینی روند آن تا ۱۴۰۹، ارتباط این عوامل با یکدیگر بررسی شد. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده افزایش میزان گردوغبار معلق در جو در استان قزوین از ۰/۴۶۱ در سال ۱۳۹۴ به ۰/۶۰۳ در سال ۱۳۹۶ بود. این میزان، سپس در یک روند کاهشی به ۰/۴۹۳ در سال ۱۳۹۷ رسیده بود که مجدداً به ۰/۵۷۵ در سال ۱۳۹۸ افزایش یافت. میزان گردوغبار معلق در جو سپس با کاهشی اندک به ۰/۵۳۶ در سال ۱۳۹۹ رسید. نتایج بیانگر ارتباط منفی بارندگی، رطوبت نسبی و پوشش گیاهی و ارتباط مثبت سرعت باد، تعداد روزهای یخبندان، دما، تغییرات جزیره حرارتی و ساعات آفتابی با مقادیر AOD بود. پژوهش حاضر با بررسی تغییرات غلظت گردوغبار معلق در جو در دو کلاس پرخطر و کم‌خطر و پیش‌بینی آن، افزایش کلاس پرخطر برای این استان را برای سال ۱۴۰۹ پیش‌بینی کرد. نتایج پژوهش حاضر به تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا با مدیریت پوشش گیاهی و برنامه‌ریزی در جهت کاهش جزایر حرارتی شهرها و همچنین برنامه‌های مدیریت بارش و رطوبت سطح شهرها به کاهش آلودگی‌های ناشی از گردوغبار معلق در جو در شهرها کمک کنند.

واژگان کلیدی: شاخص عمق اپتیکی آئروسول؛ پوشش گیاهی بهبود یافته؛ جزیره حرارتی؛ مودیس؛ هموارسازی نمایی سه‌گانه

■ مقدمه

ذرات آئروسل[1] گردوغباری، فراوان‌ترین نوع ذرات معلق جو درکره زمین است (۱۷) و مهم‌ترین رکن آلودگی هوا و پدیده وارونگی هوا می‌باشد؛ به‌طوری که تقریباً ۳۰٪ از کل آلودگی‌های هوا را شامل می‌شود (۱۴). در حال حاضر چالش‌های بسیاری برای رفع این مشکل توسط بشریت مورد بحث قرار گرفته و پژوهش‌های فراوانی پیرامون این موضوع انجام شده است. گردوغبار[2] که در هواشناسی عبارت است از ذرات بسیار کوچک، جامد وسبک سیلتی و رسی یا ماسه‌ای بسیار ریز که در اثر فرسایش بادی و بیابان‌زایی توسط باد در اتمسفر زمین وارد می‌شوند وتا مسافت بسیار طولانی انتقال می‌یابند و دید افقی را بین ۱km تا ۲km و یا کمتر محدود می‌کنند (۱۳). امروزه برای بررسی پدیده گردوغبار و منشأ آن سه روش وجود دارد که عبارتند از تحلیل آمار فراوانی، مدل‌های شبیه سازی و سنجش‌ازدور (۵۱). گردوغبار امروزه به یکی از اصلی‌ترین معضل‌های آلودگی هوا و محیط‌زیستی به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه تبدیل شده است (۴۴). این پدیده اغلب موجب کاهش دید به کمتر از ۱ کیلومتر می‌شود و در شدیدترین حال غلظت ذرات معلق در هوا می‌تواند به بیش از ۶۰۰۰mg/m^3 در هوا برسد (۷).

پایش مکانی و زمانی گردوغبار همچنین می‌تواند به پیش‌بینی روند آنچه در زمان و چه در مکان خاص منجر شده تا بتوان بهترین تصمیم را قبل از رسیدن به وضعیت بحرانی گرفت. شاخص اندازه‌گیری شاخص عمق اپتیک آئروسول (AOD[3]) سنجنده مودیس[4]، حساس به هر دو آئروسول‌های جاذب و غیر جاذب (UV[5]) است. سنجنده‌های مودیس بر روی ماهواره ترا[6] در ۱۹۹۹ و بر روی ماهواره آکوا[7] در ۲۰۰۲ نصب و راه‌اندازی شده‌اند.

سامانه گوگل ارث انجین[8] طی سال‌های اخیر طرفداران زیادی بین پژوهشگران برای دریافت اطلاعات و داده برای بررسی موضوع‌های مختلف در زمینه‌های اقلیمی آب و هواشناسی و به‌طور کلی سنجش‌ازدور پیدا کرده است. این سامانه به‌دلیل سرعت پردازش داده باعث کاهش زمان پردازش داده به‌صورت دستی و همچنین به‌علت به روز بودن اطلاعات باعث دقیق بودن اطلاعات دریافتی از این سامانه می‌شود. استفاده از این سامانه باعث صرفه جویی در زمان و هزینه و نیروی انسانی می‌شود و از طرفی اطلاعات جامعی را در اختیار کاربر قرار داده که افزایش دسترسی فراگیر مشاهده زمین در این مقیاس قبلاً غیرقابل تصور بوده است (۳۲).

تعدادی از ویژگی‌های گردوغبار با توجه به تأثیرات آن می‌تواند هر دو جنبه فیزیکی شیمیایی را بر روی پوشش گیاهی داشته باشد ریزش گردوغبار روی گیاهان ممکن است برگ‌ها را از نظر فیزیکی خفه کند (۲۲). بنابراین، چیزی که اهمیت دارد، سطح مطلق رسوب است که تحت تأثیر گردوغبار، نرخ انتشار و شرایط سطح برگ می‌باشد. همچنین می‌تواند از نظر فیزیکی روزنه‌ها را مسدود کند. این امر موجب کند شدن روند رشد گیاه و یا آسیب رساندن به آن و تشدید خشکسالی در درازمدت می‌گردد (۱۰). پدیده گردوغبار ارتباط نزدیکی با شرایط اقلیمی محلی مثل بارندگی، دما و رطوب نسبی همچنین ویژگی‌های سطح زمین مثل پوشش گیاهی، پوشش برف روی سطح زمین و بافت خاک دارد. در این راستا مطالعات مختلف حاکی از تأثیر و ارتباط پارامترهای مختلف اعم از اقلیمی، هواشناسی، زمین شناسی و حتی انسانی در وقوع این پدیده دارند. افزایش بارش و افزایش رطوبت نسبی با پدیده گردوغبار همبستگی منفی داشته و با افزایش یکی دیگری کاهش میابد (۲۴، ۳۹). دمای هوا به‌عنوان یک معیارکلیدی بر میزان گردوغبار به‌صورت مستقیم و یا غیر مستقیم در ارتباط می‌باشد. افزایش دما می‌تواند به دو صورت بر افزایش میزان غلظت گردوغبار تأثیر بگذارد؛ نخست آنکه می‌تواند با کاهش بارندگی و از بین بردن رطوبت خاک باعث افزایش آن شود و دیگر اینکه با تأثیر بر پوشش گیاهی و از بین بردن آن باعث افزایش مقدار گردوغبار شود (۲۷، ۴۲).

[1] Aerosol
[2] Dust
[3] Aerosol Optical Depth
[4] MODIS
[5] Ultraviolet
[6] Teraa
[7] Aqua
[8] Google Earth Engine

گردوغبار به‌عنوان اصلی‌ترین رکن در آلودگی هوا همواره مورد توجه پژوهشگران بوده و داده‌های مودیس در پایش گردوغبار و آلودگی هوا کاربردهای زیادی دارد (۱۲). امروزه به‌دلیل افزایش آلودگی هوا این موضوع بیش از پیش در حال گسترش و بررسی در سطوح مختلف آلودگی مورد بررسی قرار می‌گیرد (۳۸). یک پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی و ارتباط با متغیرهای هواشناسی با شاخص AOD در صحرای تیکله‌مکان[1] چین به بررسی تغییرات آلودگی و رابطه آن با متغیرهای هواشناسی با استفاده از تصاویر مودیس و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ پرداخت. در این پژوهش، به‌منظور بررسی روابط بین ذرات معلق در هوا و عوامل هواشناسی، یک مدل جنگل تصادفی همراه با متغیرهای محیطی برای پیش‌بینی AOD استفاده شد. بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین ماهانه AOD در آوریل به حداکثر خود رسیده و مقادیر AOD در بهار بیشتر از تابستان و در پاییز بیشتر از زمستان بود. که این فصلی بودن می‌تواند مربوط به طوفان های شن مکرر در بهار و اوایل تابستان باشد. این پژوهش همچنین نشان داد مقادیر AOD یک روند افزایشی تدریجی را تا سال ۲۰۱۰ و سپس تغییرات بزرگی را تا سال ۲۰۱۵ ثبت کرده و مقدار آن تمایل به افزایش از جنوب به شمال دارد. این پژوهش اثبات کرد که شاخص اقلیمی که بیشترین تأثیر را بر AOD دارد، رطوبت نسبی است (۲۰).

بررسی دیگری روند AOD را در منطقه مدیترانه شرقی و خاورمیانه (EMME[2]) با استفاده از داده‌های MERRA-2[3] و مودیس بررسی کرد. در این پژوهش یک روند صعودی قابل توجه AOD در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ و یک روند نزولی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ نشان داده شده است. این پژوهش نشان داد که گردوغبار بادی عامل اصلی تغییرات AOD بوده و تغییرات زمستانی آن به عوامل هواشناسی در منطقه EMME مربوط می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، در دوره زمانی اولیه کاهش قابل توجه فشار سطح دریا باعث وزش بادهای خشک و گرم جنوب شرقی از مناطق بیابانی در خاورمیانه به سمت EMME شد که باعث افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی شد و در نتیجه تبخیر و تبخیر را افزایش داد. در مقابل، خشک شدن خاک در دوره پایانی، افزایش قابل توجه فشار سطح دریا، همراه با افزایش شاخص نوسان اقیانوس اطلس شمالی، موجب بادهای شمال غربی از عرض های جغرافیایی بالاتر شد که دلیل عمده کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی بود. این پژوهش با اثبات کاهش تجمع گردوغبار در EMME، به‌ویژه، در عراق و مصر نشان داد که تا چه حد روندهای AOD در منطقه EMME با تغییر شرایط آب و هوایی هواشناسی کنترل می‌شود (۴۱). پژوهشی دیگر، به بررسی و پایش تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق موجود در جو که گردوغبار نیز بخش عمده‌ای از ذرات معلق است پرداخت. در این مطالعه از AOD مودیس طی دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ جهت پایش و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی غلظت آئروسل‌ها در نواحی جنوب شرق ایران استفاده شد. تغییرات زمانی AOD در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه، بر اساس آزمون روند من-کندال[4] تعیین شد و نتایج بیانگر وجود ارتباط قوی و معنی‌دار بین AOD و غلظت ذرات معلق (PM10) در سطح اطمینان ۹۵٪ آماری است. لذا این پژوهش اثبات کرد داده‌های AOD از دقت قابل قبولی برای بررسی و تحلیل تغییرات ذرات معلق جو در منطقه مطالعاتی برخوردار هستند. همچنین نشان داد که توزیع مکانی AOD در سطح منطقه مطالعاتی طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ نشان داد نواحی غربی و مرکزی، کمترین میزان AOD را به خود اختصاص داده و نواحی شمال شرقی، شرق و جنوبی تحت تأثیر غلظت بالاتری از AOD قرار گرفته‌اند (۳۰). ارتباط منفی بین پوشش گیاهی (۳، ۳۴) و جزایر حرارتی (۵۲) با مقادیر AOD نیز پیشتر در پژوهش‌های متعدد به اثبات رسیده است.

استان قزوین به‌دلیل وجود کارخانجات صنعتی و نیروگاه شهید رجایی و کارخانه سیمان و همچنین قرارگیری در مرز استان‌های تهران و البرز (۲۸) و نیز موقعیت قرارگیری و وجود بادهای فصلی و طوفان‌های شن و ماسه استان‌های

---

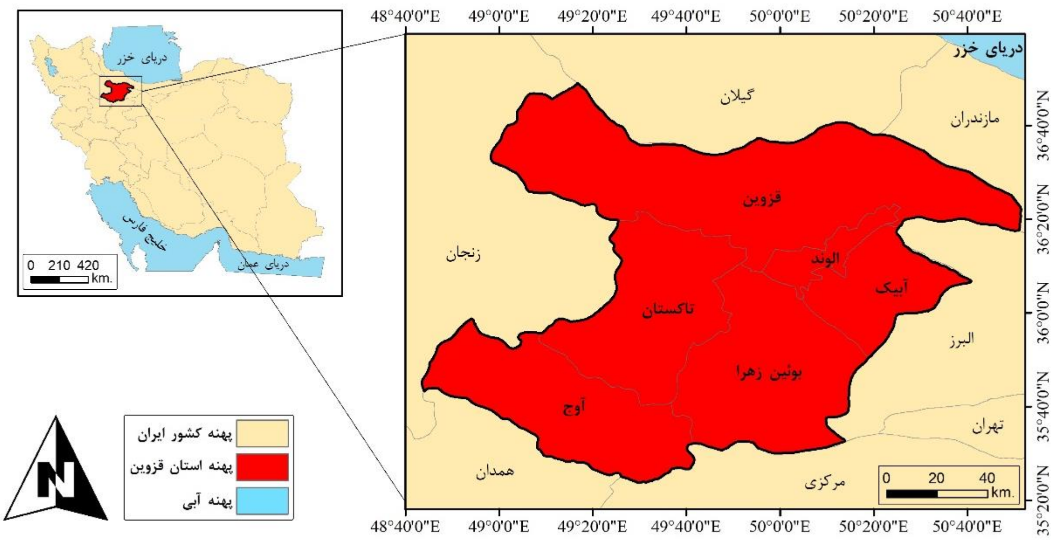
[1] Taklamakan
[2] Eastern Mediterranean and the Middle East
[3] Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications
[4] Mann-Kendall

مرکزی و جنوبی ایران (۳۱) که جهت آن به سمت استان قزوین است، در سال‌های اخیر شاهد آلودگی هوا در قسمت‌های مختلف استان به‌ویژه شهرستان آبیک و قزوین بوده است. همچنین در سنوات اخیر به‌دلیل ایجاد پدیده وارونگی هوا ذرات ریز و معلق در آسمان قزوین شرایط آلودگی را به حد بحرانی رسانیده است (۴۷). پژوهش حاضر با هدف بررسی روند زمانی و مکانی گردوغبار معلق در جو در استان قزوین با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین و داده‌های ماهواره‌ای مودیس با شاخص AOD در ارتباط با شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته EVI[1] مودیس، تغییرات جزایر حرارتی شهری مودیس و معیارهای اقلیمی این استان انجام شد. با توجه به اینکه پژوهش‌های پیشین (۲، ۲۹) وضعیت گردوغبار این منطقه را برای سال‌های ۲۰۰۰ (۱۳۷۹) تا ۲۰۱۴ (۱۳۹۳) و با استفاده از داده‌های سینوپتیک بررسی کرده‌اند، پژوهش حاضر، پایش گردوغبار معلق در جو را در طول دوره آماری ۶ ساله از ۱۳۹۴ تا سال ۱۳۹۹ و با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور انجام داد. علاوه بر آنکه غلظت گردوغبار معلق در جو برای استان قزوین در دو کلاس پرخطر بالای ۰/۵ و کم‌خطر زیر ۰/۵ (۱) تا سال ۱۴۰۹ با استفاده از الگوریتم هموارسازی نمایی سه‌گانه (TES[2]) مورد بررسی و پیش‌بینی قرار گرفت. ایندریانی[3] و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی، دقت الگوریتم TES در پیش‌بینی دمای هوا را با خطای ۲٪ به اثبات رسانده‌اند.

■ مواد و روش

محدوده مورد بررسی

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۶۲۳km^2، برابر با ۱٪ از ایران، در حوزه مرکزی ایران بین '۴۴ °۴۸ تا '۵۱ °۵۰ و طول شرقی '۲۴ °۳۵ تا '۴۸ °۳۶ عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد (شکل ۱). قزوین در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده که به‌دلیل داشتن ارتفاعات متعدد و بارندگی‌های متوسط از نقاط معتدل کشور به‌شمار می‌آید. مرتفع‌ترین کوه‌های استان، سیاهلان، کی جکین، سفید کوه و سیاه کوه است که حداکثر ارتفاع و کوه‌های شمالی سیاهلان ۴۱۷۵m از سطح دریا می‌باشد. محدوده‌ی مرکزی و شرق استان را دشت تشکیل می‌دهد که شیب آن از شمال غرب به جنوب شرق امتداد دارد و در پائین‌ترین نقطه ۱۱۳۰m است. حداقل ارتفاع آن در شمال غربی و در بخش طارم سفلی و کناره‌های دریاچه سفید رود با ارتفاع ۳۰۰m از سطح دریا است (۳۷). میانگین بارش سالیانه در این استان، ۲۸۴/۶mm، میانگین سرعت باد سالیانه در این استان، ۷km/h و میانگین دمای سالیانه هوای این استان نیز ۱۴°C می‌باشد (۶).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان قزوین

---

[1] Enhanced Vegetation Index
[2] Triple Exponential Smoothing
[3] Indriani

داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر، از داده‌های ماهواره مودیس، که پژوهش‌های پیشین، دقت تصاویر AOD آن را، به‌منظور پایش گردوغبار را به اثبات رسانده‌اند (۳۰)، برای پایش وضعیت گردوغبار معلق در جو و پوشش گیاهی استان قزوین استفاده شده است. به‌منظور پایش گردوغبار معلق در جو، شاخص AOD و به‌منظور تحلیل روند تغییرات آن، از شاخص EVI و HI[1] نیز استفاده شد. کلیه این تصاویر توسط سامانه گوگل‌ارث‌انجین استخراج شدند که ویژگی‌های آن در جدول ۱ ارائه شده است. پیکسل‌سایز داده‌های مورد استفاده، پیش از هرگونه تحلیل، از نظر ریاضی هم اندازه شده و در مناطقی که بر اثر اختلاف پیکسل‌سایز، کلیه محصول‌ها دارای داده یکنواخت نبودند، به‌منظور حفظ صحت تحلیل و خروجی‌های آماری، حذف شدند و صرفاً مناطق دارای داده در همه محصول‌ها مورد تحلیل قرار گرفتند.

محصول عمق اپتیکی آئروسل (AOD)

AOD، شاخص مهمی برای بررسی گردوغبار است و به توزیع آئروسول‌های گردوغبار موجود در جو (۱) و اندازه جرم ذرات معلق در یک ستون اتمسفر اشاره دارد (۵، ۴۸)، که تحت‌سلطه منابع انتشار نزدیک به‌سطح است (۱۵) و بنابراین مقادیر این محصول، بیانگر ذرات معلق در جو (فارغ از منشأ و مسیر حرکت) می‌باشد؛ به همین جهت در پژوهش حاضر از اصطلاح "ذرات معلق در جو" استفاده شد. AOD، شاخصی بدون واحد و بین صفر و است که از ۰/۱ تا ۰/۵ نشانه صافی هوا و بیشتر از آن نشانه غبار آلود بودن آن است (۱). به‌منظور محاسبه این شاخص برای استان قزوین، از محصول آماده MCD19A2 ورژن ۶ سنجنده مودیس ماهواره ترا بهره‌گیری شد. این محصول ویژگی‌های هندسی اتمسفر را نشان می‌دهد (۲۳). بدین منظور، تصاویر AOD روزانه محصول یاد شده برای کل استان قزوین و در سامانه گوگل ارث انجین فراخوانی شد. سپس این تصاویر ابتدا به‌صورت میانگین ماهیانه و سپس به‌صورت میانگین سالیانه محاسبه شدند.

خوارزمیک هموارسازی نمایی سه‌گانه (Triple Exponential Smoothing)

خوارزمیک (الگوریتم) TES، روشی مستقیم برای هموارسازی داده‌های سری زمانی است. این خوارزمیک، در طول زمان وزن کاهشی را به‌صورت نمایی به داده‌ها منتسب می‌کند (۱۱). پژوهش حاضر به‌منظور پیش‌بینی تغییر مساحت کلاس‌های گردوغبار معلق در جو در استان قزوین، از خوارزمیک TES استفاده نموده است. به‌منظور هموارسازی داده‌های سری زمانی و حذف داده‌های فرکانس بالا، این خوارزمیک سه مرتبه بر روی داده‌ها اعمال گشت (۱۸). بدین منظور، دنباله‌ای از داده‌های سری زمانی پژوهش به‌عنوان KT خوارزمیک در نظر گرفته شد. سپس چرخه تغییر فصلی L، مطابق با دوره زمانی مورد پیش‌بینی پژوهش که ۲ ساله است تنظیم شده و فرایند پیش‌بینی از T=0 آغاز شد. بدین ترتیب، خوارزمیک TES با استفاده از داده‌های سری زمانی موجود در زمان T که به‌عنوان ورودی KT قرار گرفت و محاسبه خط روند داده‌ها، بهینه‌ترین برآورد داده زمانی آینده را در زمان T+1- یعنی مقدار هموار شده را به‌عنوان خروجی، مشخص نمود. خروجی نهایی، برآورد پیش‌بینی شده‌ای برای مقدار K، بر اساس داده‌های قبل و تا از زمان T یعنی در زمان T+M بود که در آن، الزاماً M بزرگتر از صفر قرار داشت (۸). به‌منظور ارزیابی دقت خوارزمیک، مساحت کلاس‌های معلوم در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ توسط داده‌های سری‌زمانی سال‌های قبل، پیش‌بینی شده و نتایج توسط معیار آماری خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[2]) ارزیابی شد.

معیارهای اقلیمی

به‌منظور بررسی معیارهای اقلیمی از جمله میانگین دما، بیشینه سرعت وزش باد، تعداد ساعات آفتابی، تعداد روزهای یخبندان، رطوبت نسبی و بارندگی روزانه و ماهیانه مرتبط با استان قزوین و شهرستان‌های آن، سالنامه‌های آماری موجود، یعنی ۱۳۹۴، ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ از درگاه ملی آمار استخراج و مورد بهره‌برداری قرار گرفت (۴۳).

[1] Heat Islands

[2] Root Mean Square Error

جدول ۱. میانگین غلظت گردوغبار معلق در جو استان قزوین در طول دوره آماری

شاخص	سنجنده-ماهواره	محصول	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی (روز)
AOD		MCD19A2	۱km	۱
EVI	مودیس-ترا	MOD13Q1	۲۵۰m	۱۶
تغییرات HI		MOD11A2	۱km	۸

شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI)

به‌منظور ارزیابی شرایط پوشش گیاهی استان قزوین، در پژوهش حاضر از محصول آماده شاخص EVI مودیس برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ استفاده شد که این شاخص ضمن نمایش مناسب تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی منطقه، اثرات زمینه خاک و گردوغبار روی پوشش گیاهی را نیز می‌کاهد (۳۵). این محصول از تصاویر MOD13Q1 مودیس ماهواره ترا با دوره بازدید ۱۶ روزه استخراج شد که معیار برداشت این تصاویر، میزان ابر کم، میزان زاویه دید کم و بالاترین مقدار این شاخص در پیکسل می‌باشد (۹). این تصاویر از وب سایت USGS ناسا دریافت شده و پس از اعمال عامل مقیاس[1] ۰.۰۰۰۱ بر روی هر تصویر، مقدار EVI برای هر پیکسل به‌دست آمده و به‌صورت خروجی میانگین سالیانه محاسبه شد.

جزیره گرمایی (HI)

به‌منظور پایش تغییرات جزیره حرارتی استان قزوین در پژوهش حاضر، تصاویر دمای سطح زمین شب، محصول MOD11A2 ورژن ۶ مودیس ماهواره ترا برای هر دوره ۱۶ روزه در سامانه گوگل ارث انجین فراخوانی شد. دو دوره تصویر ۸ روزه این محصول، دقیقاً برابر با محصول‌های دوره‌های ۱۶ روزه می‌باشد (۴۹) که از این نظر با تصاویر EVI استفاده شده نیز مطابقت داشت. بدین ترتیب پس از اخذ تصاویر دمای سطح زمین شب برای هر پیکسل، با استفاده از دستور رگرسیون خطی linear fit، لایه اطلاعاتی تغییرات دمایی برای هر پیکسل نیز در طول زمان محاسبه شد. به‌منظور تحلیل تغییرات جزیره حرارتی استان قزوین نیز از خروجی Scale که بیانگر شدت تغییرات جزیره حرارتی بود استفاده شد.

■ نتایج

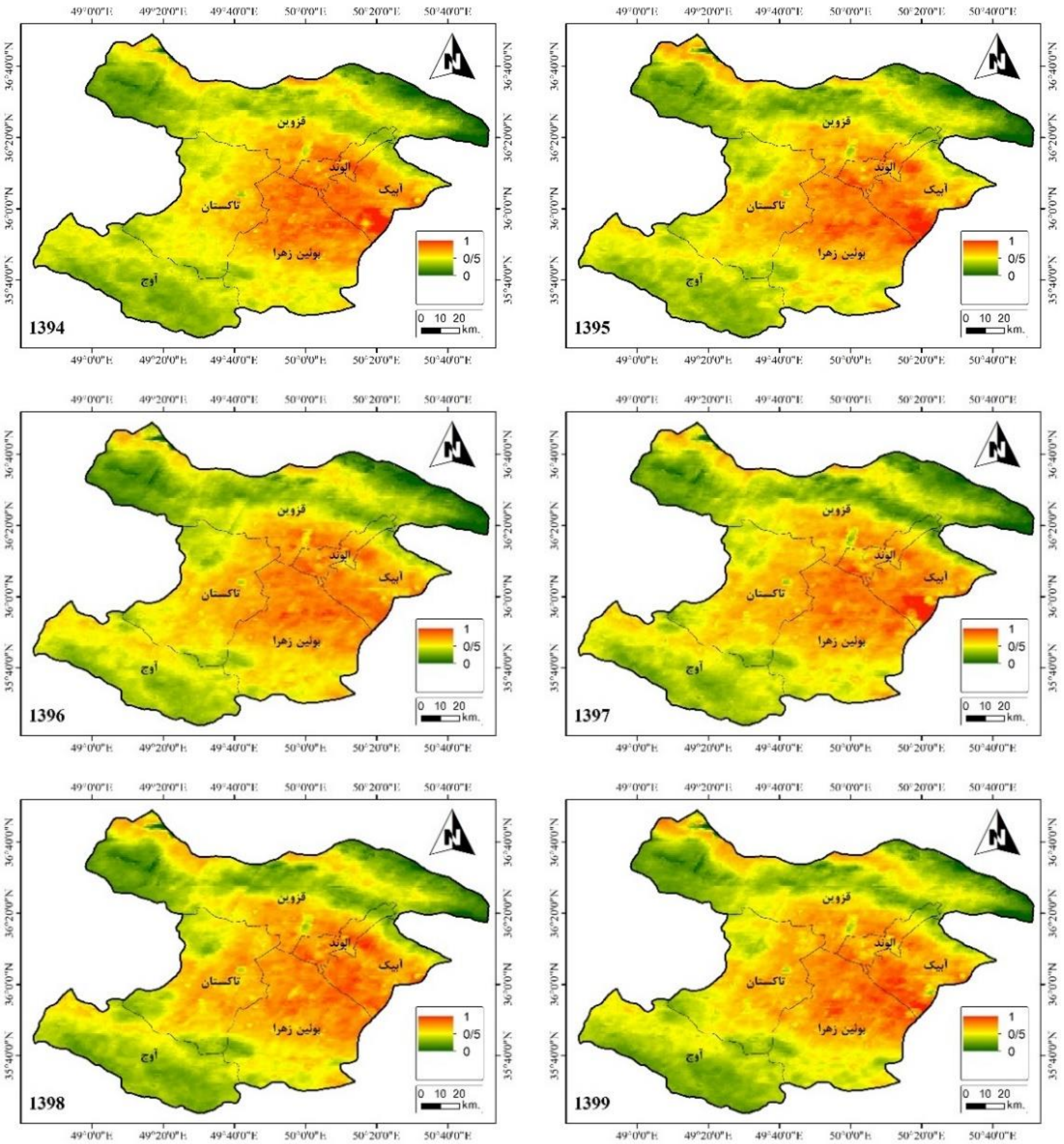
نتایج پایش گردوغبار معلق در جو با استفاده از شاخص AOD

با استفاده از شاخص AOD، لایه اطلاعاتی و آمار تغییرات غلظت گردوغبار معلق در جو برای استان قزوین طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ به‌دست آمد (شکل ۲). بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده، روند غلظت گردوغبار معلق در جو در استان قزوین طی سه سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ افزایشی بوده و از ۰/۴۶۱ در سال ۱۳۹۴ به ۰/۵۴۲ در سال ۱۳۹۵ و ۰/۶۰۳ در سال ۱۳۹۶ رسیده است. میزان غلظت گردوغبار معلق در جو سپس در یک روند کاهشی، به ۰/۴۹۳ در سال ۱۳۹۷ رسیده و سپس مجدداً با افزایش به ۰/۵۷۵ در سال ۱۳۹۸ و کاهش اندک به ۰/۵۳۶ در سال ۱۳۹۹ تغییر یافته است.

تغییر غلظت گردوغبار معلق در جو به تفکیک شهرستان‌های قزوین (شکل ۳) بیانگر آن است که بیشترین مقدار تغییر غلظت گردوغبار معلق در جو استان قزوین در سال ۱۳۹۶ (مقدار ۰/۷) بوده است که این مقدار برای شهرستان‌های آبیک، الوند، بوئین‌زهرا و تاکستان، ۰/۷، برای شهرستان‌های آوج و قزوین، ۰/۵ بوده است (جدول ۲).

میانگین مقادیر AOD در طول دوره آماری ۶ ساله (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹) برای استان قزوین در شکل ۴ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، از مجموع ۳۵۷۱۳۰km^2 مساحت مورد بررسی در استان قزوین، ۲۲۷۲۳۸km^2 در سال ۱۳۹۴ در کلاس کم‌خطر و ۱۲۹۸۹۲km^2 در طبقه پر خطر غلظت گردوغبار معلق در جو قرار داشتند.

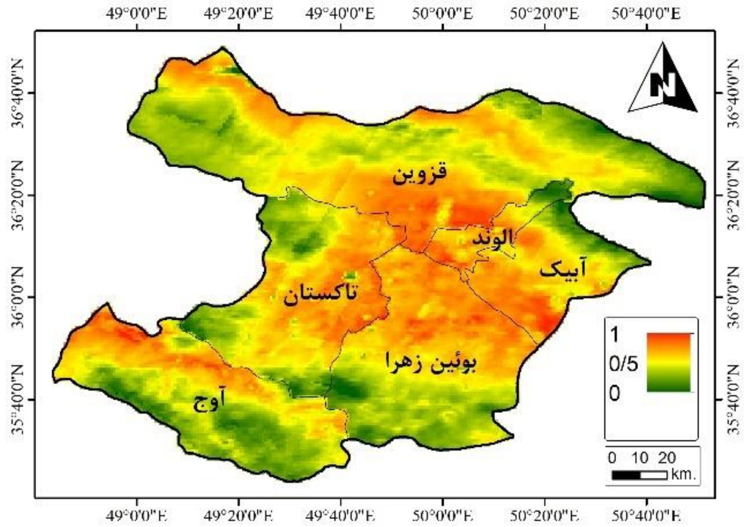
---
[1] Scale Factor



شکل ۲. تغییرات غلظت گردوغبار معلق در جو برای سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ استان قزوین

جدول ۲. تغییرات میانگین مقادیر شاخص AOD برای دوره مطالعه ۶ ساله استان قزوین، به تفکیک شهرستان

شهرستان / سال	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
آبیک	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۷
آوج	۰/۴	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۴
الوند	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۶
بوئین‌زهرا	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۶
تاکستان	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۶
قزوین	۰/۴	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۵
میانگین	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۶

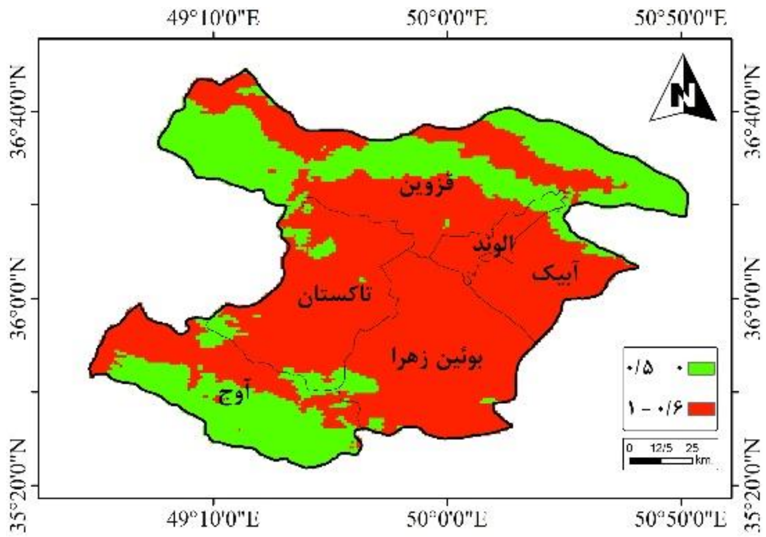


شکل ۳. نقشه تغییرات غلظت گردوغبار معلق در جو برای شهرستان‌های استان قزوین در طول دوره ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹

بر اساس نتایج به‌دست آمده، از مجموع ۳۵۷۱۳۰km^2 مساحت مورد بررسی در استان قزوین، ۲۲۷۲۳۸km^2 در سال ۱۳۹۴ در کلاس کم‌خطر و ۱۲۹۸۹۲km^2 در طبقه پر خطر غلظت گردوغبار معلق در جو قرار داشتند. طبقه کم‌خطر تنها دو بار در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹ روند افزایشی داشته و در بقیه‌سال‌ها کاهشی بوده است. در طبقه پرخطر نیز تنها در همین دو سال روند کاهشی مشاهده می‌شود و در بقیهٔ سال‌ها نسبت به سال قبل افزایشی بوده است (جدول ۳).

جدول ۳. مساحت طبقه‌های کم خطر (الف) و پرخطر (ب) گردوغبار معلق در جو استان قزوین درطول دوره مورد بررسی (km^2)

طبقه	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
الف	۲۲۷۲۳۸	۱۴۴۵۷۶	۹۲۲۷۲	۱۸۰۴۴۲	۱۳۰۸۷۰	۱۵۱۲۷۰
ب	۱۲۹۸۹۲	۲۱۲۵۵۴	۲۶۴۸۵۸	۱۷۶۶۸۸	۲۲۶۲۶۰	۲۰۵۸۶۰



شکل ۴. میانگین مقادیر AOD در طول دوره آماری برای استان قزوین در دو طبقه پرخطر و کم خطر

نقشه تغییرات AOD برای استان قزوین طی دوره مطالعاتی (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹) در شکل ۵ نمایش داده شده است. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که در طول دوره آماری، شهرستان الوند با انحراف معیار ۶، بیشترین تغییرات گردوغبار معلق در جو را تجربه کرده است. پس از آن، شهرستان‌های آبیک، قزوین، بوئین‌زهرا و تاکستان به‌ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم تغییر قرار گرفتند که بوئین‌زهرا با انحراف‌معیار ۴، نسبت به تاکستان، کمی تغییرات بیشتری را تجربه کرده است. تغییرات در شهرستان آوج نیز با انحراف معیار کمتر از ۱، از تمامی شهرستان‌ها کمتر بوده است (جدول ۴).

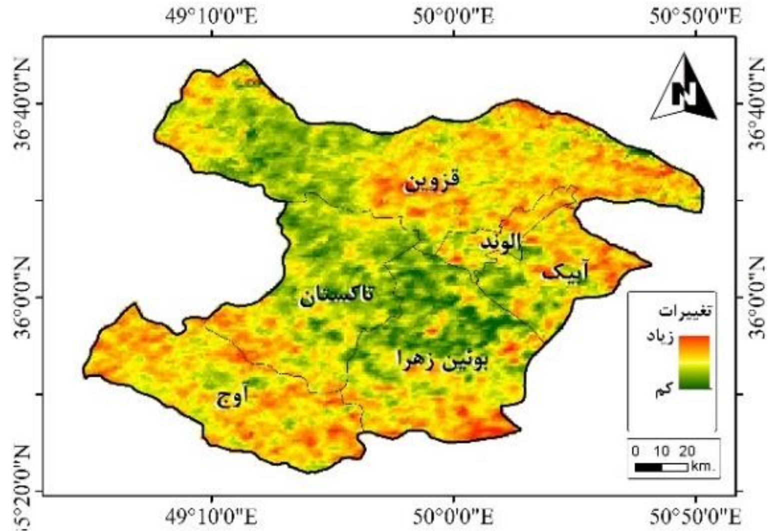
نتایج پیش‌بینی گردوغبار معلق در جو تا سال ۱۴۰۹

به‌منظور اعتبارسنجی مدل استفاده شده برای پیش‌بینی طبقه AOD برای استان قزوین، درآغاز این مدل برای سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده از اعتبارسنجی عملکرد مدل پیش‌بینی کننده (جدول ۵)، خوارزمیک ETS، با مقدار RMSE حدوداً ۰/۳ طبقه‌های کم‌خطر و پرخطر غلظت گردوغبار معلق در جو را برای سال‌های معلوم ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ پیش‌بینی کرده است.

پیش‌بینی خوارزمیک ETS، برای سال ۱۳۹۸ با ۰/۶٪ و برای سال ۱۳۹۹ با ۱۳/۷٪ اختلاف همراه بود. نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات فضایی روند گردوغبار معلق در جو برای سال‌های آینده استان قزوین بیانگر افزایش طبقه پرخطر غلظت گردوغبار معلق در جو برای استان قزوین می‌باشد (شکل ۶). .بدین صورت که مساحت طبقه کم‌خطر غلظت گردوغبار معلق در جو، در روندی همواره کاهشی برای سال ۱۴۰۹، ۱۰۰۲۶۲ km^2 پیش‌بینی شده و از طرفی، در همین دوره زمانی، مساحت طبقه پرخطر در روندی افزایشی، به ۲۵۶۸۶۸ km^2 پیش‌بینی شده است (جدول ۶).

جدول ۴. میزان تغییر مساحت طبقه‌های کم خطر و پرخطر گردوغبار برای شهرستان‌های استان قزوین

	الوند	آبیک	قزوین	بوئین‌زهرا	تاکستان	آوج
انحراف معیار	۶	۵	۴	۴	۳	۰



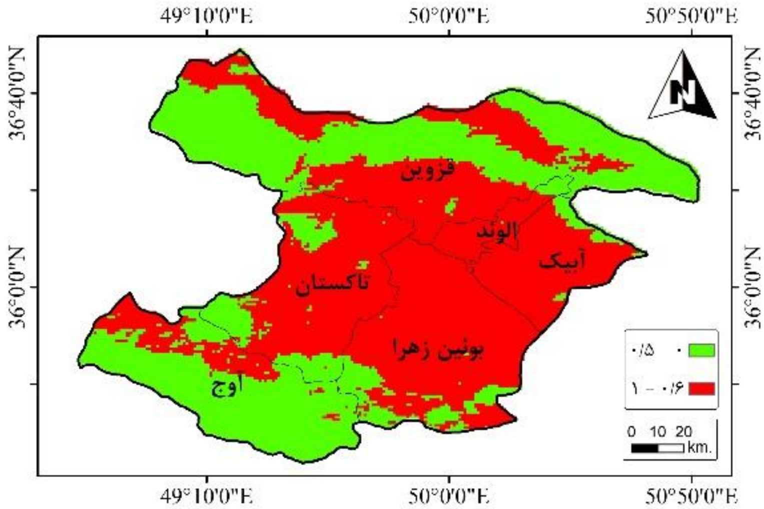
شکل ۵. نقشه تغییرات گردوغبار معلق در جو طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹

جدول ۵. پیش‌بینی مساحت طبقه‌های کم خطر و پرخطر گردوغبار معلق در جو استان قزوین به‌منظور اعتبارسنجی (km^2)

طبقه	واقعی ۱۳۹۸	پیش‌بینی شده ۱۳۹۸	واقعی ۱۳۹۹	پیش‌بینی شده ۱۳۹۹
کم خطر	۱۳۰۸۷۰	۱۳۵۰۶۹	۱۵۱۲۷۰	۱۲۶۰۸۶
پر خطر	۲۲۶۲۶۰	۲۲۲۰۶۱	۲۳۱۰۴۴	۲۰۵۸۶۰

جدول ۶. پیش‌بینی مساحت طبقه‌های کم خطر و پرخطر گردوغبار معلق در جو تا سال ۱۴۰۹ (km^2)

طبقه	۱۴۰۱	۱۴۰۳	۱۴۰۵	۱۴۰۷	۱۴۰۹
کم خطر	۱۳۵۲۹۱	۱۲۶۵۳۳	۱۱۷۷۷۶	۱۰۹۰۱۹	۱۰۰۲۶۲
پر خطر	۲۲۱۸۳۹	۲۳۰۵۹۷	۲۳۹۳۵۴	۲۴۸۱۱۱	۲۵۶۸۶۸

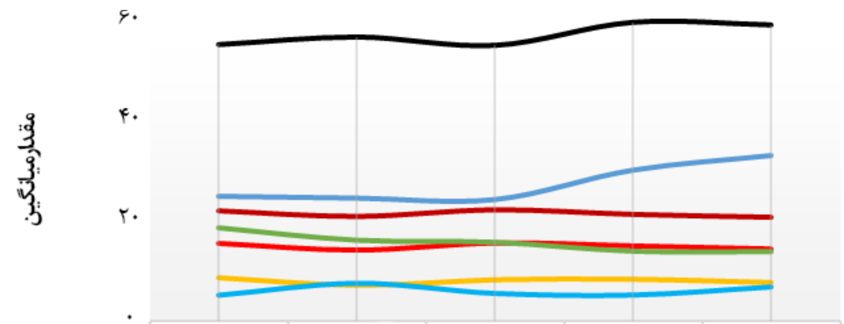


شکل ۶. نقشه پیش‌بینی فضایی تغییرات AOD برای استان قزوین تا سال ۱۴۰۹

معیارهای اقلیمی

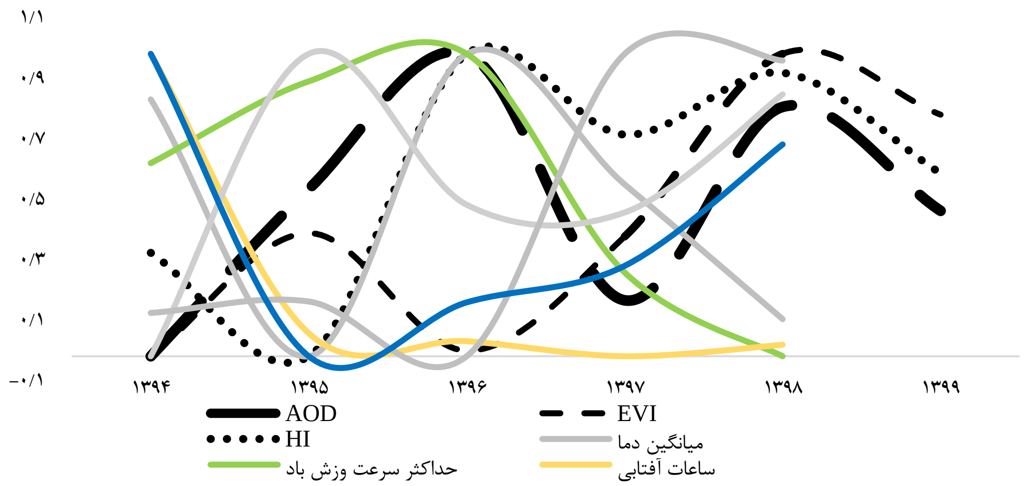
بر پایهٔ یافته‌های به‌دست آمده از استخراج معیارهای اقلیمی استان قزوین طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۹۸، میانگین دمای این استان از سال ۱۳۹۴ به ۱۳۹۵ کاهشی بوده و از ۱۵/۱ $^{\circ}C$ به ۱۳/۸ $^{\circ}C$ رسیده است. این معیار سپس در سال ۱۳۹۶ به ۱۵/۲ $^{\circ}C$ افزایش یافته و پس از آن با طی روند کاهشی مستمر تا سال ۱۳۹۹ به ۱۴ $^{\circ}C$ رسیده است. سرعت باد در این استان در تمام دوره آماری روند کاهشی طی کرده و از ۱۸/۲ m/s در سال ۱۳۹۴ به ۱۳/۴ m/s در سال ۱۳۹۸ کاهش پیدا کرده است. تعداد روزهای یخبندان در این استان در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ با حدوداً ۵ روز یکسان بوده و در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸، تعداد روزهای یخبندان حدوداً ۷ روز بوده است. رطوبت نسبی استان قزوین از ۴۹/۷٪ در سال ۱۳۹۴ به ۵۵/۲٪ در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته و سپس به ۵۳/۷٪ در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته است. این در حالیست که این مقدار، در سال ۱۳۹۷ با رسیدن به ۵۸٪ افزایش شدیدی یافته است و با اندکی کاهش به ۵۷/۵٪ در سال ۱۳۹۸ رسیده است. بارندگی ماهیانه استان قزوین از ۲۴/۲ mm در سال ۱۳۹۴ به ۲۳/۶ mm در سال ۱۳۹۶ کاهش یافته است. سپس با شروع افزایش در سال ۱۳۹۷، به ۳۲/۲ mm در سال ۱۳۹۸ رسیده است (شکل ۷). نتایج همبستگی بین شاخص AOD و معیارهای اقلیمی و مقادیر دو شاخص EVI و تغییرات HI بیانگر آن است که شاخص AOD با مقادیر EVI در تمام سال‌ها ارتباط مثبت اما غیر معناداری (زیر ۵۰٪) از خود نشان داده است که بیشترین آن در سال ۱۳۹۷ با ۴۰٪ بوده است. شاخص AOD در سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ همبستگی مثبت بالای ۵۲٪ با مقادیر شاخص تغییرات HI داشته است که بیشترین مقدار آن در سال ۱۳۹۵، با ۹۰٪ بوده است (شکل ۸).

روند کلی تغییرات مقادیر AOD، شاخص پوشش گیاهی EVI، شاخص جزیره حرارتی HI و دیگر متغییرهای اقلیمی در (شکل ۸) نمایش داده شده است.



	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸
میانگین دما (°C)	۱۵/۱	۱۳/۸	۱۵/۲	۱۴/۶	۱۴/۰
میانگین کمینه دما (°C)	۸/۶	۷/۱	۸/۲	۸/۳	۷/۶
میانگین بیشینه دما (°C)	۲۱/۶	۲۰/۵	۲۱/۸	۲۰/۹	۲۰/۳
حداکثر سرعت وزش باد (m/s)	۱۸/۲	۱۵/۷	۱۵/۳	۱۳/۵	۱۳/۴
تعداد روز های یخبندان	۵/۰	۷/۴	۵/۴	۵/۰	۶/۷
رطوبت نسبی (٪)	۵۳/۸	۵۵/۲	۵۳/۷	۵۸/۰	۵۷/۵
بارندگی ماهانه (mm)	۲۴/۲	۲۳/۸	۲۳/۶	۲۹/۴	۳۲/۲

شکل ۷. میانگین معیارهای اقلیمی استخراج شده استان قزوین به تفکیک سال (۴۳)

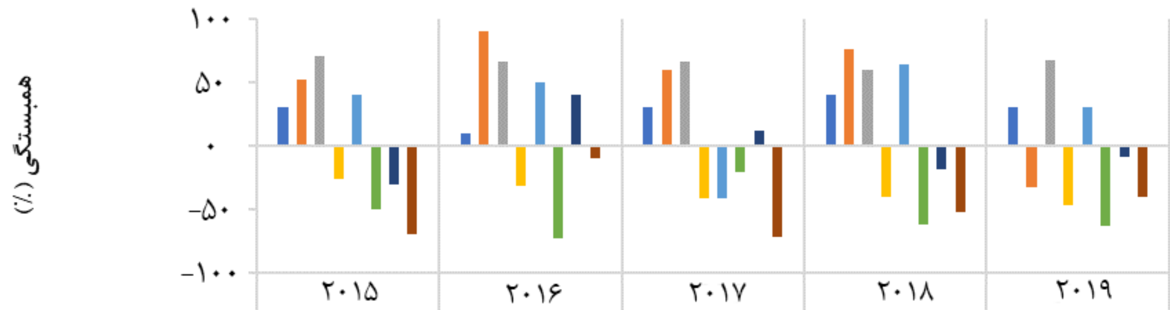


شکل ۸. روند تغییرات شاخص AOD و سایر پارامترهای مورد بررسی در پژوهش

مقادیر AOD همچنین در تمام سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ همبستگی مثبت بالای ۵۹٪ با میانگین دما داشته است که بیشترین میزان آن با ۷۰/۳٪ در سال ۱۳۹۴ و کمترین آن در سال ۱۳۹۷، با ۵۹/۹٪ بوده است. همبستگی مقادیر AOD با ساعات آفتابی فقط در سال ۱۳۹۷، با ۳۶/۶٪ معنادار بوده است در حالی‌که مقادیر شاخص AOD با تعداد روزهای یخبندان در سال ۱۳۹۴، ۱۳۹۵، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ همبستگی منفی از خود نشان داده است. این شاخص همچنین با رطوبت نسبی همبستگی معناداری در هیچ یک از سال‌ها نشان نداد. شاخص AOD اما با میانگین بارندگی ماهانه سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ همبستگی منفی از خود نشان داد که در بقیه سال‌ها نیز گرچه مقادیر معناداری از همبستگی مشاهده نشد، اما ارتباط آنها منفی بود (شکل ۹).

پایش تغییرات EVI

تغییرات پوشش گیاهی به‌دست آمده از شاخص EVI برای استان قزوین به تفکیک شهرستان، طی دوره مورد مطالعه (شکل ۱۰) بیانگر آن است که میانگین این میزان در الوند با مقدار ۰/۲ بیش از بقیه شهرستان‌ها بوده و در آبیک و بوئین زهرا در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته و سپس در سال ۱۳۹۹ در بوئین‌زهرا ۰ به ۰/۱ کاهش یافته است (جدول ۷).

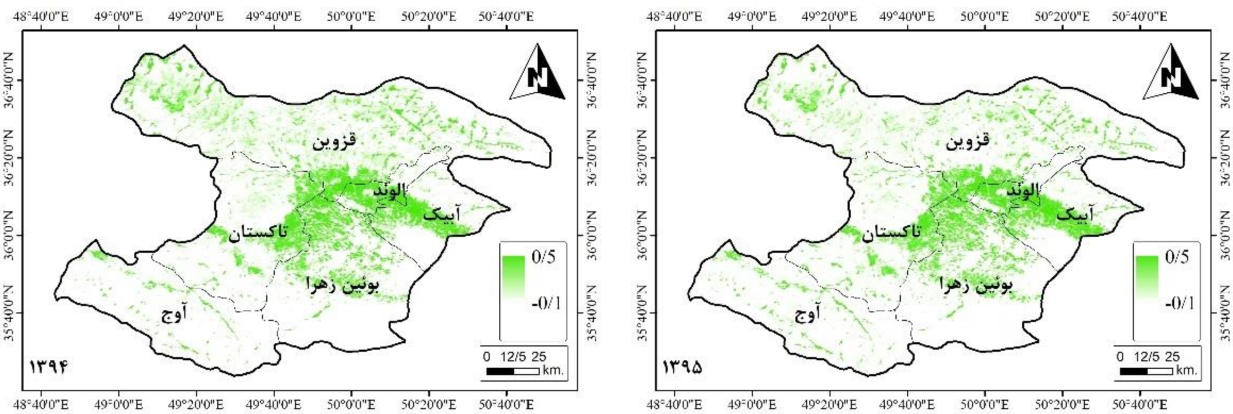


	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹
EVI	۳۰/۰	۱۰/۰	۳۰/۰	۴۰/۰	۳۰/۰
UHI	۵۲/۴	۹۰/۰	۶۰/۰	۷۵/۸	-۳۲/۹
میانگین دما	۷۰/۳	۶۵/۸	۶۶/۱	۵۹/۹	۶۷/۶
حداکثر سرعت وزش باد	-۲۶/۷	-۳۲/۰	-۴۱/۳	-۴۰/۵	-۴۶/۹
ساعات آفتابی	۳۹/۷	۴۹/۹	-۴۱/۰	۶۳/۶	۳۰/۰
تعداد روزهای یخبندان	-۵۰/۰	-۷۲/۳	-۲۰/۸	-۶۲/۲	-۶۳/۴
رطوبت نسبی	-۳۰/۰	۳۹/۸	۱۲/۰	-۱۸/۶	-۹/۱
بارندگی ماهیانه	-۷۰/۰	-۹/۶	-۷۱/۷	-۵۱/۸	-۳۹/۸

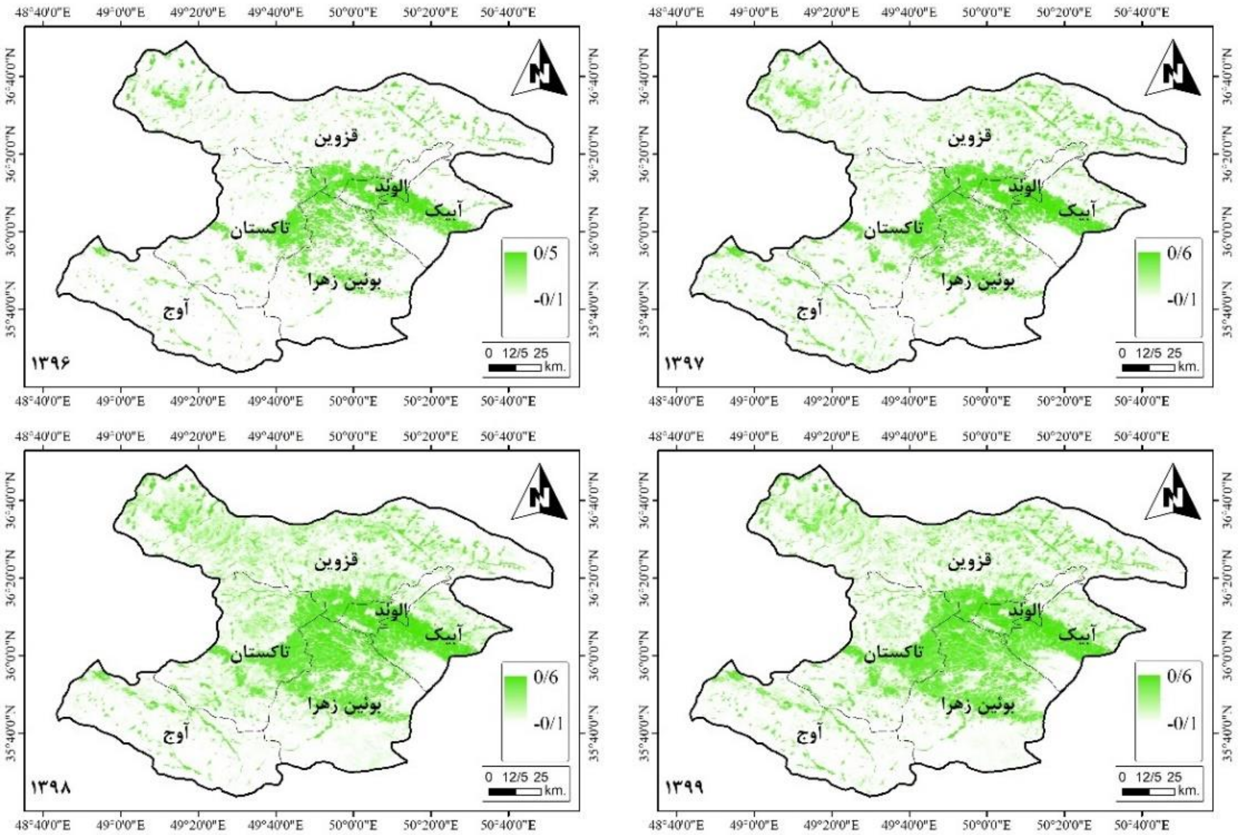
شکل ۹. همبستگی بین مقادیر شاخص AOD و سایر معیارهای اقلیمی استان قزوین برای سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ (همبستگی بالای ۵۰٪ در سطح ۹۵٪ معنادار است)

جدول ۷. میانگین مقادیر شاخص EVI برای دوره مطالعه ۶ ساله استان قزوین، به تفکیک شهرستان

شهرستان / سال	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
آبیک	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲
آوج	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
الوند	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
بوئین‌زهرا	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱
تاکستان	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
قزوین	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱

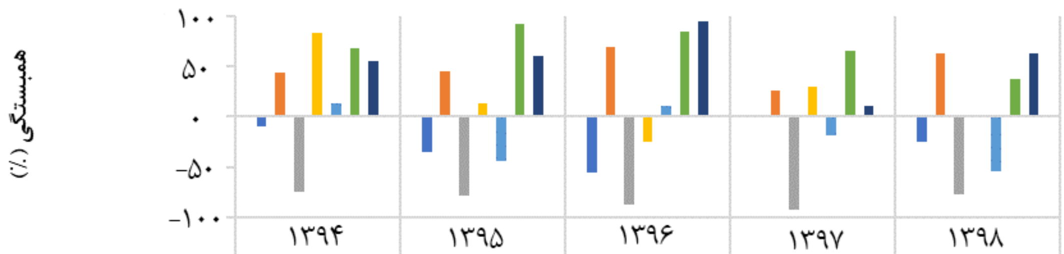


شکل ۱۰. تغییرات شاخص EVI برای سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ استان قزوین



ادامهٔ شکل ۱۰. تغییرات شاخص EVI برای سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ استان قزوین

نتایج به‌دست آمده از مطالعه همبستگی بین مقادیر شاخص EVI و سایر معیارهای اقلیمی و شاخص تغییرات HI در استان قزوین، حاکی از ارتباط منفی این شاخص (EVI) و مقادیر شاخص تغییرات HI در تمامی سال‌ها بجز سال ۱۳۹۷ و معنادار بودن آن در سال ۱۳۹۶ می‌باشد. مقادیر EVI، در تمام سال‌ها با میانگین دما ارتباط مثبت داشته‌اند که این ارتباط، مجدداً در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ معنادار به نظر می‌رسد (شکل ۱۱).



	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸
UHI	-۱۰/۰	-۳۴/۷	-۵۴/۹	۰/۰	-۲۴/۷
میانگین دما	۴۴/۱	۴۴/۷	۶۸/۷	۲۶/۴	۶۳/۴
حداکثر سرعت وزش باد	-۷۵/۰	-۷۸/۴	-۸۷/۹	-۹۱/۷	-۷۶/۸
ساعات آفتابی	۸۳/۴	۱۳/۴	-۲۴/۴	۳۰/۰	۰/۰
تعداد روزهای یخبندان	۱۳/۸	-۴۳/۴	۱۱/۲	-۱۸/۲	-۵۳/۹
رطوبت نسبی	۶۸/۳	۹۲/۲	۸۴/۴	۶۵/۵	۳۷/۰
بارندگی ماهیانه	۵۵/۵	۶۰/۴	۹۵/۱	۱۰/۷	۶۳/۰

شکل ۱۱. همبستگی بین مقادیر شاخص EVI و سایر معیارهای اقلیمی و تغییرات HI برای استان قزوین در سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ (همبستگی بالای ۵۰ درصد در سطح ۹۵٪ معنادار است)

بین مقادیر EVI با بیشینهٔ سرعت وزش باد در تمام سال‌ها ارتباط منفی معناداری مشاهده شده است. بدین صورت که بیشترین ارتباط آن در سال ۱۳۹۷ و کمترین آن در سال ۱۳۹۴ بوده است. EVI همچنین در سال‌های ۱۳۹۴ با ساعات آفتابی و در سال ۱۳۹۸ با تعداد روزهای یخبندان به‌ترتیب ارتباط مثبت و منفی از خود نشان داده است. همبستگی بین EVI و رطوبت نسبی و میانگین بارندگی ماهیانه در سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ مثبت و معنادار بوده است. بیشینه همبستگی مثبت EVI و رطوبت نسبی در سال ۱۳۹۵ و با میانگین بارندگی ماهیانه در سال ۱۳۹۸ مشاهده شده است. EVI همچنین در سال‌های ۱۳۹۷ با رطوبت نسبی و در ۱۳۹۸ با میانگین بارندگی ماهیانه ارتباط مثبت معنی‌دار داشته است (شکل ۱۱).

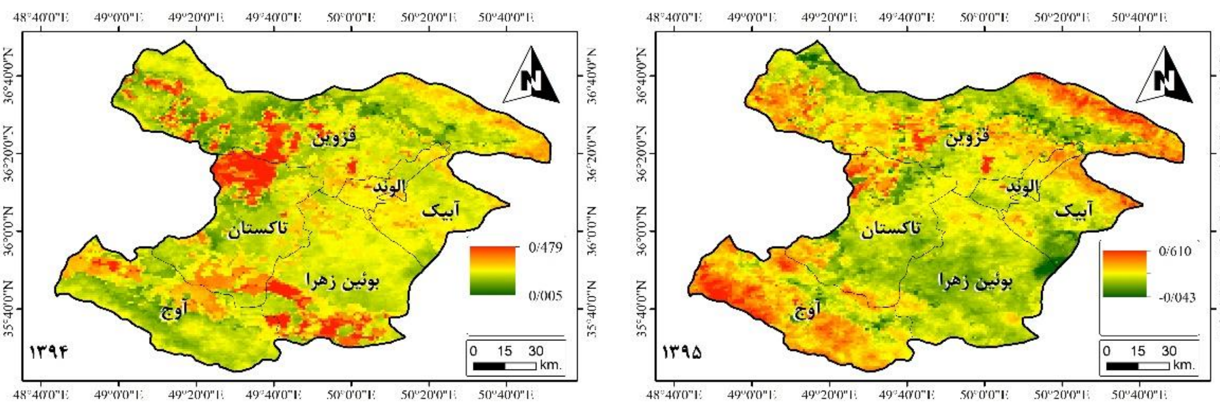
نتایج پایش جزیره حرارتی با استفاده از شاخص تغییرات HI

شاخص تغییرات HI برای استان قزوین در طول دوره آماری مورد بررسی ۶ ساله (شکل ۱۲) بیانگر آن است که شهرستان‌های آبیک، الوند، بوئین‌زهرا و تاکستان در سال ۱۳۹۵ کاهش جزیره حرارتی به مقدار ۰/۱ را تجربه کرده و در بقیه سال‌ها بدون تغییر بوده‌اند. در حالی که شهرستان آوج، در دو دوره ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به میزان ۰/۱ افزایش جزایر حرارتی را تجربه کرده است. شهرستان قزوین، از منظر جزایر حرارتی در طول دوره آماری بدون تغییر بوده است (جدول ۸).

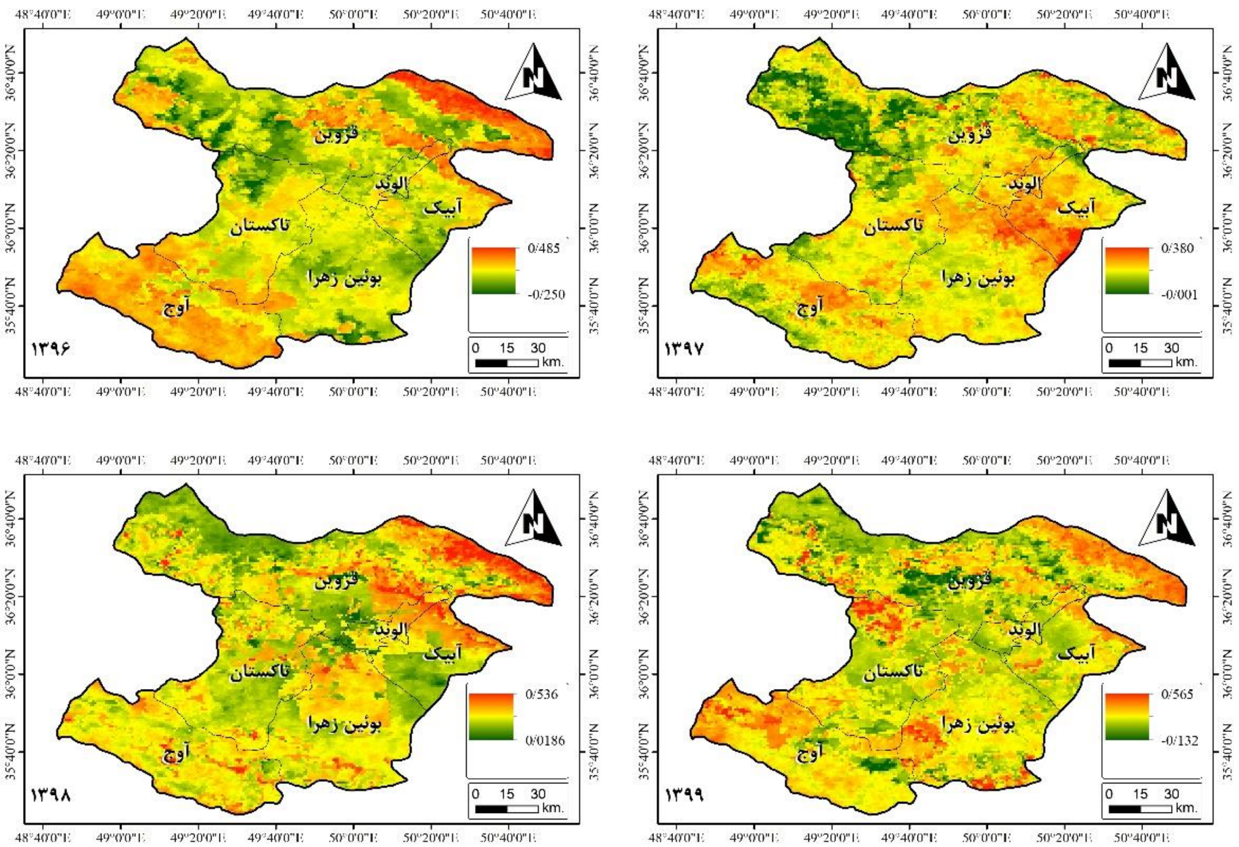
یافته‌های حاصل از ارزیابی همبستگی بین تغییرات HI و معیارهای اقلیمی در استان قزوین برای سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ بیانگر آن است که مقادیر این شاخص با میانگین دما در تمام سال‌ها ارتباط مثبت داشته است، اما این ارتباط در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ با به‌ترتیب ۶۰٪ و ۷۰٪ معنادار و بالا بوده است (شکل ۱۳). این شاخص همچنین با بارندگی ماهیانه در تمامی سال‌ها ارتباط منفی داشته است که این ارتباط در سال ۱۳۹۴ با ۷۰-٪ معنادارتر به نظر می‌رسد (شکل ۱۳).

جدول ۸. تغییرات میانگین مقادیر شاخص تغییرات HI برای دوره مطالعه ۶ ساله استان قزوین، به تفکیک شهرستان

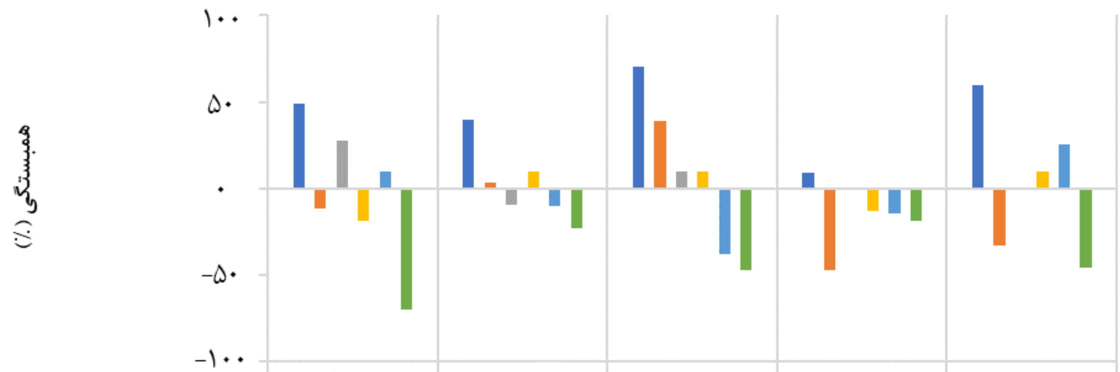
شهرستان / سال	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
آبیک	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
آوج	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۲
الوند	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
بوئین‌زهرا	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
تاکستان	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
قزوین	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲



شکل ۱۲. تغییرات جزیره حرارتی (HI) در طی دوره آماری ۶ ساله ۱۳۹۴-۱۳۹۹ استان قزوین



ادامهٔ شکل ۱۲. تغییرات جزیره حرارتی (HI) در طی دوره آماری ۶ ساله ۱۳۹۴-۱۳۹۹ استان قزوین



	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹
میانگین دما	۴۹/۳	۴۰/۰	۷۰/۰	۸/۹	۶۰/۰
حداکثر سرعت وزش باد	-۱۱/۵	۳/۸	۳۸/۸	-۴۷/۳	-۳۲/۶
ساعات آفتابی	۲۷/۵	-۹/۶	۱۰/۱	۰/۰	-۱/۱
تعداد روزهای یخبندان	-۱۸/۹	۱۰/۰	۱۰/۰	-۱۳/۰	۱۰/۰
رطوبت نسبی	۱۰/۰	-۱۰/۳	-۳۷/۸	-۱۴/۴	۲۵/۳
بارندگی ماهیانه	-۷۰/۰	-۲۲/۷	-۴۷/۳	-۱۸/۴	-۴۵/۴

شکل ۱۳. همبستگی بین مقادیر شاخص تغییرات HI و سایر معیارهای اقلیمی برای استان قزوین در سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ (همبستگی بالای ۵۰٪ در سطح ۹۵٪ معنادار است)

■ بحث و نتیجه‌گیری

بر پایهٔ نتایج پژوهش حاضر، غلظت گردوغبار معلق در جو استان قزوین، از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ در تمامی شهرستان‌ها بجز تاکستان، به میزان ۰/۱ مقدار AOD افزایشی بوده و در تاکستان این مقدار ۰/۲ بوده است. با توجه به اینکه در این سه سال میانگین بیشینه سرعت وزش باد با ۲۲m/s، ۲۱m/s و ۲۱m/s از همه شهرستان‌های دیگر بیشتر بوده است، این افزایش احتمالاً با توجه به این دلیل، منطقی به نظر می‌رسد. چنانکه در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ نیز با میانگین سرعت باد یکسان، در تمام شهرستان بجز تاکستان، میانگین غلظت گردوغبار معلق در جو یکسان بوده است. ارتباط بین وزش باد و تغییرات غلظت گردوغبار در پژوهش‌های پیشین نیز به اثبات رسیده است (۴۱). در روندی مشابه، در تمامی شهرستان‌ها در سال ۱۳۹۷ برای بقیه شهرستان‌ها به‌اندازه ۰/۱ کاهش میانگین میزان غلظت گردوغبار معلق در جو مشاهده می‌شود که این کاهش در شهرستان تاکستان ۰/۲ بوده است. با توجه به پژوهش‌های پیشین که ارتباط بین رطوبت موجود و گردوغبار را به اثبات رسانده‌اند (۲۰، ۴۱، ۵۲)، این می‌تواند مرتبط با افزایش بارندگی و رطوبت نسبی در تمام شهرستان‌ها نسبت به سال‌های پیش باشد. چراکه میانگین بارندگی ماهانه و رطوبت نسبی در سال ۱۳۹۷ به‌ترتیب در شهرستان آبیک ۱۰/۴٪ و ۴/۱٪، در شهرستان آوج ۷۴/۷٪ و ۱۲/۷٪، در شهرستان الوند ۵۸/۵٪ و ۹/۱٪، در شهرستان تاکستان ۲۷/۶٪ و ۷/۵٪ و در شهرستان قزوین ۲۱/۷٪ و ۹/۱٪ افزایش را نسبت به دوره‌های قبل ثبت کرده است که با نتایج پژوهش‌های پیشین (۲۰، ۴۱، ۵۲) نیز مطابقت دارد. سال ۱۳۹۷، در تمام شهرستان‌ها کاهش HI و افزایش EVI نیز مشاهده شده است که با توجه به همبستگی مثبت HI و همبستگی منفی EVI با گردوغبار معلق در جو، این دو عامل نیز می‌توانند در کاهش غلظت گردوغبار معلق در جو در همین سال قزوین، تا حد زیادی اثرگذار بوده باشند. از آنجا که شاخص AOD بیانگر گردوغبار معلق در جو، فارغ از مسیر و منشأ بوده و وابسته به منابع انتشار سطح زمین است (۱، ۵، ۱۵، ۴۸)، مطالعه ارتباط با پوشش گیاهی در لحظه با تغییرات AOD نیز امکان‌پذیر است که نتایج پژوهش‌هایی که پیشتر در همین رابطه انجام شده نیز اثباتی بر همین مدعاست (۳، ۴، ۳۴، ۳۶). همچنین همبستگی منفی و اثرگذاری بین شاخص EVI و گردوغبار معلق در جو نیز در پژوهش‌هایی که بیشتر با همین هدف انجام شده تایید شد است (۴۵، ۴۶). رابطه معکوس بین HI و پوشش گیاهی نیز در پژوهش‌های گوناگونی به اثبات رسیده است (۲۵، ۲۶، ۴۰، ۴۲). در سال ۱۳۹۷ همچنین بیشینه سرعت باد در شهرستان‌های آبیک، ۳۶/۶٪، آوج ۱/۰٪، بوئین‌زهرا ۵/۲٪، تاکستان و قزوین ۱/۹٪ کاهش داشته و نیز ساعات آفتابی در این شهرستان‌ها برای آوج، ۸/۶٪، بوئین‌زهرا ۵/۱٪، تاکستان، ۶/۳ و قزوین ۵/۹٪ کاهش یافته است که از آنجا که سرعت باد و ساعات آفتابی دو عامل مهم و اثرگذار بر تغییرات AOD می‌باشند (۲۱، ۲۹)، این دو معیار نیز در روند کاهشی غلظت گردوغبار معلق در جو در این استان دخیل بوده‌اند. برای شهرستان الوند، اطلاعات سرعت باد و برای شهرستان‌های آبیک و الوند اطلاعات تعداد روزهای آفتابی برای سال ۱۳۹۷ در دسترس نبود، اما با توجه به روند کاهشی غلظت گردوغبار معلق در جو در سال ۱۳۹۷ برای هر دو این شهرستان‌ها، برای شهرستان الوند کاهش بیشینه سرعت باد و برای هر دو شهرستان نیز کاهش ساعات آفتابی به‌ویژه در فصل تابستان که ساعت‌های آفتابی تأثیر بیشتری بر گردوغبار منطقه مورد مطالعه دارند (۲۹) را می‌توان حدس زد. تعداد روزهای یخبندان نیز برای تمام شهرستان‌ها از جمله آبیک با ۲۴٪، آوج با ۱/۳٪، الوند با ۱۷/۳٪، بوئین‌زهرا با ۲۱/۷٪، تاکستان با ۹٪ و قزوین با ۱۷/۳٪ کاهش یافته است که خود می‌تواند دیگر عامل کاهش گردوغبار معلق در جو بوده و نشانگر افزایش این میزان در روزهای سرد و یخبندان است. رابطه مثبت گردوغبار معلق در جو و روزهای یخبندان نیز در پژوهش‌های پیشین تایید شده است (۵۰). در سال ۱۳۹۷ همچنین میانگین دمای شهرستان‌ها نسبت به دوره قبل نیز همواره کاهشی بوده است که با توجه به همبستگی بالای گردوغبار معلق در جو با میانگین دمای هوا (۲۱)، این عامل نیز در کنار دیگر عامل‌ها، بر کاهش گردوغبار معلق در جو در سال ۱۳۹۷ اثرگذار بوده است. ارتباط مثبت بین دمای هوا و گردوغبار نیز با نتایج

پژوهش‌های مشابه همخوانی دارد (۳۳). در سال ۱۳۹۸، شهرستان‌های آبیک، تاکستان و قزوین به میزان ۰/۱ افزایش در شاخص غلظت گردوغبار معلق در جو را تجربه کرده و این مقدار در سال ۱۳۹۹ برای هر سه این شهرستان‌ها بدون تغییر مانده است. این در حالیست که گرچه شهرستان‌های آوج، الوند و بوئین‌زهرا نیز در سال ۱۳۹۸ همین میزان افزایش را تجربه کرده‌اند، اما در سال ۱۳۹۹ مجدداً به میزان ۰/۱ کاهش این شاخص را نشان می‌دهند. با توجه به ارتباط نزدیک جزیره حرارتی و مقادیر AOD (۵۲)، افزایش میزان گردوغبار معلق در جو در سال ۱۳۹۸ میتواند به‌دلیل افزایش میزان HI در این سال باشد، چنانکه ضمن ثابت بودن میزان EVI در اکثر سال‌ها، میزان تغییرات HI در این سال نسبت به دوره قبل برای شهرستان‌های آوج با ۱۳/۲٪، الوند با ۷/۱٪، بوئین‌زهرا با ۱۰٪/۱، تاکستان با ۹/۹٪ و قزوین با ۲۳/۱٪ اختلاف، مثبت بوده است. این در حالیست که در سه شهرستان آوج، الوند و بوئین‌زهرا برای سال ۱۳۹۹، تغییرات HI با به ترتیب ۸٪/۲، ۲۲٪ و ۱۱/۶٪ منفی بوده و کاهش گردوغبار معلق در جو برای این شهرستان‌ها در این سال را توجیه می‌کند. ارتباط بین گردوغبار، حرارت (۲۱) و جزیره حرارتی (۱۹، ۵۲) پیشتر در پژوهش‌هایی که پیشتر انجام شده نیز به اثبات رسیده است. در سال ۱۳۹۸ همچنین شهرستان‌های استان قزوین از جمله آبیک، آوج، الوند، بوئین‌زهرا، تاکستان و قزوین با به‌ترتیب ۵۸/۳، ۱۰/۳٪، ۱۷/۳٪، ۳۰/۴٪، ۳۰/۳٪ و ۲۵/۴٪ افزایش در تعداد روزهای یخبندان همراه بوده‌اند که این خود می‌تواند عامل مهم دیگری در افزایش گردوغبار معلق در جو این سال باشد. پیش‌بینی طبقه‌های پر خطر و کم خطر غلظت گردوغبار معلق در جو برای سال‌های ۲۰۲۲ (نزدیک‌ترین دوره پیش‌بینی) و ۱۴۰۹ (آخرین دوره پیش‌بینی شده) حاکی از افزایش در طبقه پرخطر یعنی مقادیر ۰/۶ تا ۱ این مقدار به ترتیب به میزان ۸٪ و ۲۵٪ و کاهش در طبقه کم‌خطر یعنی مقادیر صفر تا ۰/۵ به میزان ۱۱٪ و ۳۴٪ نسبت به سال ۱۳۹۹ می‌باشد. طبقه پرخطر برای سال‌های ۱۴۰۳، ۱۴۰۵ و ۱۴۰۷ نیز با به‌ترتیب ۱۲٪، ۱۷٪ و ۲۱٪ افزایش پیش‌بینی شده است. در حالیکه طبقه کم‌خطر برای همین سال‌ها نسبت به ۱۳۹۹ با به‌ترتیب ۱۶٪، ۲۲٪ و ۲۸٪ کاهش پیش‌بینی شده است که بیانگر وضعیت هشدار دهنده در آینده این استان است. نتایج پژوهش حاضر، بیانگر اثرگذاری متغیرهای اقلیمی همچون بارندگی و رطوبت نسبی، سرعت باد، تعداد روزهای یخبندان، دما، پوشش گیاهی، تغییرات جزیره حرارتی و ساعات آفتابی بر افزایش یا کاهش غلظت گردوغبار معلق در جو بود. پژوهش حاضر نشان داد بارندگی، رطوبت نسبی و پوشش گیاهی با گردوغبار معلق در جو رابطه منفی و سرعت باد، تعداد روزهای یخبندان، دما، تغییرات جزیره حرارتی و ساعات آفتابی با آن رابطه مثبت دارد. همچنین تغییرات غلظت گردوغبار معلق در جو را در دو طبقه پرخطر و کم‌خطر مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس آن، این دو طبقه تا سال ۱۴۰۹ پیش‌بینی شد که نتایج حاکی از افزایش طبقه پرخطر برای این استان بود. نتایج پژوهش حاضر به تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا با مدیریت میزان پوشش گیاهی و برنامه‌ریزی صحیح در جهت کاهش جزایر حرارتی شهرها و همچنین برنامه‌های اقلیمی مدیریت بارش و رطوبت سطح شهرها به کاهش آلودگی‌های ناشی از گردوغبار در شهرها کمک کنند.

■ References

1. Ackerman, T.P., Braverman, A.J., Diner, D.J., Anderson, T.L., Kahn, R.A., Martonchik, J.V., Penner, J.E., Rasch, P.J., Wielicki, B.A., & Yu, B. (2004). Integrating and interpreting aerosol observations and models within the PARAGON framework. *Bulletin of the American Meteorological Society, 85*(10), 1523-1534.

2. 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)

3. Berwal, S. (2018). Urban heat island formation with respect to aerosol load and land-cover variations over Delhi-NCR. in *AGU Fall Meeting Abstracts*.

4. Chi, Y., Zuo, S., Ren, Y., & Chen, K. (2019). The spatiotemporal pattern of the aerosol optical depth (AOD) on the canopies of various forest types in the exurban national park: a case in ningbo city, eastern China. *Advances in Meteorology, 2019*, 1-15.

5. Chu, D., Kaufman, Y., Ichoku, C., Remer, L., Tanré, D., & Holben, B. (2002). Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land. *Geophysical research letters, 29*(12), MOD2-1-MOD2-4.

6. CustomWeather. (2022). *Climate & weather averages in Qazvin, Iran. Annual weather averages near Qazvin.* Retrieved from 08 Mar 2022, from https://www.timeanddate.com/weather/iran/qazvin/climate

7. Dastjerdi, J.K., Mousavi, S., & Kashki, A. (2012). Synoptic analysis of Ilam dust storms (1987-2005). *Geography and Environmental Planning, 23*(2), 15-34. (in Farsi)

8. Dev, S., AlSkaif, T., Hossari, M., Godina, R., Louwen, A., & Van Sark, W. (2018). Solar irradiance forecasting using triple exponential smoothing. *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*. IEEE.

9. Didan, K. (2018). *MOD13Q1 v006*. Retrieved from 25 Jan 2022 , from https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/

10. Farmer, A.M. (1993). The effects of dust on vegetation-a review. *Environmental Pollution, 79*(1), 63-75.

11. Gardner Jr, E.S. (1985). Exponential smoothing: The state of the art. *Forecasting, 4*(1), 1-28.

12. Gavrouzou, M., Hatzianastassiou, N., Gkikas, A., Korras-Carraca, M.-B., & Mihalopoulos, N. (2021). A global climatology of dust aerosols based on satellite data: spatial, seasonal and inter-annual patterns over the period 2005–2019. *Remote Sensing, 13*(3), 359.

13. Goudie, A.S. (2009). Dust storms: Recent developments. *Environmental Management, 90*(1), 89-94.

14. Heald, C., Ridley, D., Kroll, J., Barrett, S., Cady-Pereira, K., Alvarado, M., & Holmes, C. (2014). Contrasting the direct radiative effect and direct radiative forcing of aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics, 14*(11), 5513-5527.

15. Hu, Z. (2009). Spatial analysis of MODIS aerosol optical depth, PM2.5, and chronic coronary heart disease. *Health Geographics, 8*(1), 27.

16. Indriani, R., Sugandha, A., Tripena, A., Larasati, N., Rokhman, A.F., & Bon, A.T. (2020). Forecasting of air temperature in Cilacap Regency with triple exponential smoothing (holt-winter) method, *5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit, Michigan, USA*. August 2020. IEOM.

17. Jennings, S., (1994). *Atmospheric trace gases and aerosols*, in *Remote Sensing and Global Climate Change*. Springer. p. 223-252.

18. Kalekar, P.S. (2004). Time series forecasting using holt-winters exponential smoothing. *Kanwal Rekhi school of information Technology, 4329008*(13), 1-13.

19. Li, H., Meier, F., Lee, X., Chakraborty, T., Liu, J., Schaap, M., & Sodoudi, S. (2018). Interaction between urban heat island and urban pollution island during summer in Berlin. *Science of the Total Environment, 636,* 818-828.

20. Li, J., Ge, X., He, Q., & Abbas, A. (2021). Aerosol optical depth (AOD): spatial and temporal variations and association with meteorological covariates in Taklimakan desert, China. *PeerJ, 9,* e10542 .

21. Li, J., He, Q., Ge, X., Abbas ,A., & Jin, L. (2021). Spatio-temporal changes of AOD in Xinjiang of China from 2000 to 2019: Which factor is more influential, natural factor or human factor? *Plos One, 16*(8), e0253942.

22. Lin, W., Yu, X., Xu, D., Sun, T., & Sun, Y. (2021). Effect of Dust Deposition on Chlorophyll Concentration Estimation in Urban Plants from Reflectance and Vegetation Indexes. *Remote Sensing, 13*(18), 3570.

23. Lyapustin, A. *MCD19A2 v006*. Retrieved from 25 Jan 2022, from https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd19a2v006/

24. Mahmoodi Mahpash, N. & Souri, B. (2021). Comparison of concentration and trend of dust particles in relation to climatic variables in the western half of Iran. *Human & Environment*, *19*(3), 17-29. (in Farsi)

25. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M.S., Mokhtari, M.H., Karimi Firoozjaei, M., & Alavipanah, S.K. (2022). Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover. *RS and GIS for Natural Resources, 12*(4), 1-5. (in Farsi)

26. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M.S., Mokhtari, M.H., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S.K. (2022). Investigating and modeling the effect of the composition and arrangement of the landscapes of Yazd city on the land surface temperature using machine learning and Landsat-8 and Sentinel-2 data. *Remote Sensing & GIS*. (in Farsi)

27. Masatoshi, Y. (2002). Climatology of yellow sand (Asian sand, Asian dust or Kosa) in East Asia. *Science in China Series D: Earth Sciences, 45*(1), 59-70.

28. Meisam Malmir. (2020). *Abyek, misses a clean air*. Retrieved from 25 Jan 2022, from https://irna.ir/xjxdfH (in Farsi)

29. Mesbahzadeh, t., alipour, n., ahmadi, h., malekian, a., & jafari, m. (2018). Time evaluating of dust phenomenon in Alborz and Qazvin provinces. *Environmental Studies*, *44*(2), 309-320. (in Farsi)

30. Mirakbari, M. & Ebrahimi Khusfi, Z. (2020). Investigation of spatial and temporal changes in atmospheric aerosol using aerosol optical depth in southeastern Iran. *Rs and Gis for Natural Resources (Applied Rs and Gis Techniques in Natural Resource Science), 11*(3), 17-18. (in Farsi)

31. Momeni, S. (2018). *An overview of the causes, effects and methods of dealing with fine dust* .Retrieved from 25 Jan 2022, from tabnak.ir/003MQu (in Farsi)

32. Mutanga, O. & Kumar, L., *Google earth engine applications*. 2019, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. p. 591.

33. Noguchi, K., Ueda, M., & Hayashi, H. (2019). Zonal correlation among dust ,water ice clouds and temperature in the martian atmosphere observed by MRO-MCS. *LPI Contributions*, *2089*, 6135.

34. Pandey, A.K., Singh, S., Berwal, S., Kumar, D., Pandey, P., Prakash, A., Lodhi, N., Maithani, S., Jain, V.K., & Kumar, K. (2014). Spatio–temporal variations of urban heat island over Delhi. *Urban Climate, 10*, 119-133.

35. Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C.J., & Stenseth, N.C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution, 20*(9), 503-510.

36. Pourhashemi, S., Boroghani, M., Zangane Asadi, M.A., & Amir Ahmadi, A. (2015). Analysis relation of vegetation cover on the number of dust event in Khorasan Razavi using geographic information system and remote sensing. *RS and GIS for Natural Resources, 6*(4), 33-45. (in Farsi)

37. Qazvin Municipality, (2019). *Qazvin province strategic planning document*. (in Farsi)

38. Ramanathan, V., Crutzen, P.J., Kiehl, J., & Rosenfeld, D. (2001). Aerosols, climate ,and the hydrological cycle. *Science, 294*(5549), 2119-2124.

39. Rousta, I., Olafsson, H., Zhang, H., Moniruzzaman, M., Krzyszczak, J., & Baranowski, P. Anthropogenic factors affecting the vegetation dynamics in the arid Middle East. Preprints 2020, 2020100208.

40. Rousta ,I., Sarif, M.O., Gupta, R.D., Olafsson, H., Ranagalage, M., Murayama, Y., Zhang, H., & Mushore, T.D. (2018). Spatiotemporal analysis of land use/land cover and its effects on surface urban heat island using Landsat data: A case study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability, 10*(12), 4433 .

41. Shaheen, A., Wu, R., Lelieveld, J., Yousefi, R., & Aldabash, M. (2021). Winter AOD trend changes over the Eastern Mediterranean and Middle East region. *Climatology, 41*(12), 5516-5535.

42. Soltani, M., Laux, P., Kunstmann, H., Stan, K., Sohrabi, M., Molanejad, M., Sabziparvar, A., SaadatAbadi, A.R., Ranjbar, F., & Rousta, I. (2016). Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology, 126*(3), 775-795.

43. Statistical Center of Iran. (2015-2019). *Statistical Yearbook of Qazvin Province.*

44. Taghavi, F., Owlad, E., Safarrad, T., & Irannejad, P. (2013). Identifying and monitoring dust storm in the western part of Iran using remote sensing techniques. *Earth and Space Physics, 39*(3), 83-96. (in Farsi)

45. Tariq, S., Nawaz, H., Ul-Haq, Z., & Mehmood, U. (2021). Investigating the relationship of aerosols with enhanced vegetation index and meteorological parameters over Pakistan. *Atmospheric Pollution Research, 12*(6), 101080.

46. Tariq, S., Qayyum, F., Ul-Haq, Z., & Mehmood, U. (2022). Long-term spatiotemporal trends in aerosol optical depth and its relationship with enhanced vegetation index and meteorological parameters over South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.

47. Tasnim. (2020). *Crisis management alert; The air in Qazvin will be heavily polluted in the next 5 days*. Retrieved from 25 Jan 2022, from https://tn.ai/2418687 (in Farsi)

48. Van Donkelaar, A., Martin, R.V., & Park, R.J. (2006). Estimating ground-level PM2.5 using aerosol optical depth determined from satellite remote sensing. *Geophysical Research: Atmospheres, 111*(D21).

49. Wan, Z. *MOD11A2 v006*. Retrieved from 25 Jan 2022, from https//:lpdaac.usgs.gov/products/mod11a2v006/

50. Wang, N., Yao, T., Thompson, L., & Davis, M. (2006). Strong negative correlation between dust event frequency and air temperature over the northern Tibetan Plateau reflected by the Malan ice-core record. *Annals of Glaciology, 43*, 29-33.

51. Zhang, P., Lu, N.-m., Hu, X.-q., & Dong, C.-h. (2006). Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels. *Global and Planetary Change, 52*(1-4), 197-206.

52. Zhou, J., Chen, Y., Wang ,J., & Zhan, W. (2010). Maximum nighttime urban heat island (UHI) intensity simulation by integrating remotely sensed data and meteorological observations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 4*(1), 138-146.

Desert Management

Vol. 10, No. 1, Spring 2022

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Contents

JOURNAL OF DESERT MANAGEMENT

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

Vol. 10 No. 1 2022

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

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

Journal of

Desert Management

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control (ISADMC)

ISSN 2476-3721

Quarterly: Volume 10 - No 1- Spring 2022

21

Contents